

UNIVERSIDAD DE ALMERÍA
Escuela Politécnica Superior
DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN VEGETAL



TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Título:

COMPORTAMIENTO DE LA LANA DE ROCA BAJO DISTINTAS CONCENTRACIONES DE OXÍGENO Y SU EFECTO SOBRE LA MORFOLOGIA DE LA PLANTA EN UN CULTIVO DE MELÓN CV. VULCANO.

Alumna:

Nuria Capel Pérez

Directores:

Dr. D. Francisco Camacho Ferre

Dr. D. Fernando Toresano Sánchez

Titulación:

Ingeniero Agrónomo. Plan 2003.

ALMERÍA, OCTUBRE 2011.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. INTERÉS Y OBJETIVOS	1
1.1. IMPORTANCIA DEL CULTIVO DEL MELÓN EN NUESTRA AGRICULTURA	1
1.2. COMERCIO EXTERIOR	7
1.3. IMPORTANCIA DE LOS CULTIVOS SIN SUELO EN NUESTRA AGRICULTURA.	10
1.4. OBJETIVOS	17
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	18
2.1. EL CULTIVO DE MELÓN EN INVERNADERO	18
2.1.1. Historia del cultivo del melón	18
2.1.2. Tipos de melón comerciales	18
2.1.2.1. Melón Amarillo	18
2.1.2.2. Piel de Sapo	19
2.1.2.3. Rochet	19
2.1.2.4. Tendral	20
2.1.2.5. Galia	20
2.1.3. Melón tipo cantaloup	20
2.1.3.1. Morfología y fisiología	20
2.1.3.2. Exigencias ambientales	27
2.1.4. Manejo del cultivo de melón	29
2.1.4.1. Ciclos de cultivo	29
2.1.4.2. Plantación	30
2.1.4.3. Manejo del microclima	31
2.1.4.4. Necesidades hídricas y fertilización	32
2.1.4.5. Poda	33
2.1.4.6. Polinización	35
2.1.4.7. Recolección	36
2.1.4.8. Plagas, enfermedades y fisiopatías del melón	36
2.2. EL CULTIVO SIN SUELO	56
2.2.1. Concepto de hidroponía	56
2.2.2. Antecedentes, evolución y situación actual	57
2.2.3. Justificación del cultivo sin suelo	60
2.2.4. Principales sustratos empleados en cultivo sin suelo	63
2.2.5. Características de los sustratos	64
2.2.5.1. Propiedades físicas	64
2.2.5.2. Propiedades químicas	69
2.2.5.3. Propiedades biológicas	72
2.2.6. Métodos para determinar el contenido de humedad del sustrato.	73
2.2.7. Métodos para estimar el pH y la salinidad del sustrato	75
2.2.8. Características del sustrato ideal	77
2.2.9. Sustrato lana de roca	79

2.2.9.1. Origen y proceso de fabricación	79
2.2.9.2. Características físico-químicas	80
2.2.9.3. Tipos de tablas de lana de roca	85
2.2.9.4. Vida útil de la lana de roca	86
2.3. LA OXIGENACIÓN DE LA RIZOSFERA DE LOS CULTIVOS	88
2.3.1. Introducción	88
2.3.2. Espacio poroso, intercambios aire-agua y difusión de oxígeno en el sustrato	89
2.3.3. Factores que afectan a la solubilidad del oxígeno en agua	92
2.3.4. Relación oxígeno-rizosfera en los cultivos en sustrato	93
2.3.5. Efecto de la hipoxia radical sobre el medio de cultivo y el cultivo	95
2.3.5.1. Efecto de la hipoxia radical sobre el medio de cultivo	95
2.3.5.2. Efecto de la hipoxia radical sobre el cultivo	96
2.3.6. Métodos de oxigenación de la rizosfera	98
2.3.6.1. Método físico o mecánico	99
2.3.6.2. Método químico	100
2.3.7. Respuesta de los cultivos al enriquecimiento de oxígeno	101
3. MATERIAL Y MÉTODOS	104
3.1. LOCALIZACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL INVERNADERO.	104
3.1.1. Otras instalaciones y equipamientos	112
3.2. MATERIAL VEGETAL	119
3.3. DISEÑO EXPERIMENTAL	119
3.4. MANEJO DEL CULTIVO	122
3.4.1. Transplante del cultivo e instalación de la manta térmica.	122
3.4.2. Destallado	123
3.4.3. Entutorado	125
3.4.4. Despunte de las plantas	126
3.4.5. Insectos auxiliares	126
3.4.6. Recolección de frutos	127
3.4.7. Control de pH y salinidad del agua de riego	128
3.4.8. Control de la concentración de oxígeno	128
3.4.9. Arranque del cultivo	129
3.4.10. Tratamientos fitosanitarios	131
3.4.11. Riego y fertilización	131
3.5. TOMA DE DATOS	132
3.5.1. Toma de datos sobre tablas	132
3.5.2. Toma de datos sobre plantas	135
3.6. PROCESADO DE DATOS Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO	136
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	137
4.1. Humedad en tabla	137
4.2. Conductividad eléctrica	140
4.2.1. Conductividad eléctrica del extracto de la tabla	140
4.2.2. Conductividad eléctrica medida directamente en el medio de cultivo	144
4.3. pH en tabla	148
4.4. Evolución del contenido medio de oxígeno en el agua del extracto de la tabla de cultivo.	151

4.5. Distribución espacial de la humedad a lo largo de las tablas de cultivo	155
4.5.1. Contenido de humedad (%) en el punto 1 de las tablas con y sin aporte de oxígeno.	155
4.5.2. Contenido de humedad (%) en el punto 2 de las tablas con y sin aporte de oxígeno.	158
4.5.3. Contenido de humedad (%) en el punto 3 de las tablas con y sin aporte de oxígeno.	161
4.5.4. Contenido de humedad (%) a lo largo del perfil de las tablas de cultivo (P1, P2 y P3) con y sin aporte de oxígeno.	164
Anexo A): Efecto del factor tipo de tabla y oxigenación sobre la morfología de la planta en un cultivo de melón cv. Vulcano.	168
A.1) Diámetro del brazo principal	168
A.2) Longitud del tallo (m)	169
5. CONCLUSIONES	172
6. BIBLIOGRAFÍA	174

Interés y objetivos

1. INTERÉS Y OBJETIVOS

1.1. IMPORTANCIA DEL CULTIVO DEL MELÓN EN NUESTRA AGRICULTURA

En España, el melón es uno de los cultivos de gran importancia, ya que la mayoría de las provincias españolas dedican alguna superficie a este cultivo ya sea en secano o en regadío, y exceptuando las Autonomías de Galicia, Cantabria, País Vasco y Asturias, esta fruta es bien conocida y cultivada por los agricultores.

