



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

UNIVERSIDAD DE SEVILLA

GRADO EN INGENIERÍA AGRÍCOLA

MANEJO DEL RIEGO CON AGUAS SALINAS EN EL CULTIVO DE LA PATATA

TRABAJO FIN DE GRADO



TUTORES:

Luís Andreu Cáceres

Benito Salvatierra Bellido

AUTORA:

Cristina Jarén Morilla

Fecha de entrega: 4 de septiembre de 2017



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



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

UNIVERSIDAD DE SEVILLA

GRADO EN INGENIERÍA AGRÍCOLA

MANEJO DEL RIEGO CON AGUAS SALINAS EN EL CULTIVO DE LA PATATA

TRABAJO FIN DE GRADO

TUTORES:

Luís Andreu Cáceres

Profesor Titular de Universidad. Departamento de Ciencias Agroforestales. Área de Producción Vegetal.

Fdo: Luís Andreu Cáceres

Benito Salvatierra Bellido

Ingeniero Agrónomo. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera (IFAPA). Centro de Chipiona.

Fdo: Benito Salvatierra Bellido.

AUTORA:

Cristina Jarén Morilla

Fdo: Cristina Jarén Morilla

Fecha de entrega: 4 de septiembre de 2017

AGRADECIMIENTOS:

Debo y quiero dar las gracias a todas las personas que de alguna forma me han ayudado para que este trabajo sea una realidad.

Al profesor Luís Andreu Cáceres, por la supervisión, sugerencias y aportaciones sumamente útiles y por su disponibilidad siempre que lo he necesitado. Muchas gracias.

A Benito Salvatierra Bellido, que con sólo haber hablado con él un instante en un momento determinado, me ha abierto las puertas de su centro de trabajo y me ha guiado y enseñado no sólo en este proyecto sino en muchos otros más. Muchas gracias y no cambies nunca.

A todas las personas presentes en el Centro IFAPA de Chipiona por hacerme uno más de ellos y hacer que me sienta como en casa.

A María José Romero Solís por su infinita ayuda y consejos, y que junto a Pedro Cermeño Sacristán me dieron la oportunidad conocer el campo de la investigación agraria lo que me motivó para hacer este trabajo fin de grado.

Y, por último, y no por ello menos importante, a mis padres y sobre todo a mis hermanas, que junto con mi compañero de vida, Ildefonso, forman el equipo perfecto de motivación, ánimo y apoyo condicional que hace que cualquier proyecto del que quiera formar parte llegue a buen puerto.

A todos, mi más profundo agradecimiento.

Índice de Contenido

1.	INTRODUCCIÓN.	1
1.1	Producción de patata en España y en el mundo.....	3
1.2	Producción en Andalucía.....	5
2.	GENERALIDADES DE LA PATATA.	7
2.1	Encuadramiento taxonómico.	7
2.2	Morfología.	8
2.3	Exigencias del cultivo.....	11
2.4	Fisiología del crecimiento	14
2.4.1	Reposo vegetativo y letargo	14
2.4.2	Brotación y emergencia.....	14
2.4.3	Desarrollo vegetativo	15
2.4.4	Tuberización.....	16
2.4.5	Maduración y senescencia.....	17
2.5	Cultivo de la patata.	17
2.5.1	Plantación	17
2.5.2	Fertilización.....	18
2.5.3	Manejo del riego.....	19
2.5.4	Destrucción de matas	21
2.5.5	Recolección	22
3.	SISTEMAS DE RIEGO Y SALINIDAD EN EL CULTIVO DE LA PATATA.	23

3.1	Acción y efectos del agua según técnicas de riego.....	23
3.2	El problema de las sales en riego localizado.	24
3.3	Efectos del estrés salino en el cultivo.....	27
4.	ANTECEDENTES.....	31
5.	OBJETIVOS.....	33
6.	MATERIAL Y MÉTODOS.....	34
6.1	Descripción de la finca.	34
6.1.1	Situación.....	34
6.1.2	Clima.....	35
6.1.3	Características del suelo.....	37
6.1.4	Características del agua.....	41
6.2	Material vegetal y labores realizadas.....	43
6.2.1	Material vegetal.....	43
6.2.2	Labores realizadas.....	44
6.3	Diseño experimental.....	50
6.3.1	Metodología y evaluación del ensayo.....	52
6.3.2	Metodología del análisis de los datos obtenidos.....	58
6.3.3	Productividad del cultivo.....	59
7.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	62
7.1	Datos obtenidos.....	62
7.1.1	Datos de producción.....	62

7.1.2	Datos de calibres	68
7.1.3	Curvas de Producción en función de las necesidades e lavado.....	70
7.1.4	Cobertura foliar.	71
8.	CONCLUSIONES.	75
9.	BIBLIOGRAFÍA.....	76
10.	ANEXOS.....	80
10.1	Imágenes del antes y después del episodio de vientos fuertes y sus correspondientes porcentajes de cobertura de la superficie del suelo.	81
10.2	Diagrama de flujo de una planta desaladora.....	82

i. Índice de Tablas.

Tabla 1. Clasificación botánica de la patata.....	7
Tabla 2. Requerimientos nutricionales de la patata	12
Tabla 3 . Tolerancia y rendimiento potencial del cultivo de la patata influenciado tanto por la salinidad del suelo (CE_e) como la del agua de riego (CE_w).....	14
Tabla 4. Características de la lluvia para que sea efectiva.....	26
Tabla 5 . Resultado del análisis de suelo	38
Tabla 6. Interpretación de los valores de salinidad para C.E (1:5).....	39
Tabla 7. Niveles de salinidad según C.E.....	39
Tabla 8. Análisis del agua de riego procedente del pozo del centro IFAPA Chipiona.....	41
Tabla 9. Valores de referencia de conductividad eléctrica del agua (CE_w) y de la relación de adsorción del sodio (RAS).....	42
Tabla 10. Características de la variedad de patata “Spunta”	44
Tabla 11. Actuaciones fitosanitarias y de control de malas hierbas sobre el cultivo.....	49
Tabla 12. Denominación de los distintos sistemas de riego presentes en el ensayo combinados con los distintos tratamientos de salinidad aplicados.	51
Tabla 13. Valores de la Kc de la patata y duración de las distintas fases del cultivo.....	57
Tabla 14. Dosis de riego mensual aplicada.....	57
Tabla 15. Datos referentes a la sensibilidad frente a la salinidad del cultivo de la patata.	59

ii. *Índice de Figuras.*

Figura 1. Gráfico de la superficie de España donde se cultiva patata.....	4
Figura 2. Evolución de la superficie y producción del cultivo de la patata en Andalucía en el período de tiempo 2000-2015.	5
Figura 3 . Evolución en Andalucía de la superficie, producción y rendimiento del cultivo de la patata.	6
Figura 4. a) Morfología de la planta de la patata y b) partes de un tubérculo	8
Figura 5. Mapa de la provincia de Cádiz con la demarcación de las distintas comarcas agrarias que la forman.	34
Figura 6. Localización geográfica de la parcela experimental y de la estación agroclimática de referencia.....	35
Figura 7. Estación meteorológica del centro IFAPA Chipiona.	36
Figura 8. Media de datos climáticos de temperatura máxima y mínima y la evapotranspiración de referencia registrado en la estación agroclimática del Centro IFAPA Chipiona correspondiente al periodo del cultivo de los años 2006-2016.	36
Figura 9. Datos climáticos acumulados de la precipitación y la evapotranspiración de referencia en mm/ día registrados en la estación agroclimática del Centro IFAPA Chipiona correspondiente al periodo del cultivo de los años 2006-2016.....	37
Figura 10. Patata variedad “Spunta”.....	43
Figura 11. Alomado y conformación de caminos.....	45
Figura 12. Pantalla en parcelas de aspersores.....	46
Figura 13. Ensayo una vez sembrado y con el sistema de riego colocado.	47
Figura 14. Tubérculo señalado por la línea de corte antes de la siembra..	48
Figura 15. Siembra del ensayo.....	48

Figura 16. Levantamiento de los lomos con la cosechadora de patatas para dejar los tubérculos en la superficie.	50
Figura 17. Esquema de la disposición de las parcelas del ensayo.	52
Figura 18. Planta desaladora.	53
Figura 19. a) Soporte para la toma de imágenes para la determinación del porcentaje de superficie ocupado por la cubierta vegetal. b) Apoyo del teléfono móvil para realizar la fotografía.....	54
Figura 20. Esquema de la toma de imágenes de cobertura foliar.	55
Figura 21. Imágenes de la aplicación CANOPEO.....	55
Figura 22. Precipitaciones y evapotranspiración de referencia dados durante el periodo del cultivo hasta que se finalizó el riego.....	58
Figura 24. Producciones medias obtenidas en el ensayo	62
Figura 25. Acumulación de sales del agua de riego para diferentes métodos de riego.	63
Figura 26. Movimiento del agua y de las sales en el bulbo húmedo en riego localizado.....	64
Figura 27. Precipitaciones y evapotranspiración de referencia en cada fase del cultivo.....	65
Figura 28. Comparación de las producciones obtenidas en el ensayo para riego con goteo con las producciones teóricas alcanzables calculadas según el modelo Mass and Hoffman (1977).	67
Figura 29. Comparación de las producciones obtenidas en el ensayo para riego por aspersion con las producciones teóricas alcanzables calculadas según el modelo Mass y Hoffman (1977).....	68
Figura 30. Diferenciación de la producción comercial frente a la no comercial referidas a la producción total y resultados del análisis estadístico de los datos de producción comercial ..	69
Figura 31. Influencia de la fracción de lavado sobre la producción en función de la conductividad del agua de riego.	70

Figura 32. Evolución de la cubierta vegetal a partir de las fechas de máxima cobertura.	72
Figura 33. Velocidad del viento durante el periodo del cultivo. Fuente.....	73
Figura 34. Tratamientos de aspersión y goteo con agua de riego de pozo (3dS/m) a fecha de 18 de abril de 2017.....	81
Figura 35. Tratamientos de aspersión y goteo con agua de riego de pozo (3dS/m) a fecha de 2 de mayo de 2017.	81

1. INTRODUCCIÓN.

La papa o patata (*Solanum tuberosum* L.) es un alimento versátil y tiene gran contenido de carbohidratos, es popular en todo el mundo y se prepara y sirve en una gran variedad de formas (FAO, 2008).

En el caso de contar con un suministro hídrico suficiente y de buena calidad, no resulta necesario el estudio tanto de la influencia de las características del suelo como de la calidad del agua de riego sobre el cultivo. Sin embargo, hoy día, cada vez es más frecuente la escasez de agua debido a la sobreexplotación de los acuíferos fruto de la creciente demanda, lo cual impide la recuperación de estas fuentes de aprovisionamiento en los periodos de recarga, y conlleva al agotamiento de los recursos hídricos. En el caso de la agricultura, las dotaciones se hacen deficitarias y se tiene que recurrir al empleo de agua de baja calidad.

Ejemplos de problemas de sobreexplotación de los acuíferos que provocan la salinización por intrusión marina, son las marismas del Guadalquivir y zonas costeras, las zonas de Andalucía más afectadas, llegando a estar hoy día, un tercio de los suelos agrícolas afectados por salinidad.

Los efectos negativos de la salinización se traducen en una disminución del rendimiento de los cultivos y de manera irreversible, en la inaptitud del suelo para el cultivo (Baena, s.f.).

La producción y el calibre del cultivo de la patata están condicionado por varios factores, ya sean climáticos, edáficos o endógenos de la planta. De estos factores, en la zona de la costa Noroeste de la provincia de Cádiz, la salinidad del suelo y la calidad del agua de riego hacen que cobren especial importancia para el cultivo de la patata por ser esta provincia de Andalucía la que mayor superficie destina a este cultivo, unas 2.015

hectáreas según el Informe sobre la Patata en Andalucía de 2015. Debido a la importancia que adquiere en nuestro entorno y la inminente disminución de su cultivo se hace necesario la realización de un estudio para la optimización del mismo.

Para la realización de dicho ensayo se ha utilizado la variedad de patata “*Spunta*” y se ha sometido a distintas salinidades mediante el empleo de una Planta de Desalación por Ósmosis Inversa.

Este Proyecto Fin de Grado se enmarca dentro de los ensayos realizados por el Instituto de Investigación y Formación Agraria y pesquera de Andalucía (IFAPA) en la localidad de Chipiona, destinados a investigar distintos tipos de sistemas de riego y de salinidad en el agua de los mismos para poder así generar información y recomendaciones de interés sobre el cultivo. Los medios y la financiación requeridos para realizar este ensayo han sido facilitados por dicho IFAPA.

El ensayo se ha llevado a cabo bajo la coordinación del profesor D. Luís Andreu Cáceres y del técnico especialista D. Benito Salvatierra Bellido.

1.1 Producción de patata en España y en el mundo

A nivel mundial, la papa se cultiva en más de 100 países. A pesar de que es esencialmente un “cultivo de clima templado”, la podemos encontrar tanto en este tipo de clima, como en clima subtropical y tropical. Para su producción, el límite principal lo marca la temperatura, ya que a temperaturas inferiores a 10°C y superiores a 30° se inhibe completamente el desarrollo del tubérculo, mientras que en los lugares donde la temperatura diaria se mantiene de media entre 18° y 20°C ocurre la mejor producción.

Debido a esto, es en las zonas templadas donde la papa se siembra a principios de primavera y a finales del invierno en las regiones más cálidas y se siembra durante los meses más frescos del año en los lugares de clima tropical caliente.

Por su elevado contenido en almidón, la papa se posiciona en el cuarto lugar mundial en importancia como alimento, después del maíz, el trigo y el arroz (FAO, 2008).

En España, el cultivo de la patata tiene una gran importancia, por lo que se lleva a cabo en menor o mayor intensidad en todas las regiones del país (Figura 1). Se puede afirmar que prácticamente en cualquier época del año se puede encontrar en el territorio español alguna zona donde se está arrancando patata puesto que no existen limitaciones climáticas excluyentes para su cultivo (Alonso, 2002).

España ocupa el octavo lugar dentro de los 28 países que forman la Unión Europea, sin embargo, es la que presenta mayor calendario de producción de patata (Alonso, 2017).

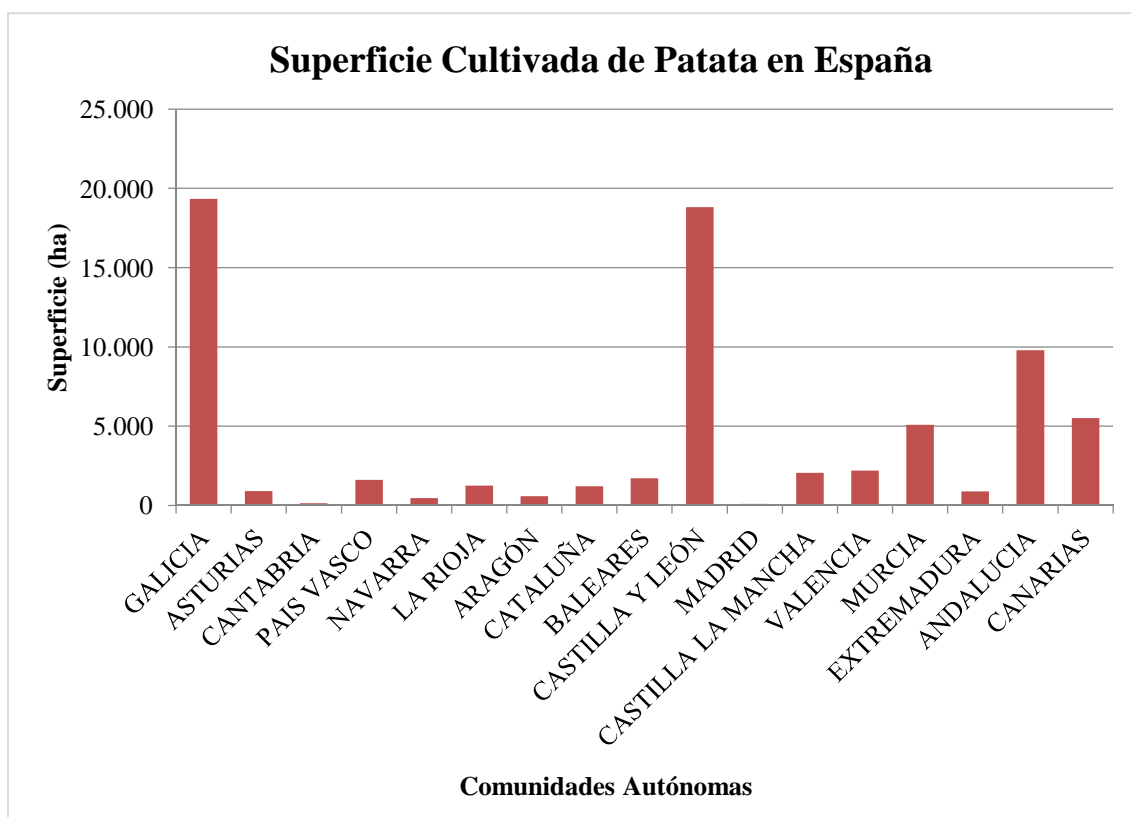


Figura 1. Gráfico de la superficie de España donde se cultiva patata. Elaboración propia a partir de los datos del Informe sobre patata en Andalucía 2015 de la Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural de la Junta de Andalucía.

A pesar de ello, en la siguiente gráfica (Figura 2), se observa como la superficie destinada al cultivo de patata ha ido disminuyendo en los últimos 15 años, llegando a verse mermada en un 60 % en 2015.

Por otro lado, la producción muestra que a pesar de que la superficie es menor, el descenso de ésta ha sido de un 79% por lo que nos indica que los rendimientos han aumentado.

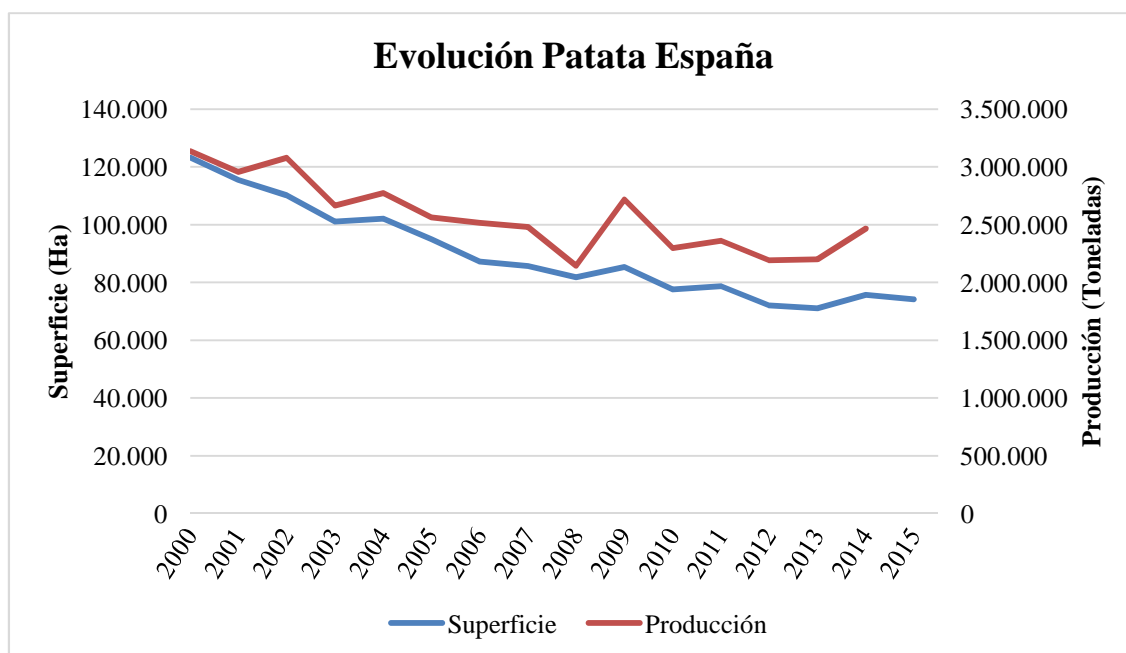


Figura 2. Evolución de la superficie y producción del cultivo de la patata en Andalucía en el período de tiempo 2000-2015. Elaboración propia a partir de los datos del Informe sobre patata en Andalucía 2015 de la Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural de la Junta de Andalucía.

