



Trabajo final para optar por el título de

*Master en Tecnología Ambiental y Gestión del Agua*

**ESTUDIO DEL DRENAJE  
EN EL CULTIVO SIN SUELO DE FRESA**

*Autor:*

*José Francisco Aranda*

*Director:*

*Dr. Pedro Palencia*

*Co- Directora:*

*Dra. Inmaculada Giraldez*

## Índice

Índice de Tablas, Fotografías, Figuras y Gráficos .....	4
Agradecimientos .....	7
1. Introducción .....	8
1.1. El sistema productivo emergente .....	11
1.2. Características botánico-morfológicas de la fresa cultivada .....	12
1.2.1. Sistemática y taxonomía .....	12
1.2.2. Morfología de la especie .....	13
1.2.3. Tipos varietales .....	14
1.2.4. Pautas de comportamiento anual de la fresa .....	15
1.3. Riego y nutrición mineral .....	16
1.4. Fertirrigación .....	17
1.5. Revolución tecnológica .....	19
1.6. El cultivo sin suelo .....	20
1.6.1. Antecedentes .....	20
1.6.2. Concepto: "Cultivo sin suelo" .....	23
1.6.3. Cultivo sin suelo: Sustratos .....	24
1.6.4. Sistema abierto y cerrado de cultivo sin suelo .....	27
1.7. Evolución del cultivo sin suelo en la producción de fresa .....	30
2. Objetivos .....	33
3. Materiales y Métodos .....	34
3.1. Instalaciones .....	34
3.2. Material vegetal .....	37
3.2.1. Sustrato .....	37
3.3. Instalación del cultivo .....	38
3.4. Diseño del experimento .....	39
3.5. Fertirrigación .....	40
3.6. Preparación de los tanques .....	42
3.7. Tratamientos fitosanitarios y sueltas .....	45
3.8. Parámetros evaluados .....	46
3.9. Procedimiento de la determinación de parámetros de las muestras de drenajes .....	48
3.9.1. Toma de muestra del agua del drenaje .....	48
3.9.2. Reactivos .....	48
3.9.3. Instrumentación .....	48
3.9.4. Procedimiento de análisis .....	49
3.9.4.1. Determinación de metales mayoritarios: Ca, Mg, Na, K, Fe .....	49
3.9.5. Determinación de Fósforo .....	50
3.9.6. Determinación de sulfatos, nitratos y cloruros .....	51
3.9.6.1. Determinación de sulfatos mediante el método turbidimétrico .....	51
3.9.6.2. Determinación de nitratos mediante absorción-UV .....	52

3.9.6.3. Determinación de nitratos, cloruros y sulfatos mediante cromatografía iónica.....	52
3.9.6.4. Determinación de amonio mediante cromatografía iónica .....	52
3.9.7. Características de los métodos analíticos .....	53
3.9.7.1. Linealidad .....	53
3.9.8. Análisis estadístico de los datos.....	55
4. Resultados y discusión .....	58
4.1. Para las muestras obtenidas en la entrada y en el drenaje .....	58
4.2. Evaluación de los métodos analíticos empleados en el tratamiento de las muestras .....	71
5. Conclusión .....	80
Bibliografía.....	81

## Índice de Tablas, Fotografías, Figuras y Gráficos

### I. Tablas

Tabla 1. Manejo del riego en el cultivo de fresa .....	17
Tabla 2. Programa de Fertirrigación.....	19
Tabla 3. Fechas de aplicación del tratamiento.....	39
Tabla 4. Número de goteros y caudal por línea de riego .....	41
Tabla 5. Análisis del agua de riego. Parámetros determinados .....	42
Tabla 6. Análisis del agua de riego. Iones determinados .....	42
Tabla 7. Primer abonado realizado en el cultivo .....	43
Tabla 8. Segundo abonado realizado en el cultivo.....	44
Tabla 9. Tratamientos fitosanitarios .....	45
Tabla 10. Lucha Biológica .....	45
Tabla 11. Fechas de recolección de drenajes.....	46
Tabla 12. Cantidad de drenaje recogido en las líneas 1 y 2 en los intervalos de riego indicados.....	47
Tabla 13. Condiciones instrumentales para Fe, Ca, Mg por FAAS y Na y K por FEAS.....	50
Tabla 14. Condiciones instrumentales de Ca, Fe, K, Mg y P por ICP-OES.....	50
Tabla 15. Rango lineal, ecuaciones de calibración y coeficientes de regresión .....	54
Tabla 16. Límites de detección y cuantificación ( $\mu\text{g/L}$ ) de los aniones en los extractos .....	55
Tabla 17. ANOVA para la concentración de calcio .....	58
Tabla 18. Prueba post hoc de la concentración de calcio .....	59
Tabla 19. ANOVA para la concentración de fosfatos .....	60
Tabla 20. ANOVA para la concentración de hierro .....	60
Tabla 21. ANOVA para la concentración de magnesio.....	61
Tabla 22. ANOVA para la concentración de nitratos.....	62
Tabla 23. ANOVA para la concentración de potasio .....	62
Tabla 24. ANOVA para la concentración de sodio.....	63
Tabla 25. Prueba post hoc de la concentración de sodio.....	64
Tabla 26. ANOVA para la concentración de sulfatos.....	64
Tabla 27. Concentración ( $\text{mg L}^{-1}$ ) de amonio, sodio, potasio, calcio, magnesio, sulfato, fosfato, nitrato y cloruro en el agua de drenaje en las distintas líneas y días de muestreo .....	66
Tabla 28. Concentración ( $\text{mg L}^{-1}$ ) de potasio, calcio, magnesio, sulfato, y fosfato en el agua de drenaje mediante los métodos 1 y 2.....	72
Tabla 29. Resultados del análisis test t para el potasio, calcio, magnesio, sulfato y fosfato comparando los métodos 1 y 2.....	73

Tabla 29. Coeficiente de los componentes principales, varianza explicada probabilidad total de los análisis de componente principales sin rotación.....	74
Tabla 30. Coeficiente de los componentes principales, varianza explicada probabilidad total de los análisis de componente principales con rotación .....	76
Tabla 31. Matriz de correlación de la entrada .....	77
Tabla 32. Matriz de correlación de la línea 1 .....	78
Tabla 33. Matriz de correlación de la línea 2 .....	78
Tabla 34. Matriz de correlación de la línea 5 .....	79

## II. Gráficos

Gráfico 1. Representación de los picos frente a la concentración .....	53
Gráfico 2. Representación de los distintos elementos en las líneas 1, 2 y 5 para el día 06/05.....	68
Gráfico 3. Representación de los distintos elementos en la entrada y en las líneas 1, 2 y 5 para el día 12/05 .....	68
Gráfico 4. Representación de los distintos elementos en la entrada y en las líneas 1, 2 y 5 para el día 19/05 .....	69
Gráfico 5. Representación de los distintos elementos en la entrada y en las líneas 1, 2 y 5 para el día 26/05 .....	70
Gráfico 6. Representación de los distintos elementos en la entrada y en las líneas 1, 2 y 5 para el día 02/06 .....	70
Gráfico 7. Representación de los distintos elementos en la entrada y en las líneas 1, 2 y 5 para el día 08/06 .....	71
Gráfico 8. Representación del factor 1 frente al factor 2 de los parámetros del análisis de componentes principales sin rotación de los datos. <b>Factor 1, Factor 2</b> .....	74
Gráfico 9. Representación del factor 1 frente al factor 2 de los parámetros del análisis de componentes principales sin rotación de los datos. <b>Factor 1, Factor 2</b> .....	75
Gráfico 10. Representación del factor 1 frente al factor 2 de los parámetros del análisis de componentes principales con rotación de los datos. <b>Factor 1, Factor 2</b> .....	76
Gráfico 11. Representación del factor 1 frente al factor 2 de los parámetros del análisis de componentes principales con rotación de los datos. <b>Factor 1, Factor 2</b> .....	77

## III. Figuras

Figura. 1. Esquema de un sistema de cultivo sin suelo con reutilización del lixiviado .....	28
Figura. 2. Croquis del Módulo .....	36
Figura. 3. Diseño Experimental.....	40
Figura. 4. Disposición de las plantas en el saco. ....	40

## IV. Fotografías

Fotografía. 1. Invernaderos del Palacio de Pillnitz en Dresde, (Alemania).....	20
Fotografía 2. Vista aérea del invernadero. ....	34

Fotografía 3. Vista frontal del invernadero. ....	35
Fotografía 4. Aperturas cenitales del invernadero. ....	35
Fotografía 5. Extractor de aire. ....	36
Fotografía 6. Variedad 'Splendor' ....	37
Fotografía 7. Sacos de fibra de coco. ....	38
Fotografía 8. Estructura de poliespan y sacos de fibra de coco. ....	38
Fotografía 9. Saco de fibra de coco, con plantas de fresa recién plantadas. ....	39
Fotografía 10. Goteros insertos en los sacos de fibra de coco. ....	41
Fotografía 11. Tanque de fertilizantes y bomba inyectora. ....	43
Fotografía 12. Abonos utilizados en la campaña de cultivo. ....	44
Fotografía 13. Sobres Amblyline, depredadores de trips. ....	46
Fotografía 14. Botes para la recogida del drenaje. ....	47
Fotografía 15. Botes para recoger la solución nutritiva a la entrada de la línea. ....	48

## Agradecimientos

A mi director Pedro Palencia García, por su paciencia, confianza y apoyo incondicional para conmigo a pesar de la distancia en la realización del proyecto, a la co-directora del trabajo Inmaculada Giraldez, por aceptar la responsabilidad de la colaboración para culminar con las tareas por su amabilidad, predisposición y entrega.

Al proyecto Rise Hydropon, que enmarca la Red de Investigaciones del Suroeste de Europa, coordinado entre Portugal-España, por brindarme la oportunidad de poder desarrollar mis tareas como parte integrante del proyecto, y acrecentar mi formación profesional.

Al Laboratorio de investigación y control agroalimentario de la Universidad de Huelva-CIDERTA, por la colaboración en el tratamiento de las muestras de agua del drenaje, para poder realizar los análisis que fueron indispensables para la obtención de los datos.

A mis compañeros de trabajo en las tareas de recopilación de datos y seguimiento del cultivo, Eli González y Javier Corzo, por su excelente desempeño en sus tareas y por compartir conmigo sus conocimientos.

Para Adriana que me brindó de todo corazón su hogar como una madre, acompañándome en los meses de estadía en Huelva.

Para dos personas que de gran corazón, me hicieron sentir como en casa y como parte de su familia, Maca y Aritz.

Para Lau y Fer, que como hermanos y padres de alguna manera hicieron posible la posibilidad de cumplir el sueño de poder perfeccionarme en España, estando siempre cerca mío con mucha entrega y de todo corazón.

Para todos y cada uno de los integrantes de mi familia en Argentina, por ser las personas que nunca dejan de creer que es posible el progreso, a Pablo y Gabriel, mis hermanas, tías, primos, sobrinos y sobrinas y muy especialmente a Dios por brindarme a mis viejos Julio y Gloria, por regalarme esta vida llena de alegrías, de ilusiones y de sueños que cada día vivimos.

## 1. Introducción

La historia de la fresa en Andalucía es tan contemporánea como longeva en el tiempo como es la cultura del vino o del aceite.

Las noticias más creíbles acerca de su uso y cultivo se remonta a la época de los romanos en los siglos I a III a.C donde se habla de la fresa como plantas de frutos muy apreciados por el sabor y la fragancia de sus frutos. Sin embargo no sólo por su agradable comer va a ser conocida la fresa; con el paso del tiempo su utilización como planta medicinal abrirá sus horizontes. En el siglo XIII, el médico griego Nicholas Myrepsur señala en sus escritos la bondad de esta planta en el tratamiento de enfermedades, en una época donde la literatura botánica es a menudo literatura de medicina (Medina, 2008).

El cultivo en Europa no comienza hasta el siglo XIV. Las primeras referencias hablan de plantas silvestres de *Fragaria vesca* trasplantadas desde sus hábitats naturales a los jardines de la corte francesa. La planta, considerada en ese momento como un elemento ornamental por sus flores, empieza a ser considerada como fuente de alimento, mostrándose un inusitado interés por su cuidado, manejo y fertilización, hasta tal punto que se inician trasplantes de estolones desde las parcelas en producción a otras nuevas con el deseo de continuar y ampliar su cultivo (Medina, 2008).

A lo largo del siglo XVI las referencias acerca del cultivo de la fresa, son cada vez más frecuentes, y conjuntamente con el interés agronómico, se inician los primeros estudios botánicos que permitirán la posterior clasificación de las diferentes especies. A partir de ese trabajo clasificatorio surgen diferentes formas de *F. vesca*, tipos albinos y tipos reflorcientes, a los que se les dio categoría de subespecie después.

A finales de este siglo, se citan ya las tres primeras especies de fresas europeas: *F vesca*, *F. moschata*, y *F. viridis*. En España, Gabriel Alonso de Herrera (1539) dice de forma clara que las fresas eran plantas favoritas en pequeños huertos y jardines, donde crecía exuberantemente, por su sabor agridulce y es muy probable que fuesen *F. vesca* y *F. moschata* las principales pobladoras en la vieja Europa y el predilecto bocado para los reinantes de estos años (Medina, 2008).

Al final del siglo XVI e inicios del siglo XVII, mientras los jardineros europeos intentaban cultivar la mayoría de las especies silvestres, los primeros colonizadores descubrieron otra fresa silvestre en el este de Norteamérica, la “fresa de Virginia” (la que con el paso del tiempo sería *Fragaria virginiana*) que poco después arribará de manera simultánea a Francia y a Inglaterra (Medina, 2008).

La extensión de la fresa norteamericana realmente se impulsa a partir de las fresas procedentes de Virginia, por su mayor productividad, su mayor tamaño de fruto y

profundamente enrojecido. El cultivo de semillas procedentes de Norteamérica, a la vez que impulsó la dispersión favoreció, quizás inesperadamente, la aparición de importantes variaciones hortícolamente interesantes que darán origen a las que podíamos denominar primeras variedades de *Fragaria virginiana* (Medina, 2008).

Además de la fresa de Virginia, otra especie habitada en el continente americano, la posteriormente conocida como *Fragaria chiloensis*, se extendía por toda la costa del pacífico desde Alaska hacia el sur llegando a California y continuaba su distribución por las montañas de Hawái, las praderas de Argentina, y sobre todo por las costas de Chile y en los Andes, esta especie presentaba grandes frutos y era conocida y utilizada desde los albores del segundo milenio por los indios Mapuches, del centro-sur de Chile, en concreto en la zona de Concepción, por los Picunches o los Huiliches de la zona norte del país, quienes habían contactado con la cultura agraria de los Incas, sus vecinos más al norte, y de quienes muy probablemente aprendieron a realizar el proceso de domesticación, de traer desde el medio natural al incipiente medio agrario las primeras plantas de fresa de Chile. Las primeras formas domesticadas de la fresa de Chile presentaban frutos de buen tamaño y de color blanco llamados “kallén” o “quellguen”. Algunas formas de fruto rojo fueron domesticadas, pero existe una información poco documentada al respecto. Los nativos chilenos usaban los frutos tanto en fresco como desecados, elaboraban jugos fermentados y preparaban infusiones medicinales para curar la indigestión o la diarrea (Medina, 2008).

La llegada a Europa de las primeras plantas de *F. chiloensis* no fue hasta agosto de 1714, en concreto en Marsella, de la mano de Amadée François Frézier, oficial de Luis XVI de Francia. Luego desde París se Distribuyó la fresa chilena a jardines botánicos y hortícolas de Holanda, Inglaterra, Bélgica y Alemania; desde donde pronto se reciben informes negativos en tanto que muestra importantes problemas de esterilidad. Hoy resulta conocido que dentro de la especie *F. chiloensis* existen formas masculinas, femeninas y bisexuales. En Brest, y en especial en la comunidad de Plougastel, los jardineros descubrieron que la esterilidad de la fresa chilena podía ser superada por la polinización cruzada, colocando plantas de *F. virginiana* y *F. moschata* entre plantas de *F. chiloensis*, así la famosa fresa de Bretaña pasó de ser un híbrido entre ella y la *F. virginiana*. Philip Miller será el primero en describir la nueva fresa en la edición de 1759 de su *Gardener's Dictionary* pero este desconocía que la fresa que describe es un híbrido entre las dos especies americanas llegadas a Europa años atrás. Duschesne, en su libro de Historia Natural de las Fresas, publicado en 1766, afirma que la nueva fresa es un híbrido de *F. virginiana* y *F. chiloensis*, y nombra a este híbrido como fresa-ananás o fresa-piña, en tanto que encuentra en ella que su olor es como el de la piña tropical (*Ananas* spp.), así poco después la clasifica como *Fragaria x ananassa*. Además decía que era un híbrido logrado entre la fresa chilena y la fresa de Virginia, apoyando su teoría en que poseía caracteres intermedios entre

ambas; esto es, la nueva fresa conjugaba las características de frutos grandes y vigor propio de la *F. chilensis* con un mayor número de flores cuajadas y una mayor firmeza de frutos, cualidades típicas de *F. virginiana*; además había comprobado que ambas eran cultivadas juntas, luego aparecieron las primeras variedades híbridas de fresa de las que se tiene referencias como la 'Hudson', 'Elton' y 'Dawton', entre otras (Medina, 2008).

En Inglaterra el horticultor Michael Keen, interesado en la mejora de la fresa en esta época, que desarrolló la variedad 'Keen's Seedling', causó gran sensación por su tamaño de fruto, color y sobre todo por su sabor excepcional, tal así que dominó el mercado inglés durante casi un siglo (Medina, 2008).

Los verdaderos responsables de la introducción del cultivo en España hay que encontrarlos en la Casa de Borbón. No en vano, la íntima relación entre la aristocracia francesa y la fresa casi desde sus inicios en el siglo XIII ha sido una constante con el transcurrir de los años. Felipe V, primer rey Borbón español, será el encargado de introducir los primeros y mejores estolones de fresas de Versalles en el Real Sitio de Aranjuez, iniciándose así la producción de las desde entonces afamadas "fresas de Aranjuez" (Medina, 2008).

Desde Aranjuez el cultivo se extendió a otras regiones de España y tuvo particular éxito en la huerta valenciana y en el Maresme. Aún quedan algunas zonas como la de Candamo en Asturias donde hasta nuestros días aún celebran el Festival de la Fresa.

El auge del cultivo en la huerta Madrileña propició una difusión del mismo a otras provincias españolas; así en 1935 las hectáreas cultivadas en España eran 1387 con una producción superior a las 4.000 t. Estos datos mostraban la importancia del cultivo que era aún mayor si tenemos en cuenta que estaba diseminado por 44 provincias. Barcelona, Madrid, La Coruña, Tarragona y Valencia eran las provincias de mayor importancia, mientras que Cádiz y Teruel, con una hectárea de cultivo cada una de ellas, aparecían como las que menor superficie dedicaban al cultivo. Sólo Albacete, Ciudad Real, Guadalajara, Las Palmas, Santa Cruz de Tenerife y Valladolid resultan ser las únicas no productoras (Medina, 2008).

El conjunto de variedades cultivadas en Aranjuez eran divididas en dos grupos; en uno de ellos estaban las variedades de fruto pequeño o fresas, y en el otro estaban las de fruto grande o fresones.

Debido a problemas con la mano de obra para la recolección y la necesidad de una gran rotación, a partir de los años cincuenta del pasado siglo comenzó el declive del cultivo de la fresa en la vega de Aranjuez, hasta llegar a convertirse en puramente testimonial. Actualmente la superficie cultivada está en torno a 1,5 hectáreas y de ellas el principal productor apenas cuenta con una superficie de más de un tercio de hectáreas, cubierta bajo invernadero, donde cultiva probablemente las últimas plantas de *F. vesca* de la huerta arancetana (Medina, 2008).

Los inicios del cultivo de la fresa en la provincia de Huelva están muy pocos documentados se sostiene que fue en los términos de Moguer, Palos de la Frontera y Lucena del Puerto donde surgió el cultivo y desde dichos núcleos, con el paso del tiempo se extendió a otras comarcas de la provincia (Medina, 2008).

Es conocido como desde los años 30-40 del pasado siglo se cultivaban fresas en determinadas zonas húmedas del término municipal de Moguer, en “El Molinillo”(a orillas del arroyo del mismo nombre) y las proximidades del arroyo de Don Gil; igualmente en el término de Palos de La Frontera se conocía el cultivo en la zona de “El Coto”. La variedad que se cultivaba era ‘Madame Moutot’, la planta se colocaba en el suelo encima de un leve caballón precariamente construido. La densidad de plantación era inferior a 30.000-40.000 plantas/ha, y los rendimientos muy pobres del orden de 2-3 t/ha. El período de recolección se extendía desde mediados de abril hasta junio o julio, en función de la fecha de entrada de producción según la zona, el destino principal era el mercado de Madrid, el transporte lógicamente se hacía sin refrigerar, al margen del mercado de Madrid, lo habitual era el mercado local y el autoconsumo (Medina, 2008).

A principios de los años ochenta se definen las 3 zonas o núcleos de producción del cultivo de la fresa en la provincia de Huelva. La zona 1 que comprende el término de Almonte, entre la desembocadura del Guadalquivir y el término de Moguer. La zona 2 que comprende los términos de Moguer, Palos de la Frontera y Lucena del Puerto y constituyen el núcleo inicial del cultivo y desde donde se extendió al resto de las zonas, y finalmente la zona 3 que comprende los términos de Cartaya, Lepe e Isla Cristina. A medida que las diferentes zonas productivas de la provincia quedan poco a poco definidas, las técnicas de cultivo características de Huelva van a ir perfeccionándose y mejorándose a lo largo del tiempo de la mano de las diferentes variedades que a partir de la variedad ‘Tioga’ van a ir sucediéndose: ‘Douglas’, ‘Chandler’, ‘Oso Grande’, ‘Tudla’...hasta la llegada de la variedad ‘Camarosa’ con quien se abrirá la época contemporánea, plagada de nuevos caminos en todos los aspectos del cultivo y de su comercialización (Medina, 2008).

### **1.1. El sistema productivo emergente**

El cultivo de fresa, ha sido capaz de aprovechar al máximo las potencialidades del medio y superar las restricciones, para llegar a los selectos mercados europeos. Para ello utiliza modernas técnicas de fertirrigación, polinización natural inducida, desinfección de suelos, túneles e invernaderos y la vanguardia de la investigación genética (Márquez-Domínguez, 2008).

La mayor parte del cultivo se realiza sobre nuevos campos, con temperaturas medias de 18 °C, precipitaciones en torno a los 500 mm., práctica inexistencia de heladas, insolación aproximada a las 3.000 horas de sol, vientos de agua abundante y la facilidad de labrar las arenas, aunque la riqueza orgánica del suelo era prácticamente nula. Todo ello sumado a las potencialidades internas y a la tecnagricultura, ha originado un desarrollo sin precedentes, que hace circular grandes cantidades de capital y demanda abundante de mano de obra (Márquez-Domínguez, 2008).

El cultivo estrella de la agricultura onubense, la fresa, se integró estrechamente, con las estructuras productivas y se proyecta hacia el siglo XXI como una esperanza de futuro en la llamada Huelva Verde (Márquez-Domínguez, 2008).

El sector fresero es uno de los pilares básicos de la economía agraria onubense y un puntal de extraordinaria importancia para la economía regional. La provincia de Huelva concentra el 94% de la producción de fresa nacional y es la principal productora europea (Márquez-Domínguez, 2008).