En la siguiente tabla se puede observar, que dentro de las principales especies hortícolas cultivadas en nuestro país, el melón es, después del tomate, el cultivo que ocupa mayor superficie, con unas 33.388 ha, lo que da lugar a una producción de 1.042.439 t.

Si nos centramos en la superficie de melón en cultivo protegido, éste es, después del tomate y el pimiento el cultivo que ocupa más superficie bajo invernadero con una superficie cultivada de 8.119 ha, pero si nos fijamos en la superficie total, es el cultivo después del tomate, que ocupa mayor superficie cultivada con 33.388 ha.

Tabla 1. Superficie y producción de las principales especies hortícolas cultivadas en España, 2008.

Cultivos	Superficie (hectáreas)			Producción (toneladas)	
	Secano	Regadío			Total
		Aire libre	Protegido		
Tomate	479	34.951	19.438	54.868	4.049.753
Pimiento	198	7.984	10.499	18.681	918.140
Pepino	6	925	7.355	8.286	670.162
Calabacín	76	2.120	5.033	7.229	346.959
Berenjena	14	1.698	1.884	3.596	198.768
Judía verde	612	8.486	4.055	13.153	187.672
Melón	2.701	22.568	8.119	33.388	1.042.439
Sandía	2.186	8.635	4.853	15.674	723.164

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Ministerio de Medio Ambiente, Rural y Marino.

El melón es un fruto que, como podemos observar en el gráfico de la figura 1, destacan los meses de julio, agosto y septiembre los de mayor demanda en los hogares españoles y que coincide con el tiempo más cálido, disminuyendo el consumo según se va incrementando el frío, lo que demuestra que tanto la sandía como el melón son frutos apreciados durante el final de primavera, verano e inicio del otoño.

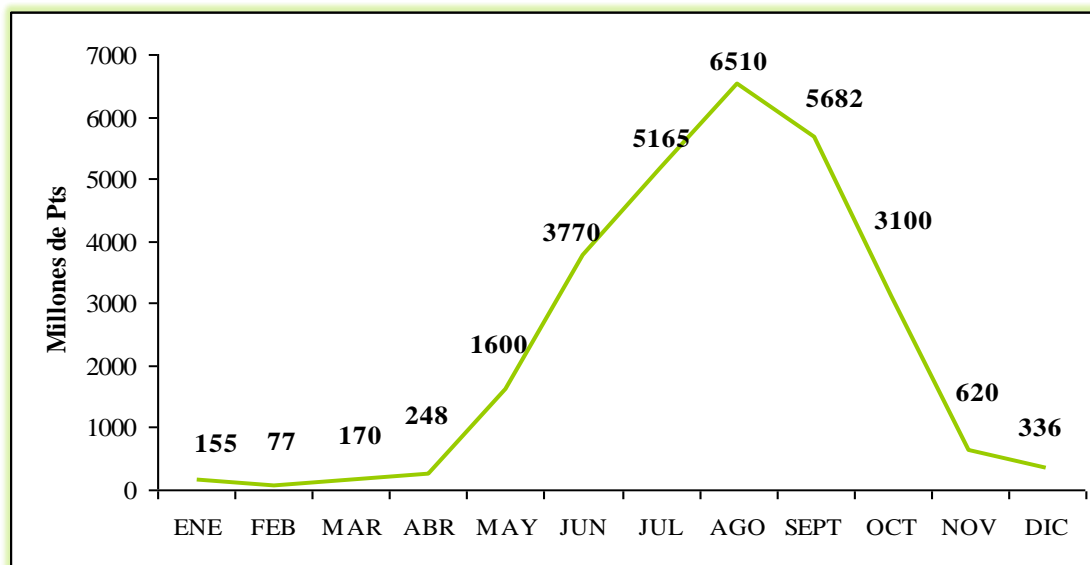


Figura 1. Evolución del consumo de melón en millones de pesetas en los hogares españoles. Media trienio 1999/2001. (Elaboración propia a partir de datos del Ministerio de Medio Ambiente, Rural y Marino).

Si observamos la evolución de la superficie cultivada de melón en España durante los últimos años, podemos apreciar una tendencia decreciente, pero podemos observar como la producción va incrementando a pesar de disminuir la superficie cultivada. Esto se debe a la aparición de nuevas variedades de mayores rendimientos, así como la mejora y especialización del cultivo.

Tabla 2. Evolución, a lo largo de los años, de la superficie (hectáreas) y producción (toneladas) del cultivo de melón en España. (M.A.R.M.)

	2004	2005	2006	2007	2008
Superficie (ha)	37.600	40.400	40.300	38.688	33.388
Producción (t)	1.071.154	1.086.718	1.041.900	1.183.154	1.042.439

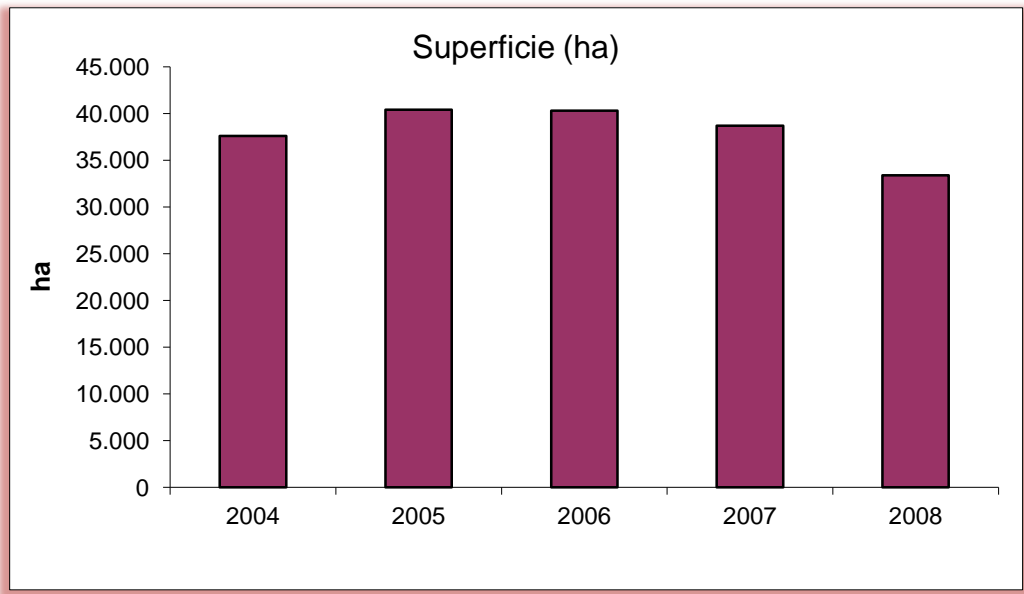


Figura 2. Evolución de la superficie (ha) del cultivo del melón en España. (Elaboración propia a partir de datos del Ministerio de Medio Ambiente, Rural y Marino).