1.2 Producción en Andalucía

En Andalucía, debido a su climatología, el cultivo de la patata puede tener lugar prácticamente a lo largo de todo el año. Por este motivo, se clasifican las producciones obtenidas según terminología del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente de la siguiente manera:

- **Patata Extratemprana:** Se saca para ser comercializada entre el 15 de diciembre y el 15 de abril, pero se siembra entre los meses de septiembre a octubre del año anterior.
- **Patata Temprana:** Se comercializa entre el 15 de abril y el 15 de junio, sembrándose en los meses de diciembre a enero de ese mismo año.
- **Patata de Media Estación:** Se siembra en febrero-marzo y se arranca entre el 15 de junio y el 15 de septiembre.

- **Patata Tardía:** Se siembra en verano y se recoge entre el 15 de septiembre y el 15 de enero del año siguiente.

La gráfica siguiente (Figura 3) muestra las superficies sembradas en Andalucía de patata total (suma de las cuatro categorías) notándose como en los últimos 15 años ha disminuido un 58% influyendo en este hecho varios factores:

1. Los elevados costes del cultivo.
2. Las restricciones de agua en años de sequía.
3. Los problemas de mercado que ha sufrido en muchas ocasiones.
4. La falta de relevo generacional en el campo.

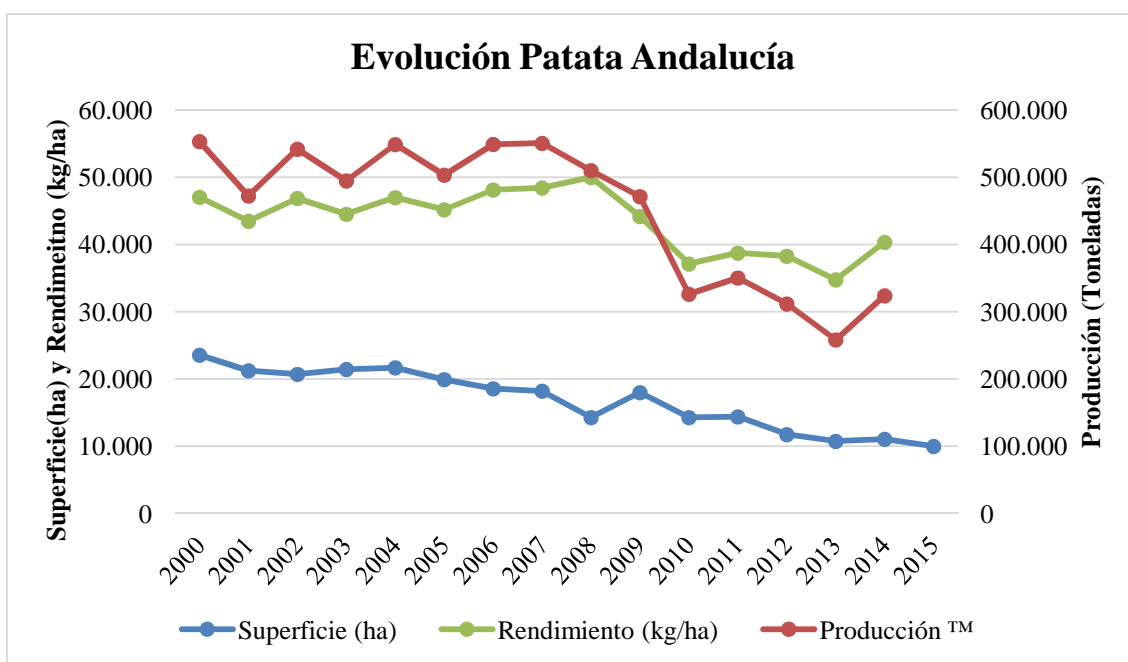


Figura 3 . Evolución en Andalucía de la superficie, producción y rendimiento del cultivo de la patata. Elaboración propia a partir de los datos del Informe sobre patata en Andalucía 2015 de la Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural de la Junta de Andalucía.

2. GENERALIDADES DE LA PATATA.

2.1 Encuadramiento taxonómico.

La patata pertenece al género *Solanum* L. dentro del cual existen alrededor de 2000 especies, de las cuales 187 son de patata. De las diferentes especies cultivadas solo se reconocen 8 con importancia comercial.

Solanum tuberosum L., especie tetraploide, siendo las subespecies *andigenum* Juz. et Buk., y *tuberosum* (L.) Mill. las más cultivadas (Tabla 2). La subespecie *tuberosum* (L.) Mill. es la que mejor se ha adaptado en Europa y los países nórdicos por ser de fotoperiodo largo (Hawkers, 1990 y Masson et al.,2008).

Tabla 1. Clasificación botánica de la patata.

Clasificación botánica	
Reino	<i>Plantae</i>
División	<i>Magnoliophyta</i>
Clase	<i>Magnoliopsida</i>
Orden	<i>Solanales</i>
Familia	<i>Solanaceae</i> Juss.
Subfamilia	<i>Solanoideae</i>
Tribo	<i>Solaneae</i>
Género	<i>Solanum</i> L.
- Especie diploides	<i>S. ajanhuiri</i> , <i>S. goniocalyx</i> , <i>S. phureja</i> , <i>S. stenotomun</i>
- Especies triploides	<i>S. chaucha</i> , <i>S. juzepozukii</i>
- Especies tetraploides	<i>S. tuberosum</i> L.
-- Subespecies	<i>tuberosum</i> (L.) Mill. <i>andigenum</i> Juz. et Buk.
- Especies pentaploides	<i>S. curtilobum</i>

Fuente: Hawkers (1990) y Masson et al. (2008).

2.2 Morfología.

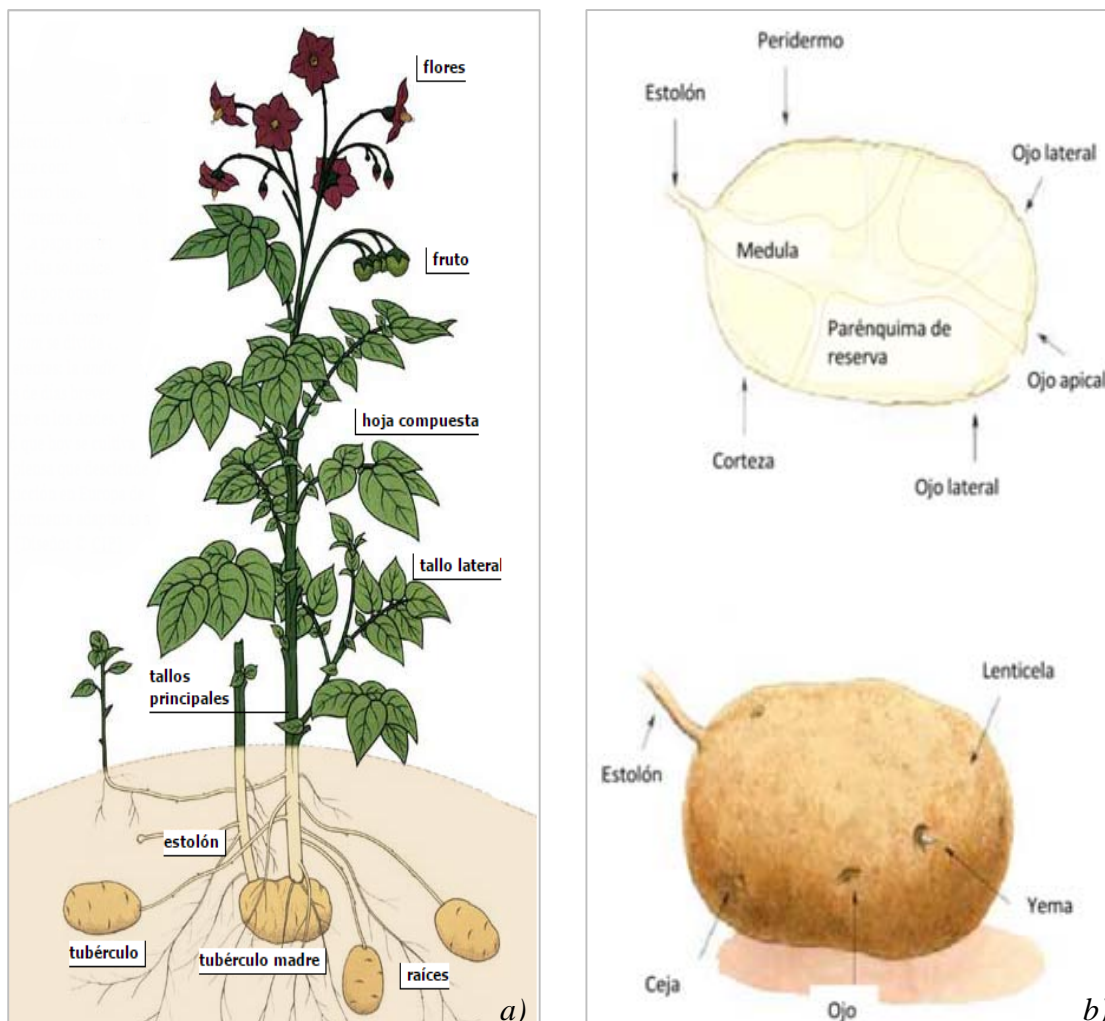


Figura 4. a) Morfología de la planta de la patata y b) partes de un tubérculo. Fuente: Montoya (2013).

Planta dicotiledónea herbácea anual que debido a su capacidad de reproducirse por tubérculos es potencialmente perenne (Alonso, 2002) y cuyo hábito de crecimiento varía entre especies y subespecies (Montoya 2013). Está provista de un sistema caulinar aéreo y otro subterráneo (Maroto, 1995).

La parte aérea está compuesta por los tallos, las hojas, las flores y los frutos.

Tallos.

Los tallos que crecen directamente del tubérculo madre, son gruesos, fuertes y angulosos, y pueden alcanzar en el momento de máximo desarrollo entre 0,5 y 1 m. Los

tallos aéreos, son normalmente de color verde ramificados y el corte de la sección transversal es hueco y triangular. La parte más baja del tallo es redonda y, sólida(Alonso 2002) llegándose a encontrar relativamente lignificadas en etapas avanzadas del desarrollo, además de producir ramas laterales(Montoya, 2013).

Hojas.

En su madurez, son hojas compuestas, imparipinnadas con 9 o más folíolos cuyo tamaño aumenta conforme más alejados se encuentran del nudo de inserción y que están provistas de pelos o tricomas, los cuales también están presentes en las demás partes aéreas de la planta. Existen más estomas en la superficie inferior de las hojas que en la superior y la forma de sus hojas pueden verse modificada en función de la temperatura y el número de horas de luz. (Alonso,2002).

Es una planta que posee gran capacidad para rebrotar y emitir hojas nuevas, lo que le permite al cultivo a lo largo del desarrollo altos niveles de defoliación sin que existan efectos significativos sobre el rendimiento(Montoya, 2013).

Flores y frutos

La inflorescencia está formada por flores bisexuales de número y colores diversos según las variedades. Frutos tipo baya con numerosas semillas, conocidas como semilla “verdadera” para poderlas distinguir de los “tubérculos –semillas” o tubérculos madre (Montoya, 2013).

La parte subterránea está compuesta por las raíces, los estolones y los tubérculos.

Raíces y estolones.

Las raíces son muy ramificadas, finas y largas, dependiendo de que el suelo esté más o menos mullido. El enraizamiento se produce cerca de la superficie, no profundizando más de 40 a 50 centímetros.

Los estolones de la planta son tallos laterales, normalmente subterráneos (Alonso, 2002).

Las raíces y estolones se desarrollan a partir del tallo subterráneo, entre el tubérculo madre y la superficie del suelo; por lo cual, el tubérculo debe ser plantado a una profundidad tal que le permita una adecuada formación de raíces y estolones, aproximadamente a unos 20-30 cm de la superficie.

Hay que tener en cuenta que, al estar el sistema radicular formado por raíces adventicias, durante las primeras etapas del cultivo éstas se van a situar en la zona superficial del suelo extendiéndose horizontalmente, y posteriormente entonces se extenderán hacia abajo. De esta forma, el suelo que queda justo debajo de la planta queda desprovisto de sus propias raíces (Alonso, 2002).

Tubérculos.

Los tubérculos son parte del tallo que se ha adaptado para almacenar reservas y para la reproducción. Éste se forma en el extremo del estolón al acumularse ahí reservas debido al rápido desarrollo y división celular. El tubérculo se desprende de la planta cuando la unión con el estolón muere. Esto ocurre cuando se alcanza la madurez o se rompe durante la recolección.

La composición del tubérculo fresco en valores medios puede ser:

Agua: 65-85%

Hidratos de Carbono: 15-28%

Proteínas: 1-4%

Grasas: 0,05-0,9%

Cenizas: 0,5-1,5%

2.3 Exigencias del cultivo

Temperatura

La temperatura óptima para el desarrollo del cultivo está entre 13 y 18°C. A temperaturas superiores, entre 20-25°, se produce un mayor desarrollo vegetativo que va en perjuicio de la producción de tubérculos. De manera contraria, a temperaturas por debajo de 6-8°C se produce el cero vegetativo, es decir, el crecimiento de la planta se detiene, aunque por encima de los 2°C los brotes pueden crecer. Para algunos autores, la planta alcanza su cero vegetativo entre temperaturas de 5 y 7°C (Ortega et al., 2013) aunque para otros, si se alcanzan los 0°C, se congela la parte aérea de la planta, sin embargo, no pierde la capacidad de rebrotar en el caso de que aumente la temperatura. La planta se congela y muere perdiendo la capacidad de rebrote a temperaturas inferiores a -2°C.

En el momento de la plantación es necesario que la temperatura del suelo sea superior a 7°C, siendo la óptima para la formación de tubérculos entre 15 a 20°C. A partir de los 20°C, el ritmo de crecimiento va disminuyendo llegando a detenerse una vez alcanzados los 30°C. Temperaturas superiores a 23°C, se retrasa el inicio del crecimiento y el volumen de los mismos debido a que el reparto de asimilados hacia los tubérculos disminuye (Rodríguez, 2010).

Fotoperiodo

Según Contreras (2002), en función de la especie y la variedad el cultivo de la patata presenta diferentes respuestas frente a la longitud del día. Se requiere un fotoperiodo más largo para el desarrollo de la planta (más de 14 horas de luz) y para el proceso de tuberización fotoperiodo corto (hasta 14 horas de luz).

Bajo condiciones de día corto, la tuberización en las plantas se produce tempranamente presentando estolones cortos y una vegetación que no alcanza grandes tamaños. Por el contrario, en condiciones de día largo, La tuberización ocurre más tarde, la longitud de los estolones es mayor y la parte aérea crece más. Puede darse el caso de variedades que en zonas o épocas de día largo no llegan a tuberizar (Alonso, 2002).

Nutrición mineral y disponibilidad de agua.

Los distintos genotipos varían en cuanto a la eficiencia de utilización y translocación de los nutrientes a los sitios donde se realiza la actividad metabólica. Aun así, se puede considerar los requerimientos nutricionales siguientes (Tabla 2):

Tabla 2. Requerimientos nutricionales de la patata por hectárea para una densidad poblacional promedio de 25.000 plantas /hectárea y un rendimiento de tubérculos de 50 t/ha.

Cantidad (kg)	Nutrientes
250	N
92	P ₂ O ₅
360	K ₂ O
20	Mg
25	S
15	Ca
6	Fe
3	Zn
2,5	Mn
2	B
0,5	Cu
0,1	Mo

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de Rodríguez,(2010).

La disponibilidad del agua en el suelo no puede ser inferior al 30% para poder alcanzar óptimos rendimientos puesto que la planta de la papa es muy sensible al estrés por déficit hídrico. Para poder alcanzar los rendimientos mencionados, hay que poner a

disposición de la planta un adecuado suministro de agua desde el inicio de la tuberización hasta que la planta alcance la madurez fisiológica. De esta forma, nos aseguramos de obtener altos rendimientos de excelente calidad. Si durante la etapa de expansión del follaje, la planta sufre estrés hídrico, ésta reduce la eficiencia fotosintética, con ello el crecimiento del follaje y se ve afectada la repartición de los asimilados en el caso de que ya existan tubérculos iniciados en la planta. De igual modo, ese reparto de asimilados provoca un acortamiento del ciclo de vida del cultivo alcanzándose una madurez temprana.

Si la sequía se produce durante el periodo de tuberización y llenado de los tubérculos se produce un efecto drástico sobre el rendimiento, disminuyendo tanto el número de tubérculos como el tamaño y calidad de los mismos (Rodríguez, 2010)

Salinidad

Las patatas son relativamente sensibles a la salinidad, particularmente en las primeras etapas de crecimiento, presentando un nivel de tolerancia a la salinidad. Alrededor del 74% del rendimiento normal de un cultivar se puede obtener bajo riego de superficie con agua de salinidad de 2-4 dS/m y para el caso de riego localizado de 3-4 dS/m. Sin embargo, el efecto del nivel de salinidad del agua de riego depende del cultivar (Patel et al., 2001).

En la siguiente tabla se observa cómo influye sobre el rendimiento la salinidad presente en el suelo y en el agua de riego sobre el cultivo de la patata.

Tabla 3 . Tolerancia y rendimiento potencial del cultivo de la patata influenciado tanto por la salinidad del suelo (CE_e) como la del agua de riego (CE_w).

Cultivo	100%		90%		75%		50%		0% (máximo)	
	CE_e	CE_w	CE_e	CE_w	CE_e	CE_w	CE_e	CE_w	CE_e	CE_w
Patata	1,7	1,1	2,5	1,7	3,8	2,5	5,9	3,9	10	6,7

Fuente: (Ayers & Westcot, 1994)

2.4 Fisiología del crecimiento

La duración del ciclo vegetativo de la patata es muy variable, depende del estado fisiológico de los tubérculos que han sido utilizados en la plantación, del conjunto de factores agroclimáticos y de las variedades utilizadas.

2.4.1 Reposo vegetativo y letargo

Emilsson (1949) define en el tubérculo de patata, a partir del momento de su recolección, en primer lugar, un periodo de reposo vegetativo durante el cual el tubérculo es incapaz de brotar, incluso siendo colocado en un medio de condiciones favorables para la brotación, como lo son una temperatura y una humedad relativamente elevadas; y después un periodo de letargo, durante el cual el tubérculo puede ser mantenido sin brotación por aplicación de condiciones subóptimas.

Tras la plantación del tubérculo, sus gérmenes se alargan hasta alcanzar el nivel del suelo, lo que constituye el estadio de nascencia. Al mismo tiempo, las raíces comienzan su elongación y ramificación (Ellissèche, D., 1999). Durante este periodo la planta depende de las reservas del tubérculo madre.

2.4.2 Brotación y emergencia.

El tubérculo comienza a brotar cuando es colocado en condiciones favorables (16-20°C; 60-80% de humedad relativa) inmediatamente después de la finalización de su reposo vegetativo. Generalmente, es el brote principal del ojo situado en el ápice de la

corona el que primero entra en crecimiento activo dando nacimiento a un germen. Cualquiera que sea el grosor del tubérculo, este germen ejerce entonces durante cierto tiempo, sobre todos los demás brotes, una dominancia apical que impide su brotación. Otro cierto número de ojos del tubérculo producirán posteriormente gérmenes. Dicho número es tanto mayor cuanto más grueso es el calibre del tubérculo, pero también parece ligado a un post-efecto de la dominancia apical, más menos marcado según variedades.

