

UNIVERSIDAD DE GRANADA



FACULTAD DE CIENCIAS

Departamento De Biología Vegetal



REPERCUSIÓN DE LA TEMPERATURA RADICULAR
DERIVADA DE LA APLICACIÓN DE DISTINTAS CUBIERTAS
PLÁSTICAS SOBRE ALGUNOS PARÁMETROS FISIOLÓGICOS
EN PLANTAS DE PATATA
(*Solanum tuberosum* L. var. Spunta)

TESIS DOCTORAL

LAMIA RAGALA

INDICE

1.- Objetivos	5
2.- Introducción	7
2.1.- Antecedentes históricos de "Acolchamiento del suelo"	9
2.2.- Características generales de la técnica del acolchamiento	10
2.3.- Distintos tipos de materiales empleados en la técnica del acolchamiento	12
2.4.- Comportamiento espectrométrico de algunos tipos de acolchados	13
2.4.1.- Efectos diurnos	14
2.4.2.- Efectos nocturnos	15
2.5.- Manejo de la técnica del acolchamiento	16
2.6.- Efectos beneficiosos de los acolchados plásticos	19
2.6.1.- Disponibilidad de agua en el suelo	19
2.6.2.- Temperatura edáfica	20
2.6.3.- Propiedades físicas del suelo	22
2.6.4.- Fertilidad del suelo y crecimiento de la planta	24
2.6.5.- Control de las malas hierbas	25
2.7.- Efectos adversos de los acolchados	25
2.8.- Características generales de la planta de patata	26
2.8.1.- Características nutritivas de la planta de patata	27
2.8.2.- Factores limitantes de la producción de patata	29
2.8.2.1.- Temperatura y su efecto sobre la producción	30
2.8.2.2.- Efecto de la luz sobre la producción	31
2.8.2.3.- Efectos hidricos relativos a las plantas de patata	33
2.8.2.3.1.- Efecto de un exceso hidrico	33
2.8.2.3.2.- Efecto de un déficit hidrico	34

3.5.- Análisis de la planta.....	63
3.5.1.- Toma de las muestras y su preparación	66
3.5.2.- Preparación de las muestras para material fresco	69
3.5.2.1.- Proteínas solubles.....	69
3.5.2.2.- Aminoácidos solubles.....	69
3.5.2.3.- Actividades enzimáticas	70
3.5.2.3.1.- Actividad nitrato-reductasa endógena	70
3.5.2.3.2.- Actividad nitrato-reductasa inducida con nitratos.....	70
3.5.2.3.3.- Actividad nitrato-reductasa inducida con nitratos y molibdeno	71
3.5.2.3.4.- Actividad nitrato-reductasa "in-vitro"	71
3.5.2.3.5.- Actividad nitrito-reductasa "in-vitro"	72
3.5.2.3.6.- Actividad fosfatasa ácida	73
3.5.2.3.7.- Actividad piruvato-kinasa	74
3.5.2.3.7.1.- Piruvato-kinasa endógena	75
3.5.2.3.7.2.- Piruvato-kinasa en presencia de magnesio	75
3.5.2.3.7.3.- Piruvato-kinasa en presencia de potasio.....	75
3.5.2.3.7.4.- Piruvato-kinasa en presencia de calcio	76
3.5.2.4.- Pigmentos foliares	76
3.5.2.5.- Hidratos de carbono totales y solubles	76
3.5.3.- Preparación del material seco	77
3.5.3.1.- Nutrientes totales	77
3.5.3.1.1.- Nitrógeno orgánico	78
3.5.3.1.2.- Potasio y sodio	78
3.5.3.1.3.- Calcio y magnesio.....	79
3.5.3.1.4.- Fósforo.....	79
3.5.3.2.- Nutrientes solubles.....	80
3.5.3.2.1.- Amonio.....	80
3.5.3.2.2.- Nitratos.....	80
3.5.3.2.3.- Fósforo inorgánico y orgánico soluble.....	80
3.5.3.2.4.- Na, K, Ca, y Mg solubles.....	81

3.5.3.2.5.- Cloruros.....	81
3.5.4.- Hidratos de carbono en tubérculos	81
3.5.5.- Productividad	82
3.6.- Tratamiento estadístico	83
4.- Resultados y discusión.....	83
4.1.- Parámetros ambientales.....	85
4.1.1.- Temperatura aérea.....	85
4.1.2.- Temperatura de la zona radicular.....	86
4.1.3.- Radiación y humedad.....	91
4.1.4.- Análisis del suelo	93
4.1.4.1.- Análisis físico	93
4.1.4.2.- Análisis químico	95
4.1.5.- Análisis de agua de riego	96
4.2.- Algunos parámetros de crecimiento.....	97
4.2.1.- Peso fresco y peso seco	97
4.3.- Pigmentos foliares.....	102
4.4.- Azúcares totales y solubles.....	110
4.5.- Producción.....	118
4.6.- Parámetros de nitrógeno	124
4.6.1.- Fracciones nitrogenados y cloruros	124
4.6.1.1.- Nitratos	124
4.6.1.2.- Cloruros	129
4.6.1.3.- Amonio	131
4.6.2.- Formas de nitrógeno.....	135
4.6.3.- Proteínas y aminoácidos solubles	142
4.6.4.- Actividad nitrato-reductasa "in-vivo"	146
4.6.4.1.- Actividad nitrato-reductasa endógena.....	146
4.6.4.2.- Actividad nitrato-reductasa inducida con nitratos.....	151

4.6.4.3.- Actividad nitrato-reductasa inducida con molibdeno y nitratos.....	154
4.6.5.- Actividad nitrato-reductasa "in-vitro"	157
4.6.6.- Actividad nitrito-reductasa "in-vitro".....	161
4.6.7.- Conclusiones.....	163
4.7.- Parámetros de fósforo.....	165
4.7.1.- Distintas formas de fósforo.....	165
4.7.2.- Actividad fosfatasa ácida radicular y foliar	172
4.7.3.- Conclusiones.....	174
4.8.- Cationes, formas y indicador bioquímico	175
4.8.1.- Cationes monovalentes.....	175
4.8.1.1.- Potasio	175
4.8.1.2.- Sodio.....	181
4.8.2.- Cationes divalentes.....	186
4.8.2.1.- Calcio.....	186
4.8.2.2.- Magnesio.....	194
4.8.3.- Indicador bioquímico: Actividad piruvato-kinasa	199
5.- Conclusiones.....	206
6.- Bibliografía	211

1.- OBJETIVOS

La creciente evolución de los costes de cultivo en invernaderos en el último decenio que se ha traducido en una reciente estabilización de su superficie limita las opciones de especies horticolas a cultivar en dichas condiciones.

Una de las técnicas que ha desarrollado un mayor avance en el campo de agricultura y horticultura en los últimos años ha sido la utilización de las técnicas de semiforzado o "Acolchamiento del suelo" que es un sistema de cultivo intermedio entre el campo abierto y el invernadero.

Debido a la gran importancia dirigida a los temas relativos al medio ambiente en los últimos años, el sector de fertilización y la contaminación ambiental ha sido uno de los temas más enfocados. Por lo tanto, esta técnica además de ser de gran interés para la producción de especies horticolas, a costes muy inferiores a los de invernaderos o del pequeño túnel, permite tanto un ahorro de fertilizantes como de aportes hídricos. Además, la utilización de los materiales plásticos puede proteger a los cultivos frente al ataque de plagas, sin tener que usar tratamientos fotosanitarios, consiguiendo así (i) que el impacto medioambiental sea casi nulo, (ii) un bajo coste de mantenimiento y (iii) un alto rendimiento con respecto al cultivo al aire libre.

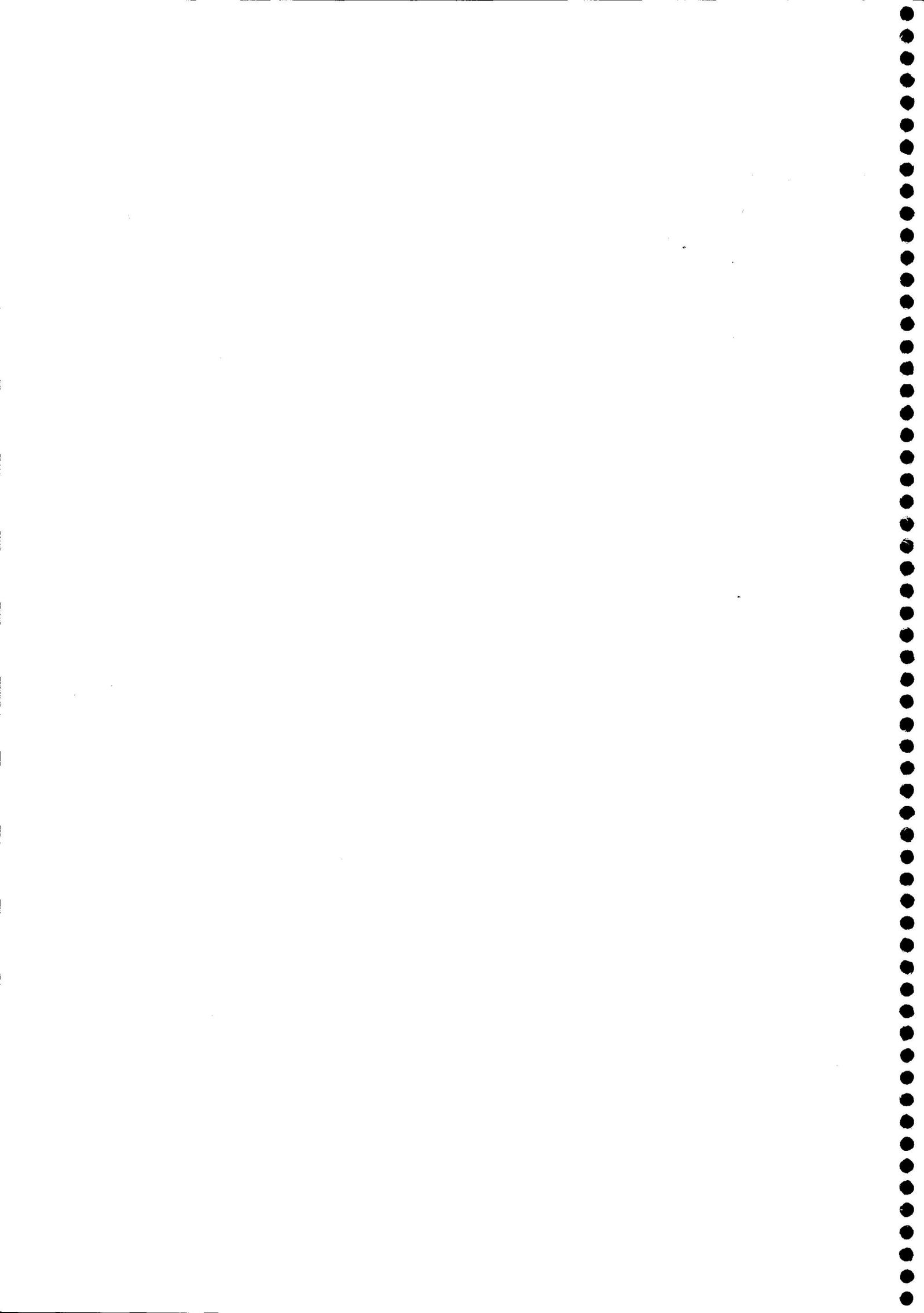
El acolchamiento de los suelos con filme de polietileno ha experimentado en España en estos últimos años un importante incremento. Los principales cultivos que se le han aplicado esta técnica son: melón, sandía, algodón, fresón y pimiento para la producción de pimentón. Sin embargo, se conocen pocas prácticas para el cultivo de patata.

Objetivos

El hecho que los acolchados de polietileno desempeñan un papel importante en el control de las temperaturas máximas y mínimas del suelo, por lo tanto estas últimas influyen a la germinación, al crecimiento de la planta así como a la iniciación de la tuberización y al aumento de los tubérculos. Por otra parte, hay que señalar que existen distintos tipos de estas cubiertas plásticas en cuanto a la composición, color y grosor y por consiguiente conllevan a muchas respuestas por parte de las plantas. Es por todo ello que estimamos de gran importancia esencialidad un conocimiento de la fisiología y bioquímica de las plantas de patata cultivadas con distintos tipos de cubiertas de polieleno, puesto que las temperaturas edáficas tienen una gran influencia sobre la actividad metabólica radicular.

Por lo tanto, nuestros objetivos se pueden resumir en lo siguiente: Efecto de las distintas cubiertas plásticas sobre las temperaturas radiculares y la repercusión de estas últimas sobre algunos parámetros fisiológicos, tanto en hoja, tallo, raíz como tubérculo de las plantas de patata.

2.- INTRODUCCIÓN



2.1.- Antecedentes históricos de la técnica "Acolchamiento del suelo".

El acolchamiento, empajado o mullido, ha sido una técnica practicada desde hace muchos años por los agricultores con el fin de defender los cultivos y el suelo de la acción de los agentes atmosféricos, los cuales entre otros efectos producen la desecación del suelo, deterioran la calidad de los frutos, enfrían la tierra así como producen pérdidas por lixiviación de los fertilizantes, tan necesarios para el desarrollo de las plantas. Para evitar estos efectos, los agricultores disponían sobre la superficie del suelo una capa protectora formada por materiales de origen vegetal (paja, cañas, hojas secas, etc.) u otros de origen mineral (arena). Esta capa actuaba como barrera de separación entre el suelo y el ambiente, la cual amortiguaba los efectos anteriormente mencionados. Además según la naturaleza de estos materiales, se ofrecían otras ventajas tales como (i) la opacidad a la luz solar impedía el desarrollo de las malas hierbas, (ii) la absorción del sol por estas capas aplicadas y su restitución durante la noche constituía un medio de defensa para la planta contra las bajas temperaturas nocturnas, influyendo considerablemente en el aumento de rendimientos y en una mayor precocidad en la recolección de frutos (Robledo de Pedro y Vicente, 1988).

Hace ya algunos años se hicieron ensayos con diversos materiales, tales como papel alquitranado, láminas de aluminio, etc.; pero se abandonaron debido a que son materiales voluminosos, caros y de difícil colocación sobre el suelo. De más reciente aplicación son los filmes de plástico, de resultados excelentes, que han venido a desplazar a los materiales anteriores y se van implantando poco a poco en todos los países, aún en aquellos más tradicionalistas.