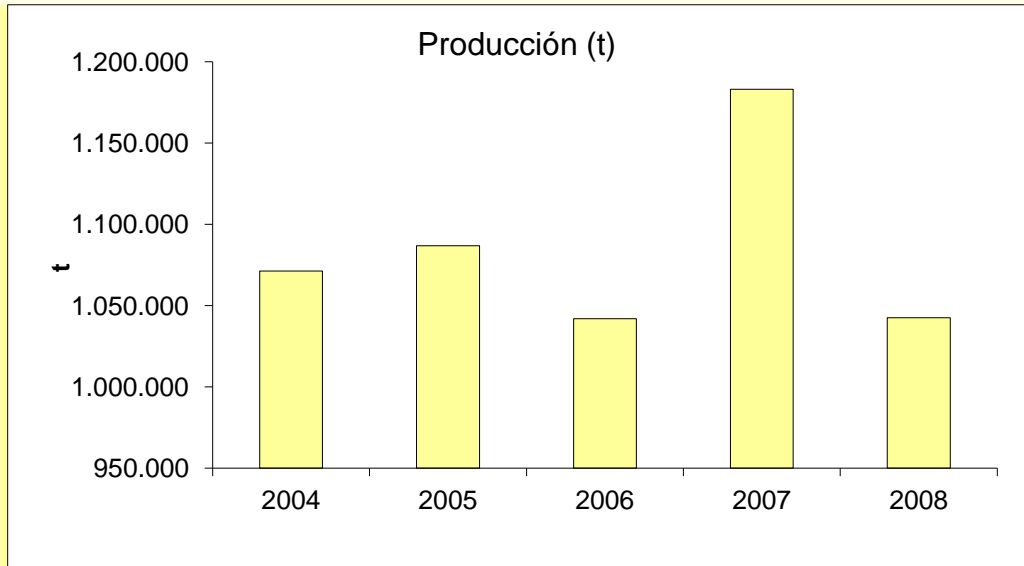


Figura 3. Evolución de la producción (t) del cultivo del melón en España. (Elaboración propia a partir de datos del Ministerio de Medio Ambiente, Rural y Marino).

Comportamiento de la lana de roca bajo distintas concentraciones de oxígeno y su efecto sobre la morfología de la planta en un cultivo de melón cv. Vulcano.

En Andalucía los principales cultivos hortícolas ocupan 67.000 ha, con una producción cercana a 4.120.000 toneladas, aportando el 27% de la producción de melones en España, lo que la sitúa en el segundo proveedor de referencia español tras Castilla La Mancha. La producción andaluza de melón se situó el año 2008 en 283.831 toneladas, de las que Almería aportó el 66% (186.621 t). (Ministerio de Medio Ambiente, Rural y Marino, 2008).

Tabla 3. Evolución en los últimos años de la superficie (hectáreas) y producción (toneladas) de melón en Andalucía.

	2006/2007	2007/2008	2008/2009
Superficie (ha)	9.221	10.599	8.982
Producción (t)	283.853	322.617	283.831

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Ministerio de Medio Ambiente, Rural y Marino.

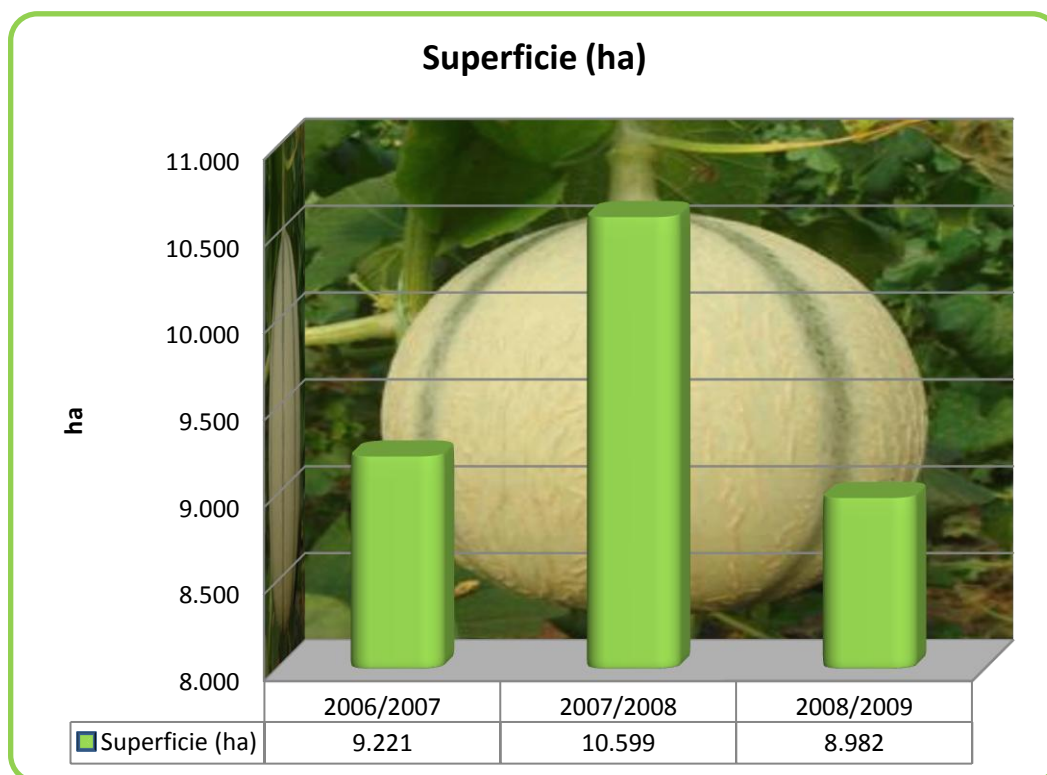


Figura 4. Evolución de la superficie (ha) del cultivo del melón en Andalucía. (Elaboración propia a partir de datos del Ministerio de Medio Ambiente, Rural y Marino).