Como motor de un mundo rural en marcha, el llamado oro rojo ha conectado diversos eslabones del mundo agrario y se erige como una potente palanca para el desarrollo local, reactivando la construcción, la industria y la equidad.

Las explotaciones agrarias se han tenido que adaptar a un ambiente competitivo en un contexto de estabilidad de los precios y el aumento de los inputs, que sólo se ha visto compensado con el incremento de la producción media por hectárea.

Con todo esto, el sector de la fresa en la provincia de Huelva es el mayor agente transformador del territorio y la sociedad, por cuanto se constituye en yacimiento de empleo y ha fortalecido el tejido empresarial y cooperativo de Andalucía (Márquez-Domínguez, 2008).

## **1.2. Características botánico-morfológicas de la fresa cultivada**

### *1.2.1. Sistemática y taxonomía*

La fresa cultivada pertenece al género *Fragaria*, dentro de la familia *Rosaceae*, tribu *Rosaceae* o *Potentilleae*. El género *Fragaria* con un número básico de cromosomas  $x=7$ , está formado por unas 20 especies. Estas especies se caracterizan por ser hierbas perennes estoloníferas con escapos florales. Las especies del género *Fragaria* se pueden agrupar por su nivel de ploidía en cuatro grandes categorías: diploides ( $2n=14$ ), tetraploides ( $2n=28$ ), hexaploides ( $2n=42$ ) y octaploides ( $2n=56$ ). Dentro de las especies diploides, se encuentra *Fragaria vesca* L. que es la especie más difundida en forma silvestre (fresa de los bosques). La única especie hexaploide reconocida es *Fragaria moschata* Duch., difundida en centro-norte de

Europa. Las especies octaploides más destacadas son *Fragaria chiloensis* Duch., *Fragaria virginiana* Duch. y *Fragaria x ananassa* Duch. (López–Aranda, 2008).

*F. Chiloensis* Duch., es originaria de la costa de Chile y zona de los Andes (Chile y Argentina) y *Fragaria virginiana* Duch., es originaria de las praderas centrales de Norte América. Ambas especies fueron llevadas a Francia, a comienzos del siglo XVIII, dando lugar por hibridación entre individuos de ambas a la actual fresa cultivada *F. x ananassa* Duch. Por tanto, esta última es la especie cultivada por excelencia de lo que entendemos como fresa en lengua castellana o frutilla en los países del cono sur americano. Este nuevo taxón botánico octaploide (*Fragaria x ananassa* Duch.), tiene una gran capacidad de adaptación a muy distintos agro-ambientes, desde climas tropicales hasta nórdicos. Sin embargo, sus variedades comerciales (cultivares) son de adaptación microclimática, o sea, se adaptan sólo a agro-ambientes similares a los que sirvieron para su selección y obtención (López–Aranda, 2008).

### 1.2.2. Morfología de la especie

Aunque la planta de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) parece herbácea y caulescente, en el entorno agrícola y científico suele considerarse como una especie leñosa y perenne con las mismas o similares pautas fisiológicas que los árboles y arbustos frutales de hoja caduca. El tallo está comprendido en una roseta de 2,5 cm de longitud cubierta por unas hojas basales o estípulas solapadas, en realidad en un rizoma. La corona (nombre vulgar del tallo) produce hojas en muy estrechos intervalos, flores en posición terminal y raíces en su base; además produce en la axila de las hojas, yemas o meristemos axilares. Estas yemas, dependiendo del estado nutricional y de las condiciones ambientales (termo-fotoperíodo), evolucionarán de diferente manera: permanecerán aletargadas o desarrollarán estolones, ramas o escapes florales. Los estolones, base de la multiplicación vegetativa de la fresa, son tallos postrados. Plantas vigorosas pueden producir entre 10 y 15 sistemas estoloníferos, pudiendo llegar a enraizarse más de 100 plantas hijas. Una planta hija es autosuficiente después de 2-3 semanas de vivir unida a la planta madre a través de los filamentos estoloníferos. Esa capacidad de estolonado es una característica varietal.

El tallo que porta la inflorescencia recibe el nombre de escape floral y el tallo que soporta cada flor individual se llama pedúnculo floral. El conjunto de escape y pedúnculos será el ramo floral. La constitución de las inflorescencias en la fresa es compleja. La flor de la fresa cultivada es hermafrodita (López–Aranda, 2008).

El receptáculo floral se desarrolla y engrosa por encima del cáliz, colmándose de sustancias azucaradas y aromas perfumados, a ese conjunto se le llama impropia y familiarmente fruto. Los verdaderos frutos, llamados erróneamente semillas, son los aquenios, dispuestos en alvéolos de profundidad/prominencia variable.

El tamaño de lo que suele llamarse fruto depende de diversos factores genéticos, fisiológicos y ambientales; autofertilidad, posición de la flor en la inflorescencia, número/tamaño de aquenios, etc. Existe una correlación positiva entre el tamaño de la flor y del fruto. El fruto de la fresa pertenece a la categoría de los no climatéricos y ello será importante en la estrategia de la cosecha (el fruto no completará su madurez comercial una vez recolectado). La forma y el tamaño de los frutos es una característica varietal, aunque se ven influenciadas por la posición en la inflorescencia y otros factores ambientales (López–Aranda, 2008).

### *1.2.3. Tipos varietales*

Las variedades de fresa muestran diferentes tipos de respuestas a la longitud del día (fotoperíodo) y a las temperaturas (termoperíodo). Cada tipo de respuesta ha dado lugar a un tipo de cultivares (variedades comerciales) que es necesario conocer y distinguir: variedades de día corto, reflorescientes y de día neutro. Las variedades de día corto diferencian yemas de flor cuando los días llegan a ser cortos y las temperaturas son bajas a finales de verano o principio de otoño. Las diferentes fases de su desarrollo tienden a ser separadas en ésta secuencia: floración, fructificación y emisión de estolones (López–Aranda, 2008).

Las variedades reflorescientes (o remontantes) diferencian sus yemas de flor más libremente en días largos (durante todo el verano) que en días cortos. Los estolones se producen desde principios de primavera hasta que se paran por las bajas temperaturas en otoño; en contraste con las plantas de día corto, las variedades reflorescientes producen menos estolones y tienden a formar múltiples coronas.

Las variedades de día neutro se ven relativamente no afectadas por el fotoperíodo y por el termoperíodo; fructificarán siempre que las temperaturas sean suficientemente altas para mantener crecimiento. Los estolones se producen durante el verano y continúan hasta el principio de los días cortos; no entran en reposo bajo condiciones de día cortos si prevalecen temperaturas favorables. Los tipos de día neutro florecerán, fructificarán y estolonarán simultáneamente. Producirán una cosecha continuada desde primavera hasta otoño (según climas) con varios picos de cosecha a lo largo del período de cultivo. Los jóvenes estolones de las plantas de día neutro florecerán durante la primera estación (en contraste con los de las plantas de día corto y reflorescientes) incluso sin haber llegado a enraizar.

Los términos día neutro y reflorescientes se suelen usar como sinónimos. Mientras que las variedades reflorescientes son producto de una selección natural en zonas continentales y nórdicas, las variedades de día neutro con comportamiento fisiológico y productivo similar, son producto de la mejora genética tradicional que busca la ruptura de la dependencia del fotoperíodo para incrementar su producción en las épocas de mercado. El sector fresero nunca

se ha interesado seriamente por las posibilidades de las variedades de día neutro en las condiciones de cultivo de Huelva. A efectos prácticos, en áreas de importancia del cultivo en zonas templadas, la clasificación principal es la dicotómica: variedades de día corto y de día neutro (López–Aranda, 2008).

#### *1.2.4. Pautas de comportamiento anual de la fresa*

El fotoperíodo (longitud del día) impone su influencia sobre la formación de yemas florales, elongación de estolones, tamaño de la hoja y longitud del pecíolo. Por otro lado, la temperatura (termoperíodo) puede modificar e incluso anular los efectos de la longitud del día y debe ser considerada de igual importancia en la determinación de la adaptación de la fresa a ambientes concretos (López–Aranda, 2008).

Las pautas de comportamiento estacional de la fresa, referida a variedades de día corto, puede seguir el siguiente esquema: en otoño (fotoperíodo y temperaturas decrecientes) ocurre la finalización del estolonado, la diferenciación floral y la iniciación de la latencia; en invierno (fotoperíodo y temperaturas mínimas) ocurre la parada vegetativa; en primavera (fotoperíodo y temperaturas crecientes) se reanuda la actividad vegetativa desencadenándose el proceso de floración-fructificación y la iniciación del estolonado; en verano (fotoperíodo y temperatura máximos) disminuye el proceso de floración-fructificación y aumenta el proceso de estolonado.

La cantidad de frío que la planta pueda recibir durante el período de tiempo correspondiente a la latencia es muy importante para que se produzca convenientemente el anterior esquema (López–Aranda, 2008).

La fresa necesita satisfacer unas necesidades concretas de horas frío, entendidas estas como horas por debajo de 7°C, que varían según las variedades, y que conlleva el paso de la planta por viveros que se encuentran en altitud donde tiene lugar la producción de estolones.

Estas pautas variarán de acuerdo a la respuesta varietal y la interacción genotipo ambiente.

Es cierto que el fotoperíodo es más constante al depender de una magnitud geográfica invariable como es la latitud, que el termoperíodo que al ser, una magnitud climática, está expuesto a importantísimas fluctuaciones estacionales, con significativas repercusiones tanto en zonas de viveros como en zonas de campos de fructificación (tanto es así, que el éxito agronómico y comercial de muchas campañas se ve amenazado por un régimen de temperaturas ligeramente superior a los normales en los meses de Septiembre-Octubre en los viveros Españoles) (López–Aranda, 2008).

Una interesante matización a las anteriores pautas de comportamiento anual de la fresa es la siguiente: si el invierno es frío (a saber, más de lo normal para la zona) se conseguirá una acumulación de horas de frío bien asegurada, una buena parada vegetativa, la inducción floral

permanecerá un buen vigor vegetativo en primavera que traerá una recolección mediana y agrupada, con un estolonado precoz; lógicamente los fenómenos fisiológicos serán los contrarios si el invierno es dulce (a saber, más cálido de lo normal para la zona); acumulación de horas de frío mal asegurada, inducción floral prolongada (o sea, previsión de cosecha prolongada en el tiempo), y habrá un mediocre vigor vegetativo en primavera. Si la primavera es fresca, se producirá una tendencia a refluoraciones estivales y riesgo de malformaciones florales; si es dulce la tendencia será hacia fuerte estolonado, buena polinización y crecimiento vegetativo acelerado. Si el verano es fresco, se favorecerá el enraizamiento y la refluoración en otoño de ciertas variedades semi refluorantes; mientras si es cálido (o sea más caluroso de lo normal), se producirá un bloqueo de la inducción floral y un crecimiento vegetativo ralentizado (López–Aranda, 2008).

Finalmente, cerrando el ciclo, si el otoño es frío se producirá una rápida entrada en latencia y una buena inducción floral pero limitada en el tiempo; si el otoño es cálido, la tendencia será la opuesta, una lenta entrada en latencia, estolonado y desarrollo vegetativo prolongados, inducción floral prolongada (López–Aranda, 2008).

### **1.3. Riego y nutrición mineral**

El cultivo de fresa es muy sensible a la mala calidad de las aguas de riego. Esta especie cultivada muestra una apreciable disminución de cosecha con el incremento de la salinidad en el agua. Concentraciones de sales en las aguas de riego del orden de 0,8 a 1 miliSiemens (mS/cm) parecen óptimas.

El diseño hidráulico y el esquema de control (cabezal de riego) y tuberías primarias, secundarias y terciarias (ramales de riego) es idéntico a las instalaciones de riego por goteo convencionales. Con los equipos habituales de filtros autolimpiantes de arena, mallas, o anillas, tanques fertilizantes, bombas inyectoras, contadores con emisores de pulso, programadores de riego y fertirrigación, equipos ventura, etc. (López-Medina, 2008).

Los tipos de cinta más utilizados aportan un caudal de 3 a 5 L/h y metro lineal de cinta.

La utilización de métodos prospectivos de las necesidades hídricas en el cultivo de fresa, basados en la medición diaria de la evapotranspiración (ET<sub>o</sub>), permite proponer el siguiente programa de riego localizado (Tabla 1) para un uso eficiente del agua.

Tabla 1. Manejo del riego en el cultivo de fresa

Período de cultivo	Riegos por semana	Tiempo (en minutos por riego)	Metros cúbicos de agua/ha.
Octubre	5	30'	220
Noviembre	3	20'	158
Diciembre	3	20'	158
Primera quincena de enero	3	20'	80
Segunda quincena de enero	4	22'	127
Primera quincena de febrero	4	22'	127
Segunda quincena de febrero	7	15'	308
Marzo	7	22'	452
Primera quincena de abril	7	2 pulsos de 14'	575
Segunda quincena de abril	7	2 pulsos de 20'	821
Mayo	7	2 pulsos de 20'	821
TOTAL			3.847

Fuente: López-Medina (2008).

#### 1.4. Fertirrigación

Las aportaciones de nutrientes minerales al cultivo de fresa en Huelva se han ido reduciendo a lo largo del tiempo a medida que se ganaba experiencia y eficiencia en el uso de las técnicas de fertirrigación. Los límites máximos de incorporación de nutrientes pueden estar bien representados por las aportaciones contenidas en la reglamentación de Producción Integrada para la fresa en la zona de Huelva que consideraba hace algunos años las siguientes necesidades, de macro-nutrientes en kg/ha: N (Nitrógeno), 200 UF; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Fósforo), 180 UF; K<sub>2</sub>O (Potasio), 250 UF.

Los nutrientes principales a aportar serán Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Magnesio y Calcio (López-Medina, 2008).

El nitrógeno juega un papel esencial en el desarrollo vegetativo, en los procesos de desarrollo floral y de fructificación del cultivo de la fresa. El exceso de aportaciones puede dificultar el proceso de fecundación, beneficiando el desarrollo de hongos de la parte aérea tales como *Botrytis cinerea*, *Sphaerotheca macularis*, *Micosphaerella fragariae* y otros y producir el desarrollo vegetativo excesivo en detrimento del equilibrio reproductivo y disminuir la consistencia y las características organolépticas de los frutos. Las deficiencias aparecen en

forma de amarillamientos de las hojas más viejas, asociados a enrojecimientos foliares (López-Medina, 2008).

El fósforo juega un papel esencial en los procesos fisiológicos de transferencia de energía en la planta, el exceso puede bloquear la absorción de nutrientes tales como cobre, hierro y zinc y puede aumentar el número de escapos florales con la consecuente irregularidad de tamaño del fruto. Las deficiencias, además de manifestarse en forma de enrojecimiento internerval en el envés de las hojas, provocan retrasos en la maduración, reducción de cosechas y pérdidas en la calidad de fruto (López-Medina, 2008).

El potasio juega un papel esencial en las características organolépticas del fruto y está implicado en una alta gama de procesos fisiológicos de la planta de fresa. El exceso de aportaciones puede bloquear la absorción de nutrientes tales como calcio, manganeso y/o zinc. Las deficiencias aparecen en forma de ennegrecimientos del nervio central y márgenes de los folíolos que van progresando hacia el interior de las hojas.

El magnesio juega su papel como elemento central de la molécula de clorofila. El exceso de aportaciones se relaciona con carencias de calcio y potasio y las deficiencias provocan necrosis en hojas y bajadas de rendimientos (López-Medina, 2008).

El calcio juega su papel en los procesos vitales a nivel celular, como elemento esencial de cohesión y permeabilidad de la pared celular. El exceso de aportaciones induce problemas de absorción de fósforo, potasio y hierro; las deficiencias provocan unas necrosis características en el ápice de los folíolos (tip-burn) y se relaciona con bajadas de consistencia de los frutos (López-Medina, 2008).

Los abonos minerales usados al momento de la fertirrigación son aquellos que se caracterizan por su alta solubilidad en el agua de riego. Los más comunes son: nitrato amónico, urea, sulfato amónico, ácido nítrico, nitrato potásico, fosfato monoamónico, ácido fosfórico, nitrato cálcico, sulfato potásico, sulfato magnésico, y nitrato magnésico. Al igual que el uso de quelatos de hierro. Se presenta a continuación un programa de fertirrigación para una producción (extracción) esperada de 50.000 a 70.000 kg/ha de fruto (Tabla 2).

Tabla 2. Programa de Fertirrigación

		Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	Mayo	Total
<b>Nitrógeno</b>	UF/ha	15	15	20	25	35	40	40	190
	%	7,89	7,89	10,53	13,2	18,4	21,1	21,05	100
	Nitrato amónico (kg).	23,46	20,0	24,89	24,2	34,1	38,7	38,75	204,2
<b>Fósforo</b>	UF/ha	4	7	8	13	15	12	12	71
	%	5,63	9,86	11,27	18,3	21,1	16,9	16,9	100
	Fosfato monoamónico (kg)	6,56	11,5	13,11	21,3	24,6	19,7	19,7	116,4
<b>Potasio</b>	UF/ha	8	10	15	30	44	50	50	207
	%	3,86	4,83	7,25	14,5	21,3	24,1	24,1	100
	Nitrato potásico (kg)	17,4	21,7	32,61	65,2	95,6	109	109	450
<b>Calcio</b>	UF/ha	7	7	10	10	14	18	18	84
	%	8,33	8,33	11,9	11,9	16,7	21,4	21,4	100
	Nitrato cálcico (kg)	26,42	26,4	37,74	37,7	52,8	67,9	67,9	316,98
<b>Magnesio</b>	UF/ha	1	1	2	3	3	3	0	13
	%	7,7	7,7	15,4	23,1	23,1	23,1	0,00	100
	Sulfato magnésico (kg).	6,02	6,02	12,05	18,1	18,1	18,1	0,00	78,31

Fuente: López-Medina (2008)

### 1.5. Revolución tecnológica

La producción de fresa, ha sufrido un notable desarrollo desde 1965, con un fuerte incremento de superficie cultivada y de rendimiento, el cual se ha producido, gracias a una revolución con la introducción de nuevas tecnologías impensables hace algunos años pero que, actualmente, forman parte del paisaje del entorno productivo.

Estas nuevas tecnologías, de diversa índole, son el resultado de objetivos diversos como consecuencia de la preocupación creciente por conseguir una producción de mayor calidad, respetuosa con el medio ambiente y sostenible en el tiempo. Éstas incluyen sistemas de protección del cultivo más eficientes, sistemas de polinización controlada, sistemas de producción novedosos tales como la producción integrada, el control biológico, el cultivo ecológico, y por último el cultivo sin suelo o hidropónico que representa la máxima expresión tecnológica en el cultivo de la fresa sin olvidar la gestión de la calidad (López-Medina, 2008).

El concepto de producción integrada, según la OILB (Organización Internacional de Lucha Biológica) puede definirse como: "Sistemas agrícolas de producción de alimentos y de otros

productos de alta calidad, que utilizan recursos y mecanismos de regulación naturales para reemplazar aportes perjudiciales al medio ambiente, y que asegura a largo plazo una agricultura viable”.

## **1.6. El cultivo sin suelo**

### *1.6.1. Antecedentes*

Aunque normalmente pensamos sobre cultivo sin suelo como una práctica moderna, el cultivo de plantas en contenedores sobre el suelo ha sido probado en varias ocasiones a lo largo de los siglos. Los egipcios lo hicieron hace casi 4.000 años. Pinturas murales en el templo de Deir al Baharí mostró lo que parece ser el primer caso documentado de plantas cultivadas en contenedores. Estaban acostumbrados al traslado de árboles nativos desde su país de origen hasta al palacio del Rey, para ser cultivado luego de esta manera cuando los suelos no eran aptos para ese tipo específico de plantas. No se sabe qué tipo de medio de cultivo se utilizaba para llenar los contenedores, pero es posible que los materiales utilizados fueran más ligeros que la tierra pura.

A partir del siglo XVII, las plantas se trasladaban, especialmente desde el lejano Oriente y Oriente medio a Europa, para ser cultivadas en invernaderos, con el fin de dar un valor estético y suministrar frutas y hortalizas raras a la gente rica.

Un invernáculo es un lugar protegido, especialmente diseñado para el cultivo de naranjos en climas fríos, así que puede ser considerado como el primer caso documentado de un sistema de cultivo en contenedores, siendo aun el suelo el más utilizado para llenar estos recipientes. Pueden encontrarse aún hoy en día invernaderos en toda Europa. Un ejemplo exquisito de un invernadero de Dresde (Alemania), puede observarse en la (Fotografía 1.)

Fotografía. 1. Invernaderos del Palacio de Pillnitz en Dresde, (Alemania).



El invernadero de naranjos en el Palacio de Pillnitz, cerca de Dresde (Alemania), se utilizaba para proteger los árboles de cítricos cultivados en contenedores durante el invierno. Las grandes puertas en el lado este, permitían mover a los árboles de adentro hacia afuera para que pudieran ser cultivados al aire libre durante el verano e ingresarlos al invernadero durante el invierno. Los amplios ventanales de piso a techo en el lado sur, permitían la entrada de la radiación solar.

Como sugiere el nombre (Orangery), las primeras plantas que se cultivaban en invernaderos fueron diferentes especies de cítricos (Raviv y Lieth, 2008).

Los cultivos hidropónicos surgen de los primeros trabajos de investigación, encaminados a conocer las necesidades nutritivas de las plantas. Se conocen algunos trabajos desarrollados bajo sistemas de cultivo sin suelo en 1666 por el científico Robert Boyle, que publicó el primer experimento de cultivo en agua. A mediados del siglo XVII Van Helmont pensó que el agua es el factor de crecimiento más importante de los vegetales. Hasta mediados del siglo XVIII, tan sólo hubo pequeñas experiencias realizadas por Woodward, Morceau y de Saussure. De 1850 a 1860 se emplearon diversas técnicas para entender la nutrición de las plantas por Fürst zu Salm Horsmar, Knop y Sachs. Los cultivos hidropónicos tal y como los conocemos en la actualidad, fueron impulsados en 1930 por Gericke de la Universidad de California, introduciendo el sistema de cultivo sin suelo de forma comercial para tomates, desarrollando los cultivos en balsas de arena. Ellis-Swaney realiza cultivos en grava.

La necesidad de suministrar verduras frescas a los soldados americanos durante la segunda guerra mundial, en las islas del Pacífico, por la imposibilidad de cultivar en sus suelos rocosos, hace que en 1945 se produzca un cierto desarrollo de las técnicas de cultivo sin suelo.

No obstante en 1946, científicos británicos siguen insistiendo en que si bien es posible cultivar plantas en arena de sílice utilizando soluciones de nutrientes, tratando al suelo de manera parecida se producían plantas con mayor cantidad y biomasa.

Dos pasos más importantes fueron la clave para el avance de la producción de plantas en contenedores. El primero, la comprensión de los requerimientos nutricionales de la planta, por científicos franceses y alemanes en el siglo XIX, y más tarde perfeccionados por científicos estadounidenses, e ingleses durante la primera mitad del siglo XX. El segundo gran paso fue que la eliminación de organismos patógenos que deben ser controlados a través de desinfección era factible en la producción de plantas en contenedores, mientras que son virtualmente imposibles en aquellas cultivadas en el suelo.

El gran despegue de los cultivos protegidos o forzados se produce en los años sesenta, con la difusión de los plásticos como material de cubierta en los invernaderos. La aparición de nuevos plásticos para conducción de riego, el desarrollo de los riegos localizados, la incorporación de los programadores de riego, ordenadores para su manejo y el desarrollo de

distintos sustratos inertes, ha permitido la implantación de los sistemas de cultivo sin suelo (Baixauli y Aguilar, 2002).