En España, los primeros ensayos de esta técnica se efectuaron en 1959 en la provincia de Lérida en olivos. Sus resultados fueron sorprendentes, ya que su producción aumentó en más de 100 por 100 respecto al año anterior consiguiendo 31 Kg de aceitunas

Introducción

por árbol, en contra de 14 Kg recolectadas el año anterior. Además se observó un considerable aumento vegetativo. Posteriormente, en 1960 esta técnica se extendió a otras provincias limítrofes, llevándose a cabo en plantaciones de cerezos, ciruelos, albaricoques y melocotones, e incluso en cultivos hortícolas. A partir de 1961 se fue extendiendo por todo el litoral mediterráneo, especilamente en las provincias de Almería, Alicante, Huelva, Valencia, Murcia y Tarragona. En 1967 se registraron en nuestro país unas 500 Ha acolchadas, siendo unas 4.400 Ha en 1971. Es a partir de este año cuando esta aplicación comenzaba a coger un mayor auge, pues en tan sólo dos años aumentó esta cifra hasta las 14.600 Ha y se situó en 1985 en cerca de las 38.500 Ha. Posteriormente, estos valores se aumentaron ya que esta técnica se extendió a otras provincias andaluzas, tales como Sevilla y Huelva en los cultivos de melón y fresa respectivamente. En la actualidad la técnica de acolchado se viene aplicando en España con mayor intensidad, los principales cultivos que se están obteniendo en suelos acolchados con polietileno son por orden de importancia: melón, sandía, algodón, fresón y pimiento para la producción de pimentón. Sólo estos cultivos representan más del 90% de la superficie total acolchada. El otro 10% corresponde a los cultivos siguientes: pepino, tomate, pimiento verde, calabacín, alcachofa, judía, espárrago y patatas (Robledo de Pedro y Vicente, 1988).

2.2.- Características generales de la técnica del acolchamiento.

La técnica de acolchamiento es la operación de cubrir la superficie del suelo con materiales orgánicos o inorgánicos. Es una práctica ya convencional en muchos cultivos y países, pero no es frecuente en el caso de España, con el cultivo de patata concretamente, a pesar de que en otros países, como por ejemplo los países tropicales, es bastante común (Manrique, 1995).

La producción de tubérculos de patata en el trópico ha sido espectacularmente pobre comparándola con zonas templadas. La baja cosecha refleja la incapacidad de tecnologías actuales para superar las limitaciones del suelo y del medio ambiente. (Dean,

PhD, 1994). Un problema que se desprecia a menudo para evaluar las limitaciones de la producción de patata en el trópico, es el hecho de que el crecimiento de la planta no está influenciado solamente por las condiciones atmosféricas que afectan a la parte aérea, sino que también son determinantes las condiciones climáticas y características físicas del sustrato donde se encuentra la parte radicular (Manrique, 1993). El acolchado desempeña, entonces, un papel muy importante en la mejora de los suelos y de las plantas frente al estrés ambiental de otros cultivos tropicales. Sin embargo, para cultivos no tropicales los beneficios no están claramente definidos debido a la incompatibilidad existente entre los acolchados y el suelo. Por lo que se deben realizar distintas pruebas o prácticas de manejo de dicha técnica para cultivos específicos (Manrique, 1995).

Muchos estudios resaltan los beneficios de la técnica de acolchado, siendo los principales los siguientes: 1) Una reducción de la temperatura edáfica que conlleva a una disminución en la aparición de quemaduras en los tubérculos de patata (Dean, PhD, 1994), ya que el cultivo de patata es generalmete sensible a los cambios térmicos bruscos (Manrique, 1995), 2) una reducción en el proceso de lixiviación de los nutrientes, 3) una buena conservación de la humedad edáfica (Locascio et al., 1985; Sanders et al., 1986) condicionada por la diversidad en la composición, grosor y color de los polietilenos utilizados, ya que con esta técnica 4) se mejora las características físicas del suelo, además de proporcionar 5) una mayor eficiencia en la utilización del agua (Yunasa et al., 1994; Magee y Spiers, 1995), 6) y un buen control de las malas hierbas impidiendo o disminuyendo su proliferación (Alonso, 1996), 6) reduciendo las enfermedades causadas por plagas, lo que conlleva una supresión casi total de los tratamientos con herbicidas, debido principalmente al empleo de materiales opacos a la radiación fotosintética activa "PAR" (Manrique, 1995), 7) y finalmente en relación a la producción destacar una mayor precocidad, una mejora del tamaño del tubérculo, y un aumento en la calidad, todo ello generando una disminución de costes de producción (Manrique y Meyer, 1984; Midmor, 1984; Devaux y Haverkort, 1987; Ali, 1993).

2.3.- Distintos tipos de materiales empleados en la técnica del acolchado

Los acolchados pueden estar constituidos por materiales orgánicos o inorgánicos. Los materiales orgánicos más utilizados en el acolchado han sido los de origen vegetal como hojas de maíz o de banana y residuos de paja (Linde, 1982; Midmore, 1983). Los acolchados con materiales orgánicos de paja, han sido los más estudiados y los mejores para varios cultivos. Las diferencias significativas que existen en los efectos beneficiosos entre los distintos materiales orgánicos residen en sus duraciones o persistencias. Evidentemente, el material más duradero produce impactos positivos más duraderos que los acolchados constituidos con materiales biodegradables (Schroth, 1992).

En relación a los materiales inorgánicos son los plásticos y principalmente el polietileno, los más utilizados en el acolchamiento de los suelos. La razón de esta elección no es por causas técnicas justificadas, sino más bien por causas de tipo económico, dado que su precio es inferior al de cualquier otro material plástico utilizado en agricultura (Vanderzaag, 1986). A su vez estos plásticos pueden ser de varios colores como blanco, negro, transparente, gris-humo, verde, marrón y metalizado (Midmore, 1983, Robedo de Pedro y Vicente, 1988). Cada uno de ellos posee unas determinadas características que dan lugar a efectos distintos sobre el crecimiento y producción de los cultivos; por ello es preciso que el agricultor antes de utilizarlos sepa cuál es el comportamiento de cada uno de éstos para que elija el más idóneo de acuerdo con sus necesidades.

Generalmente, los acolchados con materiales plásticos modifican la energía y el balance de agua en la superficie del suelo, creando mejores condiciones para el crecimiento de la planta (Teasdale y Abdulbaki, 1995). Este tipo de acolchado conserva muy bien la humedad edáfica, atrasando la evaporación (Hillel, 1982); pero sus efectos sobre la temperatura edáfica depende de su composición así como de su eficiencia para absorber la luz (Ham et al., 1993). En general, los acolchados de polietileno elevan la temperatura mínima y máxima de suelo, en comparación con suelos sin acolchar (Ashworth y Harrison,

1983; Bristow, 1988; Tessedale y Mohler, 1993). Se demostró que un incremento en el crecimiento de otras solanáceas, así como en su producción, se produce con la utilización del acolchado de polietileno. Esta repuesta es consecuencia de un aumento en el crecimiento radicular y por lo tanto de una mejor absorción de los nutrientes, ya que se mejora las condiciones térmicas de la rizosfera (Wien, 1993).

Los acolchados plásticos, especialmente con distintos colores, crean un microambiente específico para las plantas. Los cambios en este microambiente incluyen cambios térmicos en la zona radicular de la planta así como cambios cualitativos y cuantitativos de la luz reflejada por la superficie del acolchado (Csizinszky et al., 1995). Ya que existen diferencias en la reflexión de la luz incidente en los acolchados plásticos (Manrique, 1995), Matheny et al (1992) demostraron que las plantas que reciben luz reflejada desde acolchados de color blanco producen un 15% más de cosecha comercial que aquellas que reciben la luz desde acolchados transparentes.

Aparentemente, la intensidad de los efectos beneficiosos de los distintos acolchados, depende tanto de la calidad como de la cantidad de la luz reflejada. Esta hipótesis fue apoyada por estudios que demostraban que los acolchados incrementan la producción de tubérculos, aumentando la intercepción de luz y perfeccionando la eficiencia en su uso (Devaux y Haverkort, 1987).

2.4.- Comportamiento espectrométrico de algunos tipos de acolchados de polietileno.

Tras varios años de estudios realizados en diversos países, se comprobó que los resultados obtenidos en parcelas acolchadas con filmes transparentes, negro opaco y gris-humo, eran distintos debido a que los efectos producidos por los mismos eran diferentes como consecuencia del comportamiento espectrométrico de las láminas. Estos efectos son los siguientes:

2.4.1.-Efectos diurnos.

Los filmes transparentes tienen la propiedad de transmitir un elevado porcentaje de los rayos solares recibidos (más del 80%), lo cual provoca un notable calentamiento del suelo que cubren. Este efecto de invernadero produce una buena germinación de las semillas, favoreciendo el crecimiento de los cultivos y dando lugar a la obtención de cosechas precoces. Sin embargo, con este tipo de acolchado se aumenta más, en proporción, la temperatura máxima del día que la mínima (Matheny et al., 1992).

El alto porcentaje de radiaciones visibles recibidas por este tipo de acolchado, unido al aumento de temperatura que experimenta el suelo acolchado, da lugar a que las malas hierbas se desarrollen de tal forma que pueden causar indirectamente ciertos perjuicios a las plantas, por producir pérdidas importantes de agua y de fertilizantes en el suelo, así como algunas molestias mecánicas.

En cuanto a la cubierta plástica negra, esta absorbe una gran parte del calor recibido y lo transmite por radiación térmica hacia el suelo y la atmósfera y puesto que estos filmes no transmiten las radiaciones visibles comprendidas entre 0.3 y 0.8 micras de longitud de onda, no se realiza la fotosíntesis, en consecuencia, las malas hierbas no crecen dando lugar a que los cultivos se desarrollen satisfactoriamente al disponer de cantidades suficientes de agua y de fertilizantes, lo que conduce a un aumento en la producción en comparación con la cubierta transparente (Robledo de Pedro y Vicente, 1988).

Por último y en relación a los filmes gris-humo, las características de estas cubiertas al ser intermedias, dan lugar a unos efectos intermedios. Este plástico absorbe sobre su superficie las radiaciones caloríficas en menor cuantía que la cubierta negra y debido a ello no causa daños a los cultivos por quemaduras, permitiendo calentar el suelo durante el día. Por otra parte, esta cubierta transmite aproximadamente el 35% de las

radiaciones luminosas recibidas, deteniendo de esta manera el crecimiento de las malas hierbas (Teasdale y Abdul-Baki, 1995).

2.4.2.- Efectos nocturnos.

Debido a que los acolchados transparentes permiten el paso durante el día del 80% de las radiaciones luminosas recibidas, el suelo se calienta de tal forma que da lugar a que se produzcan condensaciones en la cara interior del plástico como consecuencia de la evaporación constante. Estas condensaciones, que actúan como pantalla de las radiaciones del suelo hacia la atmósfera, impidiendo así que el mismo se enfríe rápidamente por la noche, lo que contribuye a defender la planta contra las bajas temperaturas por las aportaciones de calor que éstas reciben del suelo. Estos efectos producidos durante el día (calentamiento de la parte radicular de la planta) y durante la noche (aportaciones caloríficas del suelo a la parte foliar de la planta) contribuyen de una manera notoria a la obtención de cosechas precoces, limpias, sanas y más productivas que en los suelos desprovistos de cubiertas en algunos cultivos como los de fresa, melon, tomate y pepino (Teasdale y Mohler, 1993). Sin embargo, los cambios bruscos de temperatura edáfica derivados por la aplicación de esta cubierta podría resultar desfavorable para aquellos cultivos sensibles a estos cambio térmicos como el caso de patata (Manrique, 1995).

En relación al polietileno de color negro, este absorbe por su superficie una gran parte del calor recibido que transmite por radiación hacia el suelo y la atmósfera. El calentamiento del suelo que cubre durante el día, unido a la poca permeabilidad de esta cubierta a las radiaciones caloríficas, impide durante la noche la aportación de calor del suelo hacia las partes aéreas de las plantas. Esto da lugar a que exista cierto riesgo de helada para la planta en noches frías, al no tener la defensa del calor emitido por el suelo. No obstante, el acolchado negro opaco, al actuar de una manera favorable sobre la estructura del suelo, produce mayores rendimientos que en suelos no protegidos, con una ligera precocidad sobre los mismos. En cuanto al plástico gris-humo, que es poco

Introducción

permeable a las radiaciones luminosas, sin embargo lo es bastante a las radiaciones caloríficas como se menciono anteriormente, el comportamiento nocturno de estas láminas es similar a la cubierta transparente, pero mucho menos accentuada que en ésta. Así pues, durante la noche las plantas reciben mayor aportación calorífica del suelo que aquellas que se cultivan en parcelas acolchadas con filmes negro-opaco (Ham et al., 1993). En definitiva, con este tipo de cubierta , además de que se consigua impedir el crecimiento de las malas hierbas , este plástico favorece las aportaciones caloríficas y da cierta precocidad a los cultivos, aumentando sus rendimientos.

2.5.- Manejo de la técnica del acolchado.

Cada region agrícola, al tener su propia climatología, adopta técnicas y prácticas culturales diferentes; por ello, es frecuente observar en un mismo cultivo diferencias en los marcos de plantación, fecha de siembra, espesor variable en las láminas del acolchado utilizado, así como diferencias en la disposición y colocación de las cubiertas sobre el suelo (Amir y Sinclair, 1996).

La mayoría de las cubiertas excepto las láminas de polietileno, son colocadas a la hora de la siembra o después de esta (Midmore, 1983; Vanderzaag et al., 1986; Manrique, 1995). Las láminas de plástico se extienden sobre la superficie del suelo, normalmente antes de la siembra, realizandose en estas una serie de perforaciones, para posteriormente en estas localizaciones se introduzcan las semillas o plántulas (Phene y Sanders, 1976 ; Manrique, 1984). Sin embargo, las cubiertas de materiales orgánicos frescos como tallos, ramas, hojas y otros materiales como paja, se colocan inmediatamente después de sembrar o en varios tiempos del periodo de crecimiento de la planta cultivada (Devaux y Haverkort, 1987; Manrique, 1988). Particularmente, los acolchados formados con materiales orgánicos requieren una constante reaplicación (Manrique, 1988) debido a que durante los primeros once días y a causa del proceso de lixiviación se pierde un 50% en el contenido de nitrógeno y de fósforo y un 75-80% del contenido en potasio, mientras que

aproximadamente a los 42 días la pérdida de estos elementos es del 90%, acelerándose así el proceso de biodegradación (Schroth, 1992).