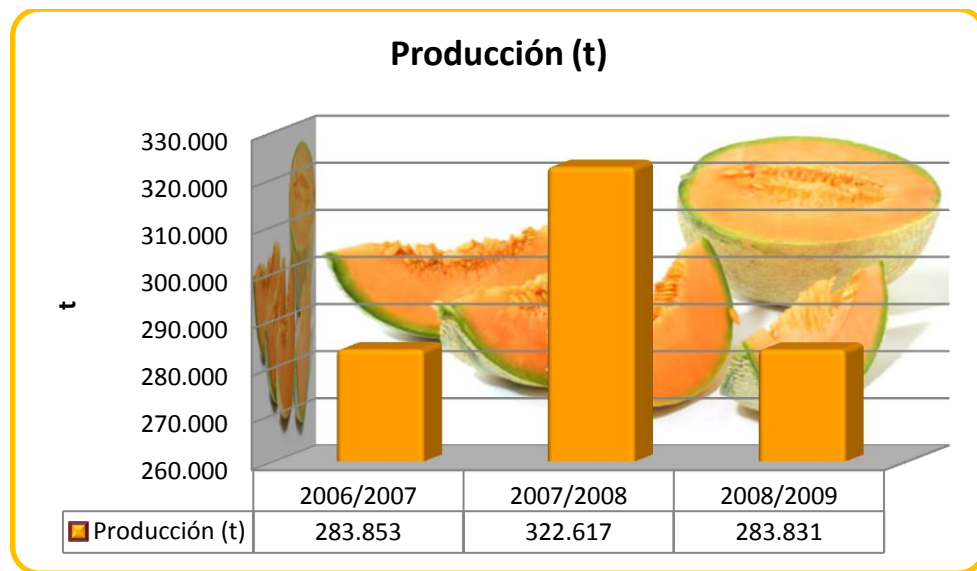


Figura 5. Evolución de la producción (t) del cultivo del melón en Andalucía.
(Elaboración propia a partir de datos del Ministerio de Medio Ambiente, Rural y Marino).

La provincia de Almería constituye la principal zona de producción hortícola intensiva de España y una de las más importantes a nivel mundial, teniendo en la actualidad una superficie invernada de 27000 ha de invernaderos (Sanjuán, 2004) y un valor de la producción comercializada de hortalizas, durante la campaña 2006/07, de casi 2100 millones de euros (Consejería de Agricultura y Pesca, 2007).

La agricultura de Almería ha evolucionado considerablemente en las tres últimas décadas hacia sistemas de cultivo cada vez más intensivos de gran importancia tecnológica y socioeconómica, incluso dentro de la Unión Europea (Aliaga, 2000). En la actualidad, la agricultura intensiva constituye uno de los pilares básicos de la economía de la provincia de Almería.

Además, es la provincia andaluza con mayor superficie cultivada de melón que el resto de provincias con un total de 4.981 ha, lo que supone el 55% de la superficie cultivada de Andalucía. Esta superficie de melón genera una producción anual aproximada de unas 186.621 t que son el 66% de la producción total andaluza.

Comportamiento de la lana de roca bajo distintas concentraciones de oxígeno y su efecto sobre la morfología de la planta en un cultivo de melón cv. Vulcano.

De de los ocho productos hortícolas principales, a los que se dedica el sector hortícola almeriense, el melón ocupa la tercera posición en cuanto a superficie cultivada, solo por detrás de cultivos como el tomate y el pimiento. En cambio, en cuanto a producción pasa a ocupar la sexta posición, por detrás también de la sandía, el pepino y el calabacín.

Tabla 4. Superficie y producción de las principales especies hortícolas cultivadas en Almería, 2008.

Cultivos	2008	
	Superficie (ha)	Producción (t)
Tomate	10.250	1.077.809
Pimiento	7.057	446.871
Melón	4.981	186.621
Sandía	4.775	332.125
Calabacín	4.492	242.921
Pepino	4.551	382.734
Judía verde	1.259	18.665
Berenjena	1.622	126.904

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del Ministerio de Medio Ambiente, Rural y Marino.

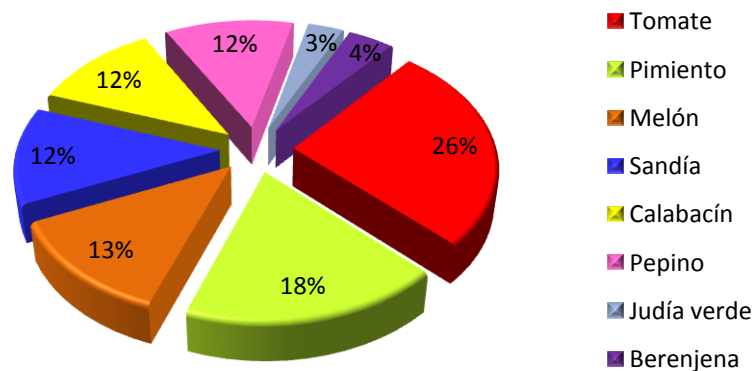


Figura 6. Distribución porcentual de la superficie cultivada de melón en la provincia de Almería para el año 2008. (Elaboración propia a partir de datos del Ministerio de Medio Ambiente, Rural y Marino).

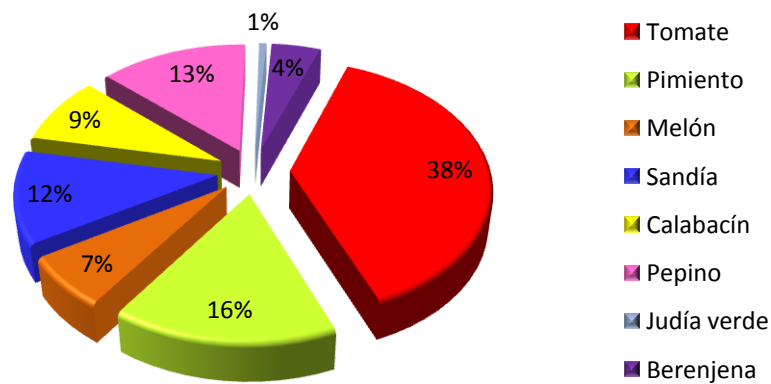


Figura 7. Distribución porcentual de la producción de melón en la provincia de Almería para el año 2008. (Elaboración propia a partir de datos del Ministerio de Medio Ambiente, Rural y Marino).