Un documento clave en los Estados Unidos, fue un manual que describía un sistema de producción de plantas en viveros al aire libre en contenedores, con la utilización de sustratos, en conjunto con el control de enfermedades. Todo esto, permitió un gran avance en la producción de envases en vivero en los años 1950 y 1960, ayudó a los productores e hizo a las técnicas descritas en él, que sean universalmente adoptadas. Mediante este sistema se produjo una gran ventaja económica frente a los competidores que no lo usaron. Este manual describe varias mezclas de sustratos para el cultivo de plantas, compuestas por arena y materia orgánica como turba, corteza o aserrín en diferentes porcentajes.

No fue sino hasta la década de 1970 que los investigadores desarrollaron soluciones completas de nutrientes, junto a la utilización adecuada de medios de enraizamiento, y se estudió la manera de optimizar los niveles de nutrientes, agua y oxígeno para así poder demostrar la superioridad de los medios de cultivo sin suelo en términos de rendimiento.

Este impulso se reactiva en los años 70 en países como Japón y algunos países de Europa, que entre sus objetivos primordiales figura, el aumentar la productividad agraria para garantizar el abastecimiento alimentario (Baixauli y Aguilar, 2002).

El sistema de cultivo enarenado de Almería y Murcia se acerca bastante al sistema de cultivo sin suelo y se considera como el precursor de estos nuevos sistemas de cultivo hidropónico, que se desarrollan en España, iniciándose en Murcia por medio de cultivos en salchichas de arena.

En 1983-84 se inician los primeros desarrollos con lana de roca. En 1985 se realizan trabajos conducentes al estudio de nuevos sustratos sustitutivos de lana de roca, debido principalmente a su elevado precio, mediante el uso de arenas silíceas, calcáreas y turbas (Martínez y García, 1993). En la campaña 1985-86 había en España un total de unas 30 hectáreas cultivadas en sistemas de cultivo sin suelo.

El crecimiento de la superficie destinada a los cultivos sin suelo en la última década ha sido espectacular, pasando de 200 hectáreas cultivadas durante la campaña 1988-89 a las aproximadamente 3.600 hectáreas de cultivos sin suelo de hortalizas cultivadas en toda España durante la campaña 1999-2000. Dicho incremento está claramente influenciado por el desarrollo de la horticultura intensiva en los últimos 10 años tras la total adhesión de España como miembro de la Unión Europea y el incremento espectacular de las exportaciones de la mayor parte de los productos hortícolas, duplicándose en la mayor parte de los casos y cuadruplicándose en productos como el tomate, las lechugas y los melones (Baixauli y Aguilar, 2002).

Este crecimiento está claramente relacionado con el de la superficie protegida. En España pasó de 24.000 hectáreas en 1991 a 47.000 hectáreas de invernaderos en 1997, situándose como el 2º país en importancia a nivel mundial detrás de Japón.

La principal causa de abandono del uso del suelo, fue la proliferación de los patógenos del suelo en invernaderos de cultivos intensivos.

El suelo fue sustituido por varios sustratos, como lana de roca, perlita y escoria (toba), ya que, están prácticamente libres de plagas y enfermedades debido a sus procesos de fabricación. También en la reutilización de un cultivo a otro, estos materiales pueden ser desinfectados entre usos con el fin de eliminar a los microorganismos patógenos.

La tendencia continua al cultivo sin suelo es impulsado también por el hecho de que en el sistema sin suelo es posible tener un mejor control de varios factores cruciales, lo que conduce a mejorar el rendimiento de las plantas (Raviv y Lieth, 2008).

La hidroponía es una ciencia joven, habiendo sido usada bajo una base comercial desde hace solamente cuarenta años; no obstante, aún en este relativamente corto período de tiempo, ha podido adaptarse a diversas situaciones, desde los cultivos al aire y en invernadero a los altamente especializados en submarinos atómicos para obtener verduras frescas, esto es una ciencia espacial, pero al mismo tiempo pueden ser usados en países subdesarrollados del Tercer Mundo para proveer una producción intensiva de alimentos en áreas limitadas.

#### *1.6.2. Concepto: "Cultivo sin suelo"*

Por cultivo sin suelo, se entiende cualquier sistema que no emplea el suelo para su desarrollo, pudiéndose cultivar en una solución nutritiva, o sobre cualquier sustrato con adición de solución nutritiva.

La terminología es diversa, aunque originalmente la denominación es la de cultivos hidropónicos, que es como coloquialmente más se le conoce. Fue el Dr. W.F. Gericke el que acuñó la palabra "hidropónico" para designar este tipo de cultivo. Cultivo hidropónico procede de las letras griegas hydro (agua) y ponos (trabajo), literalmente trabajo en agua, este término es conocido mundialmente y únicamente varía la pronunciación. Los cultivos hidropónicos o hidroponía pueden ser definidos como la ciencia del crecimiento de las plantas sin utilizar el suelo, aunque usando un medio inerte, tal como la grava, arena, turba, vermiculita, pumita, o serrín, a los cuales se añade una solución de nutrientes que contiene todos los elementos esenciales necesitados por la planta para su normal crecimiento y desarrollo. Puesto que muchos de estos métodos emplean algún tipo de medio de cultivo, se les denomina a menudo "Cultivo sin Suelo", mientras que el cultivo solamente en agua sería el verdadero hidropónico (Resh, 2001). Existen incluso autores que prefieren no incluir el cultivo en sacos de turba como

sistemas de cultivo sin suelo. La terminología “Cultivo sin Suelo” es empleada literalmente en otros idiomas, *soiless culture*, *culture senzaterreno*, *culture sans sol* (Baixauli y Aguilar, 2002).

Desde un punto de vista práctico, los cultivos sin suelo pueden clasificarse en: cultivos hidropónicos (cultivo en agua más nutrientes o sobre materiales inertes) y cultivos en sustrato (cultivo sobre materiales químicamente activos, con capacidad de intercambio catiónico) (Abad et al.).

Por solución nutritiva se entiende, el agua con oxígeno (O<sub>2</sub>) y todos los nutrientes esenciales para las plantas, disueltos en una forma inorgánica completamente disociada, aunque en la solución pueden existir formas orgánicas disueltas, procedentes de los microelementos en forma de quelato.

### *1.6.3. Cultivo sin suelo: Sustratos*

El cultivo sin suelo es un sistema de cultivo que ofrece numerosas posibilidades y variantes: sistemas apoyados o suspendidos, sistemas abiertos o cerrados, sistemas con o sin sustrato, etc. Además, los sustratos que se pueden utilizar son muy variados y de diversa índole: de origen natural orgánico (turbas) o inorgánico (arena, grava, tierra volcánica, etc.), de origen sintético orgánico (espuma de poliuretano, poliestireno expandido, geotextiles, etc.) o inorgánico (perlita, lana de roca, vermiculita, arcilla expandida, etc.) o bien residuos y subproductos orgánicos (fibra de coco, orujo de uva, cascarilla de arroz, corteza de árboles, serrín, residuos sólidos urbanos, lodos de depuración de aguas residuales, etc.) o inorgánicos (escorias de horno alto, estériles del carbón, etc.) (López-Medina, 2008).

En un sistema de cultivo sin suelo y sostenible, los materiales y sustratos son de bajo coste, tienen una duración de vida de tres o cuatro años, poseen propiedades físicas constantes durante su uso, son seguros y pueden ser reciclados por el proveedor; no así la lana de roca que no es biodegradable. No ocurre lo mismo con los restos de sustratos orgánicos (turba, fibra de coco, etc.) que sí son biodegradables y pueden ser incorporados al suelo como enmienda orgánica.

No obstante, la turba es un recurso no renovable por lo que se deben buscar sustratos alternativos procedentes de recursos renovables, que contribuyan a una mayor sostenibilidad del cultivo sin suelo. Por ello, en numerosas partes del mundo se ha emprendido una búsqueda de materiales que puedan sustituirla, con la ventaja añadida de reducir los costes de producción. En las políticas de protección del medio ambiente de los países productores ya existen limitaciones en las extracciones de las turberas, tanto por el impacto ambiental de la extracción en sí, como por ser las turberas importantes sumideros de dióxido de carbono.

En este contexto, han adquirido especial importancia los residuos agroindustriales.

Una característica destacable de los sustratos a base de residuos agroindustriales es su capacidad supresora frente a las principales enfermedades fúngicas de las plantas de origen edáfico. Esta propiedad, si bien en la bibliografía está ampliamente documentada, en la práctica no ha sido explotada. Entre los residuos de fácil disponibilidad cabe citar los de compost de corcho, orujo de vid, y corteza de pino, por sus buenas características como sustratos hortícolas y por la supresividad que muestran (López-Medina, 2008).

En general, atendiendo a los criterios que más adelante se describen se puede hacer una clasificación de los cultivos sin suelo; estos criterios son:

- El medio físico donde crece la raíz de la planta que cultivamos.
- La forma de suministro de la disolución nutritiva.
- La forma, en su caso, de aireación de la disolución nutritiva.
- La existencia o no de reciclado o recuperación de la solución.

A continuación se describen tres clasificaciones de cultivo sin suelo.

1) Ulises Durany (1984) recoge la siguiente clasificación sobre los cultivos sin suelo, teniendo en cuenta los criterios arriba descritos.

<b>Hidroponía propiamente dicha</b>			
<b>Cultivo en medio exclusivamente líquido (Water culture).</b>	Las plantas sumergen su aparato radical en la solución nutritiva y son sostenidas con sistemas diversos según especie.		
<b>Cultivo en sustrato sólido, inerte y poroso (las plantas estén ancladas al sustrato).</b>	La solución nutritiva atraviesa el sustrato de arriba abajo, por percolación (sand culture).	Por irrigación superficial discontinua (slop method).	Con recuperación de la solución nutritiva. S/ RSN.
		Por irrigación superficial continua (drip method).	C/RSN. S/RSN.
		Por esparcimiento en su superficie de sales seguido de irrigación con agua (dry salt method).	
	La solución nutritiva atraviesa el sustrato de abajo arriba, por subirrigación	Por subirrigación propiamente dicha.	Con recuperación de la solución nutritiva.

	(subirrigate culture o gravel culture).	Por circulación profunda a nivel constante.	
<b>Semihidroponía</b>			
<b>Cultivo en sustrato sólido, inerte y poroso (las plantas están ancladas al sustrato)</b>	El sustrato está mezclado a pequeñas cantidades de turba u otros materiales que absorben la solución nutritiva.		La solución nutritiva es suministrada con uno de los métodos arriba descritos.
	El sustrato está mezclado a materiales sintéticos (resinas) intercambiadores de iones saturados oportunamente de los elementos nutritivos necesarios, antes de la actuación del cultivo.		Suministro de sólo agua.

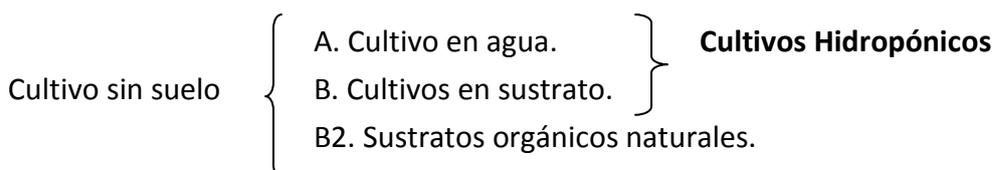
Fuente: Urrestarazu (2004)

2) Benton Jones (1983) recoge la clasificación de los sistemas de cultivo sin suelo de Larsen:

<b>Cultivos en sustrato</b>			
<b>En agua</b>	<b>Orgánicos</b>	<b>Inorgánicos</b>	<b>Mixtos</b>
1. NFT (Nutrient Film Technique)	1. Mezclas de turbas.	1. Grava.	1. Turba-vermiculita.
2. Aéroponia	2. Corteza de pino.	2. Escoria volcánica.	2. Corteza de pino-vermiculita.
3. En disolución nutritiva continuamente aireada.	3. Cascarilla de arroz.	3. Vermiculita.	3. Etc.

Fuente: Urrestarazu (2004)

3) Es frecuente que no se establezca diferencia con el término hidroponía, sin embargo en sentido estricto se pueden delimitar dichos términos con la ayuda del siguiente esquema tal y como ilustran Winsor y Schwarz (1990).



#### 1.6.4. Sistema abierto y cerrado de cultivo sin suelo

En el Cultivo sin suelo, la solución nutritiva se puede aplicar en dos sistemas diferentes, a saber, sistema abierto y cerrado. El cultivo convencional en sustratos, ya sea en bancadas, en sacos u otro tipo de contenedor, fue concebido originalmente para un manejo a solución perdida (sistema abierto), al contrario que otros sistemas como los hidropónicos o los de subirrigación, que se diseñaron como sistemas cerrados por sus características intrínsecas. Sin embargo, debido a la preocupación cada vez mayor de la sociedad por el deterioro del medioambiente y, como consecuencia de ello, a la presión que se está ejerciendo sobre las distintas actividades humanas contaminantes, entre ellas la agrícola, dichos sistemas abiertos están siendo adaptados a las nuevas exigencias, permitiendo así la recogida y acumulación de los drenajes para emplearlos posteriormente en la formulación de nueva solución nutritiva. A los sistemas cerrados así obtenidos se les suele llamar sistemas con reutilización del lixiviado.

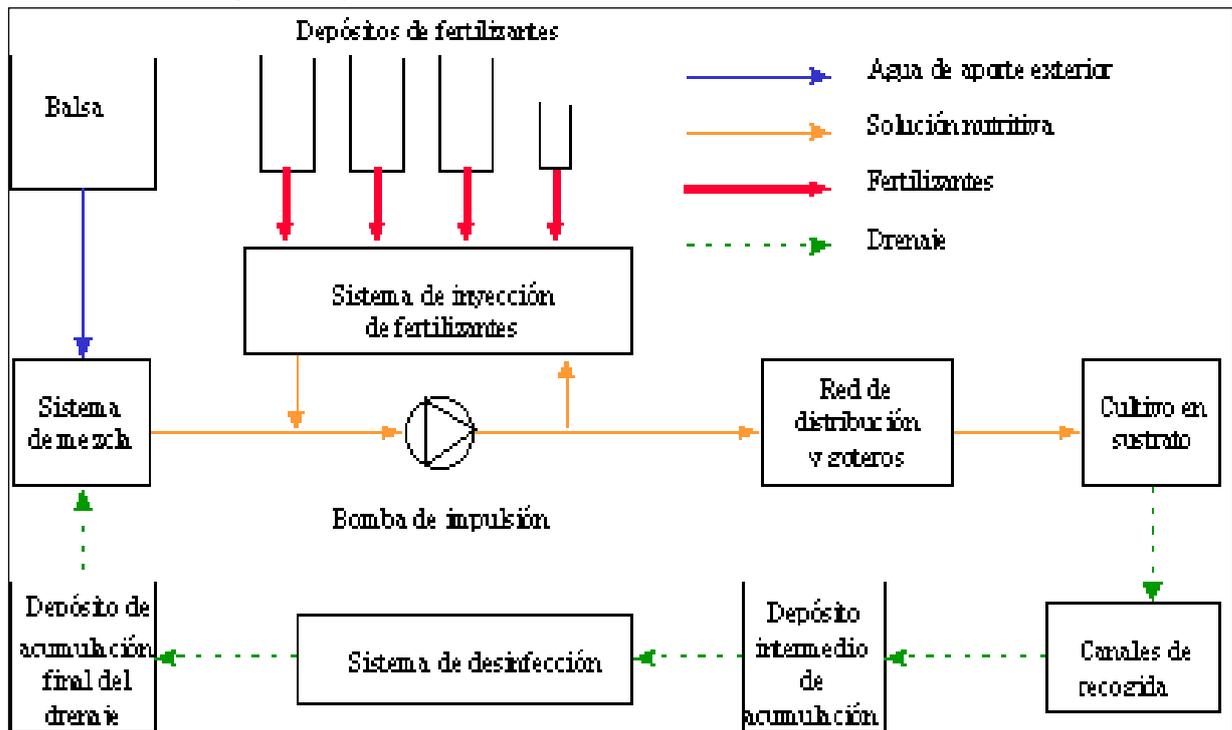
La gran mayoría de los cultivos sin suelo son sistemas abiertos en los que los drenajes no son recogidos, debidos fundamentalmente a la inversión adicional necesaria y a la complejidad que supone al control nutricional del cultivo en sistemas recirculantes o cerrados. Los sistemas a solución perdida conllevan la eliminación de importantes volúmenes de drenajes con un elevado poder contaminante, especialmente debido a la presencia de nitratos.

Dado que esto es evitado en gran medida mediante los sistemas de cultivo sin suelo cerrados, su empleo permite obtener un ahorro notable de agua y aún mayor de fertilizantes, lo que se une a una reducción casi total de la contaminación ambiental. De hecho diversos resultados experimentales indican que mediante estos sistemas es posible conseguir una disminución del gasto de agua de un 20 a un 30 % y un ahorro de fertilizantes entre el 25 y el 45 %.

La implantación de un sistema de cultivo sin suelo cerrado o recirculado comporta un sobre coste respecto al sistema abierto equivalente. En los sistemas cerrados, se trata de reincorporar al sistema la solución drenada siendo necesario instalar depósitos que permitan recoger los drenajes. Sin embargo, como inconveniente, cabe señalar la posible transmisión de patógenos: *Phytium*, *Phytophthora*, *Verticillium*, *Fusarium*, *Xanthomonas*, *Erwinia*, etc., virus y nematodos. De aquí que los drenajes se deban filtrar, desinfectar y restituir al circuito cerrado, corrigiendo su composición, en la medida que sea técnicamente posible y de forma automatizada. Por tanto el interés de esta técnica de reuso es tanto económico como ambiental (Magán-Cañadas, 1999).

La unidad de cultivo es la misma que la de un sistema a solución perdida y la diferencia se encuentra en los elementos auxiliares extra de recogida, desinfección, almacenamiento y mezcla del drenaje que es necesario incorporar en el sistema cerrado.

Figura. 1. Esquema de un sistema de cultivo sin suelo con reutilización del lixiviado



A la salida del equipo de desinfección, el drenaje es conducido a un depósito de acumulación final, donde se almacena hasta el momento de volver a ser empleado en mezcla con agua de aporte exterior. Dado que la composición del drenaje varía a lo largo del día, debido a la diferente evolución de la absorción de agua con respecto a la de nutrientes llevada a cabo por la planta en ese periodo, resulta conveniente que el tanque presente al menos un volumen suficiente como para almacenar el drenaje de un día, con el fin de conseguir una composición media y amortiguar esas oscilaciones. En lo que se refiere a la mezcla del drenaje, para llevar a cabo su posterior reutilización, ésta puede realizarse directamente con agua exterior y añadir a continuación los fertilizantes suplementarios, tal y como aparece en la Figura 1, o bien, preparando previamente solución nutritiva, a base del agua y los fertilizantes, para mezclarla después con el drenaje. En cualquier caso un sistema factible de llevar a cabo la mezcla es mediante una válvula motorizada que permita regular el caudal de paso de drenaje para que, en combinación con el agua exterior o la solución nutritiva, se alcance un determinado valor de conductividad eléctrica, el cual se habrá establecido previamente en función del porcentaje de drenaje que se pretende reutilizar. Otra forma de realizar la mezcla puede ser con un tanque al que se va vertiendo el drenaje y en el que se mantiene el nivel de líquido mediante una boya que, al descender, incorpora agua o solución previamente preparada. Este tanque puede ser el mismo que el empleado para la acumulación final del drenaje (Magán-Cañadas, 1999).

La bomba de impulsión, el sistema de inyección de fertilizantes, la red de distribución, los goteros y las unidades de cultivo no difieren de los empleados en un sistema abierto. Sin embargo una importante línea de investigación en la que se está trabajando en la actualidad, trata de desarrollar sondas selectivas de medida en continuo de las concentraciones de los iones que integran la solución nutritiva, con el fin de poder integrarlas en los equipos de preparación de dicha solución. De este modo, al automatismo de control se le introducirían como consignas las concentraciones deseadas de cada uno de los elementos, y éste daría las correspondientes órdenes de inyección de los distintos abonos a su disposición para alcanzar tales concentraciones. Con ello se podría ajustar la solución con gran exactitud y no se produciría desviación de la misma por desajuste en el aporte de fertilizantes con respecto a la absorción llevada a cabo por el cultivo, que es uno de los riesgos que se corren con el empleo de los sistemas cerrados. Asimismo, este desarrollo debe ir acompañado de una evolución en los fertilizantes, ya que se debería tender hacia soluciones líquidas de calidad ya preparadas, cada una de las cuales incorporaría un único elemento con el fin de conseguir así el ajuste deseado más fácilmente (Magán-Cañadas, 1999).

Para poder recoger el drenaje producido tras el riego, es necesario que las unidades de cultivo se dispongan sobre canales colectores adecuados para tal fin, aunque existen casos en los que se pueden evitar ya que el mismo canalón de cultivo permite dicha recogida, como ocurre en los cultivos en bancadas. No obstante, en el caso más frecuente de cultivo en sacos resultará imprescindible. Para ello son ideales las bandejas metálicas, ya que permiten conseguir una pendiente uniforme y son más resistentes, pero tienen el inconveniente de que son excesivamente caras, por lo que resultan inviables desde un punto de vista comercial y hay que acudir a otros tipos de materiales más asequibles como el polipropileno, el poliestireno, etc.

Una vez recogido el drenaje, es necesario llevarlo hacia un depósito intermedio de acumulación con el fin de almacenar una cantidad suficiente que pueda ser desinfectada. Por tanto su volumen no tiene que ser necesariamente grande, pero convendrá aumentarlo con el fin de poder instalar un equipo de desinfección de menor capacidad de tratamiento y a su vez más barato. Hay que tener en cuenta que siempre resultará más rentable invertir en volumen de almacenamiento para reducir el tamaño del equipo de desinfección que viceversa.

En lo que se refiere a la desinfección del drenaje, según diversos autores holandeses, resulta necesaria para controlar posibles ataques al cultivo de patógenos radiculares. Existen diferentes sistemas de desinfección que podemos clasificar en dos grupos en función de su espectro de acción, que son los de desinfección total y los de desinfección parcial. Lógicamente los primeros, aunque resultan más costosos, permiten eliminar de manera efectiva todos los patógenos existentes en la solución, incluidos los virus, mientras que los segundos no, de forma

que sólo eliminan algunos microorganismos, en general los hongos. Dependiendo de cuáles sean los patógenos que pueden afectar al cultivo que se haya establecido, así habrá que instalar uno u otro tipo de sistema (Magán-Cañadas, 1999).

Los principales métodos de desinfección consisten en tratamientos mediante calor, ozono, radiación ultravioleta, cloro, yodo, peróxido de hidrógeno, filtración a través de membranas y filtración lenta en lecho de arena.

De todos los sistemas de saneamiento de drenajes, la filtración lenta en lecho de arena es el único método de desinfección biológica, no se esteriliza la solución nutritiva y por tanto, tiene lugar el desarrollo de cierta microflora que puede desempeñar un importante papel en la supresión de enfermedades. Han sido muchas las experiencias realizadas sobre este método de desinfección, obteniéndose una reducción del nivel de infestación por *Fusarium oxysporum*, *Thielaviopsis basicola*, *Cylindrocladium scoparium*, *Verticillium dahliae*, aunque no su completa eliminación.

Una vez desinfectado, el lixiviado es conducido otra vez al depósito de acumulación final, desde donde se aprovechará en un nuevo ciclo de riego y recogida (López-Medina, 2008).