Teniendo en cuenta estos efectos adversos, se puede pensar que lo ideal es colocar la mitad de la cubierta al sembrar, y la otra mitad cuando finaliza la germinación. Otra posibilidad en su aplicación es después de amontonar la tierra. En Perú, la producción de los tubérculos en suelos donde la colocación de estos acolchados fue realizada después de amontonar la tierra, fue de solamente un 71% con respecto a la producción en suelos acolchados durante la época completa del cultivo (CIP, 1983). Por lo tanto, los efectos beneficiosos del acolchado en el crecimiento de la planta, depende del periodo de su uso. Por ejemplo, el acolchado inorgánico colocado a la hora de sembrar excluye el uso de abonos y/o el hecho de amontonar la tierra, produciendo una reducción en los costos (Manrique, 1995).

Para solucionar este problema, se han tomado en consideración varias alternativas que deben de ser seleccionadas dependiendo del régimen o grado de pluviometría. Citando como ejemplo las áreas con bajas precipitaciones: la aplicación de los fertilizantes realizada de modo profundo y en un solo tiempo a la hora de sembrar , junto con un manejo adecuado del acolchado para asegurar una cubierta bien uniforme durante toda la época del crecimiento, podría minimizar las necesidades de abono y/o del uso de amontonar la tierra o caballones. Sin embargo, en áreas con altas precipitaciones el abonado es requerido para minimizar las pérdidas por lixiviaciones, y el acolchado debería ser colocado después de abonar y/o de amontonar el caballon de tierra (Manrique, 1995).

En áreas donde hay altas intensidades de lluvia o fuertes vientos, o una rápida biodegradación, es bastante difícil guardar la uniformidad de la capa del acolchado y en este caso, la mejor opción es probablemente no acolchar. Sin embargo, en estas zonas la operación de amontonar la tierra, podría ser la mejor alternativa para un rendimiento óptimo de tubérculos con un mínimo grado de daños a las plantas (Manrique ,1995).

Introducción

Entonces, Manrique (1995) concluyó que una de las propiedades del acolchado en áreas con abundantes lluvias o bajo excesiva irrigación, es aumentar el potencial de explotación hídrico "encharcamiento" que, por consiguiente reduce de forma marcada la incidencia de enfermedades y plagas.

Otro problema que se puede tener en el manejo de esta técnica, es el espesor de la capa del acolchado orgánico que puede ser una barrera física a la germinación. Esto depende de la cantidad de capas aplicadas en el acolchado que puede ser de varios centímetros de espesor (Linde, 1982; Midmore, 1983). La capa del acolchado puede también actuar como barrera para la penetración de agua, particularmente en zonas con una pluviometría baja, y como resultados posteriores unas cantidades pequeñas de agua solo alcanzan a llegar al suelo (Midmore, 1983). Por esta razón, en áreas con escasas lluvias esta técnica es menos utilizada en comparación con áreas de intensidad de lluvia elevada, donde hay una mayor producción de biomasa durante todo el año (Manrique, 1995).

En el caso de plantas de patatas, no está aún establecido cual es el acolchado idoneo, ya que no hay constancia de métodos óptimos de medida del espesor de la capa del acolchado. Linde (1982) demostró que se logra un alto porcentaje de germinación cuando la planta está cubierta por una capa de materiales orgánicos de 10 cm de espesor. Se puede concluir que es muy importante determinar el momento adecuado para acolchar. La mejor opción podría durar todo el ciclo biológico completo de la planta. Sin embargo, este procedimiento puede causar, como se vio anteriormente, varios problemas y contribuir por lo tanto a la aparición de efectos adversos (Manrique, 1995). Por otra parte, si se coloca el acolchado en el momento de la siembra, lo ideal es colocar capas bastante finas para permitir que la germinación se realice de forma rápida.

2.6.- Efectos beneficiosos de los acolchados plásticos.

2.6.1.- Disponibilidad de agua en el suelo.

En general, el agua, como se sabe, se considera como el factor limitante de mayor trascendencia en el desarrollo de los cultivos y, en consecuencia, en el rendimiento de los mismos. Aunque su interacción con muchos otros factores es importante, la deficiencia de agua tiene en general un efecto predominante sobre los demás parámetros, y en especial un efecto depresivo sobre el rendimiento. El crecimiento armónico de la planta está directamente relacionado con una disponibilidad adecuada en agua (Alonso, 1996).

Los acolchados plásticos se consideran como barreras físicas eficaces contra la evaporación del agua del suelo. Dos efectos beneficiosos principales proceden de la reducción de evaporación edáfica, siendo estos los siguientes: (i) Gran disponibilidad de agua en el suelo, lo que ofrece a las plantas cultivadas un suministro constante y regular, (ii) y como consecuencia reducción importante en las necesidades de irrigación (Vande Zaag y Demagante, 1985).

Los plásticos aumentan el volumen de la parte aérea, debido probablemente a sus efectos más duraderos, proporcionales a su persistencia, implicando así un incremento del tamaño y del peso seco de todas las partes de la planta, que los producidos por una irrigación sin protección (Renquist et al., 1982a). La eficiencia del uso de los plásticos ha sido demostrada por varios autores, cuyos estudios destacaron que el crecimiento de las hojas, y la formación de frutos de plantas crecidas en condiciones de acolchamiento y sometidas a una irrigación moderada, superan a los de las plantas sin cubiertas e irrigadas con más frecuencia. Por lo tanto, el acolchado mejora el uso eficiente de agua en términos del crecimiento vegetativo así como de la producción de frutos, produciendo como

Introducción

resultado directo la conservación de humedad edáfica que induce a un aumento del crecimiento y de la formación de frutos (Renquist et al., 1982b).

La gran disponibilidad de agua tiene otro efecto accesorio es el de facilitar la flexibilidad de la época de la siembra (Manrique, 1995). Estudios realizados en Bangladesh, demostraron que los acolchados permiten a los agricultores sembrar la planta de patata un mes antes de la fecha de siembra habitual (C.I.P., 1984). En Ruanda, sembrar el cultivo a finales del periodo de lluvia, junto con la aplicación del acolchado, permite al agricultor, mantener el cultivo de patata durante el periodo de sequía, por lo tanto esta técnica conlleva a una reducción de las pérdidas de cosecha, y a una mejora de la producción en tubérculos (Devaux y Haverkort, 1987). Por otra parte, el suelo al ser cubierto con un plástico, por ejemplo, de color negro o gris-humo, no deja desarrollarse la vegetación espontánea; ésta no consume agua ni nutrientes, resultando un ahorro en beneficio del cultivo. Finalmente, las pérdidas por evaporación que se produce por las perforaciones (agujeros hechos para que salgan los tallos de las plantas al exterior) son ligeramente compensados por la recuperación de las aguas de lluvia a través de los mismos (Robledo de Pedro y Vicente, 1988).

2.6.2.- Temperatura del suelo.

Varios estudios fueron enfocados hacia los efectos de las altas temperaturas sobre la germinación, el crecimiento inicial de la planta, así como sobre la iniciación de tuberización y el aumento de los tubérculos de patata (Linde, 1982; Manrique et al., 1989; Manrique y Bartholomew, 1991; Manrique, 1992; Manrique, 1993a.).

En suelos no acolchados, y a pesar de la reducción considerable de la temperatura edáfica, gracias a un buen manejo del suelo, las temperaturas en algunos casos, se consideran todavía inadecuadas para dicho cultivo (Manrique, 1993a). Por el contrario, se ha destacado que las capas del acolchado modifican el balance de la energía en la

superficie del suelo debido a una intercepción eficaz de la totalidad de la energía que llega a este y alternando el efecto de la temperatura edáfica, así como a una reducción de pérdida rápida del calor del suelo (Manrique, 1988).

Los efectos de los acolchados sobre la temperatura edáfica varían dependiendo de la composición y de las propiedades ópticas del acolchado (Ham et al., 1993). En general, los acolchados de polietileno aumentan las temperaturas máximas y mínimas del suelo comparándolas con las de suelo sin acolchar (Ham et al., 1993; Teasdale y Mohler, 1993). Se demostró que menos de 10% de las radiaciones solares están reflejadas o transmitidas por el polietileno negro, mientras que el 90% de estas están absorbidas (Teasdale y Abdul-Baki, 1995). Estos mismos autores destacaron una significativa conducción de radiaciones térmicas que ocurre desde las capas del acolchado hacia el suelo, así como pocas cantidades de energía se pierden mediante la evaporación conduciendo a una ganancia neta del calor edáfico durante el día. Sin embargo durante la noche, el filme detiene, en cierto grado, el paso de las radiaciones caloríficas desde suelo hacia la atmósfera, fenómeno que depende, en mayor o menor cuantía, según se utilicen filmes de polietileno transparente, gris-humo, negro, metalizado, etc., o bien se trate de otros tipos de filmes (Robledo de Pedro y Vicente, 1988).

Se comprobó que un mayor almacenaje de calor bajo el polietileno negro durante el día produce unas altas temperaturas mínimas bajo las capas de este durante la noche. Además este tipo de acolchado pierde muy poca cantidad de energía desde el suelo durante la noche comparándolo con el suelo sin acolchar, debido a la reducción de las pérdidas de evaporación y de radiación térmicas (Ham et al., 1993; Teasdale y Abdul-Baki, 1995).

Por otra parte, se demostró que el crecimiento de las partes aérea y radicular de algunas solanáceas, cultivadas con el polietileno negro fue mayor cuando la temperatura radicular oscilaba de 20 a 30°C y declina rápidamente fuera de este rango (Tindall et al.,

Introducción

1990). El mayor crecimiento de estas plantas que condujo a una mayor producción (Teasdale y Abdul-Baki, 1995) es consecuencia de un aumento en el crecimiento radicular y por lo tanto de una mayor absorción de los nutrientes (Wien et al., 1993).

2.6.3.- Propiedades físicas del suelo.

La estructura del suelo tiene una influencia directa e indirecta sobre el desarrollo vegetal, debida a su incidencia en el crecimiento radicular. La estructura del suelo tiene un efecto directo en el desarrollo radicular, que corresponde a la resistencia física que se opone a la penetración de la raíz, ya que una estructura porosa, esponjosa con agregados estables, tiene una influencia muy favorable sobre la expansión radicular, asegurándose una buena aireación y retención de la humedad, además de ofrecer una mínima resistencia física al crecimiento de la raíz (Dean, 1994). Otro efecto importante, y que en una proporción considerable puede ser imputado a la propia estructura, es el de la compactación del suelo (Dominguez, 1989).

En este apartado, se intenta ofrecer una pequeña información sobre los mecanismos desarrollados por el acolchado para mejorar el medio edáfico de cultivos de Patata, a pesar de que existen pocos estudios enfocados al efecto del acolchado sobre varias propiedades físicas del suelo.

Un suelo cubierto con filmes de plástico presenta una estructura ideal para el desarrollo de las raíces de las plantas. Estas se hacen más numerosas, más largas en sentido horizontal a consecuencia de que la planta, al encontrar la humedad suficiente a poca profundidad y un suelo bien mullido, su sistema radicular se desarrolla más lateralmente que si tiene que buscarla a mayores profundidades. Además, con el aumento de raíces secundarias se asegura a la planta una mayor absorción de agua y sales minerales, que conducen por consiguiente a unos mayores rendimientos (Robeldo de Pedro y Vicente, 1988; Alonso, 1996).

En la India, el porcentaje de difusión de oxígeno, considerado como un parámetro de evaluación útil para el crecimiento radicular de la planta, fue significativamente más elevado en plantas de arroz acolchadas con material orgánico, que en suelos sin plantar (Jakckson, 1962). La densidad que es una medida del grado de cohesión de las partículas del suelo, fue también más baja en los cultivos acolchados de arroz en comparación con suelos no cultivados (Manrique, 1995). Según este autor, el laboreo del subsuelo puede sustituir las características anteriormente explicadas, que conlleva el acolchado. Sin embargo, esta práctica está limitada por dos factores: (1) escasez de maquinaria conveniente para esta manipulación y (2) la acidez edáfica y su toxicidad en Al y Mn que se produce por la alteración del subsuelo.

La producción de patata en suelos erosionados es particularmente difícil porque el contacto directo de la planta con el subsuelo compacto puede retrasar la germinación y limitar el crecimiento de las raíces en las capas poco profundas (Manrique, 1989). Por lo tanto, los caballones acolchados ofrecen una buena alternativa para una siembra adecuada en suelos gravemente erosionados. La determinación de las propiedades físicas del suelo bajo capas de acolchado demuestra que la resistencia del suelo, que es un índice de compactación del suelo, aumenta cuando la distancia desde el punto central del caballón aumenta (Baver y Gardner, 1972). La baja resistencia en el nivel alto del caballón, es indicativo de la disgregación del suelo y de una buena aireación bajo las capas del acolchado (Alonso, 1996). Estos resultados están apoyados por otros trabajos que indican que en suelos acolchados existe una reducción de la resistencia del suelo a la germinación y una mayor humedad (Linde, 1982).

Los efectos del acolchado sobre la penetración de agua, procedente de lluvia o riego no están bien estudiados, y parece ser que éstos dependen del régimen de pluviometría. En zonas con altas precipitaciones, las capas de los acolchados reducen la penetración del agua de lluvia, disminuyendo así las pérdidas por lixiviación y mejorando el

Introducción

uso eficiente de fertilizantes (Manrique, 1995). En este sentido experimentos realizados con plantas de patatas con o sin acolchar, fertilizadas con niveles crecientes de nitrógeno, destacaron que la producción comercial y total incrementa significativamente, de forma proporcional a los niveles de N aplicado, cuando el grosor de las capas del acolchado era mayor. Este incremento en la producción de los tubérculos relacionado con un mayor número de galgas del acolchado, resulta aparentemente en una mejor disponibilidad del nitrógeno para las plantas (Manrique, 1995).

2.6.4.- Fertilidad del suelo y crecimiento de la planta.

La elevación de la temperatura y humedad del suelo como consecuencia de estar protegido con un filme de plástico favorece la nitrificación y por lo tanto, la absorción de iones por la planta. Por otro lado, al estar protegido el suelo por estas láminas impermeables al agua, las lluvias no lavarán éste y los elementos fertilizantes no serán arrastrados ni por su superficie, ni a capas profundas donde no puedan llegar las raíces de las plantas. Las pérdidas de nutrientes por lixiviación serán en este caso casi nulas (Yunusa et al., 1994)

Los acolchados plásticos aceleran en general la germinación (Linde, 1982; Midmore, 1984; Vanderzaag et al., 1986). Sin embargo, Manrique y Meyer (1984) observaron un retraso en la germinación en suelos acolchados, probablemente atribuido a una barrera física producida por las capas del acolchado. Estos autores indican que una vez completa la germinación, el desarrollo de la planta se ve potenciado, ya que muestra unos tallos más largos, abundantes ramas y una cobertura aérea bastante grande. La iniciación de la tuberización también es acelerada, conduciendo posteriormente a un aumento rápido en el tamaño de los tubérculos y por consiguiente a una alta producción de patatas (Manrique, 1995).