1.2. COMERCIO EXTERIOR

El comercio internacional de melón se ha venido incrementando de forma importante durante los últimos años, con una tasa media anual de crecimiento del 5,1%, motivado por el crecimiento de la producción mundial de melones.

El mercado internacional se caracteriza por la demanda de melones dulces principalmente, aunque en algunos países se pueden comercializar melones con menor cantidad de azúcar, tal es el caso del mercado británico y escandinavo, los cuales no exigen fruta demasiado madura, ya que su consumo por lo general se hace como guarnición, y cuando se consumen como postre la combinan con licores u otros productos.

España es el principal proveedor del consumo de melón en Europa a consecuencia de la diversidad de variedades que están cubriendo los gustos de los consumidores en los mercados de destino, variedades que han resuelto los problemas de transporte a larga distancia con los melones “larga vida”, así como el desarrollo de variedades con características de resistencia a enfermedades.

Comportamiento de la lana de roca bajo distintas concentraciones de oxígeno y su efecto sobre la morfología de la planta en un cultivo de melón cv. Vulcano.

En el comercio intracomunitario España es el principal exportador de melón (77,38%), le siguen con menores porcentajes Holanda (10,37%), Francia (7,69%), Alemania (1,31%). El resto de los países en Europa hace pequeñas exportaciones que no llegan al 1%.

Tabla 5. Evolución de las importaciones y exportaciones de melón en España.

AÑOS	COMERCIO EXTERIOR (toneladas)	
	Importaciones	Exportaciones
1990	488	145.067
1991	364	172.331
1992	436	146.158
1993	3.752	196.756
1994	5.863	235.348
1995	5.747	295.361
1996	7.197	348.183
1997	9.533	371.999
1998	13.844	386.311
1999	18.590	390.417
2000	17.686	339.709
2001	19.888	390.557
2002	28.955	390.397
2003	40.993	430.210
2004	47.085	396.793
2005	57.033	386.557
2006	62.728	380.039
2007	66.751	374.413
2008	67.262	349.109

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del Ministerio de medio ambiente, rural y marino.

Como podemos observar en la tabla anterior, España es un gran país exportador de melón, alcanzando en 2008 cerca de las 350.000 toneladas, mientras que las importaciones han alcanzado cerca de las 70.000 t el mismo año.

España exporta entre el 35 % y el 40% del total de su producción, principalmente con destino a los países de la Unión Europea, el 95% del total exportado. (Reche, 2008).

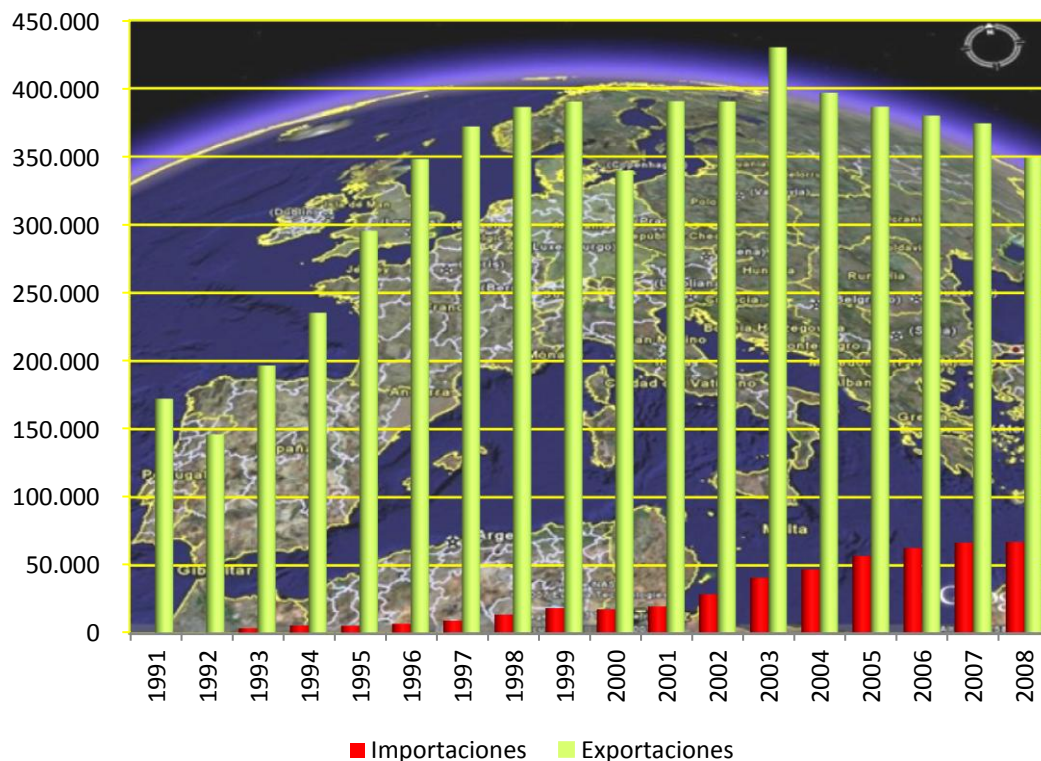


Figura 8. Evolución de las importaciones y exportaciones de melón en España. (Elaboración propia a partir de datos del Ministerio de Medio Ambiente, Rural y Marino).

Las exportaciones de melón españolas se destinan principalmente a otros países de la UE, el principal destino es Reino Unido, Alemania, Francia y Holanda. Éstas se concentran, esencialmente, durante la temporada de verano (junio-agosto), con cerca del 75% del volumen exportado. (Reche, 2008).

Considerando exclusivamente las exportaciones realizadas desde la provincia de Almería, que abarca cerca del 85% de su producción, la secuencia mensual de exportación es diferente a la fijada, concentrándose en los meses de primavera y principios de verano (abril-junio), en donde se produce el 95% del volumen exportado.