### **1.7. Evolución del cultivo sin suelo en la producción de fresa**

El interés en el cultivo sin suelo para la producción de fresa no es exclusivo de España sino de todos los países de nuestro entorno, en los que cada vez está adquiriendo mayor relevancia, que se pone de manifiesto por una disminución en ellos de la superficie del cultivo convencional de fresa y un incremento de la superficie de cultivo sin suelo. Países como Bélgica (340 ha dedicadas al cultivo sin suelo de fresa), Italia (250 ha), Francia (212 ha), Holanda (200 ha), Inglaterra (155 ha), etc., aspiran a ser autosuficientes en la producción de fresa y por tanto, a no depender de las exportaciones españolas (López-Medina, 2008).

Los sustratos empleados por los productores son muy variados: fibra de coco, perlita, lana de roca, compost de corcho, etc., y distintas mezclas, siendo los más utilizados fibra de coco y perlita. Estos sustratos, por lo general, van envasados en sacos de PE opaco o bicolor de 300 galgas (75  $\mu\text{m}$ ) de espesor, o bien se utilizan para rellenar bandejas o bandejas continuas de polipropileno tricapa, de 300 a 600 galgas (75-150  $\mu\text{m}$ ) de espesor; también existen sistemas de cultivo sin suelo en los que no se utiliza sustrato alguno. El volumen por planta varía entre 0,9 y 2 L sustrato/planta. Las densidades de plantación oscilan entre 110.000 y 220.000 plantas/ha.

Datos obtenidos de investigaciones demuestran que los rendimientos obtenidos con la fibra de coco son muy superiores a los obtenidos con perlita, turba y compost de corcho aproximadamente unos 73.000 kg/ha. Además ésta se puede reutilizar en el cultivo durante un

segundo año, tanto en sistemas abiertos o cerrados, sin que bajen significativamente los rendimientos.

En el sistema de cultivo sin suelo de fresa se utilizan variedades de día corto mediante el sistema de plantación otoñal, con planta fresca a raíz desnuda obtenida en viveros de altura, de forma similar a como se viene realizando en el cultivo convencional. Si bien, al igual que en campo, se han realizado ensayos con plantaciones estivales utilizando plantas frigo-conservadas de variedades de día neutro.

Las plantas con cepellón se obtienen a partir de estolones apicales o terminales (que pueden proceder de estolones colgantes, emitidos por plantas madres en cultivos sin suelo, o de estolones en estado de inicio radicular emitidos por plantas madre en viveros convencionales) que se colocan en bandejas alveoladas de 5 cm. de diámetro, conteniendo turba fibrosa como sustrato. A su vez, las bandejas se colocan bajo nebulización para lograr el enraizamiento al cabo de 20 o 30 días. También se pueden colocar directamente en bandejas alveoladas de mayor volumen o se pueden repicar en éstas los estolones con cepellón una vez estén bien enraizados y obtener una planta engrosada o multicoronada (López-Medina, 2008).

El empleo de la planta de fresa con cepellón en cultivo sin suelo posibilita una considerable producción fuera de estación (hasta el 31 de diciembre) y temprana (hasta el 31 de marzo), propiciando la desconcentración de la producción tradicional fresera (que produce más del 50% entre los meses de abril y mayo).

La producción de fresa es posible utilizando cultivo sin suelo, ya que presenta las siguientes ventajas:

- El sistema está elevado del suelo (apoyado o suspendido), por lo que ni las plantas ni el fruto están en contacto con el suelo; debido a ello, las condiciones alrededor de la planta son mejores y la producción integrada es más efectiva.
- La recolección es más cómoda.
- Los residuos son mínimos ya que el sustrato orgánico puede reutilizarse o ser aplicado como enmienda orgánica y las bolsas de plástico pueden reciclarse.
- Se obtiene una óptima relación aire/agua en el sistema radicular de la planta, favoreciendo por tanto el desarrollo del cultivo.
- La nutrición está mucho más controlada que en los sistemas de cultivo en suelo, puesto que no existen interacciones. Se emplea una solución nutritiva directamente o aplicada a un sustrato totalmente inerte, sin actividad química, o sobre sustratos con una baja capacidad de intercambio catiónico.
- En sistemas cerrados, en donde el drenaje es reutilizado, se puede conseguir un ahorro de agua y fertilizantes. Por el hecho de tener controlados dichos drenajes se evita la contaminación de suelos y acuíferos.

- Se pueden emplear sustratos distintos a los comercialmente conocidos y procedentes de residuos, como la paja de cereales, la fibra de coco, ladrillo triturado, fibra de madera, residuo de la industria del corcho, etc., con muchas posibilidades y con posibles soluciones por explotar a nivel local.
- Generalmente se obtiene en los cultivos una buena uniformidad, con lo que se facilitan las operaciones de cultivo. Se suprimen los trabajos de incorporación de abonados de fondo, preparaciones de suelo y eliminación de malas hierbas, mejorando en general las condiciones de trabajo. Se puede conseguir una mayor precocidad y mayor potencial productivo, debido a que la planta cuando toma la solución nutritiva, consume menos energía para su desarrollo que en los sistemas de cultivo en suelo.
- Generalmente se puede obtener una mejor calidad de cultivo y por lo tanto del producto.

Con la creciente presión de la opinión pública sobre el medio ambiente y el agua como recurso natural, ha llegado a ser importante conservar el agua y minimizar cualquier evacuación de solución enriquecida con fertilizantes. En países como Holanda, donde hay un gran uso de agua por parte de una gran industria de invernaderos y una alta densidad poblacional, es obligatoria la recirculación de las soluciones nutritivas en los sistemas hidropónicos.

No obstante, en los últimos años se está comenzando la instalación de una superficie bajo sistemas de cultivo sin suelo cerrado, tendencia ya iniciada en la zona fresera así como en otros cultivos hortícolas en otras zonas Españolas.

Dado que la fresa es un cultivo muy sensible a la salinidad, el cierre del sistema podría generar un problema técnico de manejo, ya que iones como el cloro, sodio, etc., se irían acumulando progresivamente. Sin embargo, los resultados obtenidos muestran que se puede llegar a conseguir rendimientos similares a los obtenidos a sistemas abiertos.

Aunque en los sistemas de cultivo sin suelo cerrados se reduce la contaminación del suelo y del agua, aún no se ha conseguido una eficiencia del 100% en el uso de los mismos.

Por consiguiente, el cultivo sin suelo se puede producir fresa fuera de temporada, es altamente productivo y permite desconcentrar la oferta buscando los períodos de mayor cotización; respetando el medio ambiente, mediante la recirculación de los drenajes en un sistema cerrado, que aprovechan los recursos renovables y constituye un sistema de producción que puede encajar en las directrices de la agricultura sostenible, sin que se detecten diferencias significativas de rendimiento con respecto a los sistemas abiertos.

Este hecho es muy importante ya que las condiciones climáticas del sur de España no son favorables para la recirculación de la solución nutritiva, debido a que a mayor demanda de evapotranspiración se aplica más solución nutritiva.

Además, mediante la recirculación se consigue un ahorro importante de agua y de fertilizantes.

## 2. Objetivos

El objetivo general perseguido en el presente trabajo es determinar la composición del drenaje en el cultivo sin suelo en fresa.

Dicho objetivo general implica, a su vez, la consecución de los siguientes objetivos parciales:

- Analizar los nutrientes que entran al sistema de cultivo sin suelo, así como los que se generan, después de la fertirrigación, en el drenaje de las líneas de cultivo.
- Determinar la composición del drenaje en las líneas de cultivo, comparando aquellas donde se aplica hierro de forma foliar con el resto.
- Comparar distintos métodos analíticos en la determinación de los elementos nutricionales obtenidos en el drenaje.

### 3. Materiales y Métodos

#### 3.1. Instalaciones

El ensayo se realizó en un invernadero de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería, en el Campus de la Rábida, Palos de La Frontera, Huelva (Fotografía 2). Se ubica geográficamente entre las coordenadas 37°12'04" N y a 6°55'07" O, a una altitud aproximada de 54 metros sobre el nivel del mar. Al estar situada en la franja costera onubense, el clima es de tipo mediterráneo (de transición entre el subtropical y el templado) con influencia atlántica. Su régimen de temperaturas es de tipo marítimo, con una media anual de 17,7 °C lo que hace de esta ciudad una de las más cálidas de Europa y recibiendo 2.984 horas de sol anuales. En 2007, Huelva fue la ciudad más soleada de España, con 3.120 horas de sol, según se desprende de los datos de los que dispone el Instituto Nacional de Estadística, recogidos en su anuario estadístico (INE, 2008). El mes más caluroso es julio, superándose los 40 °C en varias ocasiones en verano. El mes más frío es enero, cuando las mínimas rondan los 6 °C y las máximas los 16 °C.

Fotografía 2. Vista aérea del invernadero



El invernadero donde se realizó el ensayo presenta en su eje longitudinal, una orientación Norte-Sur. La superficie total del mismo es de 358 m<sup>2</sup>, de los cuales 288 m<sup>2</sup> son zonas de cultivo (Fotografía 3). Se trata de un invernadero de tipo semicilíndrico con estructura de soporte de hierro galvanizado, con una separación entre pilares exteriores de 6 m, perpendiculares al suelo.

El invernadero tiene una altura en cumbre de 4,30 m y de 3,40 m en las bandas laterales y está dividido en varios módulos, situados a derecha e izquierda de un pasillo central de 3,80 m de ancho y de 18 m de largo, al cual se accede por la entrada principal.

Fotografía 3. Vista frontal del invernadero



Cuenta con unas aperturas cenitales situadas en la zona central del techo que permiten la entrada de aire del exterior (Fotografía 4). Estas entradas se abren mediante un mecanismo motorizado, accionado desde un panel de mandos situado dentro del mismo módulo.

Fotografía 4. Aperturas cenitales del invernadero



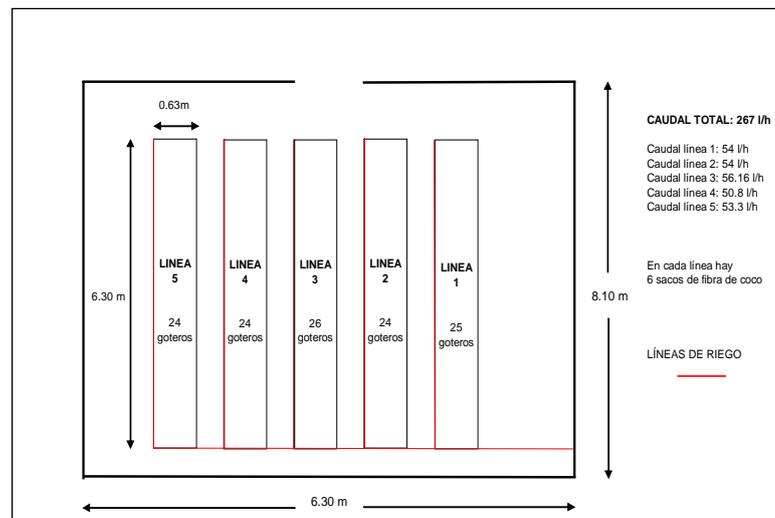
Además de las aperturas cenitales, posee un extractor situado en la pared que da al exterior del invernadero a una altura de 3,20 m (Fotografía 5). El Extractor se pone en funcionamiento en el mismo cuadro de mandos en el que se acciona la apertura de la entrada cenital.

Fotografía 5. Extractor de aire



El presente ensayo se realizó durante la campaña de cultivo 2009/2010. El Módulo utilizado para su realización fue el segundo, ubicado en la parte derecha entrando por la puerta principal. El módulo tiene una superficie de 51 m<sup>2</sup>, y sus dimensiones son de 6,30 m por 8,10 m (Figura 2).

Figura. 2. Croquis del Módulo



Dentro del módulo se formaron 5 líneas de cultivo con 6 sacos de fibra de coco cada una, colocadas con una orientación Este-Oeste. El suelo del módulo está formado por una capa de grava y una malla anti-hierbas colocada sobre dicha capa. El tanque de fertilizantes y la bomba inyectora se encuentran en la esquina Sur-Este del módulo, mientras que el programador del riego Agronic 4000 se encuentra situado en el tercer módulo de la derecha.

### 3.2. Material vegetal

Como material vegetal se utilizaron plantas de fresa de día corto (*Fragaria x ananassa Duch.*), cultivar 'Splendor', realizándose una plantación con planta fresca certificadas. La plantación se realizó el 9 de diciembre de 2009, con un total de 300 plantas.

'Splendor' es una nueva variedad de fresa, procedente del programa de obtención de variedades de Plant Sciences & Berry Genetics.

El porte de la planta es medio, su sistema radicular es muy potente. Estas características hacen que se adapte muy bien a cultivos hidropónicos. El tamaño de la fruta 'Splendor' es medio, siendo medio-grande al inicio de la campaña, el color exterior es rojo brillante, y el interior rojo intenso. (Fotografía 6).

Fotografía 6. Variedad 'Splendor'



#### 3.2.1. Sustrato

El sustrato utilizado en el ensayo fue la fibra de coco, material vegetal procedente de los desechos de la industria del coco. Tras la extracción de las fibras más largas del mesocarpo del fruto de *Coco nucífera*, se aprovechan las fibras cortas y el polvo del tejido medular en proporciones variables como sustrato. La fibra de coco es un material ligero y presenta una porosidad total muy elevada, por encima del 93%. Presenta cantidades aceptables de agua fácilmente disponible y está bien aireado. La fibra de coco se contrae poco cuando se deja secar (Abad *et al.*, 1997).

La fibra de coco posee un bajo poder tampón (aunque superior a la lana de roca). La salinidad es debida, principalmente, a niveles altos de cloruro sódico y potasio. Como en el caso de la turba, estos sustratos poseen un cierto carácter estimulador del crecimiento sobre la planta y requiere de una preparación previa.

El sustrato utilizado era de primer uso, y en cada saco se plantaron 10 plantas. La fibra de coco utilizada son de la marca Pelemix, con unas dimensiones de 100 cm x 30 cm x 12 cm. El saco es de polietileno negro, y en su interior contiene la fibra que se sirve de sustrato (Fotografía 7).

Fotografía 7. Sacos de fibra de coco



### 3.3. Instalación del cultivo

El 26 de Octubre se colocaron en el invernadero bloques de poliespan blanco que sirven de soporte para los sacos de fibra de coco que conforman las líneas (Fotografía 8).

Fotografía 8. Estructura de poliespan y sacos de fibra de coco



El 29 de octubre se colocaron 6 sacos de fibra de coco por cada una de las 5 líneas de cultivo, lo que supone un total de 30 sacos de sustrato de fibra de coco, cada uno de ellos servirá más tarde para sostener 10 plantas de fresa (Fotografía 9).

Fotografía 9. Saco de fibra de coco, con plantas de fresa recién plantadas



### 3.4. Diseño del experimento

El ensayo consiste en un diseño unifactorial, compuesto de cinco líneas de cultivo a las cuales tres de ellas se le aplicará un tratamiento de hierro en forma foliar y a dos de las cuales no se les aplicará hierro. Con esto se podrá determinar si el agua drenada en el cultivo sin suelo de fresa tiene los mismos componentes en los bloques o líneas en las que se aplica hierro en forma foliar y en las que no han sido tratados mediante hierro. Las fechas de aplicación del tratamiento aparecen en la Tabla 3.

Tabla 3. Fechas de aplicación del tratamiento

Aplicaciones	Fecha
Aplicación 1	30 de Abril.
Aplicación 2	7 de Mayo.
Aplicación 3	14 de Mayo.
Aplicación 4	20 de Mayo.

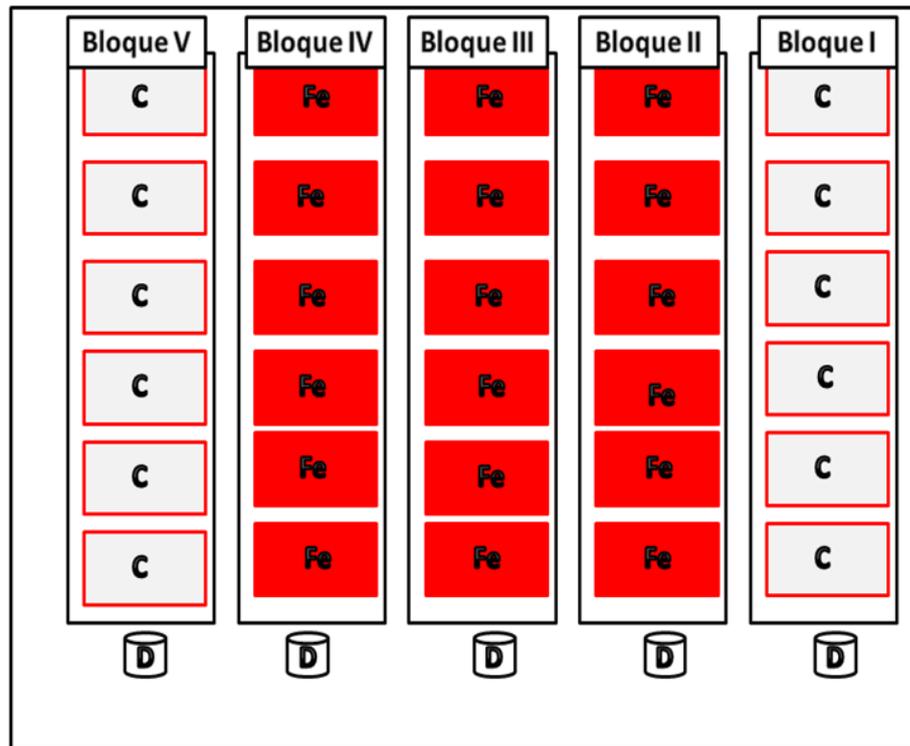
Fuente: Elaboración propia

Se prepararon soluciones para las aplicaciones foliares de 1,5 litros, aplicando 0,5 litros por bloque, mojando el haz y el envés de cada hoja.

Los bloques uno y cinco han sido empleados como Control (C), mientras que los bloques dos, tres y cuatro se les aplico hierro en forma foliar. El diseño experimental fue un diseño unifactorial con tres repeticiones para el tratamiento de hierro y dos repeticiones para las líneas que no han sido tratadas con hierro en forma foliar. La distribución de los tratamientos

quedó conformada como muestra la (Figura 4). Posteriormente a la aplicación del tratamiento era recogido el drenaje para su posterior análisis de los elementos en su composición.

Figura. 3. Diseño Experimental



La Figura 4 muestra la disposición de las plantas en el saco de fibra de coco.

Figura. 4. Disposición de las plantas en el saco



### 3.5. Fertirrigación

Cada una de las 5 líneas es alimentada por una cinta de riego de polietileno, conectadas a una tubería principal a la cual se inyectan los fertilizantes.

Se utilizó riego por goteo con un total de 123 goteros autocompensantes insertos en una tubería de polietileno (Fotografía 10).

Fotografía. 10. Goteros insertos en los sacos de fibra de coco



En la Tabla 4 se muestra el número de goteros por línea y los caudales de cada línea.

Tabla 4. Número de goteros y caudal por línea de riego

Línea	Número de goteros	Caudal
Línea 1	25	54 L/h.
Línea 2	24	54 L/h.
Línea 3	26	56,16 L/h.
Línea 4	24	50,8 L/h.
Línea 5	24	53,31 L/h.

Fuente: Elaboración propia.

La solución nutritiva se transporta hacia los goteros a través de tubos de polietileno negro. Un sistema de recogida del agua drenada fue utilizado, instalado bajo los sacos de sustrato, transportando los restos del riego a los extremos de las líneas.

El riego se realizó de forma intermitente a lo largo del día, con riegos de bajo caudal y elevada frecuencia. Se realizaban ocho riegos al día de 2 minutos cada riego cada hora desde las 9.00 hasta las 17.00 horas, lo que supone un total de 16 minutos de riego al día. El caudal total de riego era de 4,45 L/min., por lo tanto el caudal total diario fue de 71,2 litros.

La solución nutritiva era extraída del tanque de abonado mediante un inyector, el cual succionaba un litro de solución por cada 100 litros de agua de riego. Esto supone un aporte de 0,712 litros de solución nutritiva al día.

Las Tablas 5 y 6 muestran el análisis de agua realizado el 11/02 al agua utilizada para el riego del ensayo.

Tabla 5. Análisis del agua de riego. Parámetros determinados

Parámetros determinados.	Unidades
pH	7,26
CE	0,29 mS/m
Dureza Total	9,96 GHF
RAS	1,27
Relación de calcio	0,51 meq
Relación de sodio.	0,40 meq
Coficiente alcalimétrico	38,49

Fuente: Laboratorio químico onubense S.L.

Tabla 6. Análisis del agua de riego. Iones determinados

Iones	Unidad (mg/L)
Ca <sup>2+</sup>	19,9
K <sup>+</sup>	3,7
NO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	7,8
Mg <sup>2+</sup>	10,4
Na <sup>+</sup>	28,2
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	< 0,06
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	< 25
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	61
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	7,3
Cl <sup>-</sup>	53
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	< 0,05
Cu	< 0,05
Mn	< 0,05
Fe	0,46
Zn	< 0,05
B	< 0,5

Fuente: Laboratorio químico onubense S.L.

### 3.6. Preparación de los tanques

Durante el ensayo se aplicaron dos soluciones nutritivas diferentes, la primera se aplicó desde el día 05 de Enero hasta el 02 de Febrero en un tanque de 100 litros y una segunda, desde el 02 de febrero hasta el final del ensayo en un tanque de 25 litros (Fotografía 11).

Fotografía. 11. Tanque de fertilizantes y bomba inyectora



La primera solución aplicada contenía los siguientes abonos en los 100 litros del tanque de abonado expresados en mg/L en la Tabla 7. La misma, nos indica las cantidades de cada elemento expresados como óxidos para el caso del calcio y magnesio, pentóxidos para el fósforo y finalmente los demás como iones simplemente. Las cantidades se obtienen teniendo en cuenta los fertilizantes empleados y teniendo en cuenta los aportes realizados por el agua de riego.

Tabla 7. Primer abonado realizado en el cultivo

Elementos nutricionales	Concentración en mg/L.
CaO.	2,02
Ca <sup>+2</sup> .	1,73
Nitrógeno total.	1,33
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> .	1,64
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> .	1,45
K <sub>2</sub> O.	2,73
K.	0,45
MgO.	0,12
Mg <sup>+2</sup> .	0,27
Cu.	0,002
B.	0,009
Fe.	0,02
Mn.	0,012
Zn.	0,23
S.	0,25

Fuente: Elaboración propia

La segunda solución contenía los mismos abonos (Fotografía 12), a excepción de los microelementos que fueron eliminados del programa de fertilización. La cantidad de abono aplicada en los 25 litros del segundo tanque lo muestra la Tabla 8. Al igual, que en la primera

aplicación en esta Tabla se presentan los elementos expresados como óxidos para calcio y magnesio, pentóxidos para el caso del fósforo y los otros como iones. Nuevamente los cálculos se realizan teniendo en cuenta los valores de los elementos que aporta el agua de riego, más la mezcla de fertilizantes para una cantidad de 25 litros.

Tabla 8. Segundo abonado realizado en el cultivo

Elementos nutricionales	Concentración en mg/L.
CaO.	0,43
Ca <sup>+2</sup> .	0,59
NT.	0,29
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> .	0,38
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> .	0,35
K <sub>2</sub> O.	0,64
K.	0,15
MgO.	0,03
Mg <sup>+2</sup> .	0,22
Cu.	0,00
B.	0,006
Fe.	0,02
Mn.	0,00
Zn.	0,23
S.	0,06

Fuente: Elaboración propia.