2.4.3 Desarrollo vegetativo: Desde la emergencia hasta el inicio de la tuberización.

Es una fase de fuerte desarrollo vegetativo, cuya velocidad va disminuyendo hasta poco antes de iniciarse la tuberización. Es la etapa donde se produce el crecimiento de hojas, tallos, raíces y hacia el final de la misma también estolones. En las primeras etapas del desarrollo, la planta crece a expensas de las reservas acumuladas en el tubérculo madre que debido a su alto contenido de reservas hace posible una rápida expansión del aérea foliar en condiciones óptimas. Conforme éste área foliar va aumentando, se va volviendo más fotosintéticamente activa, por lo que pasa a ser la fuente principal de asimilados.

En condiciones óptimas de crecimiento, el cultivo de la patata puede llegar a cubrir el suelo en su totalidad en unos 40-45 días después de la emergencia.

Con el inicio de la tuberización llega el final de esta etapa el cual viene determinado fundamentalmente por factores ambientales, como la temperatura y la duración del día, que pueden verse modificados por las prácticas culturales: una mayor densidad de plantación, el abastecimiento oportuno de agua y el suministro adecuado de nutrientes,

favorecerán un desarrollo acelerado. El aporte excesivo de nitrógeno pueden retrasar la formación de tubérculos al prolongar el desarrollo vegetativo(García, 2014).

2.4.4 Tuberización

Una vez que los tallos principales de la planta se han desarrollado lo suficiente, la yema apical se diferencia en floral, disminuye la dominancia apical, y las yemas subterráneas del tallo que están más cerca del tubérculo madre brotan originando los estolones. Dichos estolones continúan su elongación hasta que reciben estímulos para iniciar la tuberización. Es entonces cuando cesa el crecimiento en longitud y el extremo del estolón se ensancha.

La formación de los estolones normalmente comienza en los nudos que están más abajo en el tallo, bajo tierra. Los primeros tubérculos a su vez se forman en los estolones de más abajo y tienden a dominar sobre los que se han formado más tarde(Alonso, 2002).

Entre 3 y 5 semanas desde la emergencia, comienza el inicio del crecimiento de los tubérculos. Es en esta etapa donde los asimilados disponibles se comparten entre el crecimiento del área foliar y el crecimiento de los tubérculos y estolones. En la medida que se forman cada vez más tubérculos, estos aumentan de tamaño y un porcentaje cada vez mayor de los asimilados disponibles se destina a ellos en detrimento del crecimiento del follaje. Por ello, se detiene la ramificación y la aparición de hojas nuevas y al final de la etapa se produce el cese definitivo del crecimiento del follaje (García, 2014).

Durante su engrosamiento, los tubérculos se encuentran en un estado de reposo vegetativo y sus yemas son incapaces de crecer para dar gérmenes. Al final del reposo, la germinación a ser posible, lo que constituye el punto de partida de un nuevo ciclo.

2.4.5 Maduración y senescencia.

El follaje alcanza su máximo desarrollo a partir de la floración, es entonces cuando comienza a declinar porque no hay desarrollo de hojas nuevas. Todos los asimilados disponibles se destinan al crecimiento de los tubérculos, por lo que es la fase de máximo crecimiento o llenado de los mismos, que se prolonga hasta que el follaje está casi totalmente muerto. El área foliar en su conjunto va gradualmente bajando su eficiencia fotosintética, ya que las hojas más viejas van muriendo, por lo que llega un momento que dicha eficiencia fotosintética no es suficiente para mantener el crecimiento de los tubérculos. La planta toma un color amarillento y es en este punto cuando el tubérculo alcanza su máximo contenido de materia seca y tiene la piel bien formada. El desarrollo de los tubérculos continúa aún después de que el follaje comienza a amarillear, alcanzándose el máximo rendimiento en cada planta cuando, aproximadamente, un 50% de su follaje se encuentra seco.

2.5 Cultivo de la patata.

2.5.1 Plantación

La temperatura y humedad del suelo en el momento de la plantación influyen directamente sobre la rapidez de la brotación. A temperaturas por debajo de 6°C, los gérmenes prácticamente no crecen y se puede incrementar los riesgos de formación de tubérculos hijos en algunas variedades si las patatas de siembra están muy incubadas.

Una excesiva humedad retrasa el calentamiento del suelo y aumenta los riesgos de podredumbre de los tubérculos (Van Kempen et al., 1999).

La siembra se realizará a una profundidad de 10-20 cm dependiendo del tipo de suelo y del calibre de la simiente; en suelo con tempero por debajo del 80% de la capacidad de campo y con temperaturas superiores a 7°C(BOJA, 2001).

2.5.2 Fertilización.

La patata es un cultivo que responde muy bien a la aplicación de nutrientes, ya sea en forma de estiércol o bien en forma de fertilizantes minerales. La aplicación de estiércol no sólo beneficia al cultivo en cuanto que aporta el nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) que contiene, sino que también mejora la estructura y la capacidad de retención de humedad del suelo. La extracción de los principales nutrientes del suelo por parte de un cultivo de patata por cada tonelada de tubérculos producida y por hectárea se estima en:

- 5 kg de N
- 2 kg de P₂O₅
- 9 kg de K₂O
- 4 kg de CaO
- 1 kg de MgO

Una parte de estos elementos minerales contenidos en el sistema radicular y en la parte aérea quedan en el suelo puesto que sólo son los tubérculos la parte que se saca del mismo. Aunque estos valores son indicativos y varían en función de la variedad, duración del ciclo, etc., nos dan una idea aproximada del nivel de exigencias del cultivo (Alonso, 2002).

El nitrógeno (N) es reconocido como el nutriente más limitante para los cultivos de patata (Sun et al.,2012). El rendimiento de la papa se ve muy afectado por la disponibilidad de nutrientes, por lo que la investigación en términos de fertilización apropiada ha recibido mucha atención en todo el mundo. Inadecuada fertilización de N conduce al crecimiento y rendimiento de la patata más pobre, mientras que el uso

excesivo de N lleva a la madurez retrasada, a una mala calidad de los tubérculos, y en ocasiones una reducción de la producción de éstos.

La aplicación de N, por un lado, promueve el crecimiento vegetativo, retrasa la iniciación de tubérculo y la senescencia del follaje, y por otro, aumenta el tamaño y rendimiento del tubérculo (Muttucumaru et al, 2013).

2.5.3 Manejo del riego.

La patata es un cultivo de clima templado, que crece y se desarrolla bien en climas o estaciones frías y húmedas, pero también se cultiva en zonas tropicales en las regiones climáticas sub-polares, y representa un importante cultivo alimentario en muchos países. Entre los muchos factores ambientales que afectan al rendimiento, el suministro de agua es un factor limitante importante en la producción y la calidad de las patatas. La patata es conocida por ser sensible al déficit de agua (Ierna y Mauromicale, 2012).

En la región de la costa mediterránea, el riego es fundamental para elevar la producción de patata temprana. En efecto, el cultivo se planta durante los meses de invierno cuando la lluvia normalmente supera la evaporación, pero en sucesivas etapas del crecimiento de la parte aérea y del tubérculo desde el final del invierno hasta toda la primavera, la lluvia disminuye mientras que la evapotranspiración y la temperatura aumentan causando así un considerable déficit de humedad del suelo. Por lo tanto, cultivar patata temprana en esta región es recurrir por lo general a riego durante la primavera, coincidiendo con la fase de engorde y crecimiento del tubérculo. Sin embargo, el manejo del agua dentro de la región del Mediterráneo se lleva a cabo empíricamente y por lo tanto se caracteriza por una cierta variabilidad en relación con la cantidad de lluvia, distribución de la misma y las características hidráulicas del suelo.

Donde el riego es sistemático. La cantidad de agua suministrada, el número de riegos y sincronización entre riegos puede diferir de una estación a otra.

Según Quiroz (2012), la papa requiere de 0,35 a 0,8 m³ de agua para producir 1 kg de materia seca de tubérculo. En condiciones de campo, se traduce en un requerimiento de agua durante el periodo de crecimiento de 350 a 650 mm, dependiendo del clima y del cultivar. La productividad del agua para el rendimiento del tubérculo fresco, que contiene alrededor del 75 por ciento de humedad, es de 4 a 11 kg / m³. Expresado como masa de tubérculo seco, la productividad del agua de producción oscila entre 1,3 y 2,8 kg / m³. Cuando el suministro de agua es limitado, el suministro disponible debería orientarse preferiblemente hacia la maximización del rendimiento por hectárea en lugar de extender el agua limitada sobre una superficie mayor. El ahorro de agua se puede hacer principalmente a través de la mejora del tiempo y la profundidad de la aplicación de riego.

La escasez de agua se puede traducir en un menor rendimiento, número y tamaño de los tubérculos y pérdida de la calidad de los mismos. Para optimizar el rendimiento, generalmente el agua disponible total del suelo no debe ser agotada en más de 30 a 50 por ciento. El déficit hídrico en las primeras etapas, durante la formación del estolón, el inicio del tubérculo y después del inicio del tubérculo tienen el mayor efecto adverso en el rendimiento final. Aunque el crecimiento foliar es muy sensible al déficit hídrico, si el déficit es moderado y corto, el crecimiento foliar después de que el déficit sea cesado por la lluvia o el riego puede compensar, y el efecto sobre el rendimiento sería menor. La etapa de senescencia es menos sensible, siempre y cuando el déficit no sea suficientemente severo para acortar notablemente la duración de la cubierta vegetal. En general, los déficits hídricos en la parte media a tardía del período de crecimiento tienden a reducir el rendimiento menos que en la primera parte, pero esto puede variar

con el cultivar. Algunos cultivares responden mejor al riego en la etapa anterior de formación de tubérculos, mientras que otros muestran una mejor respuesta en la última parte de esa etapa.

El cultivo es moderadamente sensible a la salinidad del suelo con un umbral de conductividad eléctrica del extracto de pasta saturada del suelo (CE_e) de 2-3 dS / m, alcanzando una pérdida de rendimiento del 100 por ciento a 10 dS / m.

Por regla general, en nuestras condiciones, aproximadamente el 50% del agua que requiere el cultivo se satisface con el riego y el resto con la lluvia; sin embargo, excesivas entradas de agua (más de 250-300 mm por estación de cultivo) distribuidas en unos 15 riegos también es común debido a los métodos de riegos ineficientes (surco, macro-aspersores).

Para un mejor rendimiento, se requiere un adecuado suministro de agua durante todo el tiempo, pero el estrés hídrico durante el periodo de iniciación y engorde del tubérculo reduce el rendimiento más que en cualquier otro periodo (Doorenbos y Kassam, 1980).

2.5.4 Destrucción de matas

Antes de la recolección, la destrucción de las matas, una labor primordial para prácticamente todos los tipos de cultivos de patata.

La eliminación de las matas, en el caso de la patata de consumo, permite controlar en función de su destino, el engrosamiento de los tubérculos y su acumulación de materia seca.

La fecha óptima para la destrucción de las matas puede ser determinada por medio de controles durante la vegetación del engrosamiento de los tubérculos y de su cantidad de materia seca, teniendo en cuenta que esta última disminuye alrededor del 1-1,5%

después de la eliminación de matas, a causa de una ligera recuperación del contenido de los tubérculos.

El tiempo transcurrido entre defoliación y recolección no debe ser prolongado a riesgo de degradar mucho las cualidades de presentación del producto cosechado. Por el contrario, una destrucción de las matas por arranque permite superar la mayor parte de aquellos inconvenientes de tipo sanitario (Van Kempen et al.,1999).

2.5.5 Recolección

La recolección se efectúa cuando los tubérculos están suficientemente maduros, están totalmente suberificados y tienden a desprenderse de los estolones. En ese momento las matas se secan, toman un color amarillento y se vuelven quebradizas.

En el caso de la patata de consumo el momento de la recolección puede adelantarse o retrasarse según las necesidades del mercado:

- Si se trata de patata temprana la cual no va ser sometida a un periodo de conservación antes de ser comercializada, la cosecha puede adelantarse para evitar la destrucción de la parte aérea, aunque las matas estén aun verdes.

- Si la patata va a ser almacenada, se cosechará en plena maduración, para así no sufrir mermas en su calidad durante el almacenamiento (García, 2014).

En el BOJA (2001), las condiciones óptimas de recolección serían: 60-65% de contenido de agua en el suelo y 10-20°C de temperatura en la pulpa del tubérculo.

3. SISTEMAS DE RIEGO Y SALINIDAD EN EL CULTIVO DE LA PATATA.

3.1 Acción y efectos del agua según técnicas de riego.

Según el método de riego empleado, el agua de riego suministrada tiene una acción y un efecto distinto:

- En el riego por aspersión, el agua inunda toda la superficie y sigue movimientos descendientes, llegando a la profundidad prevista en el caso de que la dosis sea la correcta. Si existen problemas de sales y ausencia de drenaje, se programa un tiempo superior de manera que tenga lugar el lavado de las mismas. Si se deja demasiado tiempo sin volver a regar, y la capa freática no está muy profunda, parte de las sales ascenderán provocando problemas más graves.

El uso de un sistema de riego por aspersión con agua salina produce daños sobre la parte aérea de la planta, así como fitotoxicidad debido a la acumulación de sales sobre la misma.

- En riego localizado, los movimientos del agua son también laterales, hacia el exterior de la zona humedecida, por lo que también se produce el ascenso de las sales alrededor de la parte externa de dicha zona, en caso de una evaporación posterior.

A la hora de valorar el riesgo de salinidad se consideran los supuestos siguientes, aunque no siempre se cumplen (Fuentes, 1992):

- Conductividad eléctrica del agua del suelo = 2*CE el extracto de saturación.
- Conductividad eléctrica del agua del suelo = 3*CE de agua de riego.

- Se utiliza una fracción de lavado del 15-20% del agua aplicada.

Esta clasificación no contempla las posibles precipitaciones que se originan cuando se concentra la solución del suelo, cuya importancia depende de los límites de solubilidad de las diferentes clases de sales disueltas. Al producirse precipitaciones disminuye el contenido de sales disueltas, por lo que mejora la calidad del agua en cuanto a salinidad, pero aumenta la sodicidad al verse alterada la concentración de sales disueltas inicialmente.

De manera general, no se recomienda el uso de un sistema de riego por aspersión cuando el agua de riego tiene una conductividad superior a 2 dS/m, puesto que se pueden originar daños en la instalación y quemaduras en las hojas. Si la conductividad del agua es de hasta 2,5 dS/m se puede utilizar el riego localizado, pero con alta frecuencia y controlando los volúmenes aportados. Para aguas con conductividad superior a 2,5 dS/m sólo es apta para regar en cultivo enarenado (Fuentes, 1992).

3.2 El problema de las sales en riego localizado.

Con el agua se disuelven las sales del suelo que en parte son arrastradas has el exterior del bulbo y la otra parte es consumida por la planta.

El agua de riego, a excepción de la que proceda de la lluvia, lleva sales que se van acumulando poco a poco, llegando a imposibilitar al cultivo en el caso de que sean sales tóxicas.

El abonado excesivo puede empeorar la situación acelerando la salinización del suelo.

Es en el bode superficial de la mancha de humedad en el suelo donde se va a localizar la máxima concentración de sales debido a un arrastre lateral y a ascensión capilar de las mismas.

Se suele aconsejar que para riego con aguas de mala calidad:

1°. El uso de riego localizado con aguas salinas sólo en zonas que se puedan drenar y dar riegos que garanticen un buen lavado, o que existan periodos de lluvias copiosas en determinadas épocas del año.

2°. Se continuará regando según el programa de riego previsto o incluso más, aunque llueva, para poder evitar el desplazamiento de las sales desde las zonas salinizadas hacia el interior del bulbo. Si se diesen lluvias ligeras, de esta forma se evitaría el ascenso de las sales, y si fuesen lluvias copiosas, se aseguraría el lavado hacia capas más profundas (Moya, 2009)

Hay que tener en cuenta que no toda el agua de lluvia se puede contabilizar como efectiva a efectos de desalinización puesto que, si la intensidad de las mismas es superior a la velocidad de infiltración del suelo, se producen escorrentías con el consiguiente peligro de erosión y puesto que no llega a infiltrarse no realizaría lavados.

Para que la lluvia fuese efectiva por lo tanto tendría que serlo en cantidad y tiempo.

En Moya (2009), encontramos una tabla donde se detalla en función del tipo de suelo, los valores idóneos para considerar la lluvia efectiva en función de la cantidad y del tiempo.

Tabla 4. Características de la lluvia para que sea efectiva.

Tipo de suelo	Persistencia lluvia (horas)	Cantidad máxima infiltrada (mm/h)
Ligeros	15	12,5
Medios	29	10
Pesados o arcillosos	42	7,5

Nota: Se ha considerado un terreno sin pendiente, seco y que a partir de 1,5 metros no habrá peligro de ascenso de sales.

3°. Si se riega con agua buena, la dosis de riego siempre será superior para contrarrestar la competencia por ósmosis y para alejar la zona de concentración de sales.

Aunque se pueden encontrar fórmulas para calcular el aumento de las dosis, se considera difícil que al incrementar la dosis de riego se consiga un lavado de sales efectivo al no tenerse en cuenta algunas características del suelo como puede ser la variabilidad de la competencia de absorción de agua por el exceso de sales al estar ésta en función del complejo arcillo-húmico; o también, que la dosis de agua que va a lograr el arrastre de sales a capas más profundas depende del tipo de suelo que se trate.

Efecto de la lluvia en función de su tipología.

- Lluvia débil o moderada. Hay que regar al principio para mantener el equilibrio salino dentro del bulbo logrando que el exceso de sales permanezca en la periferia del mismo. Si no se riega, al cabo de unas horas, se rompe dicho equilibrio penetrando las sales en la zona de Porcentaje Hídrico Óptimo (PHO) que viene a ser para riego localizado más del 50 % del total mojado. En esta zona la absorción del agua por aparte de las raíces tiene lugar con muy poco gasto de energía, por lo que es preferible mantener esta situación permanentemente.

Al cabo de unos días, al evaporarse el agua de la superficie, se produce un ascenso hacia la zona inmediatamente superior arrastrando las sales disueltas y salinizando la zona radicular.

- Lluvia copiosa. Al principio, hasta que tengamos la certeza de que la lluvia ha alcanzado las capas profundas, conviene actuar como en el caso anterior.

Si existe un buen drenaje el agua de lluvia arrastrará las sales en su descenso produciendo un lavado de las mismas: pero si ese no es el caso, al cabo de un tiempo se producirá el ascenso de las sales ya que, tanto el agua como las sales se han quedado almacenadas sobre una capa impermeable.

3.3 Efectos del estrés salino en el cultivo.

El objetivo principal del riego es proporcionar al cultivo unas cantidades de agua adecuadas y oportunas evitando así, la pérdida de rendimiento causada por periodos prolongados de estrés hídrico durante las etapas de crecimiento del cultivo que son sensibles a la escasez de agua. Sin embargo, durante los riegos repetidos, las sales del agua de riego pueden acumularse en el suelo, reduciendo el agua disponible para el cultivo y acelerando la aparición de una escasez de agua.

La planta extrae agua del suelo ejerciendo una fuerza de absorción mayor que la que contiene el agua al suelo. Si la planta no puede hacer suficiente ajuste interno y ejercer suficiente fuerza, no es capaz de extraer suficiente agua y sufrirá estrés hídrico. Esto ocurre cuando el suelo se vuelve demasiado seco. La sal en el agua del suelo aumenta la fuerza que la planta debe ejercer para extraer el agua y esta fuerza adicional se conoce como el efecto osmótico o potencial osmótico. Las sales tienen una afinidad por el agua.

Si el agua contiene sal, la planta debe gastar más energía por unidad de agua para absorber agua relativamente libre de sal de una solución relativamente salada de agua y suelo (Ayers y Westcot, 1994).