2.6.5.- Control de las malas hierbas.

La técnica del acolchamiento puede considerarse como eficaz en cuanto al control de las malas hierbas, sus efectos beneficiosos residen en el rápido crecimiento de la planta, una adecuada colocación del pie de la planta y una alta producción en comparación con otros resultados obtenidos mediante el uso de herbicidas para el control de dichas hierbas (Manrique, 1995). La eficacia de los acolchados en dicho control depende del tipo del material usado para ello, como se demostró, los acolchados formados por materiales inorgánicos son mucho más eficaces que los formados por materiales orgánicos (Skroch et al., 1992).

El crecimiento y desarrollo de la vegetación espontánea que se origine debajo de las láminas de plástico dependerá considerablemente del color de las mismas, es decir, de su permeabilidad a la luz solar. Se puede evitar totalmente el crecimiento de éstas utilizando un filme negro. Aunque en otras tonalidades como transparente, verde, marrón y gris-humo aparecen las malas hierbas en mayor o menor cuantía respectivamente, a veces estas hierbas no llegan a desarrollarse completamente puesto que el plástico termina sofocándolas, a consecuencia de las altas temperaturas que se originan bajo el mismo (Skroch et al., 1992; Alonso, 1996).

2.7.- Efectos adversos de los acolchados.

Los efectos adversos se pueden considerar como directos que afectan directamente al crecimiento de la planta, o indirectos afectando al manejo del suelo así como del cultivo (Manrique, 1995). Como efectos indirectos, los acolchados excluyen la aplicación limitante del suministro de los fertilizantes a la hora de sembrar (C.I.P., 1985). Así en áreas con altas precipitaciones, la aplicación de los fertilizantes en un solo tiempo puede contribuir a serias pérdidas por lixiviación produciendo entonces un bajo uso eficiente de estos nutrientes.

Introducción

Generalmente, los efectos directos de los acolchados se atribuyen al color del plástico utilizado, uno de estos efectos es la formación de hojas dañadas o quemadas, de plantas cultivadas bajo plástico negro, y la aparición de síntomas de deficiencia nitrogenada en plantas cultivadas con plásticos de otros colores, ya que están producidos probablemente por las radiaciones reflejadas desde estas cubiertas y que alteran por consiguiente el proceso metabólico del nitrógeno en cuanto a su absorción y asimilación (Matheny et al., 1992). Por otra parte en el caso de siembras superficiales, Los acolchados pueden entonces inducir a: (1) estolones más abundantes que favorecen un buen crecimiento de la parte aérea y (2) quemaduras en los tubérculos en el caso de la patata (Manrique y Meyer, 1984).

El espesor de las capas del acolchado y/o la utilización constante de éstas puede ayudar a minimizar la inestabilidad y/o la biodegradación del acolchado. Son embargo el espesor de estas capas no puede considerarse tampoco libre de limitaciones. Éstas pueden atrasar o reducir la germinación en plantas que tienen dificultades de crecimiento a través de las capas del acolchado orgánico y por consiguiente muestran a menudo tallos plegados o torcidos (Linde, 1982). El espesor de los acolchados puede ser también una barrera efectiva para la penetración de agua de lluvia en áreas con una gran variabilidad de precipitaciones (Manrique, 1995). Mientras que, en áreas con alta pluviosidad el exceso de agua bajo las capas del acolchado, puede incrementar el índice de aparición de las enfermedades. Esto se considera como uno de los factores adversos de los acolchados en ciertas condiciones (VanderZaag et al., 1986).

2.8.- Características generales de la planta de Patata.

La planta de patata está considerada como uno de los alimentos más importantes, clasificada en cuarto lugar a nivel mundial en cuanto a las grandes superficies dedicadas a su cultivo. Este ocupa una gran superficie cuya mayor parte está localizada en Europa,

incluida Rusia. Entre los restantes países los principales productores son Polonia, China, India, Alemania, Estados Unidos y España.

Concretamente en España, la superficie dedicada a este cultivo ha sido muy estable, manteniéndose en el orden de 350-400.000 ha con rendimientos medios que han ido mejorando paulatinamente hasta superar en 1980 las 16 tm/ha, cifra con la media mundial relativamente baja. Este bajo rendimiento se debe a que más del 50% de la superficie, se cultivaba en secano, donde la producción se vió afectada por la limitación de agua. Más de la mitad de la superficie cultivada de patata en España, se halla localizada en la zona noreste (Galicia, Cantábrico y Cuenca del Duero). En cambio, la patata temprana y extratemprana se cultiva principalmente en Levante, Andalucía y Canarias (Dean, PhD, 1994; Alonso, 1996).

Generalmente, la patata se cultiva para su aprovechamiento, sobre todo como alimento para el hombre, aunque también se utiliza en algunos países como alimento del ganado o como materia prima para el uso industrial de fécula o alcohol. Los tubérculos de patata, con una materia seca total del orden de 15 a 25%, tienen un importante porcentaje de fécula que puede oscilar desde un 13 hasta un 20%, y una cantidad relativamente pequeña de materia nitrogenada (1-3%), que incluye principalmente albúmina. Los rendimientos industriales son aproximadamente de un 16% en fécula y un 12% en alcohol. El valor alimenticio de patata como alimento para el ganado se estima en 0.2-0.3 unidades forrajeras por kg (Dominguez, 1989; Dean, PhD, 1994).

2. 8. 1. - Características nutritivas de la planta de Patata.

Dado el rápido desarrollo del cultivo, la absorción de los elementos nutritivos se efectúa en un periodo aproximado de poco más de 60 días, lo que exige velocidades diarias muy importantes de absorción, o al menos de Potasio y Nitrógeno. La mayor parte

Introducción

de la absorción total de los iones se realiza durante el período de crecimiento vegetativo hasta la floración (Bardyshau et al., 1977).

El nitrógeno es muy necesario durante este período inicial, influyendo de modo importante sobre el desarrollo foliar, fase determinante de la capacidad posterior de síntesis de hidratos de carbono. Una absorción adecuada de nutrientes durante este período tiene un impacto, por tanto, sobre el vigor de la planta y el rendimiento de los tubérculos (O'Sullivan, 1987). Apartir de la floración, una suministro en exceso de nitrógeno, estimula la producción de giberelinas, lo que implica un desequilibrio en el balance hormonal y la interrupción de la tuberización y el aumento del crecimiento vegetativo, desviándose por lo tanto, los hidratos de carbono hacia el desarrollo foliar (Agustin, 1977; Madore, 1995). Una posterior reducción del nivel de nitrógeno suministrado, puede corregir estas respuestas y crear de nuevo las condiciones adecuadas para la tuberización, sin embargo se forman tubérculos en cadena o con malformaciones (Mondy y Rock, 1978). Entonces, tal y como se demostró por Alonso (1996), una correlación negativa entre la disponibilidad del nitrógeno y la tuberización en las fases posteriores de la floración.

El fósforo que se absorbe también durante la época del desarrollo vegetativo determina el desarrollo del sistema radicular e influye considerablemente sobre el número de tubérculos por planta, determinado durante el periodo inicial del crecimiento del cultivo (Widdowson y Penny, 1975).

El potasio es el elemento absorbido en mayor cantidad. Su influencia en el desarrollo vegetativo de la planta es bastante importante. No obstante, su efecto esencial reside en aumentar, junto con el fósforo, la eficacia en la fijación de energía solar que se traduce en una mayor síntesis de hidratos de carbono (Watanabe y Yashida, 1970). Por otra parte, el potasio interviene en el transporte de las sustancias asimiladas hacia los tubérculos. Además se comprobó en muchos estudios, su influencia sobre el incremento en

el tamaño de los tuberculos y su efecto en la resistencia a las enfermedades por parte de las plantas (Mc dole et al., 1978)

2.8.2.- Factores limitantes de la producción de Patata.

La capacidad máxima de producción de una planta está definida por el potencial de la misma de asimilación y formación de materia seca por unidad de tiempo en las condiciones climatológicas óptimas. Este potencial está determinado por los factores genéticos de la planta. El potencial practico de interés para la agricultura es el correspondiente a las condiciones climatológicas normales en una determinada zona de cultivo manteniendo todos los factores controlables en condiciones favorables (Dean, PhD, 1994).

Cuando todos los elementos y condiciones, necesarios para el crecimiento de la planta, actuan de forma óptima en un nivel bien determinado de intensidad o cantidad, estos se consideran como factores del desarrollo de dicha planta. Por lo tanto, si cualquiera de estos factores no está en la cantidad o condición favorable en relación con las exigencias de una determinada especie vegetal o cultivo, puede por consiguiente limitar el desarrollo así como la producción del cultivo (Alonso, 1996).

La temperatura, luz, humedad, nutrientes, etc... son los principales factores que pueden afectar a la producción de muchas especies vegetales así como de las plantas de patata.

2.8. 2. 1.- La temperatura y su efecto sobre la producción.

La temperatura es un factor de crecimiento de primera magnitud cuya influencia se extiende a prácticamente todos los procesos relacionados con el desarrollo vegetal. Por consecuencia, es un factor limitante de igual importancia que el agua. Hay que tener bien

Introducción

presente que para cada especie la temperatura óptima depende de la etapa de desarrollo en cuestión (germinación, crecimiento, floración, fructificación, tuberización, etc...) e incluso en condiciones diurnas y nocturnas. Las plantas tienen diferentes requerimientos en cuanto a los grados de temperatura, lo que consiste en el fenómeno conocido como termoperiodicidad (Alonso, 1996).

Uno de los efectos de las bajas temperaturas es la disminución del crecimiento de la planta y la reducción de su metabolismo (Salisbury y Ross, 1985). En plantas de tomate por ejemplo, Rejina y Robert (1991) demostraron que las bajas temperaturas pueden retrasar la floración así como la fructificación e incluso reducir la producción total y la calidad de la producción . Sin embargo, las altas temperaturas afectan el desarrollo de la planta de patata así como la producción de los tubérculos. Esto se destaca tal y como comprobó Manrique (1993), por lo menos en dos vías. La primera mediante una reducción del crecimiento aparentemente producida por un déficit hídrico y la segunda mediante la reducción en la distribución de los asimilados hacia los tubérculos. Parece ser que la segunda vía es el proceso más dominante ya que la distribución de los nutrientes aumenta para favorecer el crecimiento de la parte aérea y disminuye a niveles inferiores a los requeridos para la iniciación de la tuberización. En el caso que una tuberización pudiera tener lugar, se formaría un número pequeño de tubérculos. El crecimiento de estos últimos se ve despreciado ya que la mayoría de los asimilados están utilizados para el proceso de la respiración (Manrique, 1993). Wolf (1991) demostró que en plantas de maíz, el aumento de la temperatura desde 17 hasta 25°C causa un incremento en la acumulación de peso seco, este aumento está correlacionado con la actividad de la enzima Almidón-Sintasa, y con el incremento de la concentración de glucosa y sacarosa (Lee y Sette, 1985).

En plantas de patata, Lee y Sette (1985) demostraron que la sacarosa se transloca hacia los tubérculos principalmente para la síntesis del almidón. Otras moléculas de carbono están dirigidas para la generación de energía por medio de la respiración (Wolf, Marani y Rudich, 1991). En algunas variedades de patata como "Norchip y "Up-to-date,

el crecimiento de la planta está severamente afectado por las altas temperaturas. La acumulación del peso seco está también afectado en dichas condiciones (Wolf et al., 1990), lo que conlleva a un bajo crecimiento de los tubérculos (Abbas y Jams, 1995). Las altas temperaturas ambientales junto con altos niveles de radiación solar pueden limitar la cosecha y la calidad de los cultivos crecidas en regiones del Sur de Estados Unidos (Robert y Anderson, 1994). Técnicas de producción son entonces necesarias para producir cultivos sensibles al calor durante los meses de verano. Las técnicas de semiforzado están utilizadas para modificar las condiciones ambientales y por lo tanto mejorar la cosecha (Robert, 1994).

Las altas temperaturas ejercen efectos adversos directos e indirectos sobre el crecimiento de la planta, como efecto directo, citamos, el incremento de la absorción de nutrientes tóxicos para dicha planta. En cuanto a los indirectos, la alteración del desarrollo vegetal a causa de un incremento de la temperatura tanto aérea como edáfica (Nkansah y Ito, 1994). Otros ejemplos de gran importancia del impacto indirecto de la temperatura son la actividad microbiana, y como consecuencia, la descomposición de la materia orgánica y la liberación de los nutrientes, los procesos químicos del suelo de fijación y liberación de los elementos nutritivos, la composición del aire del suelo... son otros ejemplos de esta acción indirecta que pueden ejercer las altas temperaturas. En conclusión, la temperatura es un factor de desarrollo de gran transcendencia que debe contemplarse en conjunto con los demás factores a los que , en cada caso, está relacionada (Manrique, 1993; Nkansah y Ito, 1994; 1995).

2.8. 2. 2.- Efecto de la luz sobre la producción.

La luz es un factor esencial para la realización del proceso de fotosíntesis , su influencia se ejerce en tres diferentes aspectos: Intensidad, Calidad y Duración (Marschner, 1995). En primer lugar la influencia de la intensidad de la luz, se refleja en un incremento de la fotosíntesis paralelo al de la intensidad luminosa hasta que se alcance el nivel de

Introducción

saturación. El nivel mínimo de intensidad necesario y crítico para la planta es aquel que le permite compensar con la fotosíntesis diaria las pérdidas correspondientes a 24 horas de respiración. En cuanto a la calidad, la eficacia de la fotosíntesis depende de la longitud de onda recibida, siendo máxima en las bandas azul y roja. Por último y en relación con la duración, el tiempo diario de exposición a la luz o fotoperíodo tiene una gran influencia sobre determinados aspectos fisiológicos de determinadas plantas, como la floración y la germinación. La banda de radiación ultravioleta (longitud de onda inferior a la visible) tiene una gran influencia sobre las plantas. Su efecto puede ser beneficioso si se recibe en cantidades limitadas, siendo por el contrario muy perjudicial una exposición excesiva (Dean, PhD, 1994).