Fotografía. 12. Abonos utilizados en la campaña de cultivo



### 3.7. Tratamientos fitosanitarios y sueltas

Durante el ensayo fue necesario realizar aplicaciones de fitosanitarios, así como realizar sueltas de ácaros para combatir alguna de las plagas que aparecieron a lo largo del ciclo del cultivo.

En la Tabla 9 se muestran los tratamientos fitosanitarios aplicados, el principio activo, y las plagas que combate cada tratamiento, así como la fecha de aplicación.

Se puede observar, que se empleó Abamectina que es un insecticida-acaricida de acción translaminar, que actúa principalmente por ingestión y no por contacto. La concentración de caldo aplicada fueron de 1cc/L en cada uno de las aplicaciones los días 2 y 23 de febrero y por último el día 21 de marzo. Finalmente, se utilizó el aceite de neem, en el mes de junio el cual es un insecticida ecológico, para contrarrestar los ataques de ácaros, pulgones y mosca blanca.

Tabla 9. Tratamientos fitosanitarios

Nombre comercial	Principio activo	Concentración en caldo	Fecha de aplicación	Plaga a la que controla
<b>Vertimec</b>	Abamectina	1 cc/L.	02-02-2010	Ácaros
<b>Vertimec</b>	Abamectina	1 cc/L.	23-02-2010	Ácaros
<b>Vertimec</b>	Abamectina	1 cc/L.	21-03-2010	Ácaros
<b>Aceite de neem</b>	Extractos de Azadirachta Indica		04-06-2010	Ácaros Pulgones Mosca blanca

Fuente: Elaboración propia.

También se utilizaron organismos de control biológico, en la Tabla 10 se muestran las sueltas realizadas, el nombre comercial del producto, la fecha de la suelta, la presentación del producto y la plaga sobre la que actúa. Para este caso, se utilizó además para el control de ácaros, a *Phytoseiulus persimilis*, otro ácaro depredador de la araña roja, el cual vive a expensas de este aplicadas en botellas de 100 mL rociando el producto en las hojas. Para el control de trips, se empleó *Amblyseius cucumeris*, un ácaro fitoseido aplicándose en sobrecitos (fotografía 13) pequeños dispersos en el cultivo los cuales contienen colonias de este ácaro.

Tabla 10. Lucha Biológica

Nombre comercial	Nombre del predador	Presentación del producto	Fecha de la suelta	Plaga a la que controla
<b>Spidex</b>	<i>Phytoseiulus persimilis</i>	Botella de 100 mL	06-03-2010	Ácaros ( <i>Tetranychus urticae</i> )
<b>Amblyline</b>	<i>Amblyseius cucumeris</i>	Sobres	15-04-2010	Trips

Fuente: Elaboración propia.

Fotografía 13. Sobres Amblyline, depredadores de trips



### 3.8. Parámetros evaluados

A partir del día 5 de mayo de 2010, se hizo la preparación de unos botes para poder recoger el drenaje de las líneas de cultivo (Fotografía 14). El día 11 de mayo de 2010 se colocó en el bloque 3 una llave de agua para poder recolectar el agua que entra a las líneas de cultivo. En la Tabla 11 se indica las fechas de recolección de los botes que eran la entrada de la solución nutritiva con la fertirrigación y la salida de los drenajes de cada línea de cultivo, luego de cada semana posterior a la aplicación del tratamiento foliar de hierro.

Tabla 11. Fechas de recolección de drenajes

Fechas	Muestras
06/05/2010	L1, L2, L3 *, L4, L5.
12/05/2010	L1, L2, L3*, L4, L5.
19/05/2010	L1, L2, L3*, L4, L5.
26/05/2010	L1, L2, L3*, L4, L5.
02/06/2010	L1, L2, L3*, L4, L5.
08/06/2010	L1, L2, L5. **

Fuente: Elaboración propia.

\*Recogida de la muestra de entrada al sistema, así como de los drenajes.

\*\*El día 08/06 no se recogieron los drenajes de las líneas 3 y 4.

Además se pudo medir la cantidad de drenaje que se recogía durante un intervalo de riego en las líneas 1 y 2. En la Tabla 12 se presenta un resumen de las mediciones, para los distintos días observados, 2, 3 y 8 de junio, para el intervalo de riego producido entre las 10 y 11 horas y otro día para intervalos de riego entre las 9 y las diez de la mañana. Se puede observar, como en la línea 1 fluctúa más la cantidad de drenaje recogido con respecto a los distintos días muestreados para los distintos intervalos de riego, en un 10%, 22% y 31%, aproximadamente en el porcentaje de drenaje, mientras que la línea 2, lo hace en un 5% y 10%.

Tabla 12. Cantidad de drenaje recogido en las líneas 1 y 2 en los intervalos de riego indicados

Fecha	Línea	Cantidad (L).	Intervalo de riego (hs.)
02/06/2010	1	0,11	10-11
02/06/2010	2	0,05	10-11
03/06/2010	1	0,03	9-10
03/06/2010	2	0,08	9-10
03/06/2010	1	0,24	10-11
03/06/2010	2	0,05	10-11
08/06/2010	1	0,34	10-11*
08/06/2010	2	0,12	10-11*

Fuente: Elaboración propia.

\*Se modificó el tiempo de riego a 3 minutos por cada hora.

Fotografía 14. Botes para la recogida del drenaje



Fotografía 15. Botes para recoger la solución nutritiva a la entrada de las líneas



### 3.9. Procedimiento de la determinación de parámetros de las muestras de drenajes

#### 3.9.1. Toma de muestra del agua del drenaje

A partir del día 5 de mayo de 2010, se hizo la preparación de unos botes para poder recoger el drenaje de las líneas de cultivo (Fotografía 14). El día 11 de mayo de 2010 se colocó en el bloque 3 una llave de agua para poder recolectar el agua y abonos que entra a las líneas de cultivo. En la Tabla 11 se indica las fechas de recolección de los botes de entrada y salida de los drenajes, después de la aplicación de los tratamientos de hierro. Las muestras de agua que se utilizaron para medir metales se conservaron con ácido nítrico al 1% a  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta su análisis. Para el resto de los parámetros las muestras se conservaron a  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta su análisis.

#### 3.9.2. Reactivos

Todos los reactivos y ácidos son de calidad para análisis o grado suprapur (Merck, Darmstadt, Germany). La disolución multi-estándar metal se obtuvieron de Merck y las disoluciones de trabajo se prepararon en  $\text{HNO}_3$  al 1% grado suprapur (Merck). El agua utilizada en todos los experimentos sería destilada y posteriormente tratada en un sistema Milli-Q. Todo el material de laboratorio se limpió en una disolución saturada de extran (Merck) durante 24 horas para el análisis de compuestos orgánicos o  $\text{HNO}_3$  al 50% durante 3 días para el análisis de metales. Posteriormente, se enjuaga con agua destilada y con agua Milli-Q.

#### 3.9.3. Instrumentación

Para la determinación de los parámetros en el agua de drenaje se han utilizado:

- Espectrómetro de absorción atómica Varian SpectrAA 50B
- Espectrofotómetro de UV-Visible Thermo electrón corporation
- Cromatógrafo iónico Dionex DX-120
- Espectroscopía de emisión óptica de plasma acoplado inductivamente (ICP-OES) Jobin Yvon ULTIMA 2
- Sistema de agua desionizada, Milli-Q gradient (Millipore).

### 3.9.4. Procedimiento de análisis

#### 3.9.4.1. Determinación de metales mayoritarios: Ca, Mg, Na, K, Fe

La determinación de los metales en las muestras de agua de drenaje se llevó a cabo mediante la espectroscopía de absorción atómica de llama (FAAS), espectroscopia de emisión atómica de llama (FAES) y espectroscopia de emisión óptica de plasma (ICP-OES).

Fe, Ca, Mg se midieron mediante absorción atómica de llama (FAAS) en un espectrómetro de absorción atómica Varian SpectrAA 50B, donde se mide la radiación procedente de una fuente luminosa externa (lámpara de cátodo hueco cuyo cátodo está fabricado del metal que se quiere medir), que es absorbida por los átomos neutros dispersados en la llama (aire/acetileno). En el caso del Ca y Mg, se produce una interferencia química en presencia de fosfato en la muestra, debido a que la llama no tiene suficiente energía para romper las moléculas de fosfato de calcio y magnesio, produciéndose una disminución en la señal. Para eliminar esta interferencia se adiciona, tanto a los patrones como a la muestra, una alícuota de una disolución de lantano (agente liberador), ya que el lantano desplaza el fosfato dejando libre el calcio y el magnesio.

Na y K fueron medidos mediante emisión atómica de llama (FAES), en un espectrómetro de absorción atómica Varian SpectrAA 50B., donde se mide la radiación emitida por los átomos neutros dispersados en la llama (aire/acetileno). Estos analitos tienen potencial de ionización altos por lo tanto, la llama tiene suficiente energía como para ionizarlos (interferencias ionización química) y para eliminarlos se le adiciona tanto a los patrones como a la muestras un exceso de un elemento que tenga un potencial de ionización igual o inferior que el analito (supresor de la ionización). En este caso se utilizó el cesio.

La cuantificación se llevó a cabo mediante curvas de calibración externa construidas a partir de concentraciones conocidas de los estándares preparados por dilución de las disoluciones individuales de 1.000 mg/L de Fe, Ca, Mg, Na y K de Merck, para el calcio y magnesio se le adicionó el agente liberador y en el caso del sodio y potasio se le adicionó el agente supresor de la ionización. En la Tabla 13 se muestra las condiciones instrumentales de

los metales medidos por FAAS y FAES, como puede observarse, de acuerdo a cada elemento en particular se tienen las longitudes de ondas específicas para cada uno de ellos variando entre los 200 a 800 nm, con un mismo espacio entre rendijas para el Na y K, al igual que el Ca y Mg, al ser elementos de las mismas características entre ambos a diferencia del hierro.

Tabla 13. Condiciones instrumentales para Fe, Ca, Mg por FAAS y Na y K por FEAS

	Fe	Ca	Mg	Na	K
<b>λ(nm)</b>	248.3	422.7	285.2	589.0	766.5
<b>Rendija (nm)</b>	0.2	0.5	0.5	0.1	0.1
<b>Flujo de aire (l min<sup>-1</sup>)</b>	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
<b>Flujo de C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> (l min<sup>-1</sup>)</b>	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
<b>Paso de luz (cm)</b>	10	10	10	10	10

Los metales y el fósforo de algunas muestras se analizaron también mediante espectroscopía de emisión óptica de plasma acoplado inductivamente (ICP-OES), en un instrumento Jobin Yvon ULTIMA 2. El plasma de argón se sustentó sobre una antorcha tipo Fassel empleando los flujos de 0.4, 0.5 y 12 L min<sup>-1</sup> para los gases inyector, auxiliar y exterior, respectivamente, y una potencia de 1.0 kW. La muestra se introdujo mediante un nebulizador de flujo cruzado a un flujo de 1 mL min<sup>-1</sup>. Los estándares multielementales de calibración fueron realizados a partir de patrones individuales certificados y preparados en una matriz de agua ultrapura MilliQ y HNO<sub>3</sub> suprapur al 2% (v/v). En la Tabla 14 se muestra las condiciones instrumentales de detección de los metales medidos mediante ICP-OES.

Tabla 14. Condiciones instrumentales de Ca, Fe, K, Mg y P por ICP-OES

	Ca	Fe	K	Mg	P
<b>λ(nm)</b>	317,933	239,924	766,490	280,270	213,618
<b>P. Radiofrecuencia (W)</b>	1000	1000	1000	1000	1000
<b>F. gas plasma (l min<sup>-1</sup>)</b>	12	12	12	12	12
<b>F. gas nebulizador (l min<sup>-1</sup>)</b>	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4

### 3.9.5. Determinación de Fósforo

El método colorimétrico se basa en la reacción en medio ácido entre el anión fosfato disuelto y el molibdato amónico en presencia de tartrato de K y Sb, para generar ácido

fosfomolibdico, el cual es reducido mediante ácido ascórbico generando una coloración azul debida al Mo y susceptible de determinación colorimétrica.

El procedimiento fue el siguiente: Se tomó una alícuota de la muestra de agua y se añadió 4 mL de reactivo mixto (50 mL ácido sulfúrico 5N + 30 mL ácido ascórbico 0,1 M + 15 mL molibdato amónico 4% + 5 mL de tartrato de antimonio y potasio). Se dejó que se desarrollara el color durante 10 minutos, se enrasó en un matraz de 25 mL y se midió en un espectrofotómetro de UV-Visible Thermo electrón corporation, a una longitud de onda de 880 nm. La cuantificación se llevó a cabo mediante curvas de calibración externa construidas a partir de concentraciones conocidas de los estándares preparados por dilución de las disoluciones de 1.000 mg/L de fosfato de Merck, y se siguió el mismo procedimiento que en los extractos de las muestras.

También el fósforo de algunas muestras se determinó mediante espectroscopía de emisión óptica de plasma acoplado inductivamente (ICP-OES) como se ha descrito en el apartado de metales (3.9.4.1).

### *3.9.6. Determinación de sulfatos, nitratos y cloruros*

#### *3.9.6.1. Determinación de sulfatos mediante el método turbidimétrico*

El método turbidimétrico se basa en la medida de la turbidez producida por la reacción de precipitación del ion sulfato con una sal bárica en medio ácido. La precipitación se lleva a cabo en condiciones tales que se forman cristales de sulfato de bario de tamaño uniforme, que deben mantenerse en suspensión homogénea un periodo de tiempo suficiente para medir la turbidez.

El procedimiento fue el siguiente: Se tomó una alícuota de la muestra de agua y se añadió 1 mL de una disolución ácido acético 1:10 y 5 mL de la disolución de cloruro de bario estabilizada (10 g de cloruro de bario se disuelve en 20 mL de goma arábica al 5% y se enrasa con agua destilada a 100 mL. Se deja reposar durante una hora y se filtra. Se agita 2 ó 3 veces energéticamente. Después de 15 minutos de reposo, se agitó nuevamente y se midió en un espectrofotómetro de UV-Visible Thermo electrón corporation, a una longitud de onda de 650 nm. La cuantificación se llevó a cabo mediante curvas de calibración externa construidas a partir de concentraciones conocidas de los estándares preparados por dilución de las disoluciones de 1.000 mg/L de sulfato de Merck, y se siguió el mismo procedimiento que en las muestras.

### 3.9.6.2. Determinación de nitratos mediante absorción-UV

Las medidas de absorbancia-UV a 220 nm permiten la determinación de nitratos, que son absorbentes a esta longitud de onda. No obstante, dado que las materias orgánicas también pueden hacerlo a esta longitud de onda, se debe hacer una segunda lectura a 275 nm para obtener la medida relativa sólo a nitratos.

El procedimiento fue el siguiente: Se tomó una alícuota de la muestra de agua filtrada y se añadió 1 mL de una disolución de ácido clorhídrico 1N. Se agitó y se midió en un espectrofotómetro de UV-Visible Thermo electrón corporation, a una longitud de onda de 275 y 220 nm. La cuantificación se llevó a cabo mediante curvas de calibración externa construidas a partir de concentraciones conocidas de los estándares preparados por dilución de las disoluciones de 1.000 mg/L de nitratos de Merck, y se siguió el mismo procedimiento que en las muestras.

### 3.9.6.3. Determinación de nitratos, cloruros y sulfatos mediante cromatografía iónica

Una alícuota de 25 µL del extracto se introdujo en un cromatógrafo iónico Dionex DX-120 para la determinación de nitratos, cloruros y sulfatos. Los analitos se separaron en una columna de intercambio aniónico AS9-HC con una pre-columna GC9-HC usando como fase móvil una disolución de carbonato de sodio de concentración 9 mM en régimen isocrático a un flujo de 1 mL/min. La detección se realizó con un detector de conductividad con supresión química. La supresión se realizó con una membrana de intercambio aniónico Dionex ASRS Ultra II 4mm en modo autosupresión. La identificación se realizó comparando los tiempos de retención con los patrones puros. Las determinaciones cuantitativas se efectuaron usando curvas de calibración externa construidas a partir de concentraciones conocidas de los estándares preparados por dilución de las disoluciones de 1.000 mg/L de Merck.

### 3.9.6.4. Determinación de amonio mediante cromatografía iónica

Una alícuota de 25 µL del extracto se introdujo en un cromatógrafo iónico Dionex DX-120 para la determinación de amonio. El analito se separó en una columna de intercambio catiónico Dionex IonPac CS16 con una pre-columna Dionex IonPac CG16 usando como fase móvil una disolución de ácido metanosulfónico de concentración 30 mM en régimen isocrático a un flujo de 1 mL/min. La detección se realizó con un detector de conductividad con supresión química. La supresión se realizó con una membrana de intercambio cationico Dionex CSRS Ultra II 4mm en modo autosupresión. La identificación se realizó comparando los tiempos de retención con los patrones puros. Las determinaciones cuantitativas se efectuaron usando curvas de

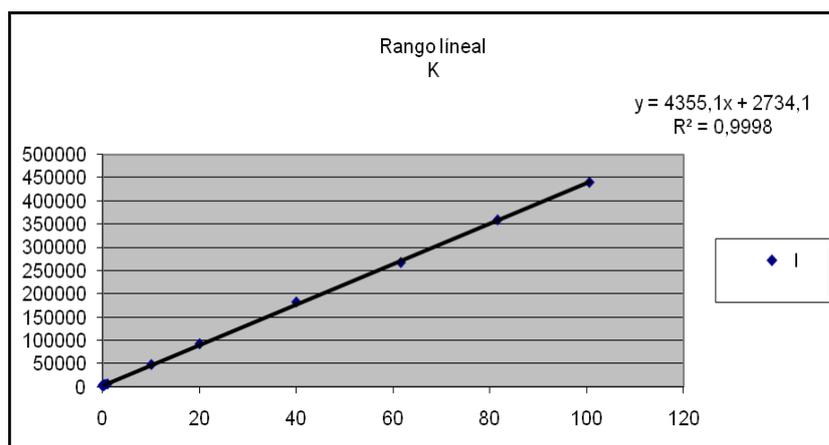
calibración externa construidas a partir de concentraciones conocidas de los estándares preparados por dilución de las disoluciones de 1.000 mg/L de Merck.

### 3.9.7. Características de los métodos analíticos

#### 3.9.7.1. Linealidad

En la Tabla 15, se muestra las ecuaciones de las curvas de calibración y los valores para los coeficientes de regresión obtenidos en la determinación de los parámetros en las disoluciones patrones, así como el rango lineal de concentraciones con las distintas técnicas. Una representación gráfica de las áreas de los picos frente a la concentración da lugar a la obtención de respuestas en el rango de trabajo estudiado (Gráfico 1). La linealidad fue buena para todos los analitos, como lo muestra el hecho de que los coeficientes de regresión lineal fueron mayores que 0.996 para todas las gráficas.

Gráfico 1. Representación de los picos frente a la concentración



Cuando se compara la técnica analítica para el mismo analito se observa que para el nitrato el rango lineal es más estrecho cuando se utiliza espectroscopia de UV (0,1-10 ppm), mientras que para el sulfato ocurre lo contrario, es decir, el rango es más estrecho para la cromatografía iónica (1-50 ppm).

Tabla 15. Rango lineal, ecuaciones de calibración y coeficientes de regresión

Parámetro	Técnica Analítica	Concentración (mg/L)	Ecuación de la curva de calibración	r <sup>2</sup>
<b>Calcio</b>	FAAS	0,015 -5,0	ppm = 0,0328 A + 0,0082	0,9993
	ICP-OES	0,01-100	I = 54305 C + 92,841	0,9999
<b>Magnesio</b>	FAAS	0,02 – 0,5	ppm = 0,999 A + 0,0415	0,9993
	ICP-OES	0,004-100	I = 3·10 <sup>6</sup> C - 1·10 <sup>6</sup>	0,9993
<b>Sodio</b>	FAES	0,005-1	ppm = -0,5348 I <sup>2</sup> + 1,5258 I + 0,0696	0,9993
<b>Potasio</b>	FAES	0,19 – 6,0	ppm = 0,1206 I + 0,0593	0,997
	ICP-OES	0,01-100	I = 4335,1 C + 2734,1	0,99998
<b>Hierro</b>	FAAS	0.09 - 4,0	ppm = 0,1111 A + 0,0185	0,997
	ICP-OES	0,004 - 10	I = 27445 C + 122,95	0,99999
<b>Cloruro</b>	Cromatografía iónica	0,5 – 5,0	ppm = 9,182 x 10 <sup>-6</sup> area - 0,01966	0,997
	Cromatografía iónica	2,5 – 25,0	ppm = 6,549 x 10 <sup>-6</sup> area + 1,151	0,998
<b>Nitrato</b>	Espectrofotometría UV	0,1-10	A <sub>220-275</sub> = 0,0584 C + 0,0607	0,9999
<b>Sulfato</b>	Cromatografía iónica	1,0 – 50,0	ppm = 1,081 x 10 <sup>-5</sup> area + 0,6069	0,999
	Turbidimetría	2,0-100	ppm = 0,0067 A <sub>630</sub> + 0,0327	0,999
<b>Fosfato</b>	Colorimetría	0,13-3	Ppm = 0,2401 A + 0,0099	0,9993
	ICP-OES	0,06 - 100	I = 2051,9 C – 757,69	0,9993

Los límites de detección, es decir, la cantidad más baja de los elementos que puede ser distinguida y de cuantificación que es el límite razonable en el cual podemos decir la diferencia entre dos valores se calcularon a partir de los datos de regresión lineal como aquellas concentraciones que conducen a respuestas que difieren tres y diez veces, respectivamente de la señal del blanco. Para calcularlos se multiplica, para cada especie, la desviación estándar por 3 ó 10, respectivamente, y se divide por la pendiente de la recta de calibrado. Los resultados

obtenidos se recogen en la Tabla 16, como se puede observar, los límites de detección se encuentran en el rango de ppb. Cuando se compara la técnica analítica para el mismo analito se observa que para el caso del nitrato el límite de detección y de cuantificación no existen diferencias significativas entre las técnicas, sin embargo para los sulfatos son mejores para la cromatografía iónica con respecto a la Turbidimetría.

Tabla 16. Límites de detección y cuantificación ( $\mu\text{g/L}$ ) de los aniones en los extractos

Parámetro	Técnica Analítica	Límite de detección ( $\mu\text{g/L}$ )	Límite de Cuantificación ( $\mu\text{g/L}$ )
Calcio	FAAS	153	510
	ICP-OES	26	88
Magnesio	FAAS	19	64
	ICP-OES	4	12
Sodio	FAES	5	16
Potasio	FAES	188	628
	ICP-OES	10	35
Hierro	FAAS	87	292
	ICP-OES	4	12
Cloruro	Cromatografía iónica	59	196
	Espectrofotometría UV	86	286
Nitrato	Cromatografía iónica	149	495
	Espectrofotometría UV	104	347
Sulfato	Cromatografía iónica	305	1018
	Turbidimetría	1935	6451
Fosfato	Colorimetría	133	443
	ICP-OES	58	194

### 3.9.8. Análisis estadístico de los datos

El análisis estadístico de los datos se realizó utilizando el programa “Statistical Package for Social Science” (SPSS) versión 17. El estudio del tratamiento de los datos fue efectuado a través

del análisis de la varianza simple (ANOVA), y las medias fueron contrastadas por el test de comparación múltiple de Waller-Duncan para un nivel de significación del 95%.