Existe un problema de salinidad si la sal se acumula en la zona de la raíz del cultivo hasta una concentración que causa una pérdida de rendimiento. En las áreas de riego, estas sales a menudo se originan en una solución salina, una capa alta de agua o de sales en el agua aplicada. Las reducciones de rendimiento se producen cuando las sales se acumulan en la zona de las raíces hasta tal punto que el cultivo ya no es capaz de extraer suficiente agua de la solución salina del suelo, dando como resultado un estrés hídrico durante un período de tiempo significativo. Si la absorción de agua se reduce apreciablemente, la planta disminuye su velocidad de crecimiento. Los síntomas de la planta son similares en apariencia a los de sequía, como el marchitamiento, o un color más oscuro, de color verde azulado y de aspecto semejante al de la cera en la consistencia de las hojas. Los síntomas varían con la etapa de crecimiento, siendo más notable si las sales afectan a la planta durante las primeras etapas de crecimiento. En algunos casos, los efectos suaves de la sal pueden pasar enteramente inadvertidos debido a una reducción uniforme en crecimiento a través de un campo entero.

Las sales que contribuyen a un problema de salinidad son solubles en agua y fácilmente transportadas por ella. Una parte de las sales que se acumulan de los riegos previos puede ser movida (lixiviada) por debajo de la profundidad de enraizamiento, infiltrándose en el suelo una cantidad de agua mayor que la usada por la planta durante la temporada del cultivo. La lixiviación es la clave para controlar un problema de salinidad relacionado con la calidad del agua. Durante un período de tiempo, la eliminación de la sal por lixiviación debe ser igual o superior a las adiciones de sal del agua aplicada para evitar la formación de sal hasta una concentración dañina. La

cantidad de lixiviación requerida depende de la calidad del agua de riego y de la tolerancia a la salinidad del cultivo cultivado.

El contenido de sal de la zona radicular varía con la profundidad. Varía desde aproximadamente la misma que la del agua de riego cerca de la superficie del suelo, a la existente en la parte inferior de la profundidad de enraizamiento. La concentración de sal aumenta con la profundidad debido a que las plantas extraen agua, pero dejando las sales en un volumen muy reducido de agua en el suelo. La menor salinidad en la profundidad de enraizamiento dependerá de la lixiviación que se haya producido.

Después de un riego, el agua más fácilmente disponible está en la zona superior de la raíz, un área de baja de la salinidad. A medida que el cultivo usa agua, la zona de la raíz superior se agota y la zona de agua más fácilmente disponible cambia hacia las partes más profundas a medida que se prolonga el intervalo de tiempo entre los riegos. Estas profundidades inferiores suelen ser más saladas. El cultivo no responde a los extremos de baja o alta salinidad en la profundidad de enraizamiento, sino que integra la disponibilidad de agua y toma el agua desde donde sea más fácilmente disponible. Por lo tanto, el tiempo de riego es importante para mantener una alta disponibilidad de agua en el suelo y reducir los problemas causados cuando el cultivo debe extraer una porción significativa del agua del suelo con mayor facilidad y mayor salinidad en la zona de las raíces. Para una buena producción de cultivos, debe darse igual importancia al mantenimiento de una alta disponibilidad de agua del suelo ya la lixiviación de las sales acumuladas de la profundidad de enraizamiento, antes de que la concentración de sal supere la tolerancia de la planta.

En la agricultura de regadío, muchos problemas de salinidad están asociados o fuertemente influenciados por una capa freática (a menos de 2 metros de la superficie). Las sales se acumulan en esta capa freática y con frecuencia se convierten en una

importante fuente adicional de sal que se mueve hacia arriba en la zona de la raíz del cultivo. Por lo tanto, el control de una capa de agua superficial existente es esencial para el control de la salinidad y para una agricultura exitosa a largo plazo. Un agua de salinidad más alta requiere un agua adicional apreciable para la lixiviación, lo que aumenta considerablemente el problema potencial de la capa freática (drenaje) y hace que el riego en la agricultura a largo plazo sea casi imposible de lograr sin drenaje adecuado. Si el drenaje es adecuado, el control de la salinidad se convierte simplemente en una buena gestión para asegurar que el cultivo se suministre adecuadamente con agua en todo momento y que se aplique suficiente agua de lixiviación para controlar las sales dentro de la tolerancia del cultivo.

El control de la salinidad, sin embargo, se hace más difícil a medida que la calidad del agua se hace más pobre. Como la salinidad del agua aumenta, se debe tener mayor cuidado de lixiviar las sales fuera de la zona de las raíces antes de que la acumulación alcance una concentración que podría afectar los rendimientos. Alternativamente, se deben tomar medidas para plantas tolerantes a la salinidad esperada de la zona de las raíces. La frecuencia de lixiviación depende del agua la calidad y la sensibilidad del cultivo a la salinidad.

4. ANTECEDENTES

La costa noroeste de Cádiz es una zona que presenta problemas de salinidad tanto en suelo como el agua de riego debido a la intrusión salina procedente del mar, al aporte de fertilizantes debido a la intensificación hortícola en la zona y a la llegada aguas abajo del río Guadalquivir (o Quema) de aguas ricas en nutrientes procedentes de otras zonas agrícolas.

En 2016, debido a la inquietud de varios agricultores en lo referente a la disminución de los rendimientos de sus cultivos de patata durante años sucesivos, se planteó la posibilidad de que dicha merma en la producción pudiera tener como principal motivo el aumento de la salinidad en el agua de riego de la zona.

Por ello, el IFAPA centro de Chipiona, puso en marcha un ensayo de salinidad en el agua de riego en el cultivo de la patata. Para llevar a cabo dicho ensayo, contaba con una planta de desalación por ósmosis inversa que adecuaría los distintos tratamientos de sales al agua de riego.

El ensayo ponía en evaluación el cultivo de patata con dos sistemas distintos de riego, riego localizado y aspersión. Este último por ser el más común en la zona y el riego localizado por presentar ciertas ventajas frente a aspersión.

Se dispuso un diseño experimental de bloques al azar con parcelas divididas.

Dentro del riego localizado se introdujeron 4 tratamientos distintos de salinidad: 0,15 dS/m, 1,1 dS/m, agua del propio pozo del centro, que es con la que se riegan los ensayos y este último tratamiento, pero con una fracción de lavado añadida a la dosis de riego. Para el riego con aspersión fueron 3 los tratamientos empleados; 1,1 dS/m, agua de pozo y agua de pozo con fracción de lavado.

Una vez finalizado el ensayo, no hubo resultados significativos que permitieran establecer conclusiones claras al respecto, por lo que se planteó una serie de inconvenientes que pudieran haber sido motivo de estos resultados como:

- Parcelas muy pequeñas que no diesen lugar a representar el ensayo correctamente o con muestras de evaluación de la producción muy pequeñas, pues las muestras se cogieron únicamente del lomo central de cada parcela.
- El posible efecto de la lluvia durante el ensayo que diera lugar a una homogenización de los tratamientos.
- Existencia de gran variabilidad entre los datos arrojados por cada repetición.
- Elección de los distintos tratamientos de valores de salinidad sin justificación lógica al respecto. Se observa que los resultados del tratamiento 0,15 dan valores más bajos que los demás, una hipótesis sería que exista una eliminación por parte de la desaladora de nutrientes presentes en el agua, que a conductividades eléctricas mayores si están presentes. Por otra parte, es un valor de salinidad poco realista a la hora de ser reproducido en el campo.
- No se realiza seguimiento de la parte aérea del cultivo.
- Necesidad de más años de datos para observar la posible evolución.

También se llevaron a cabo un control inicial y final de la salinidad en el suelo que tampoco arrojaron resultados concluyentes y que para el ensayo actual se ha prescindido de evaluar a la expensas de un diseño enfocado a tal fin en los próximos ensayos.

5. OBJETIVOS

El objetivo general de este trabajo es la mejora de la producción de patata tomando como enfoque principal el manejo del sistema de riego y la calidad del agua en la comarca agraria de “Costa Noroeste de Cádiz”.

Dentro de dicho objetivo general se incluyen los siguientes objetivos específicos:

1. Estudiar de manera experimental la influencia de la salinidad del agua del riego y el manejo del riego.
2. Establecer unas recomendaciones para el cultivo relacionadas con la fracción de lavado a aportar en los casos de uso de agua salina en el riego.

6. MATERIAL Y MÉTODOS.

6.1 Descripción de la finca.

6.1.1 Situación.

La comarca agraria de la Costa Noroeste de Cádiz se sitúa al noroeste de la provincia de Cádiz. Los municipios que conforman esta comarca se agrupan en dos partes (Figura 5): agrupación norte (Chipiona, Sanlúcar de Barrameda y Rota) y agrupación sur (Cádiz, San Fernando, Chiclana y Conil de la Frontera).



Figura 5. Mapa de la provincia de Cádiz con la demarcación de las distintas comarcas agrarias que la forman.
Fuente: Google Imágenes.

El ensayo se llevó a cabo en una parcela experimental situada en el interior del recinto del Centro IFAPA de Chipiona ($36^{\circ} 45' 03''$ N, $06^{\circ} 23' 59''$ W) situado en Camino de Esparragosa s/n, en la localidad de Chipiona, Cádiz.

Las coordenadas geográficas de la parcela donde se realiza el ensayo son:

Latitud: 36° 45' 0.44 "N

Longitud: 6° 24' 3.20" O

Altitud: 7 m sobre el nivel del mar.



Figura 6. Localización geográfica de la parcela experimental y de la estación agroclimática de referencia. Fuente: Google Maps.

6.1.2 Clima

Los datos climáticos de la zona quedan reflejados en una de las estaciones agroclimáticas pertenecientes a la Red de Información Agroclimática (RIA) de la Junta de Andalucía. Esta estación se encuentra situada en el propio Centro IFAPA de Chipiona a unos 65 metros de la parcela donde se realiza el ensayo. Dicha estación comienza a ser operativa en 2004 registrando diariamente los parámetros climáticos cada hora (Figura 7).



Figura 7. Estación meteorológica del centro IFAPA Chipiona.

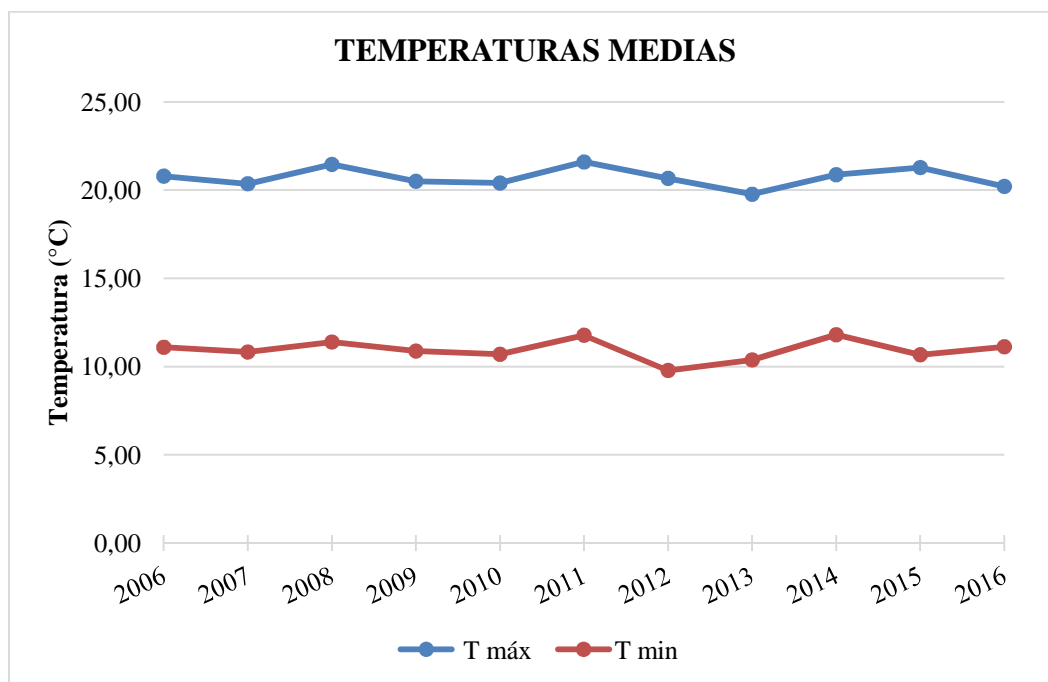


Figura 8. Media de datos climáticos de temperatura máxima y mínima registrado en la estación agroclimática del Centro IFAPA Chipiona correspondiente al periodo del cultivo de los años 2006-2016.

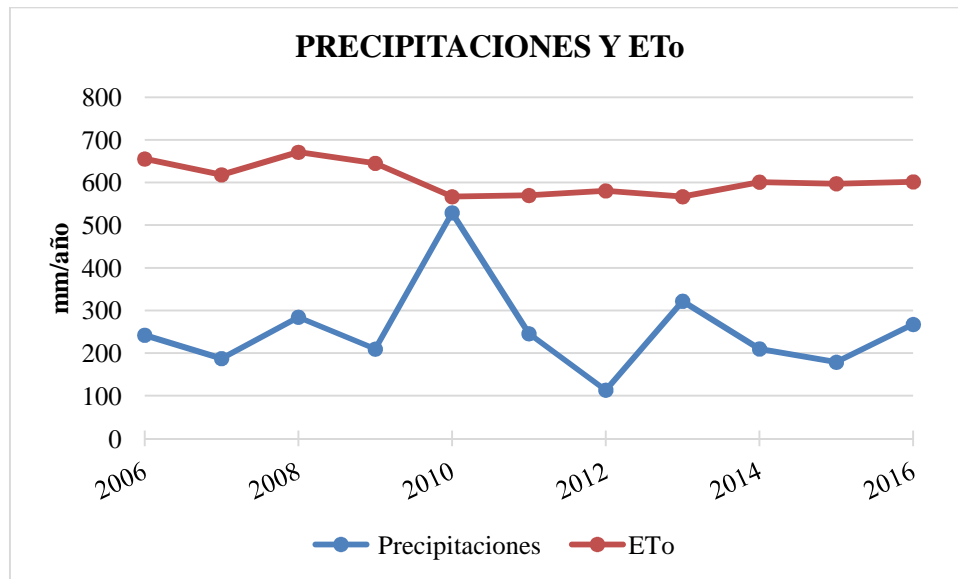


Figura 9. Datos climáticos acumulados de la precipitación y la evapotranspiración de referencia en mm/ día registrados en la estación agroclimática del Centro IFAPA Chipiona correspondiente al periodo del cultivo de los años 2006-2016.

6.1.3 Características del suelo

Para determinar las características del suelo donde se desarrolla el ensayo se ha realizado un análisis de fertilidad que va a reflejar el contenido de nitrógeno, fósforo, potasio y oligoelementos que nos van a permitir conocer la fertilidad del suelo y actuar en consecuencia de cara al cálculo de abonados de fondo y optimización de cobertera. En la siguiente tabla (tabla 5) se reflejan los datos obtenidos en el análisis.

Tabla 5 . Resultado del análisis de suelo con intervalos de referencia para valores normales.

Parámetros	Intervalos de Referencia	Resultado	Interpretación
Capacidad de intercambio catiónico meq/100g	12-25	8,80	Bajo
pH a 25° C (1:5)	6,6-7,3	7,73	Moderadamente básico
Conductividad eléctrica (1:5)dS/m	0,35-0,65	0,379	Ligera salinidad
Materia orgánica oxidable %	2-2,5	1,03	Baja
Nitrógeno orgánico %	0,06-0,1	0,100	Bajo
Sodio de cambio meq/100 gr	0,6-1,0	0,95	Normal
Potasio de cambio meq/100 gr	0,6-0,9	0,66	Normal
Calcio de cambio meq/100 gr	10-14	4,58	Bajo
Magnesio de cambio meq/100 gr	1,5-2,5	2,61	Alto
Fósforo Olsen p.p.m.	12-18	89,5	Muy alto (>30)
Carbonatos %	10-20	3,42	Muy bajo
Caliza activa %	< 6	0,15	Normal
Arcilla %		7,9	Franco- Arenoso
Limo %		6,0	
Arena %		86,1	

Fuente: Rioja Molina, A. (2.002), Apuntes de Fitotecnia General, E.U.I.T.A., Ciudad Real.

Para Moya (2009), los suelos salinos son los que presentan a grandes rasgos lo siguientes resultados:

- CE: superior a 4 dS/m en extracto de saturación del suelo.
- Porcentaje de sodio intercambiable (PSI): menor del 15 %.
- pH: mayor de 7 y menor de 8,5.

En base a esto y teniendo en cuenta otros parámetros a continuación se describen las características del suelo del ensayo:

Puesto que el contenido de arcilla es bajo, su capacidad para almacenar nutrientes es también baja.

Al presenta un pH moderadamente básico, puede existir bloqueo de uno u otros elementos quedando estos fuera del alcance de la planta. Con este pH también podríamos tener carencias inducidas de Fe, Mn y Zn por escasa solubilidad a dicho valores.

En cuanto a la conductividad eléctrica (C.E) se refiere, que es el parámetro que nos va a indicar el contenido de sales en el suelo, se obtienen valores que para el método utilizado para su determinación (1:5) es superior a 0,35dS/m lo que indica según Rioja y Molina (2002) que estamos ante un suelo ligeramente salino. Los métodos oficiales aconsejan un análisis del extracto de pasta saturada donde el valor de referencia es distinto como detallan las tablas siguientes.

Tabla 6. Interpretación de los valores de salinidad para C.E (1:5).

C.E. _{1:5} (dS/m)	Influencia sobre los cultivos
< 0,35	Inapreciable (todos los cultivos la aguantan)
0,35-0,65	Ligera (sólo afecta a cultivos muy sensibles)
0,65-1,15	Media (tomar precauciones con toda clase de cultivos sensibles)
> 1,15	Intensa(sólo deben cultivarse especies resistentes)

Fuente: Rioja y Molina (2.002).

Tabla 7. Niveles de salinidad según C.E. (dS/m en extracto de saturación referidos a 25°C)

C.E. EPS (dS/m)	Diagnóstico
<2	No salino. Efectos de sales despreciables
2-4	Ligeramente salino. Efectos en cultivos sensibles
4-8	Suelo salino. Reducción de cosechas en los cultivos sensibles
8-16	Muy salino. Solo cultivos tolerantes a la salinidad

Fuente: Jiménez et al. (2004)

La conductividad eléctrica en el suelo también nos puede dar una orientación aproximada del contenido total de sales usando la expresión:

$$C.T.S(g/l \text{ de disolución}) = 0,64 * C.E. (dS/m) \quad (\text{Ecuación 6.1})$$

Aplicando dicha ecuación obtenemos un contenido total de sales de:

$$C.T.S = 0,64 * 0,379 (dS/m) = 0,243 \text{ g/l de disolución}$$

Sodicidad del suelo

Los suelos pueden presentar distintos niveles de sodicidad. Un exceso de sodio ocasiona disgregación de la estructura del suelo dando problemas de infiltración y la consiguiente asfixia radicular, pudiendo dar lugar a una costra superficial en el suelo que dificulta la nascencia. Para conocer con mayor precisión cómo afectará este sodio a la estructura debemos considerar el resto de cationes que encontramos en el suelo.

El Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI) es un indicador secundario que relaciona ciertos cationes disponibles en el suelo con el catión sodio mediante la expresión:

$$PSI (\%) = \frac{Na^+}{Na^+ + K^+ + Mg^{2+} + Ca^{2+}} \times 100 \quad (\text{Ecuación 6.2})$$

Valores superiores al 10% se consideran elevados y 15% es inadmisibles.

Para el caso que nos ocupa:

$$PSI(\%) = \frac{0,95}{0,95 + 0,66 + 2,61 + 4,58} \times 100 = 10,79 \%$$

El valor que resulta es superior, pero en poca medida al 10% pero a su vez hay que recordar que la textura del suelo de ensayo es franco-arenosa por lo que no consideramos que puedan existir los problemas asociados a la sodicidad. Esto es corroborado por el contenido de sodio que muestra el análisis que está dentro de los valores normales.

En definitiva, basándonos en la clasificación como suelo salino de Moya (2009) nuestro suelo, cumple los requisitos propuestos como suelo salino, por lo que tiene una influencia ligera sobre los cultivos afectando sólo a los que presentan mayor sensibilidad que para el cultivo que nos ocupa ya que, para la patata, no es el caso.