En plantas de patata, la intensidad luminosa desempeña un papel importante en el crecimiento de la planta. Muchos estudios demostraron que las altas intensidades de luz incrementan la fotosíntesis, estimulan la floración, aceleran la iniciación de tuberización, incrementan el tamaño de tubérculos, aumentan la producción en materia seca y por último adelantan la senescencia (Steward y Moreno Roca 1981); (Gawronsko y Dwelle 1989). Las bajas intensidades de luz, a su vez producen cambios morfológicos en toda la planta (hoja, tallo, raíz y tubérculo), favoreciendo específicamente la elongación de los tallos y reduciendo el peso de los tubérculos así como el contenido de materia seca (Bodlaender 1963); (Gawronsk y Dwelle 1990). En general, la reducción de la intensidad luminosa puede provocar en las plantas de patata un incremento en la elongación de los tallos, y por lo tanto la altura de la planta, una reducción de la superficie foliar, un retraso de la iniciación de tuberización y de la senescencia foliar, una reducción en la producción de tubérculos por planta y por último un aumento en el número de tubérculos podridos (Midmore, 1983; Demagante y Vanderzaag, 1988 ; Fahem y Haverkort, 1988). Las plantas pueden adaptar su función fotosintética a un amplio rango de condiciones ambientales predominantes. La respuesta de los tejidos fotosintéticos a los cambios de niveles de luz en un ambiente soleado o de sombra está bien documentado (Bardmen, 1977). En las condiciones de sombra las plantas de patata incrementan su capacidad para

absorber la energía luminosa, mientras que en ambiente soleado esta capacidad para absorber la luz esta reducida (Kenneth y Steffen, 1995).

2.8. 2. 3.- Efectos hídricos relativos a las plantas de patata.

En la explotación agrícola el agua es un factor esencial, sin duda se puede calificar este elemento como el factor limitante de mayor importancia en la producción agrícola mundial, y en particular en la española. Cabe destacar que las plantas tienen necesidad de absorber el agua del suelo de forma continua para mantener su crecimiento normal. Una falta de absorción durante un solo día puede tener graves consecuencias sobre el desarrollo de la planta. La importancia de este factor se hace crítica en las fases más delicadas del desarrollo, como la floración, el cuajado de los frutos o la tuberización, durante las cuales, una escasez aún ligera de este elemento puede afectar de modo irreversible a la producción. La eficiencia en la utilización del agua por la planta depende de muchos factores, entre los cuales existen interacciones muy estrechas (Haverkort et., 1990).

2. 8. 2. 3. 1.- Efecto de un exceso hídrico.

En regiones templadas, se pueden mencionar dos efectos adversos al crecimiento de patata que son la aireación reducida y la cantidad total de difusión del oxígeno deprimido. Estos dos efectos pueden llegar a inducir: la formación de ramas y elongación de estolones, el descenso de la gravedad específica de los tubérculos y relativa a la producción comercial, el incremento del porcentaje de los tubérculos con crecimiento interrumpido con o sin defectos internos, como la susceptibilidad de la formación de necrosis (Paterson, 1975; Saini, 1976; Sammis, 1980; Miller y Martín, 1983; Yamaguchi et al., 1984; Holder y Cary, 1984 ; Miller y Martín, 1985).

Pocos trabajos fueron enfocados al exceso de pluviosidad sobre el crecimiento de la planta, pero probablemente el exceso de lluvia es responsable de la reducción de la

Introducción

producción de los tubérculos y de su calidad. El exceso de pluviometría en las zonas tropicales establece un ambiente ideal para la aparición de enfermedades. En Africa tropical, una cantidad de lluvia de 200 mm/mes, se encuentra en combinación con las temperaturas definidas para el crecimiento óptimo de *Phytophthora infestans*, que limita la producción de patata (Haverkort, 1986; Haverkort y Bicomumpaka, 1986; Devaux y Haverkort, 1987). Las bajas temperaturas y la alta pluviometría en el Oxisol, a su vez, favorecen las infecciones producidas por *Rhizoctonia Solani* (Manrique, 1984).

2 8. 2. 3. 2.- Deficit hídrico.

En medios semihúmedos o áridos, los cultivos de patata carecen de un aporte hídrico suficiente que resulta de una baja capacidad del suelo para la retención de agua (Martín. y Miller, 1983). El cultivo responde de forma distinta a un déficit en agua tal como puede ser un incremento de la resistencia causando entonces el cierre de los estomas (Epstein. y Grant, 1973) y por lo tanto reduce tanto la transpiración como la fotosíntesis, que luego produce una inhibición del desarrollo de la planta y una madurez precoz (Levy, 1986; Jefferies y Mackerron, 1989).

Bajo escasez de agua, la inhibición del crecimiento de la planta proviene de una reducción de la parte aérea (Vanderzaag y Demagante, 1985), (Manrique, 1989), de la limitación de la luz interceptada (Jefferies y Mackerron, 1989; Devaux y Haverkort, 1987) y de la reducción del uso eficiente de la luz (Trebejo y Midmore, 1990). Además la inhibición del desarrollo está más pronunciada cuando las plantas están expuestas a la vez a altas temperaturas y a un déficit hídrico. La producción de los tubérculos se ve disminuida con mayor porcentaje de tubérculos de pequeño tamaño (Levy, 1974; Manrique, 1987) que no llegan a alcanzar el requerido para la comercialización. Estos efectos se deben a una tuberización retrasada, una baja asimilación hídrica para el desarrollo de los tubérculos, así como una reducción temporal entre la fase de iniciación de

la tuberización y la madurez (Manrique et al., 1984; Levy, 1986; Jefferies, 1989; Manrique y Ewing 1989).

En conjunto, el déficit hídrico conlleva generalmente a una reducción del tamaño de las plantas y del número de hojas incrementando su peso, así como a una senescencia foliar, y por último a una reducción del uso eficiente de la radiación (Marutani y Crus, 1989; Trebejo y Midmore, 1990; y Hang y Miller, 1986). Los cultivos de patata crecidos bajo estas condiciones producen tubérculos pequeños con bajo contenido en agua (Haverkort et al., 1990) y en general estas plantas tienen altos contenidos en nitrógeno, fósforo y potasio (Manrique et al., 1984).

2. 8. 2. 4.- Efecto de la acidez y salinidad del suelo sobre la producción.

La acidez del suelo, es el resultado de la combinación de un gran número de interacciones entre los componentes químicos del suelo. Cualquier variación de esta medida tiene como consecuencia la alteración de muchos factores, por lo que resulta muy complejo establecer la causa directa de la respuesta de los cultivos a los cambios de la acidez. Las diferentes especies vegetales muestran diferencias notables en su capacidad de adaptación y tolerancia a las características de los suelos ácidos. La influencia del pH en el crecimiento vegetal se ejerce, a través de muchos factores, entre los cuales cabe destacar los siguientes: toxicidad de los iones hidrógeno, aluminio y manganeso; deficiencia de calcio, fósforo y molibdeno; fijación de nitrógeno atmosférico; humificación y mineralización de la materia orgánica y finalmente absorción de los nutrientes en función de su disponibilidad.

En plantas de patata, la deficiencia de calcio es la causa directa del efecto de la acidez del suelo. Aunque la patata está considerada como un cultivo tolerante a suelos ácidos, en suelos muy ácidos, el crecimiento de la planta así como la producción están espectacularmente reducidos (Manrique, 1993). Se ha demostrado que en regiones

Introducción

templadas, la deficiencia en calcio está relacionada con un desequilibrio en el crecimiento de plantas de patata crecidas en suelos arenosos (Simmons y Kelling, 1987). En suelos de Florida se observó también que la aplicación de más de 900Kg/h de Ca a estos suelos cuyo contenido fue de 436mg/Kg de Ca, conllevó a un incremento el contenido de Ca en el suelo así como un aumento en la cosecha en tubérculos y en el calcio peridérmico (Locascio et al., 1992). Estos resultados fueron apoyados por otros, que indicaron que la aplicación de calcio en suelos, cuyo contenido en Ca fue comprendido entre 250 y 350 mg/Kg, implicó una mejora de la producción en tubérculos así como de su calidad (Simmons y Kelling, 1987 ; Simmons et al., 1988).

Un problema potencial de la deficiencia en calcio es la alta incidencia a enfermedades bacterianas. La incidencia de la putrefacción blanda bacterial por *Erwinia carotovora* en patata fue asociada al contenido de Ca en los tejidos de los tubérculos (McGuire y Kelman, 1984; Tzeng et al., 1986; Lindo et al, 1987). A pesar de que esta relación no puede considerarse como específica, la reducción del potencial de putrefacción bacterial fue paralelo al incremento de calcio en los tejidos de tuberculos, como respuesta a un suministro exógeno de calcio (McGuire, 1983; McGuire y Kelman, 1984; Lindo et al., 1987; Bartz et al., 1992).

La salinidad del suelo afecta a los cultivos limitando principalmente la capacidad de absorción de agua, debido a que la salinidad reduce notablemente el potencial hidrico del suelo, y por consiguiente disminuye muy sensiblemente la cantidad de agua disponible para la planta. La salinidad se considera como un factor muy limitante para la producción de patata particularmente en áreas semiáridas o áridas, donde no existe suficiente pluviometría y, por lo tanto, la circulación de agua en el suelo es muy limitada lo que induce a una acumulación de sales solubles en la solución del suelo, y como se comprobó, la salinidad acelera la senescencia foliar y decrece el número de tubérculos así como la producción por planta (Levy y Efron, 1988). Se ha estimado la reducción en producción

de patata en un porcentaje superior de 25%, que corresponde a un valor de la conductividad eléctrica superior a 0.4s/m (Maianan, 1985).

2. 8. 2. 5.-Efecto de algunas deficiencias o toxicidades nutricionales sobre la producción.

2. 8. 2. 5.1- Nitrógeno.

La deficiencia en nutrientes es probablemente la principal limitación de la producción de patata. Su crecimiento está limitado en mayor medida por la deficiencia del nitrógeno que por la de otros nutrientes (Mc Collum y Valcerde, 1968; Bartholomen, 1972; Manrique, 1993). Esto se debe a que el cultivo de patata requiere altos niveles de nitrógeno para lograr un buen crecimiento de la planta. Por ejemplo muchos suelos tropicales tienen un bajo contenido en materia orgánica y por consiguiente implican una deficiencia nitrogenada en las plantas y una disminución de la producción (Manrique, 1993).

Una escasez de nitrógeno en el suelo puede retrasar la iniciación del proceso de tuberización, reducir el crecimiento de los tubérculos e incrementa el coeficiente de partición, que es la razón entre el crecimiento de los tubérculos y del cultivo en total (Mc.Collum, 1978). Si este coeficiente es relativamente alto sin una aplicación del nitrógeno, esto indica un buen crecimiento de los tubérculos y por lo tanto, esta razón decrementa cada vez que aumenta la aplicación nitrogenada (Manrique, 1993) . Un periodo de cultivo corto y una gran demanda de nitrógeno provoca que las plantas padezcan fácilmente de deficiencia nitrogenada, particularmente durante el periodo de incremento de los tubérculos, considerado como fase clave del desarrollo de las plantas. Sin embargo, estos daños pueden ser corregidos con una fertilización nitrogenada (Mclean, 1984).

Introducción

En general, la respuesta de la planta de patata a una fertilización nitrogenada depende del tipo del suelo, de las precipitaciones así como de la variedad en sí (Manrique, 1992). Muchas evaluaciones se usaron para determinar la necesidad de la planta al nitrógeno, entre ellas la razón o el estatus "Nitratos/Nitrógeno" en el suelo, siendo esta muy utilizada en regiones templadas, debido a la estrecha relación existente entre la producción de los tubérculos y el contenido de NO_3^- en el suelo (Porter y Sisson, 1991). Esta relación fue usada por algunos investigadores con el fin de establecer unos niveles críticos de nitratos para un desarrollo óptimo de la planta. Por ejemplo, Porter y Sisson (1991) encontraron que sin fertilización nitrogenada, y solamente con un contenido en suelos de nitrógeno en forma de nitratos de 6mg/kg era suficiente para alcanzar un 47% de plantas con máxima cosecha. Rourke (1985) a su vez demostró que niveles de 9 mg/kg de NO_3^- eran suficientes para lograr una máxima producción del 75%. En otros estudios se destacaron respuestas inversas en plantas sometidas a una fertilización nitrogenada, y crecidas en suelos con niveles de nitratos superiores a 8 mg/kg (Westermann et al., 1988; Manrique, 1993).

Salvo algunas excepciones y dentro de los suelos naturalmente ricos en materia orgánica y/o bajo vegetación permanente, muy pocos contienen suficientes niveles de NO_3^-/N para un buen crecimiento de la planta. Se conocen varios factores que contribuyen a bajar los niveles de nitratos, entre ellos las altas pérdidas de nitratos por filtración o lixiviación, la baja capacidad de cambio aniónico que se refleja en la reducción de la capacidad edáfica para retener los nitratos o cloruros, y ultimamente una gran variabilidad tanto en el tiempo como en el espacio de nitratos del suelo (Parfitt, 1980). Por ejemplo, la variación en el contenido de NO_3^- en suelos tropicales, esta gobernada en general por el predominio del régimen de pluviometría (Manrique, 1993).

El nitrógeno, como se vió anteriormente ejerce una influencia favorable para el cultivo hasta la fase de floración y desfavorable después. Por ello, resulta muy importante

conocer la cantidad de este elemento disponible para el cultivo en el suelo. Esto es el caso del nitrógeno mineral que existe en el suelo en la época de la plantación, más el nitrógeno neto que se vaya mineralizando a lo largo del período vegetativo y que depende de la materia orgánica del suelo y de los residuos de los cultivos anteriores (Mondy y Rock, 1978). Por ello, tanto el conocimiento del nivel del humus del suelo, como del nitrógeno mineral del suelo antes de la plantación son indicaciones de gran interés que se obtienen mediante un análisis del suelo en cuestión (Osullivan, 1978; Alonso, 1989).

2. 8. 2. 5.2.- Fósforo.

Comparándolas con otros cultivos radiculares, las plantas de patata no responden generalmente a la presencia de micorrizas, cuya función es la de aumentar la capacidad del sistema radicular del cultivo para la absorción del fósforo edáfico, y por consiguiente requieren altos niveles de fósforo en el suelo o bien una alta fertilización fosfórica para obtener una cosecha óptima (Howeler, 1989; Manrique, 1993). Cuando las plantas están cultivadas en un suelo deficiente en fósforo, el resultado es un retraso en la iniciación de la tuberización así como una reducción en el crecimiento de los tubérculos y de la producción final (Mc Collum, 1978b; Rhue, 1983; Manrique, 1989; Locascio y Rhue, 1990). Al contrario, cuando se suministra el fósforo las plantas de patata responden rápidamente con diferentes resultados dependiendo del tipo del suelo y del medio ambiente (Manrique, 1993).