La hipótesis que se supone a prueba en el ANOVA de un factor es que las medias poblacionales (las medias de la variable dependiente en cada nivel de la variable independiente) son iguales. Si las medias poblacionales son iguales eso significa que los grupos no difieren en la variable dependiente y que, en consecuencia variable independiente o factor es independiente de la variable dependiente.

La estrategia para poner a prueba la hipótesis de igualdad de medias consiste en obtener un estadístico, llamado  $F$ , que refleja el grado de parecido existente entre las medias que se están comparando. El numerador del estadístico  $F$  es una estimación de la varianza poblacional basada en la variabilidad existente entre las medias de cada grupo:  $\sigma^2_1 = n \sigma^2_{\bar{y}}$ . El denominador del estadístico  $F$  es también una estimación de la varianza poblacional, pero basada en la variabilidad existente dentro de cada grupo:  $\sigma^2_2 = \hat{S}^2_j$  ( $j$  se refiere a los distintos grupos o niveles del factor):

$$F = \frac{\sigma^2_1}{\sigma^2_2} = \frac{n\sigma^2_{\bar{y}}}{\hat{S}^2_j}$$

Si las medias poblacionales son iguales, las medias muestrales serán parecidas, existiendo entre ellas tan sólo diferencias atribuibles al azar. En ese caso, la estimación  $\sigma^2_1$  (basada en las diferencias entre las medias) reflejará el mismo grado de variación que la estimación  $\sigma^2_2$  (basada en las diferencias entre las puntuaciones individuales) y el cociente  $F$  tomará un valor próximo a 1. Si las medias muestrales son distintas la estimación  $\sigma^2_1$  reflejará mayor grado de variación que la estimación  $\sigma^2_2$  y el cociente  $F$  tomará un valor mayor que 1. Cuanto más diferentes sean las medias, mayor será el valor de  $F$ .

El estadístico  $F$  se interpreta de forma similar al estadístico  $T$ . Si el nivel crítico asociado al estadístico  $F$  (es decir, si la probabilidad de obtener valores como el obtenido o mayores) es menor que 0,05, rechazaremos la hipótesis de igualdad de medias y concluiremos que no todas las medias poblacionales comparadas son iguales. En caso contrario, no podremos rechazar la hipótesis de igualdad y no podremos afirmar que los grupos comparados difieran en sus promedios poblacionales (Pardo y Ruiz, 2005).

El modelo de la hipótesis para el ANOVA de un factor puede ser:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \varepsilon_{ij} \quad i = 1, \dots, k \text{ y } j = 1, \dots, n$$

$Y_{ij}$  = La  $j$  – ésima observación del  $i$  – ésimo tratamiento.

$\mu$  = es la media poblacional a estimar a partir de los datos.

$\alpha_i$  = efecto del  $i$ ésimo tratamiento a estimar a partir de los datos del experimento.

$\varepsilon_{ij}$  = efecto aleatorio de variación.

$\mu$  es la media global,  $\alpha_i$  es la constante del efecto, o efecto fijo, que diferencia a las  $k$  poblaciones. También se puede escribir:

$$\mu = \mu + \alpha_1 + \varepsilon_{ij}$$

Representa la desviación de la observación  $j$ –ésima de la muestra  $i$ –ésima, con respecto a su media. A este término se le suele llamar *error aleatorio* y, teniendo en cuenta las asunciones iniciales del análisis de la varianza son  $k$  variables (una para cada muestra), todas con una distribución normal de media 0 y varianza  $\sigma^2$ .

La hipótesis nula en este análisis es que todas las medias son iguales

$$H_0 = \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k$$

$H_1$  = al menos una es diferente.

## 4. Resultados y discusión

### 4.1. Para las muestras obtenidas en la entrada y en el drenaje

La Tabla 17, nos presenta los datos del ANOVA para las concentraciones de calcio tanto a la entrada de la línea, como para el drenaje, al observar el valor del estadístico F de Fisher-Snedecor para el primero de los casos nos muestra que las medias de las concentraciones para la entrada de la línea son iguales ya que el nivel de significación 1,000 es mayor que 0,05 por lo tanto aceptamos la hipótesis nula de igualdad de medias, es decir, la concentración de calcio en la entrada es la misma y no hay variaciones en las cinco líneas de cultivo. Mientras que para el drenaje el valor del nivel crítico del estadístico F; 0,000 es menor que 0,05; por lo que nos permite determinar que hay diferencias en las medias rechazando la hipótesis nula, por lo tanto, las concentraciones de calcio en el drenaje son diferentes en las líneas de cultivo de fresa.

Tabla 17. ANOVA para la concentración de calcio

		Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F.	Sig.
Concentración de calcio en la entrada de la línea	Inter-grupos	0,000	4	0,000	0,000	1,000
	Intra-grupos	2439,778	20	121,989		
	Total	2439,778	24			
Concentración de calcio en el drenaje	Inter-grupos	13748,512	4	3437,128	9,324	0,000
	Intra-grupos	8478,850	23	368,646		
	Total	22227,362	27			

La Tabla 18, nos muestra las comparaciones a posteriori o post hoc, de la concentración de calcio en el drenaje utilizando la prueba de Waller-Duncan, para determinar que media difiere de las otras medias, debido a que los tamaños muestrales son distintos utiliza la media armónica, de esa manera selecciona dos subconjuntos de grupos; en el grupo uno selecciona las líneas tres, cuatro y cinco en donde sus medias no difieren significativamente con respecto a la concentración de calcio, mientras que en el grupo dos toma a las líneas uno y dos con un comportamiento de las medias en la concentración de calcio no diferentes significativamente.

La concentración de calcio disminuye en el agua de drenaje de la línea cinco (control) con respecto a la entrada, mientras que se observa un incremento en la concentración del calcio en el agua de drenaje de la línea uno y dos durante los días 12 y 19 de mayo (Tabla 27).

El calcio al ser un elemento divalente tiene una tasa de absorción menor que los monovalentes siendo más favorable encontrar altas concentraciones de este elemento en el drenaje para encontrarse en un correcto equilibrio. Pero es posible, que el calcio haya sido

tomado por la planta por sus altos requerimientos en primavera en la línea cinco y las líneas uno y dos no hayan tenido el mismo comportamiento en esas fechas. Algunos estudios realizados por Alarcón (2006) recomiendan valores obtenidos en la solución de sustrato o de drenaje claramente superiores que en la solución nutritiva de entrada (del 20 al 50% más concentrado o incluso más) de calcio.

Tabla 18. Prueba post hoc de la concentración de calcio

Waller-Duncan <sup>a,,b,,c</sup>

Línea	N	Subconjunto para alfa= 0,05.	
		1	2
1	6		75,2581
2	6		76,1880
3	5	36,5183	
4	5	30,0488	
5	6	27,9776	

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica= 5,556.

b. Los tamaños de los grupos no son iguales. Se utilizará la media armónica de los tamaños de los grupos. Los niveles de error tipo I no están garantizados.

c. Razón de seriedad del error tipo 1/tipo 2=100.

La Tabla 19, nos presenta los datos del ANOVA para la concentración de fosfatos tanto a la entrada de la línea, como para el drenaje, al observar el valor del estadístico F, para ambos casos, es decir, sus niveles críticos de significación de 1,000 y 0,758 respectivamente al ser mayores que 0,05 nos indican que no existen diferencias entre las medias observadas en las cinco líneas de cultivo, tanto para la concentración de fosfatos en la entrada de la línea como en el drenaje permitiéndonos aceptar la hipótesis nula de igualdad de media para las dos situaciones. El fosfato disminuye en el agua de drenaje de la línea cinco (control) con respecto a la entrada como se observa en la Tabla 27. En el caso del fosfato al ser un elemento con una tasa de transporte inferior a la de absorción puede ser más rápidamente tomado por la planta y encontrarse en cantidades pequeñas en el drenaje o en iguales cantidades que la solución de entrada. Sin embargo, su disminución puede ser debida también a una suba en el pH, generando una disminución en el drenaje (Savvas y Manos, 1999). Algunos autores recomiendan que la concentración de fosfatos deba ser baja en el drenaje con respecto a la entrada (Cunill, 2000).

Tabla 19. ANOVA para la concentración de fosfatos

		Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F.	Sig.
Concentración de fosfato en la entrada de la línea	Inter-grupos	0,000	4	0,000	0,000	1,000
	Intra-grupos	3515,503	20	175,775		
	Total	3515,503	24			
Concentración de fosfato en el drenaje	Inter-grupos	715,004	4	178,751	0,469	0,758
	Intra-grupos	8761,467	23	380,933		
	Total	9476,471	27			

La Tabla 20, nos muestra los datos del ANOVA para las concentraciones de hierro, tanto en la entrada de la línea, como para el drenaje, al observar el valor del estadístico F con respecto a sus niveles de significación de 1,000 para la entrada de la línea de riego y de 0,932 para el drenaje debido a que son de mayor valor que el nivel de significación de 0,05; por lo tanto aceptamos la hipótesis nula de igualdad de media para la concentración de hierro en la entrada y en el drenaje de las líneas de cultivo. En general, la concentración de hierro en las distintas líneas (control y tratado con hierro mediante aplicación foliar) en el agua de drenaje, se encuentra por debajo del límite de detección, tanto por FAAS como por ICP-OES (Tabla 27). Es posible que el manejo del hierro haya sido hecho de manera correcta y no se presenta ninguna diferencia entre las líneas a las cuales no se les hicieron aplicaciones foliares como son la uno y la cinco y las que se les aplicó, las cuales fueron la dos, tres y cuatro. El hierro es un elemento problemático en cultivos sin suelo. No sólo es necesaria su aplicación en forma quelatada, si no que es necesaria la correcta elección del agente quelatante, un adecuado manejo del pH en la solución nutritiva y del sustrato. La clorosis férrica puede provocarse por un gran número de interacciones del hierro con otros elementos. Incluso soluciones nutritivas deficientes en calcio, magnesio o potasio, pueden provocar la carencia de hierro como lo expresa Alarcón (2006).

Tabla 20. ANOVA para la concentración de hierro

		Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F.	Sig.
Concentración de hierro en la entrada de la línea	Inter-grupos	0,000	4	0,000	0,000	1,000
	Intra-grupos	15,922	20	0,796		
	Total	15,922	24			
Concentración de hierro en el drenaje	Inter-grupos	5,033	4	1,258	0,206	0,932
	Intra-grupos	134,185	22	6,099		
	Total	139,218	26			

La representación de la Tabla 21 con los datos del ANOVA para la concentración de magnesio tanto en el entrada de la línea como en el drenaje, al observar el valor del estadístico F, nos manifiesta a través del nivel de significación de 1,000 y de 0,113 al ser mayores que el nivel crítico de 0,05 respectivamente para ambas concentraciones que no existen diferencias, entre las media tanto para la entrada de la línea como para el drenaje, aceptando la hipótesis nula de igualdad de media para ambas muestras de magnesio. Sus valores correspondientes nos indican que no existen diferencias significativas en la entrada y en los drenajes de las distintas líneas de cultivo sin suelo. El magnesio se incrementa en el agua de drenaje de las líneas de salida con respecto al agua de entrada (Tabla 27). En general, la máxima concentración de este parámetro se observa en la línea cinco para todos los días muestreados. Como era el caso del calcio, al ser también el magnesio un elemento divalente las concentraciones de este deberían ser superiores en el drenaje, posiblemente debido a que este elemento se libera de las plantas o del sustrato. Según Baixauli y Aguilar (2002) es posible encontrar valores de entre 100 y 300 % menores en el drenaje que en la entrada de dicho elemento.

Tabla 21. ANOVA para la concentración de magnesio

		Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F.	Sig.
<b>Concentración de magnesio en la entrada de la línea</b>	<b>Inter-grupos</b>	0,000	4	0,000	0,000	1,000
	<b>Intra-grupos</b>	243,321	20	12,166		
	<b>Total</b>	243,321	24			
<b>Concentración de magnesio en el drenaje</b>	<b>Inter-grupos</b>	12072,686	4	3018,172	2,108	0,113
	<b>Intra-grupos</b>	32928,871	23	1431,690		
	<b>Total</b>	45001,557	27			

Por otro lado, el ANOVA que se presenta en la Tabla 22, para la concentración de nitratos, tanto para la entrada de la línea como en las muestras tomadas del drenaje, observando el estadístico F, nos permite mediante su nivel de significación de 1,000 para la entrada de la línea, como de 0,444 para el drenaje al ser de mayor valor que 0,05; aceptar la hipótesis nula de igualdad de las medias en ambos casos. Por lo tanto, la concentración de nitratos en la entrada de la línea, como en los drenajes son iguales.

Tabla 22. ANOVA para la concentración de nitratos

		Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F.	Sig.
Concentración de nitratos en la entrada de la línea	Inter-grupos	0,000	4	0,000	0,000	1,000
	Intra-grupos	84195,720	20	4209,786		
	Total	84195,720	24			
Concentración de nitratos en el drenaje	Inter-grupos	188810,508	4	47202,627	0,969	0,444
	Intra-grupos	1072075,715	22	48730,714		
	Total	1260886,223	26			

La concentración de nitratos incrementa en el agua de drenaje de las líneas con respecto al agua de entrada. Para el caso, tanto de los nitratos como del potasio en la concentración de los mismos en el drenaje no se observan diferencias entre las distintas líneas de cultivo (Tabla 22 y 23), ambos son elementos de absorción rápida y facilitada por parte de la raíz, interesa encontrarlos en concentraciones inferiores en la solución con respecto a la solución de entrada, en un 50 a 100% (Baixauli y Aguilar, 2002). Otros recomiendan que tanto la concentración de nitratos y de potasio en el lixiviado debe ser similar a la solución de entrada (Cunill, 2000). Posiblemente se está produciendo un exceso de nitratos en el drenaje que puede generar pérdidas elevadas de este nutriente en el suelo llegando a causar problemas de contaminación si no se controla correctamente.

La Tabla 23, nos representa los datos del ANOVA para la concentración de potasio tanto en la entrada de la línea, como para el drenaje, al fijarnos en el estadístico F, nos permite observar mediante sus niveles de significación de 1,000 y 0,149 para la concentración de entrada como en el drenaje que son mayores que el valor crítico de 0,05, lo que nos conduce a aceptar la hipótesis nula de igualdad de las medias en las concentraciones evaluadas.

La concentración de potasio se incrementa en todas las líneas durante todos los días de muestreo, excepto para el día 12 de mayo que se produce un ligera disminución de la concentración del agua de drenaje en todas las líneas.

Tabla 23. ANOVA para la concentración de potasio

		Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F.	Sig.
Concentración de potasio en la entrada de la línea	Inter-grupos	0,000	4	0,000	0,000	1,000
	Intra-grupos	1692516,042	20	84625,802		
	Total	1692516,042	24			
Concentración de potasio en el drenaje	Inter-grupos	1,136E7	4	2840259,173	1,873	0,149
	Intra-grupos	3,488E7	23	1516542,294		
	Total	4,624E7	27			

La Tabla 24, con la representación de los datos del ANOVA para la concentración de sodio tanto en la entrada de la línea, como para el drenaje, al observar el estadístico F para el primero de los casos nos muestra que la concentración de sodio en la entrada son iguales, ya que el nivel de significación 1,000 es mayor que 0,05; por lo tanto, se acepta la hipótesis nula de igualdad de medias, mientras que para la concentración de sodio en el drenaje el nivel de significación del estadístico F; 0,001, al ser menor que 0,05 nos permite rechazar la hipótesis nula de igualdad de medias presentándose diferencias entre las concentraciones en las distintas líneas de cultivo estudiadas. La concentración de sodio se mantiene constante en la línea cinco mientras que se produce una disminución de la concentración en las líneas uno y dos para todos los días muestreado excepto para los días 12 y 19 de mayo. En estos días se observa un incremento de la concentración de sodio en la línea cinco, mientras que la concentración de sodio se mantiene constante con respecto a la entrada en las líneas uno y dos (Tabla 27). También, se observa que la concentración de sodio en el agua de drenaje disminuye ligeramente, con respecto a la entrada, durante el muestreo del día 8 de mayo en todas las líneas. Pero en general, se mantiene constante su concentración en el agua de drenaje con respecto al agua de entrada.

Tabla 24. ANOVA para la concentración de sodio

		Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F.	Sig.
<b>Concentración de sodio en la entrada de la línea</b>	<b>Inter-grupos</b>	0,000	4	0,000	0,000	1,000
	<b>Intra-grupos</b>	81302,629	20	4065,131		
	<b>Total</b>	81302,629	24			
<b>Concentración de sodio en el drenaje</b>	<b>Inter-grupos</b>	6027598,844	4	1506899,711	6,532	0,001
	<b>Intra-grupos</b>	5306225,265	23	230705,446		
	<b>Total</b>	1,133E7	27			

La Tabla 25, nos muestra las comparaciones a posteriori de la concentración de sodio en el drenaje, en la cual se emplea la prueba de Waller-Duncan para determinar que media difiere de las otras medias, debido a que los tamaños muestrales son distintos utiliza la media armónica, así nos permite establecer dos subconjuntos homogéneos de medias. Se puede distinguir entre un primer conjunto que toma a las líneas uno, dos y cinco por un lado con los valores de medias menores, similares a los valores de entrada de la línea, y un segundo en donde las concentraciones de las líneas tres y cuatro son valores elevados para el sodio en el drenaje, es conveniente que los valores encontrados en el lixiviado sean bajos para este elemento. Elevados niveles salinos tienden a causar decrementos en la conductividad

estomática y en la fotosíntesis, lo que afecta a los rendimientos y a la elongación celular, y por tanto la calidad de los productos a cosechar (Alarcón, 2006). El mismo autor recomienda al aumentar el contenido de iones fitotóxicos ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ) efectuar una adecuada lixiviación aumentando los valores de drenaje a valores del 50-60%. Otros autores recomiendan valores mínimos en el drenaje para el sodio (Baixauli y Aguilar, 2002).

Tabla 25. Prueba post hoc de la concentración de sodio

Waller-Duncan <sup>a,,b,,c</sup>

Línea	N	Subconjunto para alfa= 0,05.	
		1	2
1	6	247,7042	
2	6	254,4095	
5	6	361,3110	
3	5		1229,7227
4	5		1273,8808

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica= 5,556.

b. Los tamaños de los grupos no son iguales. Se utilizará la media armónica de los tamaños de los grupos. Los niveles de error tipo I no están garantizados.

c. Razón de seriedad del error tipo 1/tipo 2=100.

La Tabla 26 de ANOVA para la concentración de sulfatos, nos muestra el valor del coeficiente F, con sus correspondientes niveles de significación de 1,000 para la concentración de sulfatos en la entrada de la línea y 0,749 para la concentración de sulfatos en el drenaje. Puesto que dichos valores son mayores a 0,05; podemos decir que aceptamos la hipótesis de igualdad de las medias, por lo tanto, ambas concentraciones presentan valores similares en las medias. El sulfato se incrementa en el agua de drenaje de las líneas con respecto al agua de entrada, observándose una concentración máxima en la línea uno para el día 8 de junio debido a la liberación de este anión por las plantas o el sustrato.

Tabla 26. ANOVA para la concentración de sulfatos

		Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F.	Sig.
Concentración de sulfatos en la entrada de la línea	Inter-grupos	0,000	4	0,000	0,000	1,000
	Intra-grupos	52,217	20	2,611		
	Total	52,217	24			
Concentración de sulfatos en el drenaje	Inter-grupos	6173,604	4	1543,401	0,481	0,749
	Intra-grupos	70602,590	22	3209,209		
	Total	76776,194	26			

Con los sulfatos ocurre lo mismo que para el caso del calcio, al ser divalente es necesario que en el drenaje se encuentren valores elevados de este elemento para favorecer el correcto

equilibrio de los elementos nutritivos (Alarcón, 2006). Otros autores como Baixauli y Aguilar (2002) indican que es posible encontrar valores de sulfatos entre 100-150% menores en el drenaje.

Los resultados de los parámetros analizados en las aguas de drenajes en las distintas líneas a lo largo de tiempo de cultivo se muestran en la Tabla 27 y en las gráficas. En las gráficas no se muestran los resultados de la línea tres y cuatro, se han despreciado, ya que existen algunos parámetros que no se han podido determinar en algunas muestras. La línea uno y cinco corresponden al control, mientras que las otras líneas las fresas se trataron con hierro foliarmente (líneas dos, tres y cuatro).

En la Tabla 27, podemos observar la concentración en mg/L de amonio, sodio, potasio, calcio, magnesio, sulfato, fosfato, nitrato, y cloruro en la entrada de la línea, como en el drenaje de las líneas estudiadas en los diferentes días de muestreo.

En el primer día de muestreo del 6 de mayo, no pudo medirse los parámetros nombrados anteriormente en la entrada de la línea, como para el caso del amonio en la concentración de los drenajes de las líneas tres y cuatro, para esta última línea ocurre lo mismo para sulfato, fosfato, nitrato, cloruro. En las líneas dos y cinco, los valores de la concentración son menores al límite de detección para el amonio, por lo tanto, no se puede determinar sus valores.

Para el día 12 de mayo, hay valores de amonio y de cloruro que no pudieron determinarse, y para la línea cinco la concentración de amonio en el drenaje sigue siendo inferior al límite de detección.

Ocurre lo mismo en las siguientes fechas de muestreo, en los días 19 y 26 de mayo, como en los días 2 y 8 de junio, existen valores de algunos elementos que no pudieron determinarse, y en algunos casos la concentración de algunos elementos es menor a los límites de detección.

Los parámetros estudiados para todas las líneas y días muestreado, se observa que la concentración incrementa en el siguiente orden:

Potasio > Sodio > nitrato > Fosfato = calcio = cloruro > sulfato > magnesio > amonio

Tabla 27. Concentración (mg L<sup>-1</sup>) de amonio, sodio, potasio, calcio, magnesio, sulfato, fosfato, nitrato y cloruro en el agua de drenaje en las distintas líneas y días de muestreo.