6.1.4 Características del agua

El agua utilizada en el ensayo procede de un pozo situado dentro de las instalaciones del propio centro IFAPA.

En la siguiente tabla se observan los valores obtenidos como resultado de un análisis:

Tabla 8. Análisis del agua de riego procedente del pozo del centro IFAPA Chipiona.

Resultados analíticos de la muestra:			
Parámetros	Método	Unidades	Resultados
pH	pH_1met	unidad de pH	7,13
Conductividad eléctrica a 25 °C	Conduc_1met	mS/cm	3,23
Sales totales	Sales_1met	g/l	2,22
Nitratos	Nitrat_1met	mg/l	148
Cloruros	Cloru_1met	mg/l	531
Carbonatos	Carbon_1met	mg/l	No se detecta
Bicarbonatos	Bicarb_1met	mg/l	390
Sulfatos	Sulfat_1met	mg/l	485
Calcio	calcio_1met	mg/l	277
Magnesio	Magnes_1met	mg/l	57
Sodio	Sodio_1met	mg/l	333
Potasio	Potas_1met	mg/l	2
Dureza	Dureza_1met	° Franceses	92,7
SAR	SAR_1met	----	4,8
SAR ajustado	SAR_1met	----	13,1
Carbonato sódico residual	CSR_1met	----	- 12,1
Índice de Scott	IScott_1met	----	3,8

Fuente: GESMÁBE ANALÍTICA.

La salinidad es el principal parámetro que nos informa de la calidad del agua de riego. Por ello, en la tabla anterior, se observa como la conductividad eléctrica a 25°C es de 3,23 mS/cm

(similar a dS/m). Según la tabla de Mass and Hoffman (1977) y Mass (1984) que encontramos en Ayers & Westcot (1994) el valor umbral para el cultivo de la patata que produce una merma del rendimiento del 10% es de 1,7dS/m por lo que el agua analizada supera este valor pudiéndose clasificar como agua de uso de restricción severo. Otro aspecto a tener en cuenta que al ser el valor de la C.E tan elevado al regar mediante sistema de aspersión es la parte aérea de la planta la que sufre problemas de acumulación de sales en las hojas con las consecuencias ya comentadas anteriormente.

De igual forma, existe otro parámetro que junto con la conductividad eléctrica del agua de riego (CE_w) nos va a indicar como afecta a la tasa de infiltración del agua en el suelo. Ese parámetro es la relación de adsorción del sodio (SAR o RAS).

Tabla 9. Valores de referencia de conductividad eléctrica del agua (CE_w) y de la relación de adsorción del sodio (RAS).

Parámetros		Grado de restricción en el uso			
		Ninguno	Ligero a Moderado	Severo	
CE_w (mS/cm)		<0,7	0,7-0,3	>3,0	
SAR	= 0-3	y CE_w	>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
	= 20-24		>5,0	5,0-2,9	<2,9

Fuente: Ayers & Westcot (1994).

Por lo tanto, en función de esos valores de referencia y junto con los facilitados en la analítica podemos decir que el agua de riego utilizada en el ensayo, en lo que a la sodicidad y problemas de infiltración se refiere, no presenta problemas de restricción de cara a la infiltración, pero sí de cara a la salinidad del agua presentando un grado de restricción severo.

6.2 Material vegetal y labores realizadas.

6.2.1 Material vegetal

El material vegetal utilizado en el ensayo es la variedad de patata “*Spunta*”.



Figura 10. Patata variedad “*Spunta*”. Fuente: Rocalba.

A continuación, se detallan las características más relevantes de esta variedad.

Tabla 10. Características de la variedad de patata “Spunta”.

Cultivo	Ciclo	Temprana a Semi temprana
	Productividad	Alta
Tubérculo	Forma	Alargada
	Tamaño	Grande
	Uniformidad	
	Color piel	Amarillo
	Color carne	Amarillo
	Conservación	Pobre a Moderada
Calidad	Ennegrecimiento tras cocción	Poco a Muy poco
	Aptitud frito	Media a Buena
	Materia seca	Medio a Alto
	Almidón	Bajo
	Consistencia	Firme
Resistencias	Sarna común	Baja
	Mildiu en follaje	Moderada
	Mildiu tubérculo	Moderada

Fuente: Garcia (2014).

6.2.2 Labores realizadas.

A continuación, se detallan las labores realizadas en el orden en el que se han llevado a cabo.

6.2.2.1 Presiembra

La parcela donde se ubicó el ensayo estaba completamente limpia de otros cultivos además de malas hierbas por lo que sólo hubo que realizar las siguientes labores antes de establecer el ensayo:

- Reparto de 9.200 kg de estiércol en los 828 m² que ocupa el ensayo (11,1 kg/ha), que posteriormente se incorporó al suelo con la ayuda de un remolque repartidor de estiércol.

- En los días previos a la siembra, se aplicó la cantidad correspondiente a la superficie del ensayo a razón de 695 kg/ha de abono de fondo NPK (Mg) 14-7-14 (2). Un abono completo y equilibrado que posee una fracción de nitrógeno estabilizado con inhibidor de nitrificación y otra con gránulos revestidos de forma que el 25% de N es liberado lentamente durante 12 a 18 semanas, lo cual permite la nutrición óptima del cultivo a lo largo del ciclo, con el máximo aprovechamiento de los nutrientes. Se puede utilizar como aplicación única o como apoyo a la fertirrigación.

Sólo se utilizó como única aplicación de fertilizante en todo el ensayo.

- Labrado del terreno para integrar el abono en el suelo, usando un rotovator que también dejó la tierra preparada para la siembra. Posteriormente, se definieron los lomos de 0,8 x 0,3 m donde se colocó la patata.



Figura 11. Alomado y conformación de caminos.

6.2.2.2 Instalación del sistema de riego.

Como ya se ha mencionado, en el ensayo se colocaron un sistema de riego localizado y otro de aspersión en parcelas colocadas al azar. Para salvar el que las parcelas de aspersión no tuvieran influencia sobre las de goteo se instalaron unas pantallas en los aspersores como se muestra en la imagen siguiente.



Figura 12. Pantalla en parcelas de aspersores.

El material de riego utilizado y sus características se detallan a continuación:

- Sistema de riego localizado:
 - Goteros: 4l/h. Marco 0,33 x 0,80 metros.
 - Laterales: Polietileno de Baja Densidad (PEBD) 16 mm, 4 atm.
 - Portalaterales: Polietileno de Alta Densidad (PEAD) 40 mm, 6 atm.
 - Red secundaria: PVC 75 mm, 6 atm.
- Sistema de aspersión:
 - Aspersores: 1092 l/h, boquilla 5/32 + 3/32. Marco 12x12 m, 180°, pluviometría de 15,1 l/m²·hora. (1092/12x12=7,58 l/m²/h x 2).



Figura 13. Ensayo una vez sembrado y con el sistema de riego colocado.

6.2.2.3 Fertilización.

El ensayo no recibió otros aportes de abonado distintos de los mencionados en la presiembra. Al contar con dos sistemas de riego distintos como son el localizado y la aspersión se optó por estas actuaciones para que de esta forma el abonado de ambos sistemas pudiese ser el mismo.

6.2.2.4 Siembra.

La siembra se realizó el 2 y 3 de febrero de 2017, de forma manual, con una distancia entre plantas de unos 20-25 cm.

Puesto que se empleó semilla grande, 3 o 4 días antes de la plantación se trocearon los tubérculos partiéndolos en dos o más trozos de manera que en cada uno de ellos hubiese como mínimo una yema.

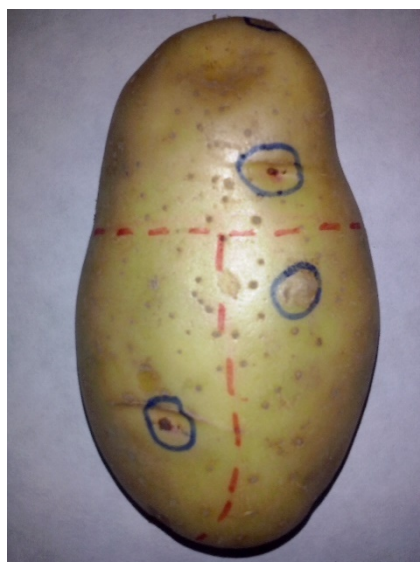


Figura 14. Tubérculo señalado por la línea de corte antes de la siembra. Los círculos azules indican las yemas.



Figura 15. Siembra del ensayo.

6.2.2.5 Postsiembra.

Durante el periodo de tiempo que abarcó el cultivo, sólo se aplicaron tratamientos preventivos frente a plagas y enfermedades y una que otra escarda manual para quitar malas hierbas. La siguiente tabla detalla las actuaciones llevadas a cabo.

Tabla 11. Actuaciones fitosanitarias y de control de malas hierbas sobre el cultivo.

Fecha	Motivo	Materia activa	Dosis	Método de aplicación
08/02/2017	Malas Hierbas	Linurón 45%	200gr / 100 litros	Pulverización
17/03/2017	Preventivo contra hongos	Sulfato de Cobre	300gr/100 l	Pulverización
	Preventivo para Mildiu	Folpet 50%	250 ml/100 l	
	Escarabajo de la patata	Dimetoato 40%		
	Humectante	Mojante	100ml / 100l	
30/03/2017	Preventivo contra hongos	Sulfato de Cobre	300gr/100 l	Pulverización
	Preventivo contra Alternaria y Mildiu	Clortalonil 50%	250 ml/100 l	
	Humectante	Mojante	100ml / 100l	
07/04/2017	Preventivo contra hongos	Sulfato de Cobre	300gr/100 l	Pulverización
	Preventivo para Mildiu	Folpet 50%	250 ml/100 l	
	Escarabajo de la patata	Dimetoato 40%		
	Humectante	Mojante	100ml / 100l	
26/04/2017	Malas Hierbas			Escarda manual
19/05/2017	Malas Hierbas			Escarda manual

6.2.2.6 Recolección.

La recolección tuvo lugar el 20 de junio de 2017. En primer lugar, se quitaron las matas que quedaban con una desbrozadora y posteriormente se levantaron los lomos con una cosechadora de patatas dejando los tubérculos al descubierto



Figura 16. Levantamiento de los lomos con la cosechadora de patatas para dejar los tubérculos en la superficie.

6.3 Diseño experimental

El ensayo se diseña basándonos en el efecto de la variable sistema de riego y la variable salinidad del agua de riego en el cultivo de la patata.

Para ello, se realiza un experimento en bloques al azar, donde se establecen dos niveles de sistemas de riego, riego localizado y riego por aspersión; y tres niveles de salinidad del agua de riego 0,8 dS/m por tratarse como el valor mínimo que puede alcanzar la planta desaladora; 1,7 dS/m por ser el valor umbral para el agua de riego que tiene la patata y que permite obtener el 90% del rendimiento del cultivo según referencias consultadas; y agua del pozo presente en el propio centro IFAPA de Chipiona que es la que se utiliza para el riego de los ensayos y es muy similar a la que se puede encontrar por la zona (aproximadamente 3 dS/m) y agua de pozo con una fracción de lavado del 20% de la dosis de riego, ya que según Ayers y Westcot (1994), para agua de mayor salinidad y cultivos sensibles, el aumento de la lixiviación para satisfacer un requisito de lixiviación superior a 0,25-0,30 puede no ser práctico debido a la cantidad excesiva de agua requerida. En tal caso, se debe tener en cuenta

el cambio a un cultivo más tolerante que requiera menos lixiviación para controlar las sales dentro de la tolerancia del cultivo, aspecto que tenemos que dejar intacto.

Para el caso del riego por aspersión, se aplican los mismos tratamientos, pero descartando el que incorpora el agua de riego a CE 0,8 dS/m.

Tabla 12. Denominación de los distintos sistemas de riego presentes en el ensayo combinados con los distintos tratamientos de salinidad aplicados.

Sistema de riego	Salinidad (dS/m)	Nomenclatura
Localizado (G)	0,8	G1
	1,7	G2
	Agua de pozo (3dS/m)	G3
	Agua de pozo con fracción de lavado	G4
Aspersión (A)	Agua de pozo con fracción de lavado	A1
	1,7	A2
	Agua de pozo	A3

Como ya se ha mencionado, las parcelas del ensayo se dispusieron en tres bloques totalmente al azar de manera que se obtendrían 3 repeticiones de cada tratamiento dejando a su vez entre parcelas y al inicio de las mismas, lomos a modo de líneas guardas para prevenir el efecto borde.

Las parcelas de goteo cuentan con unas dimensiones de 16 m² (0,8 m de separación entre lomos, con 4 lomos a 5 metros de longitud) existiendo 4 parcelas en cada bloque, y las de aspersión 32 m² (0,8 m de separación entre lomos, con 8 lomos de 5 m de longitud) con 3 de éstas por bloque. La superficie total del ensayo es de 480 m² que, junto a las zonas de paso, alcanza una superficie de 828 m².

La distribución quedó de la siguiente forma:



Figura 17. Esquema de la disposición de las parcelas del ensayo.

6.3.1 Metodología y evaluación del ensayo

El IFAPA de Chipiona cuenta en sus instalaciones con una Planta de Desalación por Ósmosis Inversa la cual permitió que se pudiesen establecer distintas conductividades eléctricas en función de los tratamientos establecidos para el ensayo.

Dicha Planta de Desalación recibe el agua de alimentación, impulsada por la bomba de alimentación, pasa a través de los filtros de lecho o arena, desde donde es conducida hasta los filtros de cartuchos (microfiltración). Una vez filtrada el agua llega a la bomba de alta presión. Entre los filtros de lecho y los de cartuchos se realiza el pretratamiento químico, que consiste en la dosificación de productos que acondicionan el agua para entrar en los módulos de ósmosis inversa. La bomba de alta presión impulsa el agua de alimentación hasta el sistema de ósmosis inversa (membranas) donde se realiza el proceso de la desalación,

obteniéndose por un lado el agua producto y por otro lado el agua rechazo o salmuera (Ver Anexo I).



Figura 18. Planta desaladora.

Para llevar a cabo el riego durante el ensayo, se fueron acumulando las distintas aguas en depósitos independientes a excepción de la procedente del pozo que esa era incorporada al ensayo directamente. De cada depósito, mediante las tuberías del sistema de riego se aportaban la misma dosis de riego a los distintos tratamientos excepto al que incorporaba la fracción de lavado, el cual se mantenía más tiempo regando.

Las dosis de riego se calcularon y se aplicaron para un riego diario de alta frecuencia para ambos sistemas de riego por ser esta forma de manejo utilizado por los agricultores de la zona. Los viernes y lunes el riego era doble para compensar el del fin de semana.

Los parámetros a determinar con el ensayo fueron:

- Seguimiento de la cubierta vegetal.
- Producción total de tubérculos.

- Producción de tubérculos con calibre comercial.

Toma de datos de cubierta vegetal.

La toma de datos de la superficie ocupada por la cubierta vegetal se realizó gracias a una aplicación para móviles Android llamada “CANOPEO”. Dicha aplicación, realiza una fotografía con la cámara fotográfica del móvil y a partir de ésta calcula el porcentaje de superficie que cubre el cultivo. La aplicación también te permite identificar *in situ* el tipo de tratamiento sobre el que se está actuando de manera que las imágenes quedan debidamente clasificadas.

Para salvar el inconveniente de que todas las medidas se hicieran de igual forma, se construyó un soporte de 2,5 m de altura que ocupara 3 lomos de cada subparcela para que la imagen fuese tomada todas a la misma altura y además se tuvo en cuenta que la colocación del soporte fuese a un largo y medio de la base del mismo hacia la zona interior de la subparcela.



Figura 19. a) Soporte para la toma de imágenes para la determinación del porcentaje de superficie ocupado por la cubierta vegetal. b) Apoyo del teléfono móvil para realizar la fotografía.

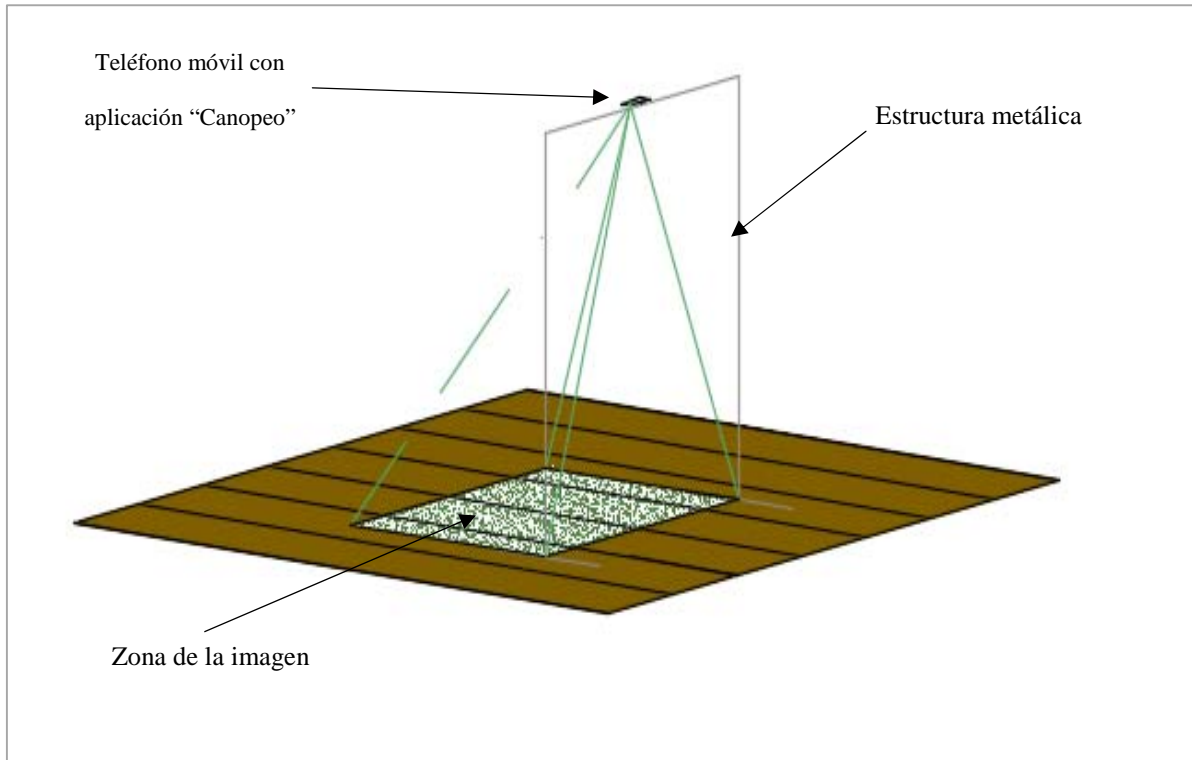


Figura 20. Esquema de la toma de imágenes de cobertura foliar.