Por otra parte, otros estudios destacaron cambios morfológicos en las raíces así como en las actividades enzimáticas, principalmente la de la fosfatasa ácida durante el desarrollo de las plantas en un medio deficiente en fósforo (García y Ascencio, 1992). Se demostraron bajo las mismas condiciones cambios en la extensión radicular, en cuanto al número, peso, y área superficial. Estos cambios se observaron con diferentes grados en distintas especies vegetales (Borket y Barber, 1983; García y Ascencio, 1992). La capacidad de absorción varía considerablemente de unos cultivos a otros incluso dentro

Introducción

variedades de una misma especie. Lo que sugiere que esta característica está controlada por el genotipo. Otras causas son las diferencias en el desarrollo radicular, las asociaciones con hongos y la excreción del anhídrido carbónico por las raíces, etc (Brow et al 1977).

Plantas de patata crecidas en suelos deficientes en fósforo y sin suministro de P como fertilizante producen cosechas insignificantes. Sin embargo, la fertilización fosfórica tal y como se comprobó, es un factor de gasto económico particularmente en suelos con alta capacidad de fijación fosfórica (Alonso, 1996). Por consecuencia, la estrategia de la regulación del nivel de fósforo para la producción de patatas debe estar enfocada sobre las mayores limitaciones que consisten en la incapacidad del cultivo para usar las micorrizas responsables del aumento de la absorción del fósforo, y la alta exigencia del fósforo exógeno por el cultivo. Además, en la regulación del fósforo se debe tener en cuenta que la fertilización fosfórica aumenta el crecimiento así como acelera la senescencia de las hojas y la madurez. En condiciones de calor, una madurez precoz puede implicar algunas desventajas para el cultivo de patata como por ejemplo, un retraso en la iniciación de la tuberización (Manrique, 1993).

2. 8. 2. 5. 3.- Potasio.

Los suelos tropicales poseen pocas reservas de potasio y la deficiencia en este nutriente ocurre en condiciones de cultivos continuos (Manrique, 1993). La disponibilidad de potasio en las zonas tropicales está actualmente reducida debido a pérdidas por lixiviaciones particularmente en áreas donde domina la alta pluviosidad. Por otra parte, esta disponibilidad está influida por las propiedades físicas y químicas del suelo (Sharpley, 1990). Generalmente, un nivel inferior a 0.15 cmol/kg de potasio se considera suficiente para el crecimiento de las plantas (Ritchey, 1979; Schannar et al., 1987; Gill et al., 1987; Ayarza y Sánchez, 1987; Ndiaye y Yosy, 1989; Manrique, 1993).

Interesantes resultados fueron destacados por algunos investigadores que indicaron que un análisis de la planta es orientativo sólo a partir del período de la tuberización en plantas de patata, ya que hasta entonces el contenido de elementos es muy alto, incluso, cuando el cultivo se desarrolla en suelos deficientes (Domiguez, 1989). El nitrógeno por ejemplo, puede tener un nivel de 1,4% al principio y bajar hacia la madurez a 0,3%. Esta gran variación hace aconsejable que se haga más de un análisis a lo largo del ciclo vegetativo de la planta (Bardyshau, 1977).

2. 9.- El uso de fertilizantes para la mejora de la producción de patata.

El mantenimiento de la fertilidad natural del suelo a un nivel adecuado y para un nivel determinado de producción agrícola, requiere la reposición de los elementos nutritivos que se pierden definitivamente del sistema suelo-planta, ya sea por lavado, volatilización, exportación por las cosechas, etc. Mediante los fertilizantes, se pueden aportar al suelo los elementos nutritivos necesarios para los cultivos, de un modo rápido y eficaz. Sin embargo, ello no afecta, en absoluto, al trascendente papel que la materia orgánica desempeña en la fertilidad y en las propiedades fisico-químicas del suelo. Los fertilizantes minerales y la materia orgánica pueden considerarse como elementos complementarios para obtener elevados rendimientos en las explotaciones intensivas (Dominguez, 1989). Se definen como fertilizantes, los productos naturales orgánicos o minerales inorgánicos que contienen al menos alguno de los tres elementos principales: Nitrógeno, fósforo o potasio, pudiendo contener, además, otros elementos nutritivos. Según el tipo de fertilizante, se han normalizadas las cantidades mínimas de elementos nutritivos que debe contener el producto para denominarse de forma determinada (Baía, 1977; Dominguez, 1989).

2. 9. 1.- Fertilización nitrogenada.

Muchos autores consideran que el nitrógeno es la base del abonado para la obtención de grandes rendimientos. Un abonado nitrogenado puede considerarse ideal si en todo momento puede cubrir la diferencia entre los requerimientos en N de la planta y la reserva de N presente en el suelo (Gros, 1966).

La disponibilidad del nitrógeno puede ser baja, óptima o excesiva de lo que requiere la planta para no restringir su crecimiento. Se demostró que generalmente el grado de formación de los diferentes órganos de la planta, no está influenciado por el suministro de nitrógeno, sin embargo, se produce un incremento en el número de ramas y hojas cuando se incrementan las dosis de N aplicadas. El grado de expansión foliar, responde también de forma proporcional a una aplicación nitrogenada pero de forma inversa cuando las cantidades suministradas de nitrógeno son superiores al nivel óptimo. Por lo tanto, no es difícil saber los grados de aparición de hojas y ramas de la planta, pero sí es difícil preveer el estado final del desarrollo que la planta podría tener (Biemond y Vos, 1992a).

La evaluación de la materia seca distribuida y del contenido de N en la planta, es un proceso universal, sin embargo, la dificultad reside en la definición de la cantidad máxima de nitrógeno absorbido, y también en saber cuando se produce el tránsito entre la disponibilidad excesiva y la limitación del nitrógeno. Aunque la distribución del nitrógeno en el interior de la planta parece ser moderadamente fija, es difícil saber la cantidad de materia seca que puede ser producida por unidad de nitrógeno absorbido, así como la concentración nitrogenada en la materia seca de una planta madura (Biemond y Vos, 1992b). La forma de nitrógeno aplicada a las plantas puede influir sobre la absorción de otros nutrientes (Schmitz y Lorz, 1990). David et al.(1989) demostraron que la planta de patata prefiere absorber el nitrógeno en forma de amonio. Los bajos niveles de amonio

suministrados en combinación con los nitratos son beneficiosos para el desarrollo de los tubérculos, sin embargo, altos niveles de amonio pueden ser perjudiciales (Garner y Blake, 1989). El cultivo de patata puede adaptarse perfectamente a los suelos poco ácidos, un suelo con un pH bajo, reduce los efectos indeseables causados por "*Streptomyces scabies*" en los tubérculos (Smith, 1968; Weixing y Theodore 1994). Se suele aplicar a los cultivos de patata una fertilización nitrogenada mixta de nitratos y amonio, para ayudar a conservar el equilibrio de pH en la zona radicular, y por lo tanto minimizar los efectos de los cambios de pH sobre el crecimiento de la planta. La planta de patata puede utilizar los nitratos o el amonio como su fuente de nitrógeno, pero se demostró que el crecimiento de ésta es mayor cuando la fertilización nitrogenada es de forma mixta Nitratos/Amonio, que cuando la forma nitrogenada es simple. Por consecuencia, la nutrición nitrogenada en forma mixta puede inducir a dos mayores beneficios para las plantas de patata, siendo los siguientes: La extensión en el rango de pH del medio y la mejora del crecimiento (Cao y Tibbitts, 1994).

La absorción y el uso de los nutrientes están influidos por el pH del medio. Se observó que plantas de patata suministradas con N en forma de nitratoamónico durante el desarrollo de los tubérculos, se producían cambios significativos en el pH del medio. El pH aumentaba de forma proporcional a los niveles de nitratoamónico, y bajaba cuando estos niveles eran bajos (Stafford y Fowler, 1983; Schmitz y Lorz, 1990). Schmitz y Lorz (1990) observaron que cuando los iones amonio y nitratos están presentes en el medio de cultivo, la absorción de amonio puede causar una disminución en el pH del medio. Por lo tanto, concluyeron que es difícil explicar los cambios del pH en el medio, basándose solamente en la absorción de nitratoamónico, sin saber el flujo de los otros nutrientes en la planta.

Parece ser que la cantidad de nitratoamónico en el medio, es muy importante para la determinación del uso de carbono (Chen y Liao, 1993), del tamaño celular de los tuberculos así como del peso de éstos (Duncan y Ewing, 1984; Vrengdenhil y Struik, 1989). Se demostró en unos estudios que cuando la razón nitratos/amonio se incrementa,

Introducción

el uso de carbono y de nitrógeno se incrementa también, esto se refleja en la cantidad de la acumulación de peso seco (Chen y Liao, 1993). Se destacó también que el tamaño de los tubérculos depende del número y del tamaño celular (Duncan y Ewing, 1984 ; Vrengdenhil y Struik, 1989). Koda y Okazawa (1983) destacaron que un desarrollo precoz de los tubérculos proviene en primer lugar de una división celular seguida de su expansión . Por consiguiente, el aumento del tamaño celular se considera como el principal factor en la determinación o desarrollo del volumen de los tuberculos (Reeve et al., 1973), dependiendo este aumento a su vez, del grado de asimilación de los nutrientes suministrados (Sung y Chen, 1990).

El agricultor puede enfrentarse a algunos problemas a la hora de fertilizar con N que pueden ser los siguientes: (1) aplicación de dosis excesiva de N, ya que una dosis de N por encima de las necesidades de la planta actúan como "un choque" sobre el cultivo, (2) pérdidas de N, en el caso de fertilización con N de forma mineral que no puede persistir en el suelo para un largo período. En estas condiciones, se puede recurrir al N orgánico que es la única forma de almacenar el N en el suelo, y (3) la absorción de N procedente de la actividad microbiana, que suministra el nitrógeno independientemente a las necesidades de la planta, está más relacionada con la temperatura y humedad edáfica que con otros parámetros ambientales (Alonso, 1996).

2.9.2.- Fertilización fosfórica.

El ácido fosfórico es un componente esencial para las plantas, se encuentra combinado con otras sustancias simples formando fosfatos minerales, o en la mayoría de los casos, con sustancias complejas formando complejos orgánicos. El ácido fosfórico abunda principalmente en los órganos jóvenes de las plantas y se almacena en las semillas en forma de sustancias de reserva. Las plantas lo absorben sobre todo, durante el período de crecimiento activo, y posteriormente al final del desarrollo vegetativo, la translocación del fósforo hacia los órganos de reserva de la planta, caracteriza la maduración (Dean,

PhD, 1994). Las exigencias de P varían según los cultivos, tanto a nivel de variedades, como a lo largo del ciclo vegetativo de una determinada especie (Alonso, 1994). Las plantas de patata, como se mencionó anteriormente, requieren altos niveles de fósforo en el suelo o bien mediante una fertilización fosfórica para conseguir una producción óptima (Howeler et al., 1989; Manrique, 1993). El fósforo que se absorbe durante la etapa del desarrollo vegetativo, determina en gran medida el desarrollo del sistema radicular de las plantas de patata, e influye considerablemente sobre la producción, es decir que el número de tubérculos por planta se determina durante el crecimiento inicial del cultivo (Domínguez, 1989). En experiencias realizadas durante varios años, y con dosis creciente de fósforo se pudo determinar esta influencia de modo significativo, obteniéndose un aumento en el número de tubérculos por planta proporcional a las dosis de P aplicadas (Dahnke et al., 1977; Manrique, 1993).

2. 9. 3.- Fertilización potásica.

El potasio desempeña un papel importante como regulador de las funciones metabólicas de la planta, en las que participa de forma activa, lo que explica su mayor concentración en los tejidos jóvenes, así como su baja concentración en los órganos viejos. El potasio interviene en la asimilación clorofílica, su presencia favorece la síntesis en la hoja de los hidratos de carbono, así como el movimiento de estas sustancias y su acumulación en los órganos de reserva (Du y Tashina, 1994). Por lo tanto, las plantas que se cultivan para sus reservas en carbohidratos, como es el caso del almidón en plantas de patata, o como el azúcar en plantas de remolacha y de viña, responden de forma positiva a una fertilización potásica. Como otras ventajas de la fertilización con potasio, se destaca una disminución de la transpiración de la planta, permitiendo una economía de agua en los tejidos y asegurando una mejor resistencia de la planta a la sequía. También en combinación con el fósforo, el potasio favorece el desarrollo radicular e incrementa la rigidez de los tejidos, y por último aumenta la resistencia de las plantas frente a enfermedades (Marshner, 1995).

Introducción

El análisis físico y químico del suelo permite conocer la riqueza natural del suelo y sus posibilidades de liberar o de retener el potasio en función de su constitución física. Se demostró que el potasio intercambiable del suelo, determinado por una extracción con bicarbonatos, contribuye a conocer los niveles de fertilizantes potásicos requeridos por la planta (Colwell, 1963).

Maier (1986b), destacó que la concentración de magnesio en los peciolos de plantas de patata desciende rápidamente, pero manteniendo niveles adecuados, cuando se incrementa el nivel de potasio suministrado, mientras que las concentraciones de calcio y de manganeso descienden alcanzando niveles muy bajos (Reuter y Robinson, 1986).

Una fertilización con cantidades adecuadas de K, incrementa la gravedad específica de los tubérculos y reduce la posible coloración indeseable de estos, mejorando por lo tanto la calidad de patata. Sin embargo, cantidades excesivas de potasio reducen tanto la gravedad específica de los tubérculos, como el contenido de calcio en las hojas y en los tejidos medulares de los tubérculos (Chapman et al., 1992).

2. 9. 4.- Fertilización cálcica.

Existe una estrecha relación entre una deficiencia en calcio y una baja calidad en la producción de patata, debida a la aparición de defectos internos como manchas de color marrón en el interior de los tubérculos (Collier et al., 1980; Tzeng et al., 1986; Clough, 1994). Por lo tanto, una aplicación de calcio puede incrementar la concentración de calcio en los tubérculos y mejorar el aspecto de éstos (Collier et al., 1978; Clough, 1994). Más de 40% de calcio en los tubérculos se absorbe directamente de la solución del suelo a través del peridermo (David y Millard, 1985; Kratzke y Palta, 1986; Palta, 1996). Estos autores observaron que la concentración de calcio en los tubérculos incrementa, cuando se aplica el Ca directamente en la zona de los tubérculos.

Otro efecto producido por las bajas concentraciones del calcio en los tubérculos, es el incremento de la putrefacción blanda bacteriana (McGuire y Kelman, 1984; Tzeng et al., 1986), produciendo por lo tanto una baja calidad de tubérculos y una baja cosecha (Simmons et al., 1988). Un alto contenido de calcio en los tubérculos, obtenido mediante una fertilización con Ca, disminuye la putrefacción en éstos (Mcguire y Kelman, 1984).