Línea	Amonio	Sodio	Potasio	Calcio	Magnesio	Sulfato	Fosfato	Nitrato	Cloruro
<b>06/05/2010</b>									
L1	2	237	620	67	15	63	32	145	40
L2	<LD	279	847	65	15	68	54	184	89
L3	ND	345	647	67	25	ND	57	123	ND
L4	ND	373	728	36	21	ND	ND	ND	ND
L5	<LD	354	725	41	28	128	30	156	234
<b>12/05/2010</b>									
E	5	257	1109	76	16	28	112	272	40
L1	0	241	939	107	21	52	76	238	82
L2	0	232	1016	96	19	38	126	240	109
L3	ND	360	355	55	23	124	68	105	ND
L4	ND	364	698	58	21	83	57	194	ND
L5	<LD	360	837	27	31	97	43	247	144
<b>19/05/2010</b>									
E	0,3	266	711	57	10	25	105	132	39
L1	0,5	246	936	80	15	39	83	227	64
L2	0,2	256	1176	85	17	38	98	269	75
L3	ND	1810	3346	28	134	259	138	745	ND
L4	ND	1897	1155	19	33	149	347	285	ND
L5	<LD	368	1193	27	30	68	106	353	111
<b>26/05/2010</b>									
E	1,0	379	633	75	10	24	96	131	40
L1	0,1	227	679	78	19	59	88	200	96
L2	ND	226	1495	96	23	72	105	332	133
L3	ND	1837	4018	17	11	ND	151	1138	ND
L4	ND	1909	1423	19	34	135	151	314	ND
L5	ND	353	1484	56	35	96	118	284	154
<b>02/06/2010</b>									
E	1,6	381	525	80	8	24	43	133	36
L1	0,0	266	1021	65	13	29	68	148	46
L2	0,3	263	813	61	12	53	119	213	63
L4	ND	1826	6031	95	158	ND	ND	ND	ND
L5	ND	366	1227	9	24	75	54	218	126
<b>08/06/2010</b>									
E	0,9	374	321	87	15	24	97	116	39
L1	0,6	270	630	55	12	114	87	450	266
L2	ND	271	596	54	15	68	98	185	62
L3	ND	1796	3963	52	153	39	ND	103	ND
L5	ND	366	874	6	19	63	10	184	100

ND: no determinado; LD: límite de detección

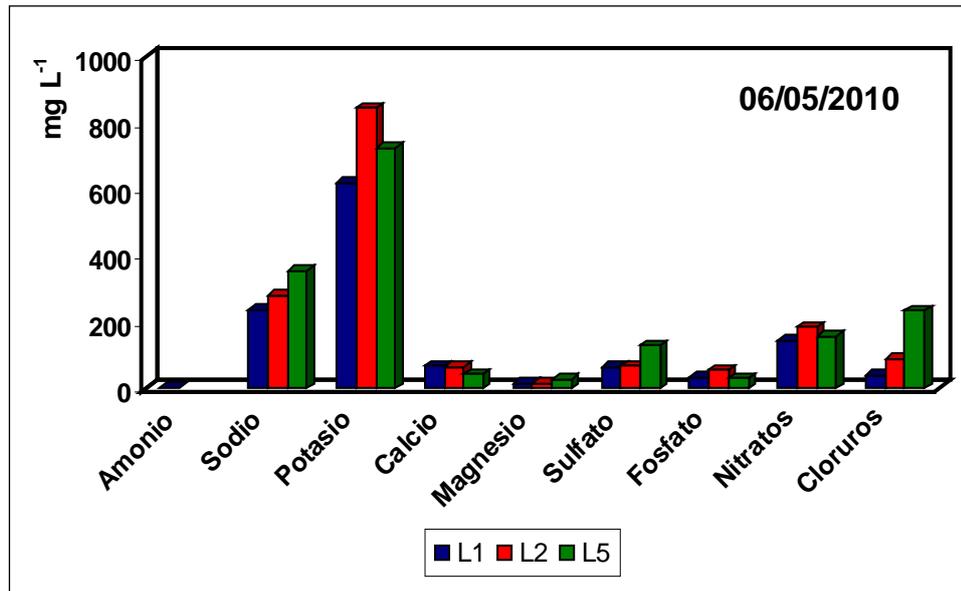
Cuando se compara la concentración de los distintos parámetros en la entrada y en el agua de drenaje a partir de la Tabla 27, donde se eliminaron las líneas tres y cuatro por falta de muestra, se observa que:

La concentración de amonio disminuye con el tiempo en el agua de drenaje para los distintos días muestreados, excepto para el día 19 de mayo. En ese día se observa que la concentración de agua de drenaje es mayor en la línea 1 que en el agua de entrada. El amonio es una de las formas nitrogenadas que la planta puede tomar al igual que los nitrato, siempre y cuando, se presenten buenas condiciones fotosintéticas que hacen mucho más fácil su asimilación en comparación con el ión nitrato. Es por ello, que se observa la disminución en la concentración a pesar de un leve aumento en la fecha anterior indicada. Como indica Alarcón (2006) este anión al ser de absorción rápida y facilitada por parte de la raíz, interesa encontrarlos en concentraciones inferiores en la solución de drenaje con respecto a la solución de entrada.

El cloruro se incrementa en el agua de drenaje de las líneas con respecto al agua de entrada. En general, la máxima concentración de este parámetro se observa en la línea cinco para todos los días muestreados. En el caso del cloruro, la concentración máxima se encuentra en la línea uno para el día 8 de junio. El cloruro se libera de las plantas o del sustrato, por lo que se observa un incremento de la concentración de este en el agua de drenaje con respecto al agua de entrada. Elevadas concentraciones de este elemento puede generar problemas de toxicidad a la vez que también puede ocasionar problemas de antagonismo con iones como el nitrato (Alarcón, 2006).

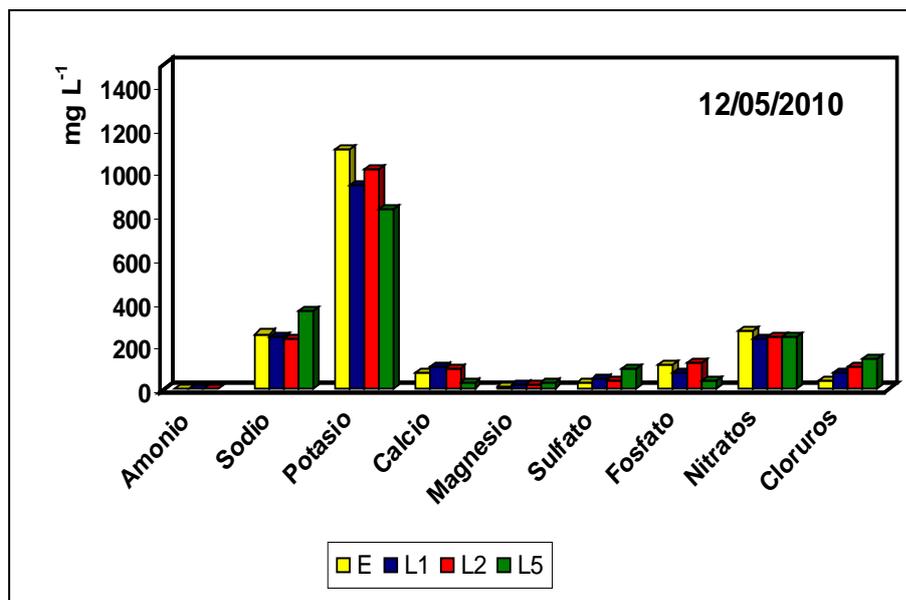
El Gráfico 2, muestra la concentración de los distintos elementos en las líneas uno, dos y cinco para la fecha 06 de mayo, y como el elemento que se presenta en mayor cantidad en el drenaje es el potasio, luego el sodio, nitratos, cloruros y menores cantidades en los demás elementos, siendo en la línea cinco la que mayor cantidad de elementos fitotóxicos acumuló en el drenaje como sodio que se encuentra en condiciones excesivas mayores a los 138 mg/L, que en un caso de recirculación hubiese generado problemas con la solución a reutilizar (Lorenzo et al., 2000).

Gráfico 2. Representación de los distintos elementos en las líneas 1, 2 y 5 para el día 06/05



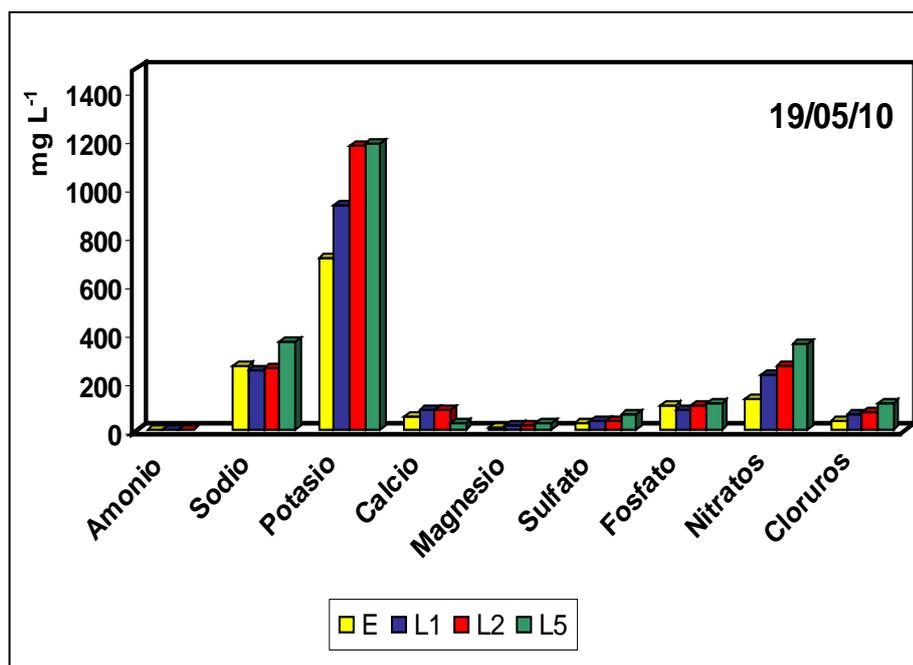
El Gráfico 3, muestra la concentración de los distintos elementos tanto en la entrada de la línea como en cada uno de los drenajes de las líneas seleccionadas. En este caso, se puede observar como los valores de potasio siguen siendo los mayores para todos los elementos, pero menores a la concentración aportada en la solución nutritiva, el mismo caso se presenta para los nitratos. Con respecto, a sodio y cloruros para la línea cinco presentan valores mayores a la entrada para ambos, generando posibles problemas de toxicidad, u algunos efectos antagónicos como en el caso de este último con el calcio (Alarcón, 2000).

Gráfico 3. Representación de los distintos elementos en la entrada y en las líneas 1, 2 y 5 para el día 12/05



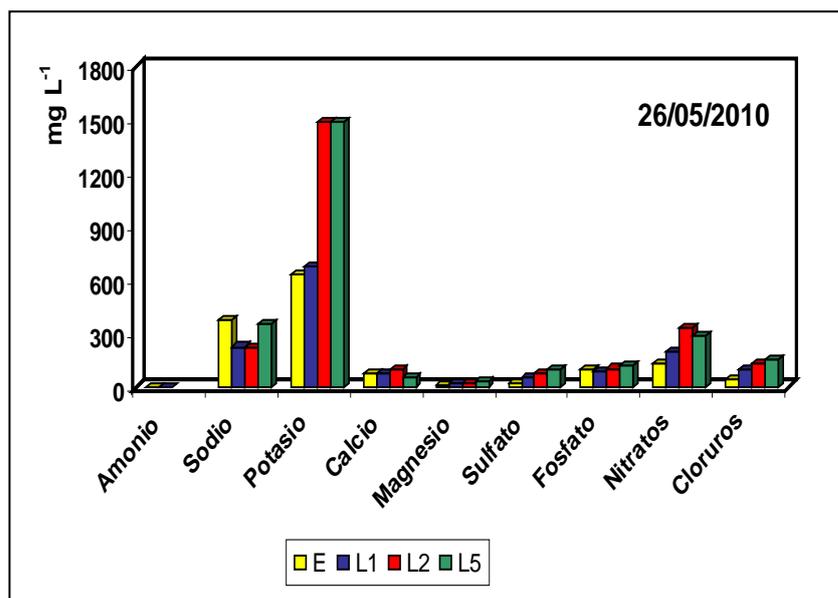
La Gráfica 4 del día 19 de mayo nos muestra nuevamente los elementos predominantes como en el caso del potasio, sodio, nitratos, fosfatos y cloruros. La línea cinco sigue presentando valores más elevados de sodio y cloruros que con respecto a la entrada. Para el caso del potasio y los nitratos los valores de la entrada disminuyeron con respecto a las líneas dando lugar a una mayor cantidad de estos elementos en el drenaje con la consiguiente eliminación al suelo.

Gráfico 4. Representación de los distintos elementos en la entrada y en las líneas 1, 2 y 5 para el día 19/05



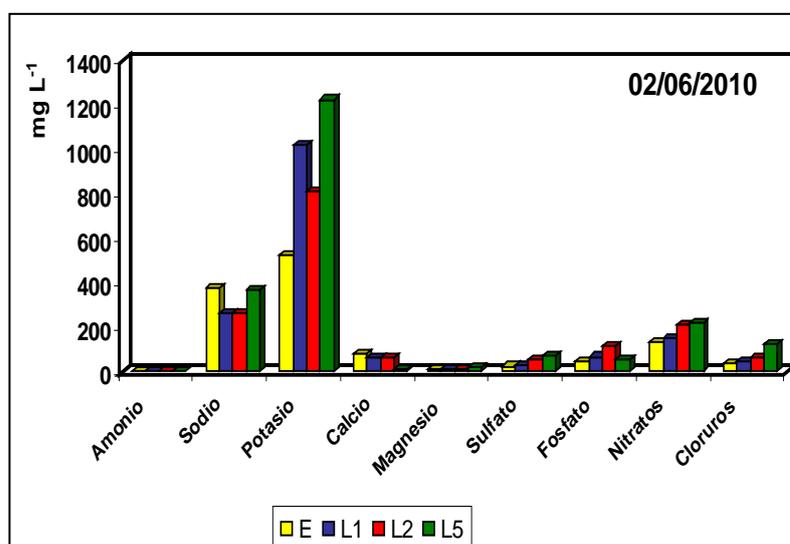
La Gráfica 5, sigue mostrando la misma tendencia de una mayor concentración de potasio con respecto a los demás elementos con un comportamiento similar para las líneas dos y cinco encontradas en el drenaje, con respecto al sodio, este sigue con niveles elevados con respecto a la solución de entrada, lo mismo que para los cloruros y los nitratos. Entre estos últimos se generan condiciones antagónicas produciéndose una menor absorción de nitratos con excesos de cloruros (Alarcón, 2000).

Gráfico 5. Representación de los distintos elementos en la entrada y en las líneas 1, 2 y 5 para el día 26/05



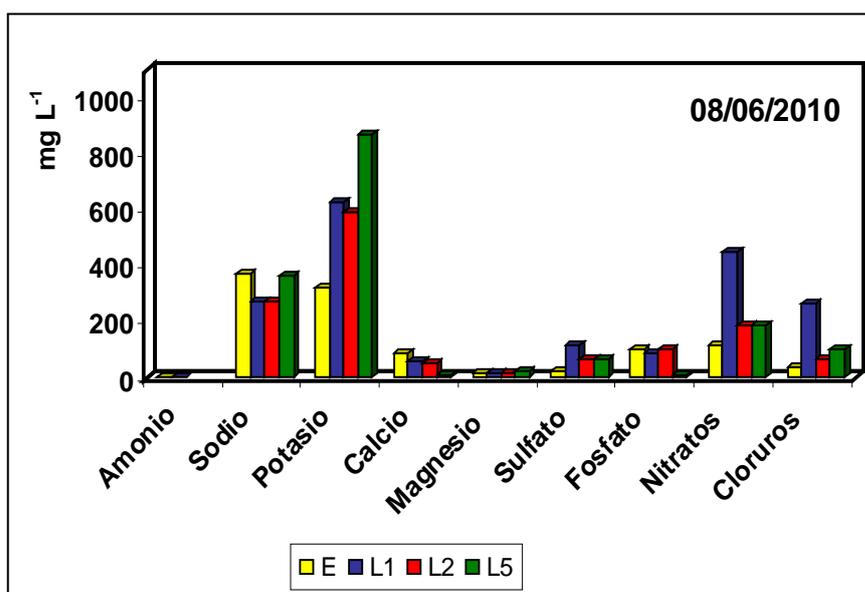
La Gráfica 6, sigue representando el mismo comportamiento de los elementos en las muestras de la entrada de las líneas y del drenaje en las líneas estudiadas. Se puede observar como las concentraciones de potasio y nitratos son superiores a las de la entrada, siendo que es recomendable que presenten concentraciones similares a la de la solución nutritiva (Cunill, 2000). El sodio y cloro, muestran las mismas características para la línea cinco con valores similares a la entrada o mayores, que posiblemente hayan generado pérdidas en la productividad de esta línea de cultivo, sumado a ello que esta última línea fue la que más se vio afectada por un ataque de insectos plaga en los meses de febrero-marzo.

Gráfico 6. Representación de los distintos elementos en la entrada y en las líneas 1, 2 y 5 para el día 02/06



La Gráfica 7, por último nos muestra incrementos de ciertos elementos en la línea dos con respecto a la entrada y las demás líneas, como son el caso de cloruros, nitratos, sulfato, potasio, posiblemente debido al cambio del tiempo de riego a tres minutos, favoreciendo el rápido transporte de estos elementos que se liberaron algunos del sustrato y otros aportados por la fertirrigación manifestando su presencia en la concentración del drenaje.

Gráfico 7. Representación de los distintos elementos en la entrada y en las líneas 1, 2 y 5 para el día 08/06



#### 4.2. Evaluación de los métodos analíticos empleados en el tratamiento de las muestras

Para evaluar la calidad de los resultados se ha determinado mediante dos técnicas distintas el potasio, calcio, magnesio, sulfato y fosfato de algunas muestras de entrada tomadas al azar: línea 1, línea 2 y línea 5 (Tabla 27) y se ha llevado a cabo el test t mediante el programa estadístico CCS-estadística para determinar si existe diferencias significativas entre los dos métodos utilizados. A pesar de que el método uno requiere una manipulación de las muestras con mayor cuidado para la preparación de las mismas que el método dos, que cuenta con la espectrofotometría de emisión atómica con menores interferencias entre elementos por una consecuencia directa del uso de temperaturas más elevadas, además de las posibilidades de permitir un análisis multielemental de muestras muy pequeñas, buenos espectros de emisión para muchos elementos en las mismas condiciones de excitación. Sin embargo, este último requiere instrumentación sofisticada, por ende muy cara, con gastos operativos grandes,

límites de detección iguales o mayores a la absorción atómica y emisión atómica de llama, y además requiere de un operador experimentado (Williams, 2007).

La Tabla 28, nos muestra la concentración de cada elemento, en este caso en primer lugar potasio, calcio, magnesio, sulfato y fosfato, tomado para el método 1 y 2, para la entrada de la línea, así como los valores de los drenajes de las líneas uno, dos y cinco para los días 6, 12, 19 y 26 de mayo. El método 1 incluía las técnicas FAES (K), FAAS (Ca, Mg), Turbidimetría ( $\text{SO}_4^{-2}$ ) y Colorimetría ( $\text{PO}_4^{-3}$ ). A su vez, el método 2 aplicaba las técnicas ICP-OES (K, Ca, Mg,  $\text{PO}_4^{-3}$ ) y Cromatografía iónica ( $\text{SO}_4^{-2}$ ).

Tabla 28. Concentración ( $\text{mg L}^{-1}$ ) de potasio, calcio, magnesio, sulfato, y fosfato en el agua de drenaje mediante los métodos 1 y 2.

Muestra	Método	Potasio	Calcio	Magnesio	Sulfato	Fosfato
E 12/05/20	1	1109	76	16	28	112
E 12/05/20	2	1135	68	11	27	112
L1 12/05/10	1	939	107	21	52	76
L1 12/05/10	2	951	74	16	38	78
L1 19/05/10	1	936	80	15	39	83
L1 19/05/10	2	977	67	14	32	98
L2 06/05/10	1	847	65	15	68	54
L2 06/05/10	2	895	58	13	51	56
L2 19/05/10	1	1176	85	17	38	98
L2 19/05/10	2	1101	74	16	36	109
L2 26/05/10	1	1495	96	23	72	105
L2 26/05/10	2	1432	85	23	55	121
L5 26/05/10	1	1484	56	35	96	118
L5 26/05/10	2	1312	74	25	64	109

Método1: K= FAES; Ca, Mg: FAAS; Sulfato = Turbidimetría; Fosfato= Colorimétrica

Método 2: Potasio, Calcio, Magnesio, Fosfato = ICP-OES; Sulfato= Cromatografía iónica

Como se puede observar en la Tabla 29, se obtienen los valores de las medias de los dos métodos empleados, para cada elemento, así como también el valor de t, los grados de libertad y el nivel de significación para cada uno de ellos. Al obtener niveles de significación para todos los elementos mayores a una probabilidad de 0,05 se puede decir que no existen diferencias significativas, para cada uno de los parámetros utilizados.

Tabla 29. Resultados del análisis test t para el potasio, calcio, magnesio, sulfato y fosfato comparando los métodos 1 y 2.

	Media Método 1	Media Método 2	Valor t	Grados de libertad	Nivel de significación (p)
<b>Potasio</b>	1141	1115	0,21	12	0,836
<b>Calcio</b>	80,8	71,4	1,27	12	0,228
<b>Magnesio</b>	20,2	16,9	0,98	12	0,344
<b>Sulfatos</b>	56,2	43,5	1,22	12	0,244
<b>Fosfatos</b>	92,3	97,6	-0,43	12	0,672

Para evaluar los resultados de los parámetros en las distintas muestras de agua de drenaje se ha llevado a cabo un análisis estadístico multivariante basado en el análisis de componentes principales utilizando un programa estadístico (CSS-estadística). En primer lugar, el análisis se ha llevado a cabo sin la rotación de los datos y se observa dos factores que explica el 63 % de la varianza. Como se muestra en la Tabla 29 y en las Gráficas 8 y 9 el primer factor explica el 38 % de la varianza e indica que contribuye de forma negativa en este factor el magnesio, sulfato y cloruro mientras que el calcio contribuye de forma positiva. El segundo factor explica el 24% de la varianza total y contribuye de forma positiva el potasio, fosfato y nitratos y de forma negativa el sodio. Cuando se representa el factor 1 frente al factor 2, teniendo en cuenta las muestras (casos o “scores”), se observa que el factor 1 discrimina entre muestras de la línea 5 (control) y del resto de las líneas y entrada, indicando que en las muestras de control predomina los sulfatos, cloruros y magnesio; mientras que el factor 2 diferencia entre las muestras de las líneas 1 y 2 frente a la entrada y línea 5 (control).

Tabla 29. Coeficiente de los componentes principales, varianza explicada probabilidad total de los análisis de componente principales sin rotación.