En cuanto a los principales países de destino de la producción de melón almeriense es la siguiente: Francia con el 34%, Holanda con el 18%, Alemania con el

16%, Reino Unido con el 16%, Bélgica con el 8%, Suiza con el 5% y otros países con el 3%. (Reche, 2008).

1.3. IMPORTANCIA DE LOS CULTIVOS SIN SUELO EN NUESTRA AGRICULTURA.

La evolución de los sistemas de cultivo sin suelo ha sido paralela a la de los invernaderos y su tecnología, de forma que en Europa resulta mayor en los países del norte (Holanda, Gran Bretaña, etc.). No obstante, poco a poco también empiezan a emplearse en países del sur, y en concreto en España la superficie de cultivos sin suelo, allá por el año 2003 alcanzaba las 8 000 -10 000 ha, distribuidas fundamentalmente por Almería, Murcia, Granada y Canarias. Y los sustratos mayoritariamente utilizados eran la lana de roca y la perlita. (Camacho et al., 2003).

El sureste peninsular constituye la principal zona de implantación de los cultivos hortícolas intensivos bajo invernadero en España. No es de extrañar, por tanto, que sea aquí donde se ha producido el mayor desarrollo de los cultivos sin suelo, siendo la provincia de Almería la que ha liderado dicho desarrollo.

Almería es la provincia española líder en el cultivo sin suelo, siendo la lana de roca el sustrato más utilizado. La introducción de los cultivos sin suelo en Almería tuvo lugar a finales de los años setenta con la aparición de los primeros sistemas de cultivo en sacos de turba (Cánovas y Magán, 2003, citado por Magán, 2008). En 1980 la empresa Ariel instaló una finca de experimentación para conseguir la expansión comercial del sistema NFT (García y Urrestarazu, 1999), aunque al final no se alcanzó ese objetivo debido, fundamentalmente, al bajo grado de tecnificación existente en la zona en aquel momento. Poco después se iniciaron los primeros cultivos en lana de roca en invernaderos comerciales de Almería y Murcia, al tiempo que las grandes empresas productoras comenzaron a probar otros sustratos, principalmente arena. Sin embargo, el desarrollo de los cultivos sin suelo en el ámbito comercial no se hizo notar hasta finales de los ochenta (Martínez y García, 1993, citado por Magán, 2008), siendo en la segunda

mitad de los noventa cuando se produjo su mayor expansión en Almería (Pérez-Parra y Céspedes, 2001). Esto tuvo lugar, principalmente, como consecuencia del encarecimiento de la instalación del enarenado tradicional, de forma que en muchos de los nuevos invernaderos que se construyeron se empezó a utilizar la técnica de cultivo sin suelo con el fin de abaratar costes. Asimismo influyó la reducción de las labores de mantenimiento del suelo enarenado, debido a la escasez y el encarecimiento de la mano de obra, lo que favoreció la aparición de enfermedades de suelo que se trataron de evitar mediante la hidroponía, aunque el tiempo ha demostrado que en estos sistemas también se producen serios problemas fitopatológicos.

A pesar de la importancia de los cultivos sin suelo en la provincia de Almería no se conoce con exactitud la superficie ocupada por los mismos, tan solo existen estimaciones basadas en encuestas realizadas a los agricultores que señalan la existencia de casi 5000 hectáreas de cultivo hidropónico en Almería (Valera y col., 1999; Pérez – Parra y Céspedes, 2001).

En los últimos años ha tenido lugar una ralentización en el crecimiento de la superficie de los cultivos sin suelo en Almería, debido a la menor construcción de invernaderos. Por el contrario, en Murcia se ha producido un nuevo impulso ya que, al clásico cultivo de tomate en sacos de arena, se ha unido una cierta superficie de cultivo de pimiento en sustrato como consecuencia de la prohibición del bromuro de metilo. Asimismo, la superficie de hidropónico en la costa de Granada comienza a ser significativa (Magán, 2008).

El cultivo en lana de roca es el sistema más utilizado en Europa y del que más información se tiene. Sus excelentes cualidades físicas y químicas como sustrato para el cultivo de hortalizas lo convierten en uno de los sistemas ideales para el cultivo sin suelo. Presenta una baja densidad aparente lo que facilita su transporte y manejo; una elevada porosidad total; una alta capacidad de retención de agua, algo más del 95% del

agua retenida por el sustrato es fácilmente asimilable por el cultivo, aspecto que no permite dejar sin suministro de agua al cultivo durante un largo periodo de tiempo; y alta elevada aireación. Por su baja capacidad de intercambio catiónico y su bajo poder tampón requiere un manejo exacto de la nutrición y del riego. (Baixauli et al., 2002).

Por otro lado el cultivo en lana de roca presenta una serie de inconvenientes (a pesar de sus excelentes cualidades físicas y químicas como sustrato para el cultivo de hortícolas), y es que se trata de un material no biodegradable lo cual supone problemas medioambientales a la hora de su eliminación, su durabilidad es limitada lo que da lugar a un incremento del coste por campaña con la consiguiente repercusión en la rentabilidad de las explotaciones y a que el conjunto lana de roca-solución nutritiva presenta una baja inercia térmica y química (Baixauli et al., 2002).

Además de los inconvenientes comentados anteriormente, el cultivo hortícola en sustrato de lana de roca presenta habitualmente problemas de hipoxia radical, que se ven acrecentados con la antigüedad de la tabla y con el uso de la misma, lo cual disminuye la porosidad del sustrato y por tanto el aire disponible y necesario para la respiración de la raíz.

Los sustratos predominantes en los cultivos hortícolas se caracterizan por tener un volumen restringido del medio de cultivo, una elevada densidad radical, baja porosidad y a veces una elevada concentración salina. A ello hay que añadir la ocurrencia de periodos cortos con temperaturas del sustrato claramente por debajo o por encima de los valores considerados adecuados para el desarrollo radical de los cultivos, ya que la mayoría de los invernaderos donde se instalan los sustratos son de clima pasivo. Estas características junto a la imposibilidad de adecuar completamente los aportes hídricos a las necesidades reales de la planta (muy variables), suele llevarnos a condiciones de grandes cambios para el cultivo, desde condiciones “óptimas” a condiciones de “estrés”, con respecto a la disponibilidad de agua y oxígeno.