En definitiva, una fertilización adecuada en calcio puede reducir los defectos internos en los tubérculos así como disminuir la putrefacción bacteriana (Locascio y Bartz, 1991), pero hay que tener en cuenta los factores que pueden influir sobre la concentración de calcio en los tubérculos tales como, el tipo de suelo (Simmons y Kelling, 1988), los métodos de irrigación, el régimen de pluviometría (Gander y Tanner, 1976), la localización del calcio aplicado (Kratzke y Palta, 1986; Simmons et al., 1988) y por último, la competencia con otros cationes, particularmente el potasio y el amonio (Banger, 1979; Rhue et al., 1986).

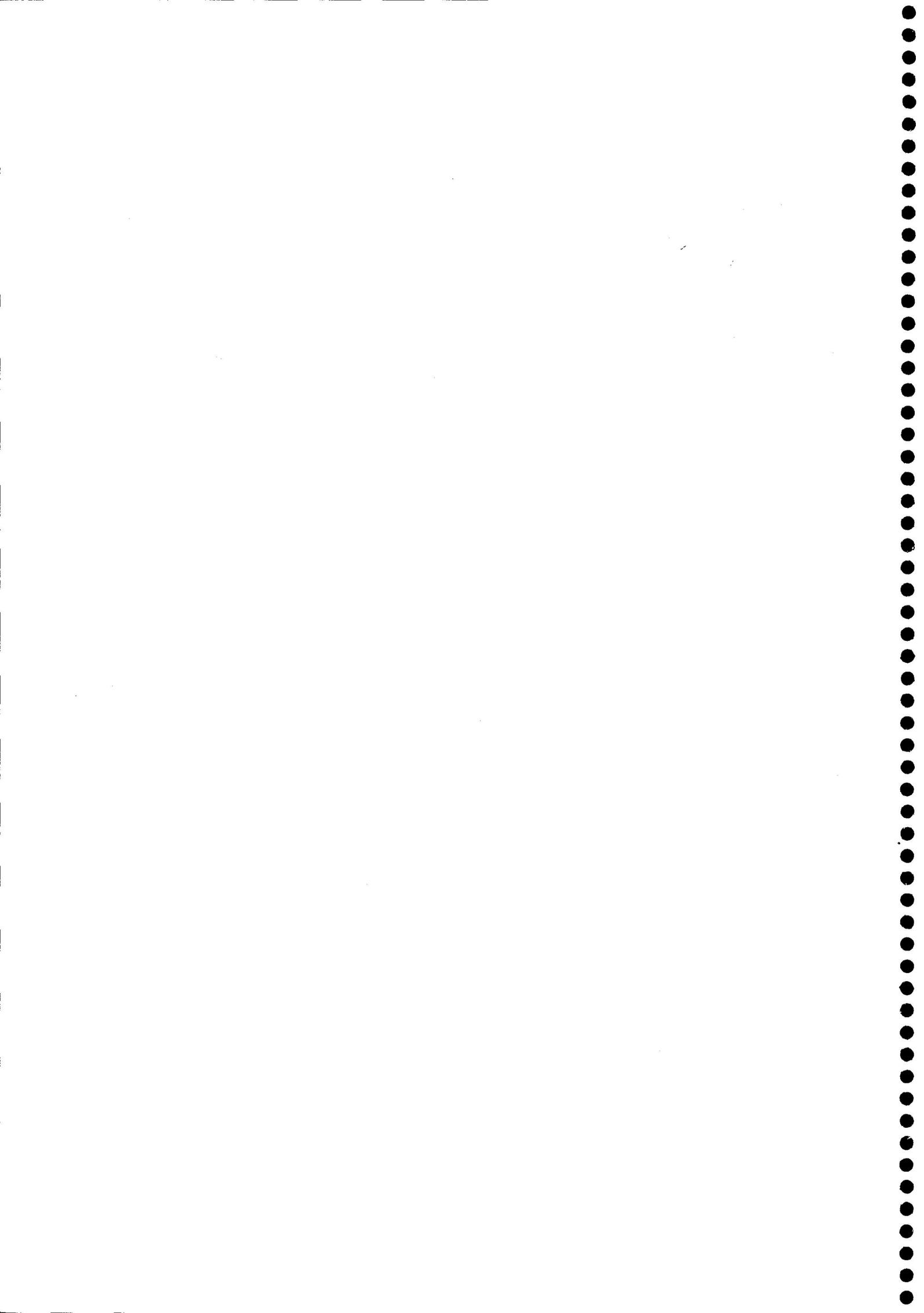
2. 10. - Fertilización y contaminación ambiental.

La gran importancia dirigida a los temas relativos al medio ambiente, implica en los últimos años al sector de fertilizantes que pueden actuar mediante dos aspectos principales: (1) Contaminación de los acuíferos por los nitratos o por los fosfatos, (2) incremento en el contenido de metales pesados, en particular el cadmio, en los productos vegetales (Dominguez, 1989). Los efectos que se imputan a un contenido excesivo de nitratos en el agua de consumo por el hombre, consisten en la aparición de enfermedades graves tales como la metahemoglobinemia y el cáncer de estómago, debido a la producción de nitrosaminas procedente de este exceso de nitratos. Por otra parte, el proceso de eutrofización se determina por el progresivo enriquecimiento en nitrógeno y sobre todo en fósforo en las aguas de circulación lenta o estancada (lagos, remansos, orillas marinas, etc.), provocando un desarrollo rápido de algas cuya descomposición

Introducción

produce toxinas que, unidas al agotamiento del oxígeno disuelto en el agua, causa la muerte de los peces, y por último, el cadmio que se encuentra naturalmente asociado a los fosfatos en mayor o menor concentración, es absorbido por las plantas, e ingerido por consiguiente por el hombre a través de su alimentación vegetariana, afecta al funcionamiento de los riñones que es donde se acumula, así como provoca enfermedades de huesos. Sus efectos se producen a muy largo plazo, ya que su permanencia en los tejidos es muy larga (Dominguez, 1989).

**3.- MATERIAL
Y
MÉTODOS**



3.1.- Especie estudiada.

3.1.1.- Encuadramiento taxonómico y descripción botánica.

La patata pertenece a la familia de las Solanáceas que incluye a especies tan distintas como la berenjena (*Solanum melogera*), pimiento (*Capsicum spp*), tomate (*Lycopersicum*), tabaco (*Nicotiana tabacum*), etc. Probablemente, todos los miembros de la familia poseen algún tipo de alcaloide, más patente en Nicotiana, Atropa, Datura y Mandrágora, aunque en pequeñas cantidades en muchos casos, como es "la Solanina" de la patata contenida en los tubérculos enverdecidos por la luz.

La mayoría de las patatas cultivadas comercialmente pertenecen a la especie *Solanum tuberosum*. Son plantas herbáceas que producen tubérculos que son su parte comestible. Muchas de las modernas variedades son híbridos entre las subespecies Tuberosum y Andigena y otras especies como *Solanum demissum*, etc. Las patatas cultivadas son en mayoría tetraploides, aunque hay especies del género *Solanum* que son diploides, triploides, pentaloïdes y hexaploïdes.

De las más de mil especies del género *Solanum*, unas doscientas treinta producen tubérculos de algún tipo, por lo que en cierto modo a todas ellas se le pueden llamar patatas. Todas estas especies silvestres que tuberizan están confinadas en el continente americano y muchas de ellas son muy útiles para los obtentores de patata debido a su resistencia a plagas y enfermedades y su adaptación a climas extremos. Como ejemplo de esta utilización podemos citar a la mejicana *Solanum demissum* que confiere resistencia al mildiu (*Phytophthora infestans*), la mejicana *Solanum stoloniferum* y la argentina *Solanum chacoense* que dan resistencia al virus Y (PVY) así como a diversas plagas de insectos o la especie *Solanum acaule* cuya resistencia a las heladas ha sido ya incorporada en algunos clones que se están obteniendo.

El tubérculo se forma por el hinchamiento de los tallos subterráneos modificados, llamados estolones, en los que se acumulan productos de reserva. Además de acumular

Material y Métodos

reservas, el tubérculo es también un órgano de propagación o multiplicación. Las especies del género *Solanum* pueden reproducirse de dos maneras diferentes:

A) Sexualmente, que es muy corriente en las especies silvestres.

B) Asexualmente o vegetativamente, por medio de tubérculos, que es la forma normal de reproducción de las especies cultivadas.

La reproducción vegetativa, también presente en fresa, frambuesa y otras especies vegetales, es una manera de propagación que no requiere la reproducción sexual; a partir de los tubérculos se desarrollan nuevas plantas estrictamente idénticas, desde el punto de vista genético, a la planta madre.

A continuación pasamos a describir las características botánicas de la mayor parte de variedades que pertenecen a *Solanum tuberosum*.

Planta herbácea anual, potencialmente perenne por su reproducción, debido a su propagación vegetativa. Los tallos aéreos son angulosos de color verde y ramificados, son herbáceos aunque en las etapas avanzadas del desarrollo la parte inferior puede ser relativamente leñosa. Los tallos laterales normalmente subterráneos están compuestos por rizomas (llamados también estolones) y por tubérculos (parte comestible). Cabe mencionar que cada tallo aéreo origina de dos a tres tubérculos; éstos pueden ser ovoides o cilíndricos, con piel blanca, amarilla, rosa, roja o violeta.

Las hojas son compuestas, formadas por foliolo terminal, foliolos laterales, foliolos secundarios y a veces terciarios. las hojas están provistas de pelos de diversos tipos que se encuentran en las demás partes aéreas de la planta. Hay más estomas en la superficie inferior de las hojas que en la superior. Hay diferencias varietales en la forma, número, tamaño y color de los foliolos. La forma de hoja puede verse modificada de manera muy sustancial por la temperatura y el número de horas de luz.

Las flores son pentánomeras y los colores varían desde el blanco al morado; poseen estilo y estigma simples y el ovario en bilocular. La dispersión del polen es llevada a cabo por el viento. La polinización en los tetraploides es rara, realizándose de forma natural una autopolinización. El número de flores es variable y depende mucho de la variedad de la que se trate.

El fruto maduro es de forma redonda u oval, variando el color desde verde a amarillo o incluso a violeta; su tamaño suele variar entre uno y tres centímetros de diámetro y consta de dos cavidades o lóculos en los que se alojan las semillas; el número de semillas de cada fruto es muy variable y puede ir desde ninguna hasta más de trescientas. El fruto se utiliza solamente para fines genéticos.

Las plantas que se desarrollan a partir de tubérculos producen raíces adventicias en los nudos de los tallos subterráneos y en los estolones. Normalmente la planta enraiza bastante cerca de la superficie, no profundizando más de 40 a 50 centímetros, aunque a veces se ha encontrado a una profundidad de hasta 1 metro en suelos muy homogéneos.

Se puede considerar al tubérculo como una parte del tallo que se ha adaptado para almacenar reservas y para la reproducción, se forma entonces en el extremo del estolón como consecuencia de la acumulación de reservas que se produce por el rápido desarrollo y división celular. La unión de estolón con el tubérculo generalmente muere cuando la planta alcanza la madurez o bien se rompe durante la recolección. El tipo y la cantidad de las sustancias que constituyen el tubérculo son variables y están muy relacionados con la variedad y con las condiciones de crecimiento.

El número de ojos de los tubérculos varía mucho dependiendo de muchos factores como pueden ser la variedad, calibre del tubérculo, condiciones de crecimiento del cultivo, etc. En los ojos es donde surgen los brotes que darán lugar a la nueva planta. Los brotes producidos en presencia de luz son más cortos y más voluminosos, siendo su color variable de verde a púrpura mientras que los brotes que se han producido en la oscuridad son más largos, más débiles y blancos debido a la ausencia de clorofila.

3.2.2.- Expansión del cultivo de patata

La planta de patata está considerada como uno de los alimentos más importantes, clasificada en cuarto lugar a nivel mundial en cuanto a producción, detrás de trigo, arroz y maíz; en cuanto a la producción de proteínas por hectárea, únicamente es superada por la soja. El cultivo de patata ocupa grandes superficies cuya mayor parte está localizada en Europa, incluida Rusia. Entre los restantes países los principales productores son Polonia, China, India, Alemania, Estados Unidos y España.

Concretamente en España, la superficie dedicada a este cultivo fue muy estable, manteniéndose en el orden de 350-400.000 ha con rendimientos medios que han ido mejorando paulatinamente hasta superar en 1980 las 16 tm/ha, cifra con la media mundial, relativamente baja. Este bajo rendimiento se debe a que más del 50% de la superficie, se cultivaba en secano, donde la producción se vió afectada por la limitación de agua. Más de la mitad de la superficie cultivada de patata en España, se halla localizada en la zona noreste (Galicia, Cantábrico y Cuenca del Duero). En cambio, la patata temprana y extratemprana se cultiva principalmente en Levante, Andalucía y Canarias (Dominguez, 1989, Alonso, 1996).

Para la alimentación humana, la patata ha perdido el lugar preponderante que ocupaba hace 30 años; se estima que actualmente, el consumo de patata en España es de unos 100 Kg por persona y año y aún sigue bajando. La media europea de consumo es más baja que la española y está en unos 75 Kg por habitante y año.

La superficie dedicada al cultivo de patata en el mundo ha bajado de los casi 20 millones de hectáreas de la década de los 70 hasta las poco más de 17 millones de hectáreas actuales y la producción mundial actual está en torno a las 270 millones de toneladas métricas. A pesar de esta disminución en el número de hectáreas cultivadas y

debido al aumento de la productividad, la producción mundial de patata ha ido aumentando poco a poco. En España se ha bajado desde las más de 350.000 hectáreas dedicadas a este cultivo en la década de los 70 con una producción de alrededor de 5.6 millones de toneladas hasta las poco más de 210.000 hectáreas que se siembran actualmente y que producen alrededor de 4.2 millones de toneladas (Alonso, 1996).

Basándose en la reciente evolución del cultivo en Europa, se cree que la producción mundial de patata está cayendo y que el aumento de la renta per cápita en los países en vías de desarrollo hará que baje el consumo. Es cierto que la producción de patata está cayendo gradualmente en los países europeos pero en cualquier otra región del mundo el cultivo está aumentando.

Las previsiones que existen es que la producción de patata va a bajar moderadamente en Europa, va a aumentar también moderadamente en Norteamérica pero va a aumentar rápidamente en Latinoamérica y África y especialmente en Asia. Si se cumplen estas previsiones, el porcentaje de participación europea en la producción mundial de patata bajará y por el contrario aumentará el del resto de las regiones del mundo (Alonso, 1996).

3.2.- Características del cultivo.