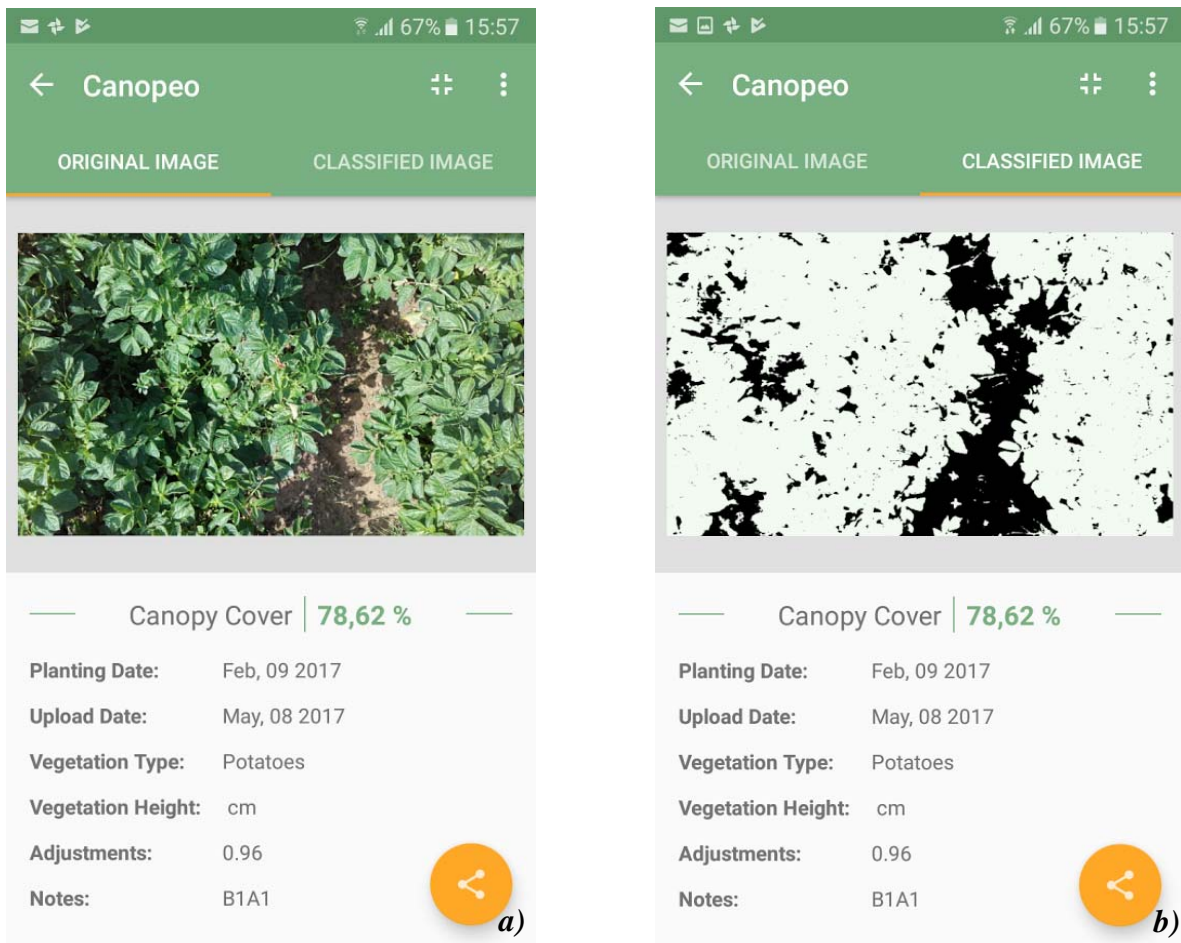


Figura 21. Imágenes de la aplicación CANOPEO. a) Imagen real y b) imagen resultado.

Toma de datos de producción.

Una vez que estaban los tubérculos sobre la superficie, se recogieron manualmente las tres líneas centrales de cada subparcela experimental y depositando en cestas de plástico de manera ordenada y debidamente identificadas.

Las cajas se trasladaron a una nave donde posteriormente se limpiaron y pesaron. El calibre se midió de las cestas que correspondían a los tubérculos recogidos de las líneas centrales de cada subparcela.

Cálculo de las necesidades de riego

El cálculo de las necesidades de riego se llevó a cabo siguiendo el método propuesto por FAO 56. Dicho procedimiento viene a estimar las necesidades hídricas a partir de la evaporación de referencia (ET_o) y un factor ligado al cultivo, el coeficiente de cultivo (K_c).

La expresión del cálculo queda así:

$$ET_c = ET_o \times K_c \quad (\text{Ecuación 6.3})$$

Donde:

ET_c = Evapotranspiración del cultivo (mm/día)

ET_o = Evapotranspiración del cultivo de referencia (mm/día)

K_c = Coeficiente del cultivo (adimensional)

La ET_o se obtuvo diariamente de la estación agroclimática con la que cuenta el propio IFAPA de Chipiona y para la K_c del cultivo de la patata se utilizó la que facilita el FAO 56 y que aporta los siguientes valores en función de la región en la que nos encontramos y de la fecha de siembra:

Tabla 13. Valores de la Kc de la patata y duración de las distintas fases del cultivo.

	Fase Inicial	Fase de desarrollo	Fase media	Fase Final	Total
Duración	25	30	30/45	30	115/130
Kc	0,5	1,15	0,74	0,60	

Fuente: Allent et al., 1998 (FAO 56)

Los datos que se detallan a continuación indican el agua total aportada en el ensayo, así como la pluviometría y la evapotranspiración de referencia que tuvo lugar, ya que es un dato a tener en cuenta en el cálculo de las necesidades de riego del cultivo.

Tabla 14. Dosis de riego mensual aplicada donde A1 es el tratamiento de aspersión con agua de pozo que incluye fracción de lavado; A2 es agua con salinidad 1,7 dS/m; A3 agua de pozo; G1, agua con C.E. = 0,8 dS/m; G2, agua con C.E.= 1,7; G3, agua de pozo y G4, agua de pozo con fracción de lavado.

	l/m ³ o mm por mes			
	ASPERSIÓN		GOTEO	
	A1	A2 y A3	G1,G2,G3	G4
FEBRERO	14,95	13,30	10,50	12,99
MARZO	58,95	50,40	42,70	51,29
ABRIL	209,12	177,10	148,40	181,95
MAYO	243,47	206,50	174,30	211,85
JUNIO	146,34	123,90	104,30	127,33

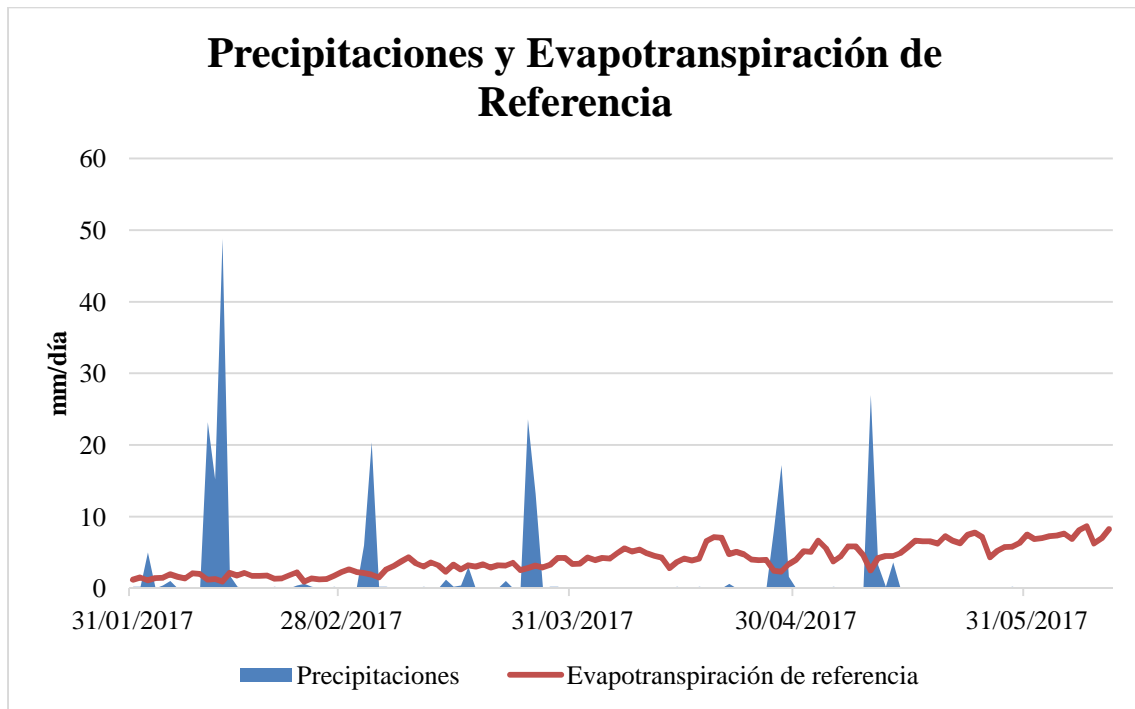


Figura 22. Precipitaciones y evapotranspiración de referencia dados durante el periodo del cultivo hasta que se finalizó el riego.

6.3.2 Metodología del análisis de los datos obtenidos

El análisis estadístico de los datos obtenidos del ensayo se realizó al finalizar el mismo y se llevó a cabo en dos fases:

Fase 1. Análisis de la varianza (ANOVA) con disposición en bloques al azar, utilizando el software Statistix 9.1, con un nivel de significación de 5% y realizando el Test de Tukey.

Las variables estudiadas han sido “salinidad y riego” como variable independiente, “producción total” y “producción comercial” como variables dependientes.

Los datos de “producción” hacen referencia a datos ponderados de la producción obtenida de recolectar de los 3 lomos centrales de cada parcela de ensayo. Para el caso del calibre, éste se midió a todos los tubérculos del lomo central de cada parcela.

6.3.3 Productividad del cultivo.

Para cuantificar la tolerancia o sensibilidad a la salinidad por parte de los cultivos, existe un modelo recogido en Villalobos (2017) de respuesta de dichos cultivos basado en dos parámetros, y que queda recogido en la ecuación:

$$\frac{Y}{Y_x} = 1 - \frac{B_s}{100} (CE_e - CE_{eu}) \quad (\text{Ecuación 6.4})$$

Donde:

Y/Y_x = Rendimiento relativo expresado como una fracción del rendimiento máximo.

B_s = Porcentaje de pérdida de rendimiento por unidad de incremento de CE_e .

CE_e = Conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo (dS/m).

CE_{eu} = Valor umbral de salinidad medido como la conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo por encima del cual el rendimiento disminuye (dS/m).

Según la tabla de Ayers y Westcot (1989) detallada por Villalobos (2017) referida a la sensibilidad a la salinidad de las diferentes especies cultivadas y ciñéndonos al cultivo que nos ocupa, la patata, los datos necesarios para poder resolver la ecuación 6.4 son los siguientes:

Tabla 15. Datos referentes a la sensibilidad frente a la salinidad del cultivo de la patata.

Nombre común del cultivo	CE_{eu} (dS/m)	B_s (dS/m/%)	Tipo
Patata	1,7	12	Moderadamente sensible

Fuente: Adaptación de Villalobos (2017).

Es el dato de la conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo (CE_e) del que no disponemos. Para ello, según fuentes consultadas y teniendo en cuenta que sólo se ha aplicado fracción de lavado en un tratamiento para goteo y otro para aspersión, dicho valor lo

tenemos que obtener de manera teórica acudiendo a otros parámetros como son el requerimiento de lavado o fracción de lavado y el factor de concentración.

El requerimiento de lavado (RL) es la fracción de lavado mínima necesaria para mantener una concentración de sales en el agua del suelo por debajo de un umbral crítico. Existen varias fórmulas para determinar el requerimiento de lavado para una producción aceptable de las cuales entre las más utilizadas hemos elegido las siguientes: la de Schilfgaard (1974), por ser más generalizada, y la de Rhoades (1982), por tratarse de riegos de alta frecuencia como ya se comentó anteriormente.

$$\text{Schilfgaard (1974)} \quad \text{RL} = \text{CE}_{\text{ar}} / 2 \text{CE}_e^{\text{a}} \quad (\text{Ecuación 6.5})$$

$$\text{Rhoades (1982)} \quad \text{RL} = 0,1794 / (\text{Fc}^3,0417) \quad (\text{Ecuación 6.6})$$

donde:

Fc: Factor de concentración.

CE_e^{a} : Conductividad eléctrica del extracto de saturación que produce unos rendimientos del 0%.

CE_e : Conductividad eléctrica media del extracto de saturación en la zona radical compatible con los rendimientos que esperamos. Normalmente, la que produce un rendimiento relativo del 90% en las tablas de Maas y Hoffman (1977).

CE_{ar} : Conductividad eléctrica del agua de riego.

Por otro lado, se denomina factor de concentración (Fc), a la relación entre la conductividad eléctrica del extracto de suelo saturado (CE_e) y la del agua de riego (CE_{ar}):

$$\text{Fc} = \frac{\text{CE}_e}{\text{CE}_{\text{ar}}} \quad (\text{Ecuación 6.7})$$

Al igualar las ecuaciones 6.5 y 6.6 podemos obtener el valor de F_c para una producción aceptable, que junto con el dato de la conductividad eléctrica del agua de riego (CE_{ar}) y sustituyendo en la ecuación 6.7, obtenemos el valor teórico de la conductividad eléctrica en el extracto de saturación del suelo (CE_e).

Una vez determinado este CE_e , tomamos como valor máximo de rendimiento el obtenido en nuestro ensayo (57.222 kg/ha), ya que ha resultado superior al publicado por el Boletín Fitosanitario Final Campaña 2016 sobre la patata en la provincia de Cádiz (entre 30.000 y 40.000 kg/ha) que suele darse en la zona. Haciendo uso de la ecuación 6.6 y todos estos datos recopilados, podemos estimar el rendimiento esperado según dichas condiciones y para lo que estableciendo RL entre el 0% y el 100% de las dosis de riego del cultivo, se elaboró la figura 31 que se muestra en los resultados.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 Datos obtenidos

Tras la finalización del ensayo se han obtenido los siguientes datos:

7.1.1 Datos de producción

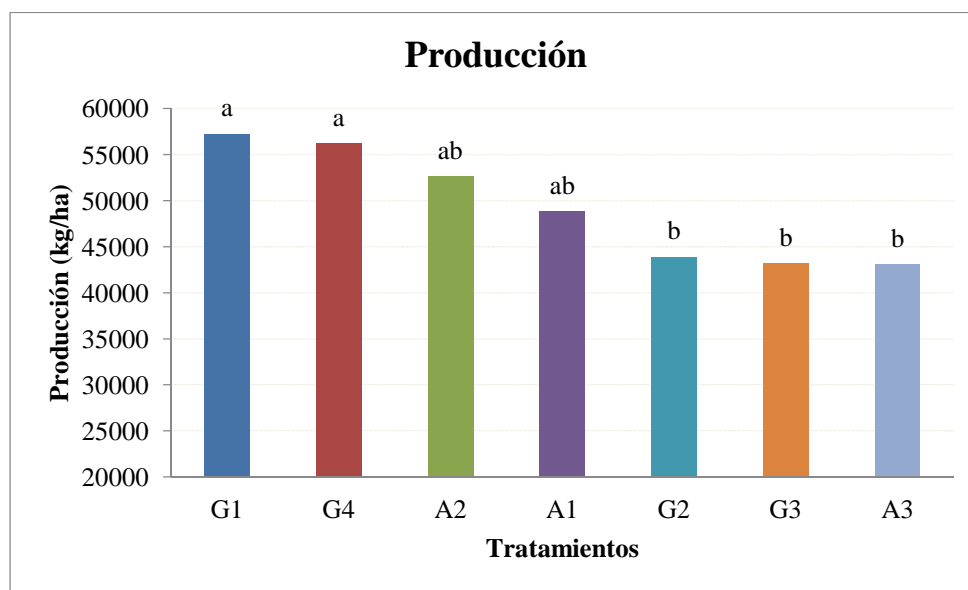


Figura 23. Producciones medias obtenidas en el ensayo con $P < 0.05$. Donde G1 es el tratamiento de goteo con agua de riego de $C.E=0,8$ dS/m; G2 es goteo con agua de $C.E = 1,7$ dS/m; G3 goteo con agua de pozo ($C.E = 3$ dS/m); G4 goteo con agua de pozo y fracción de lavado; A1 es aspersión con agua de pozo y fracción de lavado; A2, aspersión con agua de $C.E=1,7$ dS/m y A3, aspersión con agua de pozo.

La gráfica anterior muestra el resultado de la realización del estudio. En él se observa cómo los tratamientos de goteo de menor salinidad en el agua de riego (0,8 dS/m) y el de Pozo que se le aplicó fracción de lavado del 20%, son los que mayores producciones presentan, sin observarse diferencia significativa entre ambos.

Estos son resultados razonables considerando que con G1 aplicamos un agua de riego de mejor calidad que con G4, pero este aspecto se compensa para este último tratamiento en la aplicación de una fracción de lavado lo que va a contribuir a la expulsión de las sales fuera del bulbo húmedo.

Por otro lado, los tratamientos de aspersión con salinidad en el agua de riego de 1,7 dS/m y el de agua de Pozo con fracción de lavado alcanzan mayores producciones que los tratamientos de goteo con salinidad de 1,7 dS/m y el de agua de Pozo. Contrariamente a lo que cabía esperar, según lo comentado en cuanto las ventajas e inconvenientes de la elección de un sistema de riego u otro.

Entre las producciones obtenidas con el tratamiento de goteo 1,7 dS/m, goteo con agua de Pozo y aspersión con agua de Pozo el análisis estadístico no arroja diferencias significativas.

Lo que si queda claro es la influencia del agua de riego con el empleo de agua del pozo con ambos sistemas de riego.

El que los tratamientos llevados a cabo con riego por aspersión den mejores producciones que los que llevan el riego localizado, puede justificarse considerando los patrones de acumulación de las sales del agua de riego en el suelo en función del sistema de riego utilizado. Patrones recogidos por Ayers y Westcott (1989) en el documento número 29 de la FAO sobre Riego y Drenaje.

Dichos patrones esquematizan para cada sistema de riego utilizado la localización de las sales en el suelo en función del sistema de riego empleado.

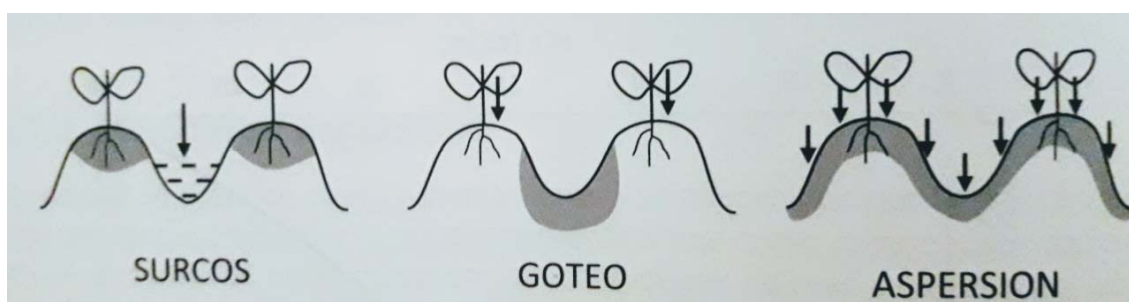


Figura 24. Acumulación de sales del agua de riego para diferentes métodos de riego. Adaptado de Rohades y Loveday (Stewart y Nielsen, 1990). Fuente: Villalobos (2017). Fitotecnia. Principios de agronomía para una agricultura sostenible.

Según esto, para superficies donde se emplee un sistema de riego por aspersión, las sales se depositan en el suelo por toda la superficie de riego y la acumulación de éstas depende de la tasa de infiltración del agua en el suelo y del tiempo disponible para la infiltración, datos que por tratarse el suelo del ensayo de una textura arenosa no va a ser la infiltración un problema al respecto.

Por lo tanto, la acumulación de las sales en el suelo irá descendiendo en profundidad de manera progresiva conforme se infiltre el agua de riego. Por otro lado, para el caso de uso de sistema de riego localizado, las sales se van a ir acumulando en el perímetro del bulbo húmedo, por lo tanto, alrededor del mismo lo que implica que estén más localizadas.