En trabajos previos (Acuña, 2007), se ha estudiado la dinámica estacional en cuanto a la disponibilidad de oxígeno en la solución del medio de cultivo, en cultivos de melón y pimiento en sustratos de perlita y lana de roca. En dichos estudios, se ha podido comprobar que los periodos más limitantes en cuanto a disponibilidad de oxígeno coinciden con periodos con elevadas demandas hídricas (primavera, verano y otoño), normalmente asociado a altas temperaturas.

Múltiples factores afectan la $[O_2]$ en la rizosfera: *i*-sustrato: capacidad de aireación (Ansorena, 1994; Abad, 2004), el volumen por planta (Zhi *et al.*, 2007) y la edad (García *et al.*, 1997), *ii*-manejo del riego (Bonachela *et al.*, 2005), *iii*-concentración de oxígeno en la solución de riego (Pivot *et al.*, 1998), *iv*-contenido de materia orgánica en relación con la población de microorganismos en el sustrato (Abad *et al.*, 1997), *v*-temperatura ambiental (Bonachela *et al.*, 2007), *vi*-salinidad del sustrato (Barret-Lennard, 2003) y *vii*-forma y profundidad del contenedor (Urrestarazu, 2004).

En el cultivo sin suelo de Almería se dan condiciones propicias para que ocurra hipoxia en determinadas etapas críticas del cultivo. Marfa *et al.*, (2005) señalan al respecto, el aumento de la temperatura y salinidad en el sustrato, mientras que Castellanos (2006) enfatiza en la existencia de una elevada densidad radicular, alta salinidad, baja $[O_2]$ disuelto en la solución de riego y altas temperaturas. Bonachela *et al.*, (2005) plantean que la deficiencia de oxígeno puede ocurrir en periodos cuando las altas temperaturas del sustrato aumentan la tasa de respiración de la raíz.

Otros autores, indican que también puede existir deficiencias de oxígeno en periodos de baja demanda evaporativa (invierno), cuando las posibilidades de encharcamiento son mayores.

El oxígeno es usado por las raíces de las plantas para respirar (proceso que aumenta con la temperatura y con la salinidad). La hipoxia ocurre cuando la respiración radical empieza a verse afectada por deficiencia de oxígeno, no por su ausencia total.

Las condiciones de hipoxia en el medio de cultivo, parecen que tienen lugar, cuando la presión parcial de oxígeno está entre el 4% y 1% (Morad, 1995), y/o bien cuando la concentración en la solución del sustrato se sitúe por debajo de 3 ppm. (Gislerod y Kempton, 1983) y (Marfà y Guri, 1999).

Las condiciones de hipoxia pueden promover diversas alteraciones en las plantas, desde cambios morfológicos/estructurales (epinastia, clorosis, acortamiento de entrenudos, reducción de la productividad, necrosis radical, etc.) y cambios fisiológicos/metabólicos (cambios hormonales conducentes a cierres estomáticos, disminución de la permeabilidad radical, etc.). Estas alteraciones pueden afectar a la productividad de las mismas.

Considerando que la solución de riego es el vehículo para el aporte de oxígeno a las raíces, muchos autores han propuesto diferentes métodos de oxigenación en cultivos en sustrato. Tales como *i*- oxifertirrigación pura, mediante la inyección de oxígeno gaseoso a presión en la solución nutritiva o en el agua de riego (Marfà *et al.*, 2005; Bhattarai, *et al.*, 2005); *ii*- oxifertirrigación física o mecánica que consiste en la agitación mecánica de la solución nutritiva, mediante burbujeo o a través de la inyección de aire en la red de riego (Castellanos, 2006; Alcayde, 2009, López, 2009), *iii*- oxifertirrigación química a través de compuestos a base de peróxidos (Urrestarazu *et al.*, 2005; Marfà *et al.*, 2005).

Bhattarai *et al.*, (2005) señalan que bajo condiciones de hipoxia, la oxifertirrigación asegura una óptima función de la raíz, la actividad microbiana, las transformaciones minerales, mejora la eficiencia del uso del agua, el rendimiento del

cultivo y compensa los efectos negativos de la compactación y salinidad en la aireación del medio y en el crecimiento de los cultivos.

También, existe una tendencia en la fabricación de nuevas tablas de lana es mejorar tres factores importantes: la vida útil de la tabla, la aireación y la posibilidad de aumentar la densidad de plantación aumentando el volumen de lana instalado.

El objetivo de incrementar la vida útil de las tablas de lana de roca viene marcado como solución a dos problemas que le afectan; como uno de ellos es el económico debido a que el agricultor necesita un producto más resistente que le permita amortizar su coste en un número de campañas mayor, y el otro es el ecológico debido a que es necesario reducir el volumen de residuos de lana de roca residual que se producen en el campo.

Para resolver la problemática creada por los materiales de desecho originados por la utilización de los diferentes sistemas de cultivo se han creado planes de higiene rural que se encargan de gestionar el proceso de recogida y reciclado. Las empresas productoras de lana de roca están buscando estrategias para incrementar la rentabilidad de las explotaciones.

Según Grodan-Francia, 100 m³ de lana de roca usada en cultivo de tomate representa:

- De 4 a 6 Tm de diabasa, de 1 a 3 Tm de raíces biodegradables y aproximadamente 50 kg de elementos fertilizantes.
- 0,4 Tm de plástico. En nuestra zona supone 3171 m² · ha⁻¹.

La vida útil del sustrato en función del coste y rendimiento se estima en tres años y al finalizar este periodo debemos de renovarla y reciclarla, lo cual supone una carga económica importante.

Para incrementar la vida útil de las tablas se están investigando diferentes densidades aparentes, el intervalo de estudio oscila entre 60 y 75 kg · m⁻³, teniendo en cuenta que a densidades aparentes muy elevadas pueden aparecer problemas de asfixia radical, mal comportamiento de los drenajes, etc.

El problema de las limitaciones de aire disponible para la raíz, se ha manifestado en los invernaderos con lana de roca del suroeste español originado principalmente por la deficiente calidad de las aguas de riego.

Para mejorar la aireación de las tablas y mejorar la capacidad de drenaje se están estudiando diferentes grosores de las fibras de lana de roca. Se puede definir como fibra gruesa a la que tenga un diámetro mayor a 0,05 mm y fibra fina a la que posea un diámetro inferior a 0,05 mm.