Se realizó la experiencia en campo durante tres años en el Centro de Investigación y Desarrollo Agrario (CIDA) de Granada en el la que la especie utilizada fue *Solanum tuberosum L. var. Spunta*. Todas las especies crecieron bajo las mismas condiciones de cultivo. La siembra se realizó a principios del mes de Marzo y el ciclo del cultivo fue aproximadamente de cuatro meses.

3.3.- Características de las parcelas.

La totalidad de parcelas contenía 20 repeticiones, que correspondían a los 4 tratamientos de acolchados de polietileno y un control, todos con sus 4 repeticiones respectivas, éstas no presentaban problemas de encharcamiento ni de arrastre de nutrientes. Cada una estaba individualizada y la superficie era de 78.4 m², con una densidad de plantación de 4.17 plantas/ m² con plantas colocadas cada 30 cm y 0.8 m entre cada caballo. El suelo de estas parcelas presentaban textura y tipología homogéneas.

3.3.1.- Tratamientos

El cultivo fue sometido a distintos tratamientos de cubiertas plásticas de polietileno acolchando la superficie del suelo con un tiempo de aplicación bien determinado. En todos los casos, el polietileno (PE) es el denominado normal sin ningún tipo de aditivación salvo el color. El fabricante es Macresur de Almería. La Tabla 1, representa los tipos de acolchados usados, color, espesor de los distintos polietilenos.

El cultivo fue suplementado con una fertilización homogénea de N, K y de P para el control y las plantas con cubiertas de polietileno. El abonado de fondo fue aplicado en el mes de Febrero en forma de NPK (15:15:15) (800 Kg/Ha). El N utilizado fue en forma de N amónico (8.3%) y nítrico (6.7%), el P se aplicó con 5% de PO soluble en agua y citrato amónico y se suministró el K en forma de KO soluble en agua. Posteriormente y a finales del mes de Abril, se aplicó un abonado de cobertera de 255 Kg/ Ha de Nitratoamónico (33.5%).

Con objeto de simplificar la nominación de las cubiertas, atribuimos a cada tratamiento un número, asimismo tenemos 4 tratamientos y un control, representados en la Tabla 1.

Tabla 1.- Color y espesor de las cubiertas de polietileno aplicadas

Tratamiento	Tipo de polietileno usado	Espesor de polietileno
T0	Testigo	—
T1	Polietileno transparente	25 μ
T2	Polietileno blanco	25 μ
T3	Polietileno coextruido blanco-negro	50 μ
T4	Polietileno negro	25 μ

3.4.- Parámetros ambientales

3.4.1.- Parámetros meteorológicos

Mediante una estación meteorológica situada a 15 metros de la parcela de ensayos se monitorizaron los siguientes parámetros climáticos: Las temperaturas máxima, mínima y media, aérea (de 150 cm de altura sobre el suelo) y radicular (de 10 cm de profundidad), a lo largo del ciclo de cultivo, así como los valores de la humedad relativa ambiente (a 150 cm de altura sobre el suelo) y la radiación total a 250 cm sobre el suelo.

Material y Métodos

En la misma parcela de ensayos se instaló una estación meteorológica portátil mediante la cual se midió bajo las distintas cubiertas plásticas la temperatura de suelo a 15 cm de profundidad.

Las estaciones meteorológicas estaban compuestas por un microordenador ó datalogger (equipo de adquisición de datos) CR 21X de Campbell Scientific, los cuales fueron programados para realizar medidas cada 15 minutos y promedia cada hora para todos los sensores, salvo en el caso de la radiación en que las medidas fueron cada minuto.

Temperatura: Los sensores de temperatura utilizados fueron sondas 107 de Campbell Scientific, son sensores tipo termistor alimentados mediante una corriente de 4 V a la cual imponen una resistencia en función de la temperatura. La respuesta es linealizada mediante un polinomio de 5° grado. En el peor de los casos el error es de $\pm 0.41^{\circ}\text{C}$ en el rango de -23 a 48°C . La medida es expresada en grados centígrados ($^{\circ}\text{C}$).

Radiación global: Los sensores de radiación global fueron LI-200 pyranometer de LI-COR inc. Se trata de un fotodiodo de silicio, calibrado frente a un piranómetro de precisión Eppley, que tiene un error absoluto máximo de $\pm 5\%$ y $\pm 3\%$ como media. La salida es dada en vatios por metro cuadrado (W.m)

Humedad relativa del aire: Los sensores de humedad relativa del aire fueron de dos tipos:

1.- Aspirósicrometros ventilados (bulbo húmedo-bulbo seco) modelo H301 de Vestor Instrument compuestos por dos sensores de temperatura idénticos, uno de los cuales está rodeado por una película de agua (bulbo húmedo). Para cada medida es activado un ventilador el cual provoca la evaporación del agua y el enfriamiento del bulbo húmedo en función de la presión de vapor ambiente.

2.- Sensor de humedad de estado sólido MP100 de Rotronic formado por dos electrodos (tantalio y cromo-níquel-oro) situados sobre un delgado cristal cubierto por un

polímero dielectricamente activo cuya capacitancia varía linealmente con la humedad relativa ambiente.

Debe tenerse muy presente que los valores representados corresponden a la media de los tres años (ya que no hubo diferencias importantes entre los años) y que algunos valores coinciden con los muestreos. Hemos representado los datos de los diferentes parámetros ecológicos desde el inicio de la plantación hasta la recolección de los tubérculos finales, ya que inciden sobre la marcha del cultivo. Por otra parte se determinaron los principales parámetros tanto de suelo como del agua de riego utilizada para el cultivo.

3.4.2.- Análisis fisicoquímico de suelo

En la toma de muestras se despreció la capa superior de arena y se siguió el método global por muestreo simple al azar. De la capa de tierra aportada, se tomó de cada 20 cm una muestra con cuatro repeticiones, a una profundidad de 30-35 cm, zona de mayor formación de raíces, utilizando materiales de madera y de plástico, después, se homogeneizaron y se introdujeron en bolsas de plástico rotuladas, para su posterior análisis.

3.4.2.1.- Preparación y análisis de las muestras.

Una vez que las muestras se encontraban en el laboratorio fueron acondicionadas como fase previa para la realización de los distintos análisis. En este proceso de acondicionamiento se incluyó la separación de los posibles elementos gruesos y la preparación de las muestras para los distintos análisis físicos y químicos. Las muestras fueron desecadas al aire hasta que su humedad se equilibró con la ambiental, a continuación fueron extendidas sobre un tablero y sirviéndose de un rodillo de madera

Material y Métodos

fueron deshechos los agregados que existían en el suelo. A continuación las muestras se pasaron por un tamiz de 2 mm de luz, almacenándose la fracción menor de este tamaño.

En las determinaciones se siguieron las directrices propuestas en los Métodos Oficiales de Análisis (1975).

3.4.2.2.- Análisis físico.

Granulométrico: se realizó para cuatro fracciones: arena gruesa y fina, limo y arcilla siguiendo el procedimiento de Bouyoucos (1951), basado en la ecuación de Stokes, que relaciona el diámetro de las partículas con el tiempo de caída. La fracción arena se determinó por una primera tamización en húmedo y posterior separación en subfracciones por una segunda tamización en seco. La arcilla y el limo se separaron por sedimentación y se siguió el método de Robinson (1922).

3.4.2.3.- Análisis químico

pH: Electrodo de vidrio (Rodier, 1981). Se determinó a partir de una mezcla de suelo/agua en la proporción 1:1. Posteriormente se efectuó otra medida con KCl 0.1 M en la misma proporción (Hayward et al., 1973).

Conductividad eléctrica: Conductímetro, fundamentado en el puente de Wheatstone (Bower y Wilcox, 1965).

Carbonato cálcico equivalente: Tratamiento de los carbonatos con HCl 1 N, el incremento de volumen, es una medida directa del CO₂ desprendido cuando no se produzcan otros gases (Allison y Moodie, 1965).

Carbonato cálcico activo: Extracción con oxalato amónico y posterior valoración del exceso de oxalato con permanganato potásico de concentración conocida (Hesse, 1971).

Nitrógeno: Destilación del mineralizado y valoración del amonio en aparato Bouat Micro-Kjeldalh (Hillerbrand et al., 1953).

Fósforo: Extracción con ácido acético y acetato amónico (Olsen y Larsen, 1979) y valoración método de Capitán y Martínez (1954).

Potasio: Extracción del elemento con una solución extractora de ácido acético y amoníaco y lectura por fotometría de llama (Pratt, 1965).

Cationes de cambio: Desplazamiento del complejo de cambio mediante acetato amónico 1 N (pH 7) y medida, por espectrofotometría de absorción atómica del Ca y Mg y por fotometría de llama el K y Na (Bower et al., 1952).

Capacidad de cambio catiónico: Saturación del suelo con amonio y posterior desplazamiento de éste por Na con acetato sódico 1 N (pH 8.2) y valoración por espectrofotometría de llama (Richards, 1954).

Saturación en bases: Hace referencia a la cantidad total de Ca, Mg, Na y K del complejo de cambio como porcentaje con relación a la capacidad de cambio total. U.S. Salinity Lab. Staff., 1954.

3.4.3.- Análisis del agua de riego

El agua utilizada para riego procedió de una captación subterránea del acuífero de la Vega de Granada y contiene cantidades variables de iones en disolución. La naturaleza y

Material y Métodos

cantidad de éstos es uno de los principales factores que influyen en la calidad de un agua. Esta calidad va a condicionar la productividad, calidad de la cosecha y desarrollo vegetativo de las plantas. Asimismo, se tomaron las muestras tras 35 minutos de funcionamiento de la bomba, se hicieron diez muestreos de agua con tres repeticiones cada uno, durante todo el periodo del cultivo, en los cuales se realizaron las siguientes determinaciones:

Conductividad eléctrica: Conductímetro con puente Wheatstone (Rodier, 1981).

pH: Electrodo de vidrio (Rodier, 1981).

Cloruros: Valoración con AgNO_3 (Rodier, 1981).

Sulfatos: Según el método propuesto por Association of Official Agricultural Chemist (1950).

Bicarbonatos: Valoración de los iones HCO_3^- en presencia de anaranjado de metilo (American Public Health Association and American Water Works Association, 1946).

Nitratos: Según las directrices dadas por la Association of Official Agricultural Chemist (1950).

Na y K: Fotometría de llama (Goltemar y Clymon, 1969).

Ca, Mg, Fe, Zn: se determinaron por espectrofotometría de absorción atómica (Lachica et al., 1973).

3.5.- Análisis de la planta

Se realizaron las determinaciones en hoja, raíz , tallo y en tubérculos. En los esquemas I, II, III y IV queda reflejado el procedimiento general desarrollado en este apartado.

Esquema I de trabajo para el análisis de hojas

MUESTRA DE HOJA Muestras: 6, Repeticiones: 4

Submuestra de Material Fresco	Submuestra de Material seco
Peso fresco	Peso seco
Actividad Nitrato reductasa "in vivo"	Mineralización con H ₂ SO ₄ (96%): Totales
- ANR endógena	- N org., P, Ca, Mg, Na, K
- ANR inducida con NO ₃ ⁻	
- ANR inducida con Mo+ NO ₃ ⁻	Extracción en medio acuoso: Solubles
Actividad Nitrato reductasa "in vitro"	- NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺
Actividad Nitrito reductasa "in vitro"	- P inorgánico y P orgánico soluble
Aminoácidos y Proteínas solubles	- K, Ca, Mg, Na
Piruvato kinasa	- Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻
- PK endógena	
- PK en presencia de K ⁺	
- PK en presencia de Mg ²⁺	
- PK en presencia de Ca ²⁺	
Fosfatasa ácida foliar (AFAF)	
Clorofilas	
- a y b ; a+b y a/b	
Carotenos y Licopenos	
Carbohidratos totales y solubles (ATS)	
- Glucosa, Fructosa, Sacarosa	
- Almidón	

Esquema II de trabajo para el análisis de raíces

MUESTRA DE RAÍZ

Muestras: 6, Repeticiones: 4

Submuestra de Material Fresco	Submuestra de Material Seco
Peso fresco	Peso seco
Actividad Nitrato reductasa "in -vivo"	Mineralización con H ₂ SO ₄ (96%): Totales
- ANR endógena	- N org, P, Ca, Mg, Na, K
- ANR inducida con NO ₃ ⁻	Extracción en medio acuoso: Solubles
- ANR inducida con Mo+NO ₃ ⁻	- NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺
Actividad Nitrato reductasa "in- vitro"	- P inorgánico y P orgánico soluble
Aminoácidos y Proteínas solubles	- K, Ca, Mg, Na
Piruvato kinasa	- Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻
- PK endógena	
- PK en presencia de K ⁺	
- PK en presencia de Mg ²⁺	
- PK en presencia de Ca ²⁺	
Fosfatasa ácida radicular (AFAR)	
Carbohidratos totales y solubles (ATS)	
- Glucosa, Fructosa, Sacarosa	
- Almidón	

3.5.1.- Toma de muestras vegetales y su preparación

Cada parcela fue muestreada en su totalidad, así como todas las repeticiones, recolectando tanto hojas, raíces, tallos como tubérculos por planta y de cada una de las cuatro repeticiones. Las hojas que constituyeron las muestras fueron tomadas de la parte central del tallo, pues éstas presentan un crecimiento que se considera de vigor medio y de una edad fisiológica que corresponde al modelo de madurez de la planta entera (López-Cantarero y Romero, 1993). En el caso de tubérculos, se recolectaron desde su estadio juvenil hasta final del ciclo. Se colectaron también los tallos y raíces durante todo el ciclo biológico de la planta.

Se realizó el muestreo de todos los órganos con una periodicidad quincenal, y se introdujeron en bolsas de plástico perforadas y convenientemente rotuladas con objeto de identificarlas bien en el laboratorio y fueron transportadas en condiciones de frío.

Siguiendo las indicaciones de Chapman y Pratt (1979), fueron rechazados aquellos hojas, tallos, raíces o tubérculos que presentaban una deformación anatómica, lesiones de origen mecánico o provocadas por plagas, así como los que presentaban síntomas visuales de deficiencia, salvo que éstos representen el estado medio de la repetición.

Esquema III de trabajo para el análisis de tallos

MUESTRA DE TALLO Muestras: 6, Repeticiones: 4

Submuestra de Material fresco
Peso fresco
Submuestra de Material Seco
Peso seco
Mineralización con H ₂ SO ₄ (96%): Totales
- N org, P, Ca, Mg, Na, K
Extracción en medio acuoso: Solubles
- NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺
- P inorgánico y P orgánico
- K, Ca, Mg, Na
- Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻