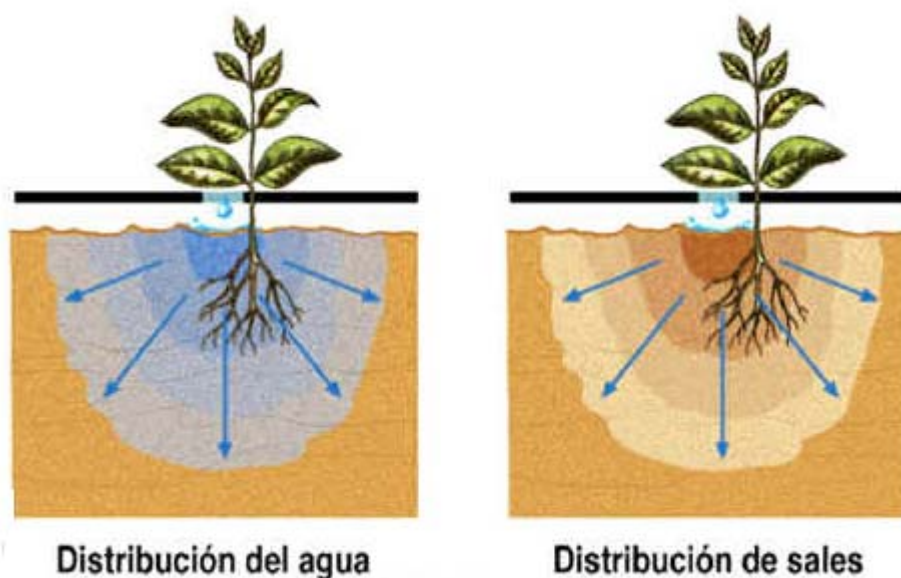


Figura 25. Movimiento del agua y de las sales en el bulbo húmedo en riego localizado. Fuente: Servicio de Atención al Regante (SAR). Junta de Andalucía.

Se puede dar una justificación a los resultados obtenidos considerando lo siguiente:

-Lo expuesto anteriormente relativo a la distribución de las sales en el suelo en función del sistema de riego empleado.

- El riego por aspersión se ha realizado en alta frecuencia puesto que es el manejo habitual de los agricultores en la zona al tratarse de suelos arenosos.

- En los periodos de lluvia no se realizan riegos. El suelo no se mantiene permanentemente mojado, lo que puede provocar, para el caso de riego localizado, debido al potencial osmótico, la intrusión de sales en el interior del bulbo húmedo procedentes de la periferia del mismo, volviendo a salinizar zonas que ya habían sido lavadas de sales.

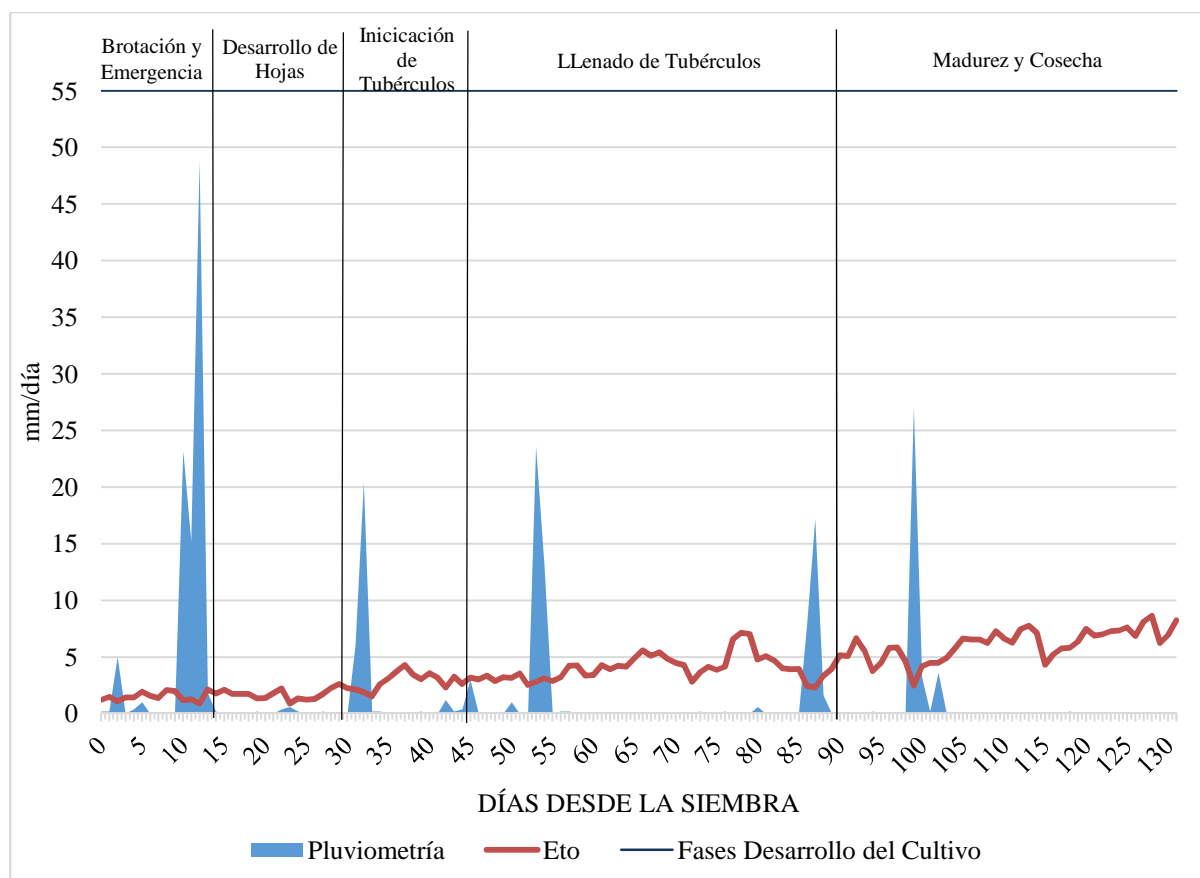


Figura 26. Precipitaciones y evapotranspiración de referencia en cada fase del cultivo. Fuente: Elaboración propia.

Como se detalla en la gráfica anterior, suceden episodios de lluvias considerables, lo que provoca lavado en los distintos tratamientos dando lugar a una homogenización de los mismos y el posible efecto de intrusión de las sales ya lavadas en el bulbo húmedo

Se puede apreciar como en la fase de inicio, momento en el que el tubérculo madre sale del letargo, se produce la emergencia y comienza la brotación, acontecen precipitaciones importantes de manera puntual, lo que puede dar lugar a un retraso en el calentamiento del suelo, dificultando la brotación, y aumentan los riesgos de podredumbres de los tubérculos (Van Kempen et al., 1999).

Durante la fase de desarrollo de las hojas, las precipitaciones son escasas por lo que la falta de agua durante este tiempo facilita la formación de estolones y tubérculos. Un ligero déficit puede favorecer la exploración del suelo por las raíces (Van Kempen et al., 1999).

Es en la fase de iniciación de tubérculos cuando se producen precipitaciones de manera puntual y moderadas. Esta etapa es la de mayores necesidades hídricas, por lo que la presencia de precipitaciones contribuye a mantener húmedo el suelo favoreciendo la formación de tubérculos y el aumento del calibre de los mismos.

A unos 10 días del inicio de la etapa de llenado de tubérculos se producen lluvias de carácter moderado al igual que al final de esta misma fase. En esta fase la evaporación comienza a elevarse por lo que la presencia de precipitaciones va a favorecer que el agua fácilmente disponible para la planta no se agote, contribuyendo en el llenado de los tubérculos e impidiendo que aparezcan alteraciones fisiológicas y la reducción de la productividad (Agricolum, 2017)

La última fase del cultivo, la de madurez, no precisa agua apenas. Tuvieron lugar lluvias de carácter puntual al inicio de la fase, que junto con una evapotranspiración cada vez más elevada no consideramos que pudiese haber afectado al cultivo.

Curvas de producciones.

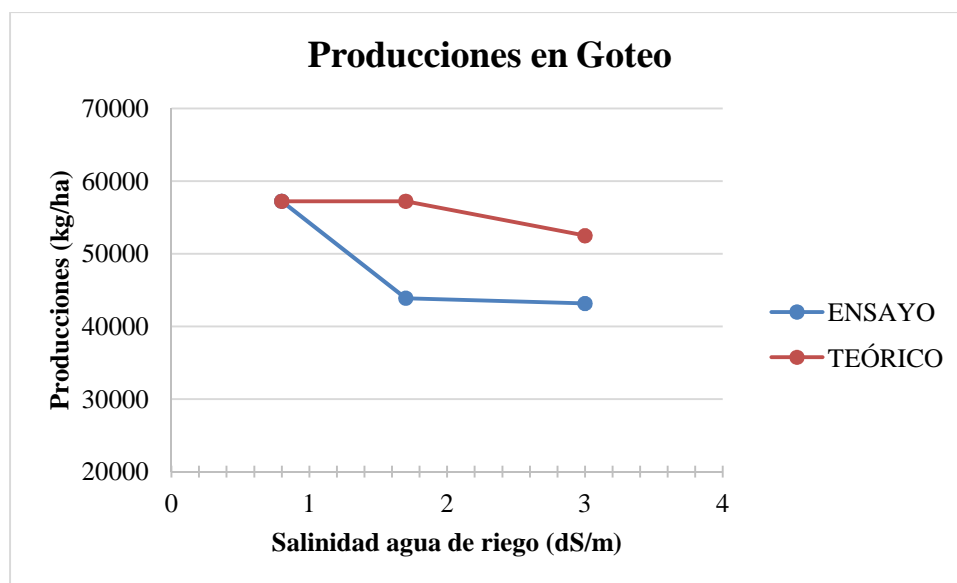


Figura 27. Comparación de las producciones obtenidas en el ensayo para riego con goteo con las producciones teóricas alcanzables calculadas según el modelo Mass and Hoffman (1977).

En la gráfica anterior se reflejan las producciones teóricas alcanzables a largo plazo frente a las obtenidas en el ensayo para el sistema de riego localizado y para los tratamientos sin fracción de lavado.

Se ha tomado como valor máximo los 57.222 kg/ha obtenidos en el ensayo con el tratamiento de agua de riego de C.E = 0,8 dS/m puesto que es el mayor valor alcanzado. Esta producción máxima se mantiene hasta alcanzar el valor umbral para el agua de riego a partir del cual se producen mermas en el rendimiento del cultivo que según Ayers y Westcott (1989) es de 1,7 dS/m, es a partir de entonces cuando el rendimiento comienza a descender en función de la conductividad eléctrica del agua de riego entre otros factores, como ya se ha comentado anteriormente.

Comparando esta línea de producción máxima con la obtenida a partir de los distintos tratamientos en el ensayo llevado a cabo se puede observar como para conductividad eléctrica del agua de riego de 1,7 dS/m ya no se alcanzan las producciones teóricas existiendo una diferencia de unos 13.500 kg/ha de diferencia.

De igual modo, para el tratamiento de agua de riego del pozo, con conductividad eléctrica de 3 dS/m tampoco se alcanzan las producciones predichas.

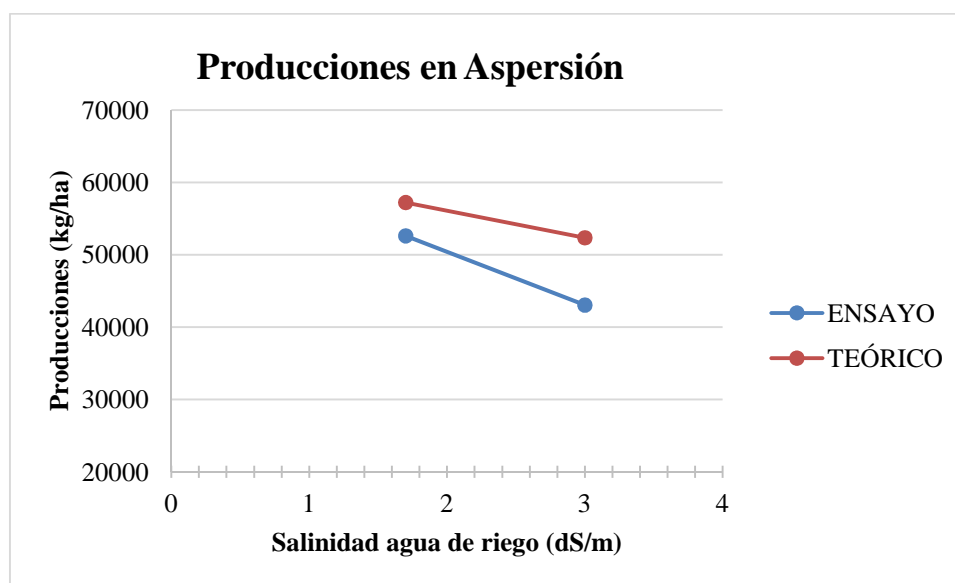


Figura 28. Comparación de las producciones obtenidas en el ensayo para riego por aspersión con las producciones teóricas alcanzables calculadas según el modelo Mass y Hoffman (1977).

La figura 27, al igual que la anterior, representa las producciones obtenidas con el sistema de riego por aspersión sin fracción de lavado, frente a las producciones teóricas alcanzables según el modelo de Mass y Hoffman (1977). Tomando como datos de partida los citados anteriormente se observa como en el tratamiento de agua de riego de conductividad eléctrica de 1,7 dS/m la diferencia con la producción teórica es menor que para el uso de agua de pozo (3 dS/m).

Con la explicación dada para la figura 23 se pueden justificar los resultados obtenidos en las gráficas 27 y 28.

7.1.2 Datos de calibres

En el cultivo de la patata a parte de la producción también se tiene en cuenta los calibres de los tubérculos, considerándose como tubérculos comerciales los que tienen un

calibre comprendido entre 40 y 80 centímetros de diámetro. En base a esto, a continuación, se muestran los resultados obtenidos en el ensayo.

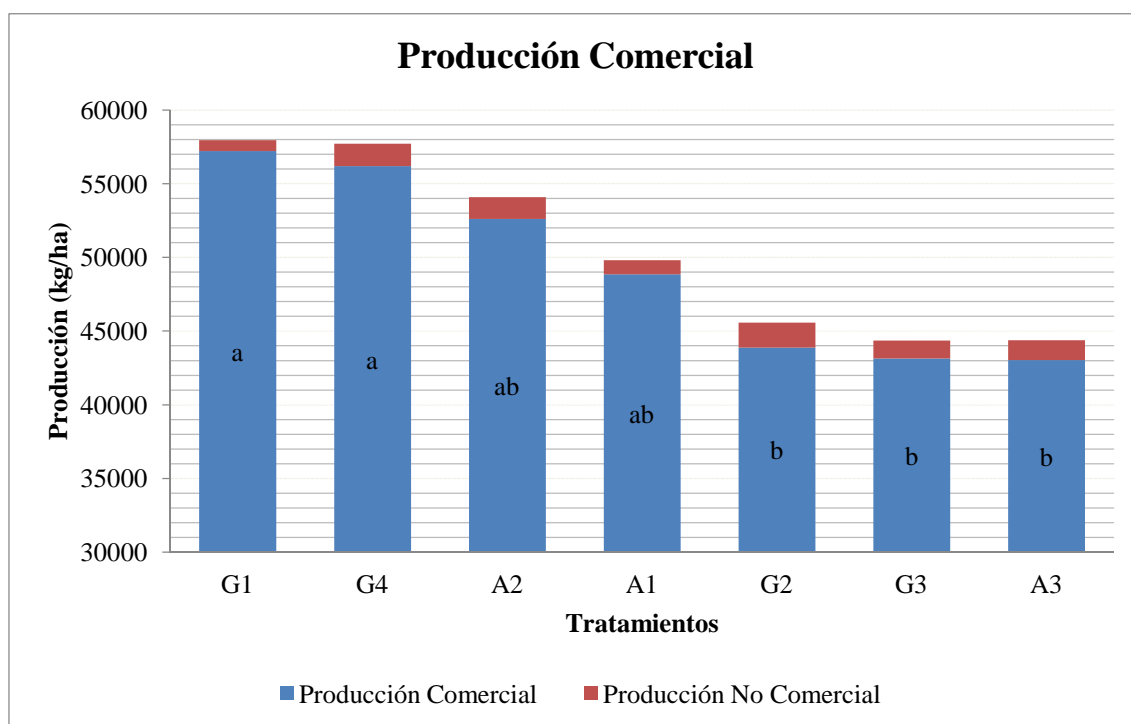


Figura 29. Diferenciación de la producción comercial frente a la no comercial referidas a la producción total y resultados del análisis estadístico de los datos de producción comercial, para una $P < 0,05$. Donde G1 es el tratamiento de goteo con agua de riego de C.E=0,8 dS/m; G2 es goteo con agua de C.E = 1,7dS/m; G3 goteo con agua de pozo (C.E =3 dS/m); G4 goteo con agua de pozo y fracción de lavado; A1 es aspersión con agua de pozo y fracción de lavado; A2, aspersión con agua de C.E=1,7dS/m y A3, aspersión con agua de pozo.

La figura anterior refleja las producciones comerciales obtenidas en el ensayo y los resultados obtenidos. Nótese que los comportamientos de los resultados para la producción comercial siguen el mismo patrón estadísticamente que los analizados para la producción total. Esto viene a corroborar los resultados ya comentados anteriormente pudiéndose justificar éstos de la misma manera.

7.1.3 Curvas de Producción en función de las necesidades e lavado.

A continuación, se ha estudiado cómo la incorporación a la dosis de riego de una fracción de lavado puede influir en la producción considerando la salinidad en el agua de riego.

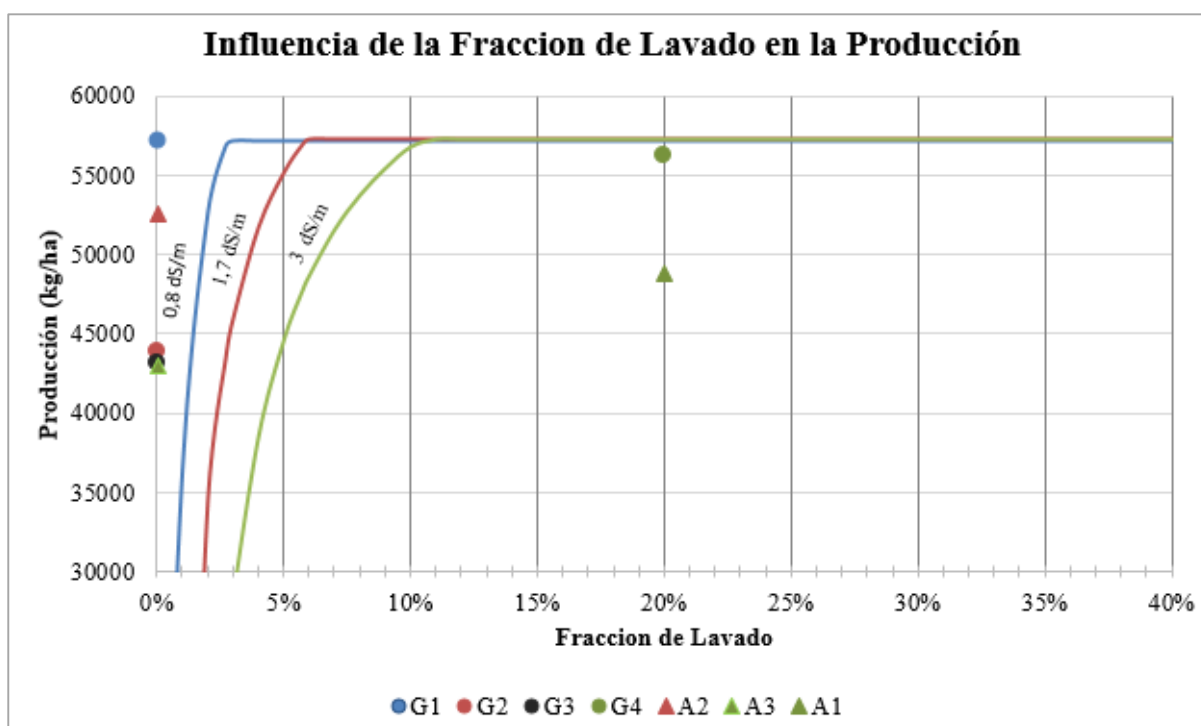


Figura 30. Influencia de la fracción de lavado sobre la producción en función de la conductividad del agua de riego. G1 es el tratamiento de goteo con agua de riego de C.E=0,8 dS/m; G2 es goteo con agua de C.E = 1,7dS/m; G3 goteo con agua de pozo (C.E =3 dS/m); G4 goteo con agua de pozo y fracción de lavado; A1 es aspersión con agua de pozo y fracción de lavado; A2, aspersión con agua de C.E=1,7dS/m y A3, aspersión con agua de pozo.