	Factor 1	Factor 2
<b>Amonio</b>	0,460886	0,079444
<b>Na</b>	-0,300947	-0,668653
<b>K</b>	-0,446542	0,591946
<b>Ca</b>	0,602987	0,562569
<b>Mg</b>	-0,813263	0,113338
<b>Sulfatos</b>	-0,901922	-0,070682
<b>Fosfatos</b>	0,215852	0,776212
<b>Nitratos</b>	-0,569032	0,651679
<b>Cloruros</b>	-0,863316	0,093864
<b>Varianza Explicada</b>	3,456541	2,174134
<b>Probabilidad Total</b>	0,384060	0,241570

Gráfico 8. Representación del factor 1 frente al factor 2 de los parámetros del análisis de componentes principales sin rotación de los datos. **Factor 1, Factor 2**

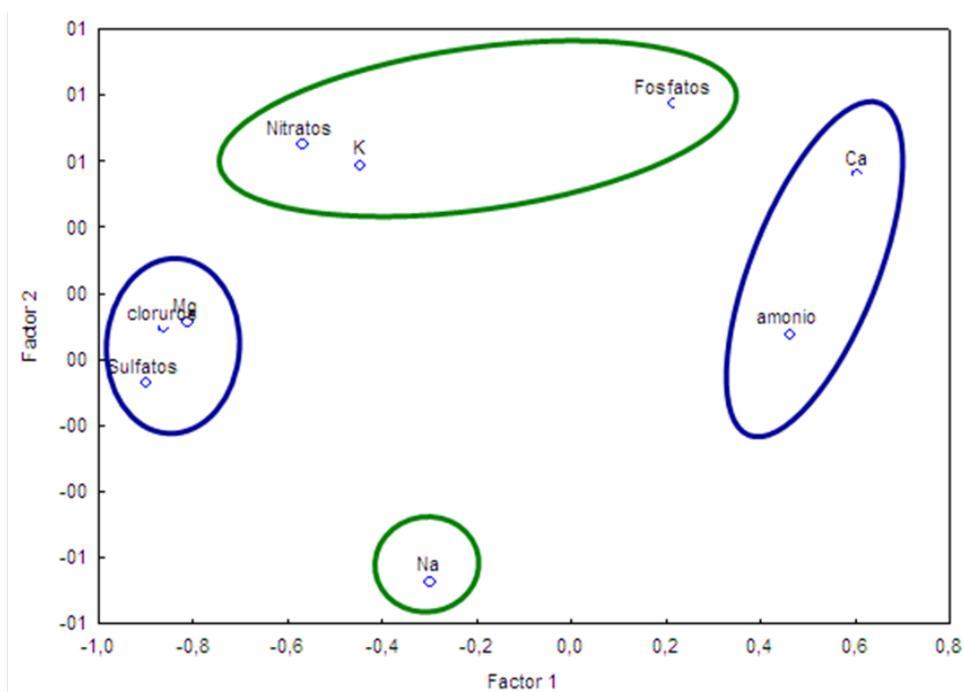
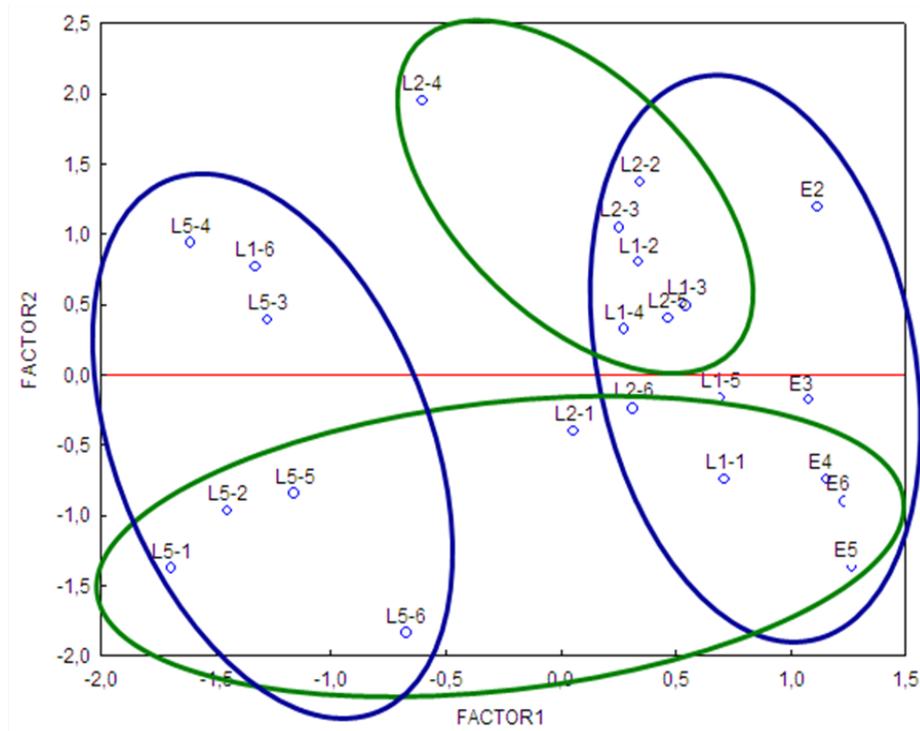


Gráfico 9. Representación del factor 1 frente al factor 2 de los parámetros del análisis de componentes principales sin rotación de los datos. **Factor 1, Factor 2**



Cuando se hace la rotación de los datos no se observa una mejoría en la explicación de los datos, como se muestra en la Tabla 30 y en los Gráficos 10 y 11.

Tabla 30. Coeficiente de los componentes principales, varianza explicada probabilidad total de los análisis de componente principales con rotación

	<b>Factor 1</b>	<b>Factor 2</b>
<b>Amonio</b>	-0,424417	-0,196462
<b>Na</b>	0,116885	<b>0,723881</b>
<b>K</b>	0,585004	-0,455598
<b>Ca</b>	-0,436114	<b>-0,699916</b>
<b>Mg</b>	<b>0,814781</b>	0,101854
<b>Sulfatos</b>	<b>0,852583</b>	0,302589
<b>Fosfatos</b>	-0,006766	<b>-0,805637</b>
<b>Nitratos</b>	<b>0,718807</b>	-0,481455
<b>Cloruros</b>	<b>0,858056</b>	0,133663
<b>Varianza Explicada</b>	3,369972	2,260703
<b>Probabilidad Total</b>	0,374441	0,251189

Gráfico 10. Representación del factor 1 frente al factor 2 de los parámetros del análisis de componentes principales con rotación de los datos. **Factor 1, Factor 2**

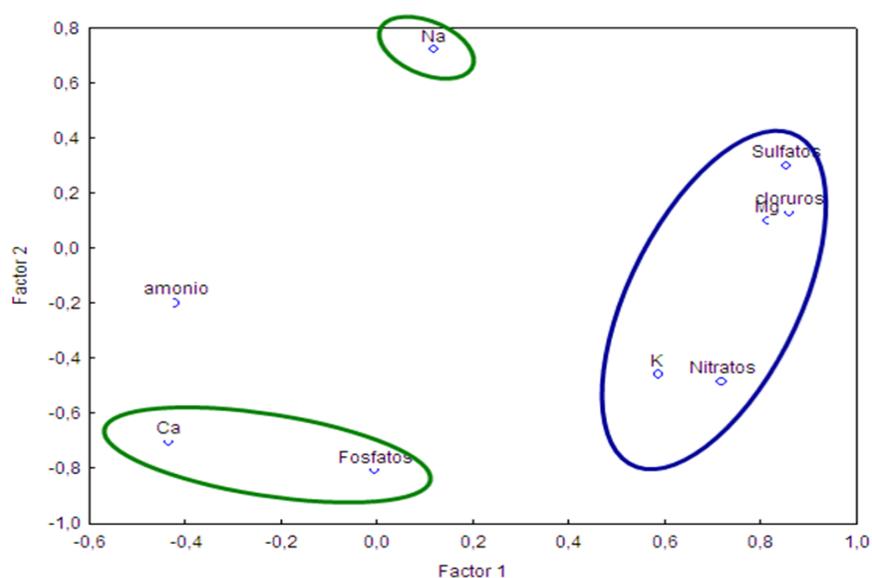
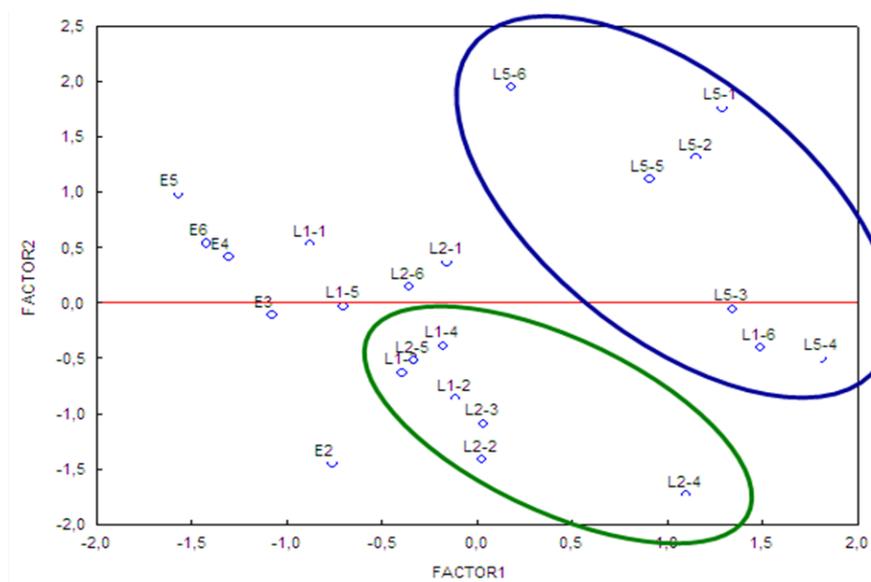


Gráfico 11. Representación del factor 1 frente al factor 2 de los parámetros del análisis de componentes principales con rotación de los datos. **Factor 1**, **Factor 2**



Por otra parte, se ha evaluado la correlación de los parámetros estudiado en los distintas líneas como se muestra en las Tablas para: la entrada, línea 1, línea 2 y línea 5, respectivamente.

En la entrada se observa que el amonio está correlacionado con sulfatos y nitratos ( $R > 0,92$ ), a su vez estos últimos entre sí, el potasio está correlacionado con los sulfatos y nitratos ( $R = 0,91$ ) y el fosfato con los cloruros ( $R = 0,95$ ), mientras que el calcio y el magnesio no presenta ninguna correlación con los parámetros estudiados.

Tabla 31. Matriz de correlación de la entrada

	Amonio	Sodio	Potasio	Calcio	Magnesio	Sulfatos	Fosfatos	Nitratos	Cloruros
Amonio	1,00								
Sodio	-0,45	1,00							
Potasio	0,78	-0,79	1,00						
Calcio	0,23	0,66	-0,41	1,00					
Magnesio	0,60	-0,40	0,32	0,33	1,00				
Sulfatos	<b>0,92</b>	-0,77	<b>0,91</b>	-0,14	0,56	1,00			
Fosfatos	0,22	-0,62	0,45	-0,33	0,67	0,38	1,00		
Nitratos	<b>0,96</b>	-0,67	<b>0,91</b>	-0,03	0,59	<b>0,98</b>	0,40	1,00	
Cloruros	0,36	-0,47	0,49	-0,13	0,71	0,41	<b>0,95</b>	0,49	1,00

En el caso de la línea 1, se observa que se encuentra correlacionado el calcio con el magnesio ( $R = 0,90$ ) y los sulfatos están correlacionado con los nitratos y cloruros ( $R > 0,86$ ) y finalmente estos últimos entre sí ( $R = 0,97$ ).

Tabla 32. Matriz de correlación de la línea 1

	Amonio	Sodio	Potasio	Calcio	Magnesio	Sulfatos	Fosfatos	Nitratos	Cloruros
Amonio	1,00								
Sodio	-0,22	1,00							
Potasio	-0,57	0,23	1,00						
Calcio	-0,19	-0,54	0,45	1,00					
Magnesio	-0,15	-0,77	0,12	0,90	1,00				
Sulfatos	0,30	0,29	-0,76	-0,43	-0,27	1,00			
Fosfatos	-0,78	0,18	0,20	0,16	0,18	0,17	1,00		
Nitratos	-0,06	0,51	-0,36	-0,26	-0,26	0,86	0,55	1,00	
Cloruros	-0,08	0,51	-0,48	-0,39	-0,32	0,91	0,51	0,97	1,00

Para la línea 2, el sodio se encuentra correlacionado ( $R > -0,84$ ) con calcio, magnesio y nitratos pero de forma negativa indicando que cuando incrementa la concentración de sodio disminuye la concentración de los otros parámetros (o viceversa). El potasio se correlaciona ( $R > 0,86$ ) con calcio, magnesio y nitratos; el calcio se encuentra correlacionado ( $R > 0,82$ ) con el cloro y el magnesio y a su vez este último con los nitratos y cloruros.

Tabla 33. Matriz de correlación de la línea 2

	Sodio	Potasio	Calcio	Magnesio	Sulfatos	Fosfatos	Nitratos	Cloruros
Sodio	1,00							
Potasio	-0,78	1,00						
Calcio	-0,90	0,86	1,00					
Magnesio	-0,85	0,86	0,87	1,00				
Sulfatos	0,24	-0,06	-0,39	0,07	1,00			
Fosfatos	-0,65	0,18	0,38	0,18	-0,51	1,00		
Nitratos	-0,84	0,96	0,83	0,86	-0,06	0,36	1,00	
Cloruros	-0,79	0,80	0,82	0,92	0,16	0,09	0,73	1,00

Por último, en la línea 5 (control) se observa que el sodio se encuentra correlacionado de forma negativa con el calcio y los sulfatos ( $R > -0,84$ ), mientras que la correlación es positiva entre potasio-fosfato, calcio-magnesio, sulfatos-cloruros y fosfatos-nitratos ( $R > 0,85$ ).

Tabla 34. Matriz de correlación de la línea 5

	Sodio	Potasio	Calcio	Magnesio	Sulfatos	Fosfatos	Nitratos	Cloruros
Sodio	1,00							
Potasio	-0,01	1,00						
Calcio	<b>-0,84</b>	0,32	1,00					
Magnesio	-0,61	0,41	<b>0,88</b>	1,00				
Sulfatos	<b>-0,85</b>	-0,35	0,67	0,49	1,00			
Fosfatos	-0,14	<b>0,85</b>	0,60	0,74	-0,09	1,00		
Nitratos	0,28	0,65	0,25	0,55	-0,41	<b>0,85</b>	1,00	
Cloruros	-0,79	-0,36	0,61	0,37	<b>0,97</b>	-0,13	-0,47	1,00

En resumen, con estos resultados de correlación, se puede decir que cada línea se comporta de forma distinta con respecto a todos los elementos estudiados. Solamente se observa una correlación entre el calcio y magnesio en todas las líneas excepto para la entrada que no se encuentran ambos parámetros correlacionados.

## 5. Conclusión

Después de determinar la composición del drenaje en el cultivo sin suelo de fresa podemos determinar las siguientes conclusiones:

Al analizar los nutrientes que entran en el cultivo sin suelo de fresa, podemos decir que no varía la entrada de las líneas manteniéndose constante como lo muestran los resultados, mientras que los que se generan después de la fertirrigación en el drenaje de las líneas muestran tanto un incremento como una disminución de los valores obtenidos en el drenaje respecto a la entrada. Se presentan dos casos en los cuales se distinguen diferencias significativas entre las líneas cuando se estudia a cada elemento por separado:

El calcio, el cual presenta un comportamiento distinto entre las líneas de cultivo de su concentración en el drenaje, diferenciando a las líneas uno y dos con valores similares en su concentración, y otro distinto en las líneas tres, cuatro y cinco.

El sodio, es el otro elemento que presenta diferencias en la concentración en el drenaje en las distintas líneas de cultivo, pudiendo distinguir entre las líneas uno, dos y cinco con valores similares, en relación a las líneas tres y cuatro que presentan elevadas concentraciones de este elemento en el drenaje.

Por el contrario, cuando se estudian a todos los elementos juntos relacionados con las líneas de estudio se observa que todas las líneas tienen comportamientos diferentes, y se encuentran correlacionadas las líneas uno, dos y cinco para el calcio y magnesio, pero no así en la entrada de las líneas.

Con respecto a la concentración de hierro en las distintas líneas estudiadas, tanto para las que se les aplicó hierro en forma foliar, como a las que no se les aplicó no se observan diferencias significativas entre ellas con respecto a este elemento en el drenaje.

Al comparar los distintos métodos analíticos para la determinación de los elementos nutricionales obtenidos en el drenaje, no se observan diferencias entre ambos, por lo que los datos pueden ser bien estudiados por cualquiera de los dos procedimientos, sin problemas para el análisis de las muestras de drenaje en el cultivo sin suelo.

Finalmente, al ser la fibra de coco un sustrato químicamente activo, el seguimiento analítico de la nutrición del cultivo es mejor referirlo a la solución del sustrato, que a veces, puede ofrecer medidas de parámetros bastante diferentes respecto a la solución de drenaje. Esta solución del sustrato se puede extraer mediante sondas de succión tipo rizhon, escurrido manual del material, extractos del material en agua en determinada proporción.

## Bibliografía

- ABAD, M.; Noguera, P.; Noguera, V.; Roig, A.; Cegarra, J.; Paredes, C. (1997). "Reciclado de residuos orgánicos y su aprovechamiento como sustratos de cultivo". Actas de Horticultura 19. I Congreso Ibérico y III Nacional de Fertirrigación. SECH.
- ABRAIRA, V., Pérez de Vargas, A. (1996). *Métodos Multivariantes en Bioestadística*. Madrid: Centro de Estudios Ramón Areces.
- AMMA A. (2003). "Cultivo sin suelo en la producción de hortalizas bajo cubierta". En Revista IDIA XXI: N°4. INTA San Pedro Buenos Aires.
- ALARCÓN VERA, A. L. 2006. "Diagnóstico y manejo nutricional en cultivos sin suelo". En *Cultivos sin suelo compendios de horticultura 17*. (pp. 69-82). Barcelona. Ediciones de Horticultura, S. L.
- BAIXAULI SORIA C. y Aguilar Olivert J. M. (2002). *Cultivo sin suelo, aspectos prácticos y experiencias*. Valencia: Generalitat Valenciana. Conselleria de Agricultura, Pesca y Alimentación. Serie divulgación técnica N° 53.
- BENTON JONES, J. Jr. (1982). "Hydroponic: Its History and Use in Plant Nutrition Studies". Journal of Plant Nutrition 5, 1003-1030.
- BENTON JONES, J. Jr. (1983). *A Guide for the Hydroponic & Soilless Culture Growers*. Timber Press. Portland, Oregon.
- CUNILL I PRADO, C. (2000). "Recomposición de soluciones nutritivas". En *Recirculación en cultivos sin suelo compendios de horticultura 14*. (pp. 29-38). Barcelona. Ediciones de Horticultura, S.L.
- GÜL, A., Tüzel, I.H., Tuncay, Eltez, R.Z. and Zencirkiran, E. (1999). "Soilless culture of cucumber in glasshouses: I. A comparison of open and closed system on growth, yield and quality". Acta Hort. (ISHS) 491:389-394.
- HUNTER JOHNSON, Jr., 1979. "Soilless Culture of Greenhouse Vegetable". Extension Vegetable Specialist, Riverside. U.C Davis.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, INE. (2008). *Datos climáticos de la provincia de Huelva*. Huelva: autor.
- LÓPEZ ARANDA, J.M. (2008). "El Cultivo de la fresa en Huelva". En MEDINA MÍNGUEZ, J.J, Márquez Domínguez, J.A., López Aranda, J.M., López Medina, J., Pérez, A.G., Sanz, C. et al. *La fresa de Huelva*. Huelva: Junta de Andalucía.
- LÓPEZ MEDINA, J. (2008). "Nuevas tecnologías. Revolución tecnológica". En Medina Mínguez, J.J, Márquez Domínguez, J.A., López Aranda, J.M., López Medina, J., Pérez, A.G., Sanz, C. et al. *La fresa de Huelva*. Huelva: Junta de Andalucía.
- LORENZO, P., Medrano, E., y Sánchez-Guerrero, M. C., (2000). "Recirculación en cultivo sin suelo de pepino en Almería". En *Recirculación en cultivos sin suelo compendios de horticultura 14*. (pp. 73-80). Barcelona. Ediciones de Horticultura, S.L.
- MAGÁN CAÑADAS, J.J. (1999). "Sistema de cultivo en sustrato: a solución perdida y con recirculación de lixiviado". *Cultivos sin Suelo II*. Curso Superior de Especialización.
- MÁRQUEZ DOMÍNGUEZ, J.A. (2008). "El marco geográfico de los campos de fresa." En Medina Mínguez, J.J, Márquez Domínguez, J.A., López Aranda, J.M., López Medina, J., Pérez, A.G., Sanz, C. et al. *La fresa de Huelva*. Huelva: Junta de Andalucía.
- MARTINEZ, E. y García, M. (1993). "La alternativa: el cómo y el por qué". Horticultura 84.
- MEDINA MÍNGUEZ, J.J. (2008). "Origen del cultivo: un pionero". En Medina Mínguez, J.J, Márquez Domínguez, J.A., López Aranda, J.M., López Medina, J., Pérez, A.G., Sanz, C. et al. *La fresa de Huelva*. Huelva: Junta de Andalucía.

- PAPASSEIT TOTOSAUS, P. (2002). "Cultivo sin suelo sostenible". Revista Horticultura, 159, 42-48.
- PARDO A. y Ruiz M.A. (2005). *Análisis de datos con SPSS 13 Base*. Madrid: McGraw-Hill.
- PARRA GÓMEZ, M. (2010). *Gestión de la solución nutritiva utilizada para cultivo sin suelo de tomate en Canarias: mejora de calidad agroalimentaria y reducción del impacto ambiental*. (Proyecto: RTA 2006-00157-00-00). Canarias: Instituto Canario de Investigaciones Agrarias.
- PEDROZA, H y Dicovsky, L. (2006). *Sistema de análisis estadístico con SPSS*. Nicaragua: Instituto Interamericano de Cooperación para la agricultura (IICA), Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (INTA).
- RAVIV, M. and Lieth, J.H. (2008). *Soilless culture, Theory and Practice*. United States of America: Elsevier Publisher.
- RESH, H.M. (2001). *Cultivos Hidropónicos: Nuevas técnicas de producción* (5ª ed). Mundi Prensa.
- ROCA FERRERFÁBREGA, D. (2009). *Tesis de doctorado para la obtención del título de doctor en agronomía. Absorción de Nitrato en cultivo sin suelo. Estudio de las implicaciones agronómicas y fisiológicas como bases para optimizar el manejo de la fertilización. Aplicación a un cultivo de Rosas*. Departamento de Producció Vegetal. Universitat Politècnica de València.
- SÁDABA, S., Del Castillo, J.A. y Astiz, M. (2008). "Cultivo hidropónico de lechuga". Revista Navarra Agraria, 170, p. 31-36.
- SAVVAS, D. y Manos G. (1999). "Automated composition control of Nutrient solution in closed soilless culture systems". J. Agric. Engng. Res. 73, 29-33.
- "Splendor, a new strawberry variety" (2009). Eurofresh distribution, produce/berries, 99, p. 119.  
Disponibile en Internet en: <http://www.splendor.es/prensa/EurofreshEnero2009.pdf> [citado el día 20.11.2010]
- ULISES DURANY, C. (1984). *Hidroponía. Cultivo de plantas sin tierra*. Biblioteca del Agricultor. (5ta ed). Barcelona: Sintés. S.A.
- UNIVERSITY OF CALIFORNIA, Division of Agricultural Sciences, Agricultural Experiment Station, Extension Service (1957). *The U.C. system for producing healthy container-grown plants: Through the use of clean soil, clean stock, and sanitation*. California: Agricultural Experiment. Extension Service. Manual 23.
- URRESTARAZU GAVILÁN, M. (1997). *Tratado de Cultivo sin Suelo*. Almería: Universidad de Almería, Servicio de Publicaciones.
- URRESTARAZU GAVILÁN, M. (2004). *Tratado de Cultivo sin Suelo*. (3ª ed). Almería: Ediciones Mundi Prensa.
- WINSOR, G. W. and Schwarz, M. (1990). "Soilless culture for horticultural crop production". En *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (Ed). Roma, p.188.

#### *Páginas de Internet*

Aceite de neem: azadiractina. <http://www.zoetecnocampo.com/Documentos/Neem/neem01.htm>

Amblylane: control de trips. <http://www.jardinitis.com/productos/adobs-i-fitosanitaris/insectos-depredadores/amblyline-cu-crs--amblyseius-cucumeris>

Fotografía del Palacio de Pillnitz, Dresde, Alemania. Significance of soilless culture in agricultura. En RAVIV, M. and Lieth, J.H. (2008). *Soilless culture, Theory and Practice*. United States of America: Elsevier Publisher.

Fotografía de la variedad de fresa Splendor. Berry Genetics, Inc. [www.splendor.es](http://www.splendor.es)

Nutrient Management in Recirculating Hidroponic Culture. Bruce Budge. <http://www.usu.edu/-cpl/hydropon.html>.

Syngenta agro: Vertimec-Abamectina. <http://www.syngentaagro.es/es/productos/producto.aspx?id=44>

Spidex: control de ácaros. <http://www.koppert.es/plagas/mites-es/aranas-rojas/productos-contra-aranas-rojas/detalle/spidex/>

Williams, F. (2007). "Espectrometría de emisión atómica". [http://www.qi.fcen.uba.ar/materias/ai/clase7\\_2007.pdf](http://www.qi.fcen.uba.ar/materias/ai/clase7_2007.pdf)