La anterior figura relaciona la producción teórica a la que se tendería con la fracción de lavado (FL), observándose como los tratamientos a los que no se les ha FL se encuentra situado en el eje de ordenada a diferencia de los que llevan un 20% de FL.

El tratamiento G1 es el que mayor producción ha obtenido, como ya se ha ido comentando a lo largo de los resultados, lo que se traduce en que la acumulación de sales ha sido mínima o nula hasta ahora.

Para los tratamientos A2 y G2, no se ha alcanzado la producción máxima ya que la acumulación de sales con estos tratamientos ya ha empezado a afectar a la producción G3 y A3 han obtenido producciones muy similares, y menores que los tratamientos anteriores al haber acumulado más sal.

Para los tratamientos con lavado, G4 y A1, al haber aplicado fracción de lavado se han conseguido mayores producciones. G4 es el que alcanza una producción próxima a la máxima con la FL que se le ha aplicado, pero para A3 no ocurre lo mismo, posiblemente debido al efecto que tiene el agua de riego salina sobre la superficie foliar lo que ha provocado una disminución de la producción.

Cabe notar que los tratamientos A2 y G2 no siguen este mismo razonamiento encontrándose en este caso en el tratamiento con riego por aspersión una mayor producción que el tratamiento por goteo, ambos para igual salinidad en el agua. En esta ocasión, ya que para estos tratamientos no se aplica fracción de lavado que implique un lavado de sales del suelo, podemos justificar las producciones obtenidas bajo el razonamiento comentado anteriormente relativo a las precipitaciones acontecidas durante el periodo del cultivo, la acumulación de sales en el suelo y la presión osmótica.

7.1.4 Cobertura foliar.

En esta gráfica se representan la evolución de cobertura foliar para cada uno de los distintos tratamientos reflejados en el ensayo cuyos datos han sido obtenidos siguiendo la metodología descrita anteriormente.

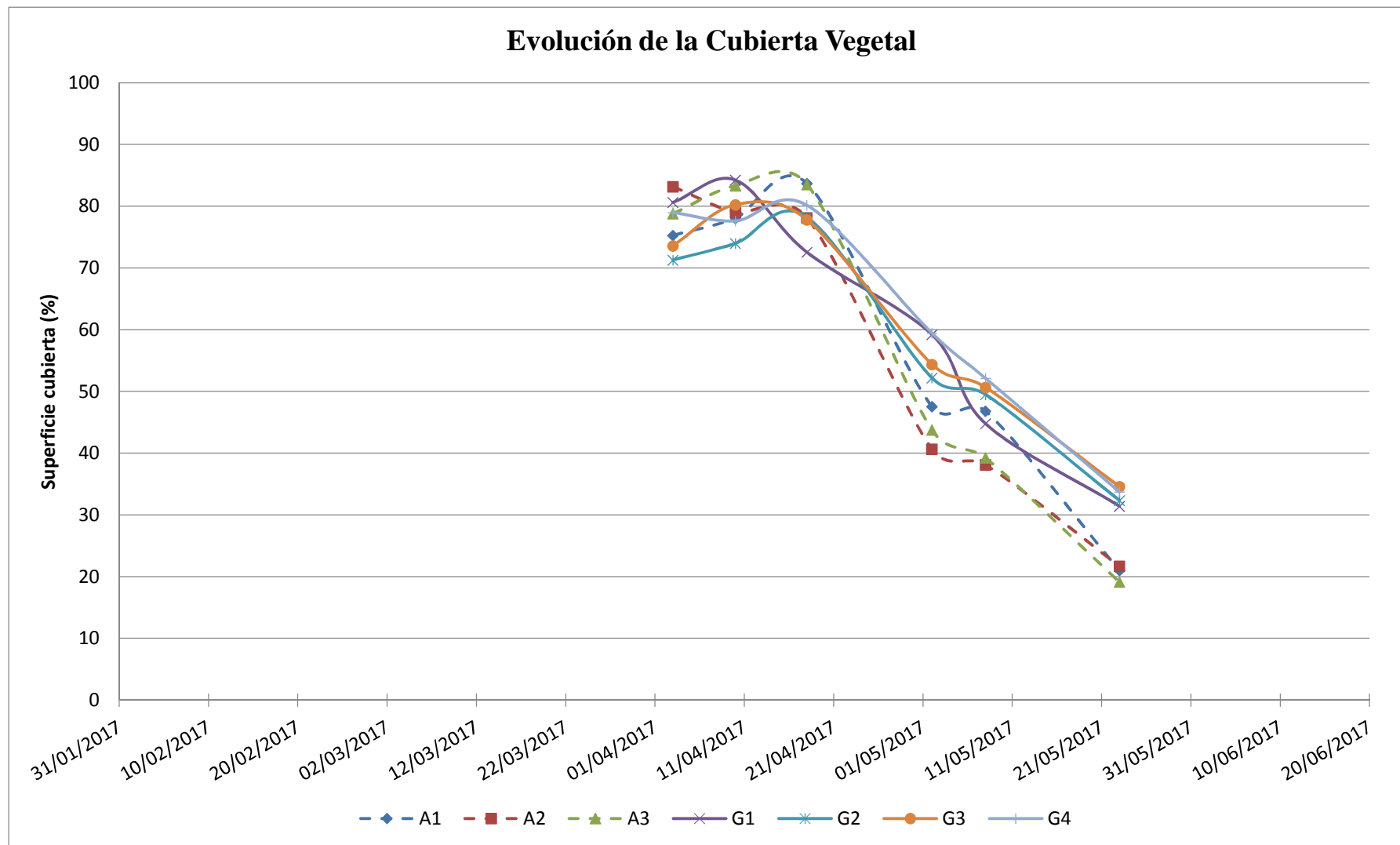


Figura 31. Evolución de la cubierta vegetal a partir de las fechas de máxima cobertura. G1 es el tratamiento de goteo con agua de riego de C.E=0,8 dS/m; G2 es goteo con agua de C.E = 1,7dS/m; G3 goteo con agua de pozo (C.E =3 dS/m); G4 goteo con agua de pozo y fracción de lavado; A1 es aspersión con agua de pozo y fracción de lavado; A2, aspersión con agua de C.E=1,7dS/m y A3, aspersión con agua de pozo.

Como tónica general, los distintos tratamientos alcanzan el máximo en torno a la fecha del 10 al 18 de abril, pero es en los días 19, 20 y 21 del mismo mes cuando sucede un episodio de viento con ráfagas de hasta 5,9 m/s de velocidad lo que provoca la destrucción de la mayoría de las matas indistintamente del tratamiento.

A continuación, se muestra una gráfica donde se detalla la velocidad media diaria del viento en la zona del ensayo a lo largo de cultivo, indicando además la velocidad media del viento de todo el periodo.

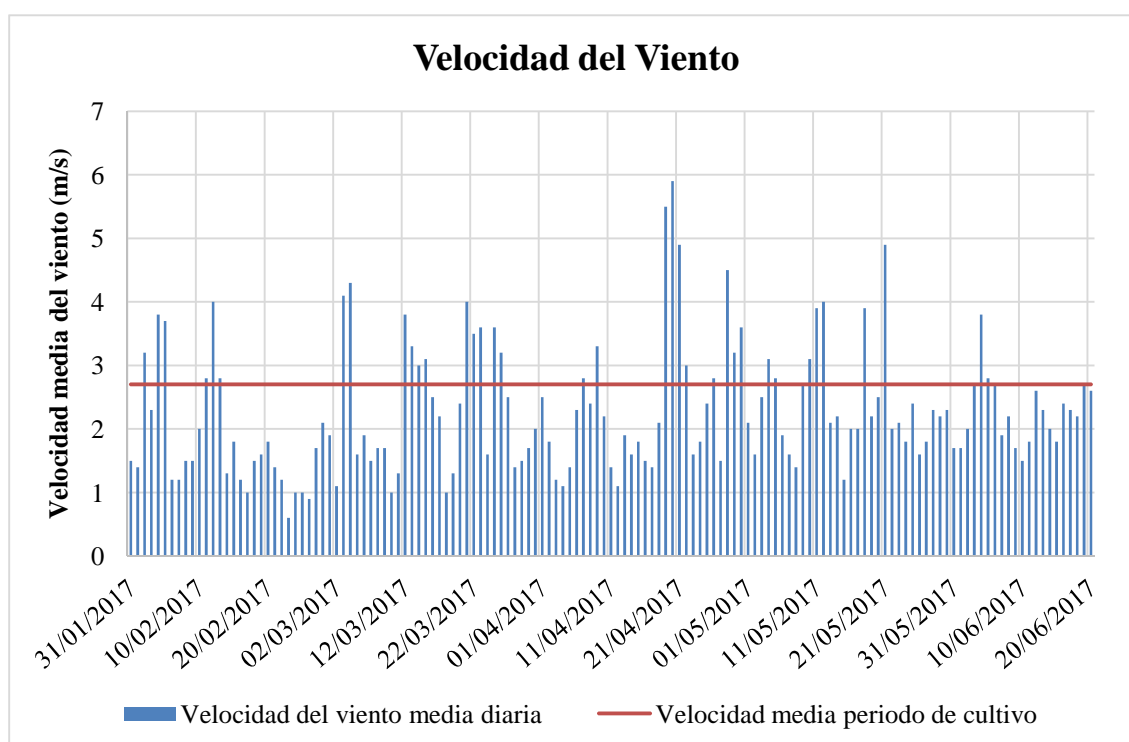


Figura 32. Velocidad del viento durante el periodo del cultivo. Fuente. Elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la estación meteorológica del centro IFAPA de Chipiona.

Por ello, que a partir de esas fechas se observa un descenso acusado del porcentaje de cobertura foliar, más pronunciado para los tratamientos con riego por aspersión que para los de riego localizado.

Dentro de los tratamientos por aspersión, es el A1 el que mantiene más cobertura vegetal a partir del episodio de fuertes vientos lo que indica que a pesar de presentar fracción de lavado, lo que implica mayor cantidad de agua salina sobre las hojas, también implica un lavado de sales por lo que la planta es más fuerte frente a imprevistos que puedan afectarle. El A2 alcanza el máximo de cobertura antes y aunque luego desciende de manera drástica la parte aérea, no llega a alcanzar el porcentaje inferior de cubierta de entre los tres tratamientos con aspersión.

En cuanto a los tratamientos con riego localizado se refiere, es el G1 el que alcanza valores superiores de porcentaje de cubierta vegetal y es éste también el que posteriormente la va disminuyendo, pero de manera más suave, no llegando a perder tanta superficie foliar tras los vientos como los demás tratamientos. Se observa que junto con el tratamiento con fracción de lavado (G4), aunque este último no llega a alcanzar valores igual de elevados que G1, si sufre menos pérdida de cobertura foliar a lo largo del final del periodo. G2 y G3 siguen un patrón muy similar, aunque es G3 quien alcanza antes el valor de máxima cobertura.

8. CONCLUSIONES.

- El uso de un sistema de riego localizado para el cultivo de la patata favorece las producciones totales y las comerciales en detrimento del uso de un sistema de riego por aspersión.
- Cuando sucedan precipitaciones moderadas y se emplee un sistema de riego por goteo, debido al tipo de suelos con el que nos encontramos en la zona de la Costa Noroeste de Cádiz, es necesario no dejar de regar en los días siguientes para así evitar el desplazamiento de las sales que ya se encuentran fuera del alcance de las raíces hacia las mismas, siendo estos efectos más suavizados con el empleo de riego por aspersión al no quedar las sales tan localizadas en torno a las raíces.
- Para la comarca que nos ocupa, por sus características climáticas y edáficas es necesaria la aplicación de una fracción de lavado. Fracción de lavado que se determinara en cada caso concreto en función de la salinidad del agua con la que se riegue el cultivo y del tipo de sistema de riego que se emplee, para que de esta forma se puedan alcanzar mejores rendimientos.
- Las plantas regadas mediante riego localizado presentan mayor resistencia frente a fenómenos meteorológicos como puede ser el viento, que las regadas con riego por aspersión.

9. BIBLIOGRAFÍA

Agricolum (2016). Recuperado de: www.blog.agricolum.com/importancia-del-riego-de-la-patata-en-cada-fase-de-crecimiento. Consulta: Agosto, 2017.

Alonso, F. (2002). El cultivo de la patata. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.España.

Alonso Arce, F. (2017). Patata. En: Maroto Borrego, J.V. y Baixauli Soria, C. (Coordinadores). Cultivos Hortícolas la Aire Libre (p.29-60). Ed. Cajamar Caja Rural, España.

Ayers, R.S y Westcot, D.W. (1994). Calidad del agua para la agricultura. Estudio FAO Riego y Drenaje 29.

Baena, N. R. (s.f.). La salinidad del agua de riego y del suelo. IFAPA Centro Alameda Del Obispo, Consejería de Innovación, Ciencia Y Empresa.Junta de Andalucía. Andalucía. España.

BOJA (2001). Orden de 8 de octubre de 2001, por la que se aprueba el Reglamento Específico de Producción Integrada de Patata. BOJA nº 125, Andalucía.

Boletín Fitosanitario Final Campaña Patata en la provincia de Cádiz (2016). Red de Alerta e Información Fitosanitaria de Andalucía. Junta de Andalucía.

Doorembos, J., Kassam, A., Bentvelsen, C., Branscheid, V., Plusjé, J., Smith, M., Uittenbogaard, G.O., Van der Val, H. (1980). Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos. Estudio FAO Riego y Drenaje 33.Roma, Italia.

Ellissèche, D. (1999). Aspectos fisiológicos del crecimiento y del desarrollo.. En: Rousselle, P., Robert, Y.(Coordinadores). La Patata (p. 75-125). Ed. Mundi- Prensa, Madrid.

- Emilsson, B. (1949).** Studies on the rest period and dormant period in the potato tuber. Acta Agric., Suec., 3, 189-284.
- FAO 56 (2006).** Evapotranspiración del cultivo. Guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO Riego y Drenaje 56.
- FAO (2008).** La papa. En: Año Internacional de la Papa de 2008. Obtenido de <http://www.fao.org/potato-2008/es/lapapa/index1..> Consulta: 12 de mayo de 2017.
- Fuentes Yagüe, J.L. (1992).** La calidad del agua de riego. Técnicas de Riego(p.85-101). Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Ed: I.R.Y.D.A., Madrid.
- Garcia, G. (2014).** Orientaciones para el cultivo de la patata para fresco en Asturias. Recuperado de <http://www.serida.org>.
- Google Imágenes.** www.google.com. Consulta: Marzo 2017
- Google Maps.** Recuperado de [www.google.es /maps](http://www.google.es/maps). Consulta: Marzo 2017.
- Hawkers, J. G. (1990).** Potato: Evolution, biodiversity and genetic resourges. Smithsonian Institution Press. London. United Kingdom.
- Ierna, A., and Mauromicale, G. (2012).** Tuber yield and irrigation water productivity in early potaotes as affected by irrigation regime. Agricultural Water Management 115, 276-284.
- Informe Patata en Andalucía (2015).** Consejería de Agricultura, Pesca y Medio Ambiente. Junta de Andalucía. Consulta: Abril 2017.
- Jimenez et al. (2004).** Interpretación de Analisis del Suelo.Suelo, Riego , Nutrición y Medio Ambiente del Olivar(p.26). Instituto Andaluz de Investigación y Formación Agraria,

Pesquera, Alimentaria y de la Producción Ecológica. Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía.

Maroto, J.V. (1995). Horticultura Herbácea Especial. 4ª Ed. Mundi-Prensa. Madrid.

Masson, L. et al. (2008). La patata en España. Historia y agroecología del tubérculo andino. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Madrid.

Montoya, F. (2013). Calibración y validación de modelos para la simulación de patata (*Solanum tuberosum* L.),. Recuperado de <https://ruidera.uclm.es/xmlui/handle/10578/3815>.

Moya Talens, J.A. (2009). Estudio Agronómico del Riego Localizado a Goteo. En: Riego Localizado y Fertirrigación (p.99-120). Ed. Mundi-Prensa, Madrid.

Muttucumaru, N., Powers, S.J., Elmore, J.S., Mottram, D.S. and Halford, N.G. (2013). Effects of Nitrogen and Sulfur Fertilization on Free Amino Acids Sugar, and Acrylamide-Forminf Potential in Potato. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61, 6734-6742.

Ortega Álvarez, J. F., Tarjuelo Marti-Benito, J. M., Córcoles Tendero, J. I., & Costa Camargo, D. (2013). Crecimiento y Desarrollo En Patata (Con Diferentes Tratamientos Hídricos En Sistema Pivote.

Patel et al. (2001). Effect of initial soil salinity and subirrigation water salinity on potato tuber yield and size. *Agricultural Water Management*, 46, 231–239. Recuperado de <http://ac.els-cdn.com>

Quiroz, R. (2012). Potato. En: Steduto, P., Hsiao, Fereres, and E., Raes, D. (Ed). Crop yield response to water Irrigation and Drainage Paper 66, FAO. Rome, Italy.

Rioja Molina, A. (2.002). "Apuntes de Fitotecnia General, E.U.I.T.A., Ciudad Real."

Rocalba. Recuperado de www.rocalba.com consulta: Marzo 2017.

Rodríguez-Pérez, L. (2010). Ecofisiología del cultivo de la papa (*Solanum tuberosum*, L.).*Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*.Vol.4(Nº 1), 97-108.

Sun, L. et al. (2012). Effects of Nitrogen Fertilizer Application Time on Dry Matter Accumulation and Yield of Chinese Potato Variety KX13; *Springer*,55: 303-313.

Van Kempen, P., Le Corre, P. et al. (1999). *Fitotecnia*.En: Rousselle, P., Robert, Y. et al. (Coordinadores). *La Patata* (p.369 – 418). Ed. Mundi- Prensa, Madrid.

Villalobos et al. (2017). El Control de la Salinidad. En: *Fitotecnia. Principios de agronomía para una agricultura sostenible*(p. 333-362).Ed.Mundi-Prensa, Madrid.

10. ANEXOS

10.1 Imágenes del antes y después del episodio de vientos fuertes y sus correspondientes porcentajes de cobertura de la superficie del suelo.



Figura 33. De izquierda a derecha. Tratamientos de aspersión y goteo con agua de riego de pozo (3dS/m) a fecha de 18 de abril de 2017. Porcentaje de superficie cubierta 79 % y 81 % respectivamente.

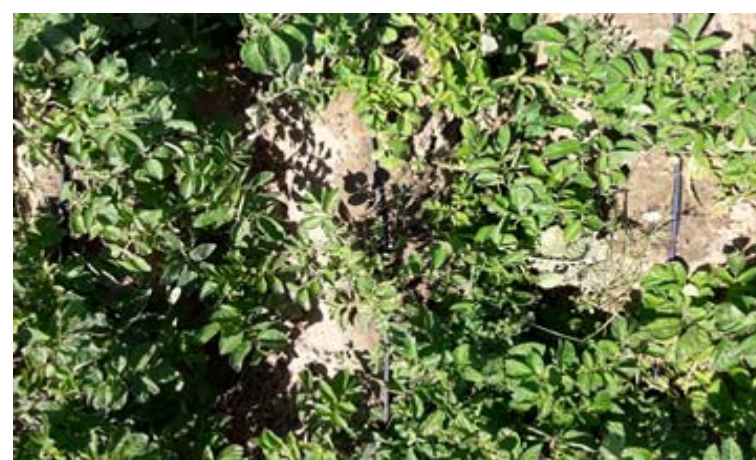


Figura 34. De izquierda a derecha. Tratamientos de aspersión y goteo con agua de riego de pozo (3dS/m) a fecha de 2 de mayo de 2017. Porcentaje de superficie cubierta 49 % y 67 % respectivamente.

10.2 Diagrama de flujo de una planta desaladora.