Por todo lo comentado anteriormente, para mejorar y avanzar sobre el sustrato de la lana de roca, se plantean nuevas alternativas tecnológicas, basadas en:

- Desarrollo de distintos tipos de tablas de lana de roca cuya diferencia principal es la densidad de las fibras y la orientación de las mismas en la construcción de la tabla, lo cual modifica el comportamiento físico-químico de la misma, con el objetivo de aumentar su vida útil, considerando el modo de empleo reiterado durante varias campañas que se hacen en Almería.
- Inyección de aire para mejorar la oxigenación de las raíces, al tiempo que se mejora el equilibrio entre las fases líquida y gaseosa.

1.4. OBJETIVOS

El objetivo de este proyecto fue evaluar el comportamiento de distintos sustratos de lana de roca bajo distintas concentraciones de oxígeno y su efecto sobre la morfología de la planta en un cultivo de melón cv. Vulcano, para ello se evaluaron una serie de parámetros específicos tales como:

- Evaluación del comportamiento del sustrato mediante la observación de los parámetros porcentaje de humedad (%) y conductividad eléctrica ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$) medidos directamente en tablas, pH, conductividad eléctrica ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$) y oxígeno disuelto ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) en la solución nutritiva extraída del sustrato.
- Evaluación de la distribución espacial de la humedad a lo largo de la tabla, medidos en tres puntos de la tabla.
- Efecto sobre la morfología de la planta mediante la observación de los parámetros: Longitud total del tallo (m) y diámetro del brazo principal (cm).

Revisión bibliográfica

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. EL CULTIVO DE MELÓN EN INVERNADERO

2.1.1. Historia del cultivo del melón

Aunque no se conoce con certeza el origen del cultivo del melón, existen dos teorías acerca del origen del melón: unos expertos piensan que es originario de Asia meridional y otros atribuyen al continente africano su nacimiento, de hecho existen representaciones de esta fruta en tumbas egipcias de hace 4.400 años.

Lo que sí parece cierto es que su introducción en Europa fue a través del Imperio Romano, y su llegada a España a través de la dominación árabe. (Reche, 2008).

Los primeros melones cultivados en Almería, allá por los sesenta, tuvieron lugar en plantaciones al aire libre sobre suelos enarenados. Al inicio de la siguiente década, se empezaron a hacer los primeros cultivos de melón en invernadero en la Vega de Adra y Campo de Níjar (Cantón *et al.*, 2003). A finales de los setenta y principio de los ochenta, se produjo un incremento de la superficie cultivada de melón, debido a la introducción en el mercado de nuevos tipos de melones (Galia) y a los cultivos de comercializadores franceses establecidos en la zona.

2.1.2. Tipos de melón comerciales

Los tipos de melones comerciales en España son: Piel de sapo, Amarillo, Rochet, Tendral, Galia y Cantaloup (Torres, 1997; Cantón *et al.*, 2003).

2.1.2.1. Melón Amarillo

Existen dos tipos de melón Amarillo, el amarillo Canario y el amarillo Oro. La forma del fruto es alargada, siendo el amarillo canario de forma más oval y algo más alargado. Posee una piel de color amarillo, lisa o rugosa. Su carne es blanca,



cremosa, crujiente y dulce (12-14 °Brix), y su peso está comprendido entre 1 y 2,5 kg.

Su ciclo dura entorno a 90-115 días, según variedades. Posee una buena conservación y alta resistencia al transporte. Se cultiva principalmente para la exportación al mercado inglés y para el mercado interior.

Una característica propia de las plantas de melón amarillo es su vigor, menor que la mayoría del resto de melones. (Camacho *et al.*, 2003).

2.1.2.2. Piel de Sapo

Es el melón más uniforme en cuanto a calidad y producción. Sus frutos son escriturados, de 1,5 a 2,5 kg, de forma alargada ovalada y una coloración externa verde con manchas oscuras características. La pulpa es de color blanco cremosa, compacta, crujiente muy dulce (12-15 °Brix) y poco olorosa. Se trata de un melón medianamente precoz (ciclo de aproximadamente 100 días), se conservación aceptable (de 2 a 3 meses) y de buena resistencia al transporte. En cuanto a la planta es muy vigorosa y frondosa.



2.1.2.3. Rochet

Los frutos son verdes, alargados, de piel lisa ligeramente escriturada y pesan entre 1,5 y 2 kg. Su pulpa es blanca amarillenta, compacta, poco aromática pero muy dulce (14-17 °Brix) y de consistencia media. Se trata de una variedad con una precocidad media (entorno a los 100 días) y buena producción. Posee una gran resistencia al transporte pero presenta escasa conservación (1 o 2 meses como máximo).



2.1.2.4. Tendral

Se trata de un melón bastante pesado (peso medio entorno a 2 kg). Es un fruto se superficie rugosa y color verde oscuro, de forma redondeada, uniforme y poco ovalado, asurcado pero sin escriturado. La pulpa es blanca, firme, muy sabrosa, dulce pero no olorosa. Presenta una gran resistencia al transporte debido al elevado grosor de su corteza (0,5 a 1 cm) y excelente conservación. Además, se suele emplear en plantaciones tardías pues su ciclo dura aproximadamente unos 120 días. La planta es de porte medio, vigorosa y con abundantes hojas.



2.1.2.5. Galia

Frutos esféricos y reticulados de color verde que viran a amarillo intenso en la madurez. Su carne blanca es ligeramente verdosa, poco consistente, con un contenido en azúcar de 14 a 16 °Brix y su peso oscila entre 0,85 y 1,90 kg. La duración del ciclo total puede durar desde 80 días para las variedades más precoces hasta 100 días para las menos precoces. La separación del pedúnculo puede presentar alguna dificultad. La planta es menos vigorosa que la de Piel de Sapo, Rochet o Tendral.



2.1.3. Melón tipo cantaloup

2.1.3.1. Morfología y fisiología

El melón (*Cucumis melo* L.) pertenece a la familia *Cucurbitaceae*. Posee un sistema radicular abundante y de rápido desarrollo aunque superficial (la mayoría de las raíces entre los primeros 30 y 40 cm de suelo). La raíz principal pivotante es capaz de alcanzar profundidades de 1,2 m (Cantón *et al.*, 2003) y se ramifica en raíces secundarias y laterales abundantes. No forma raíces adventicias, lo que dificulta enormemente la regeneración de

raíces dañadas. Planta anual con tallos herbáceos recubiertos de formaciones pilosas y hábito de crecimiento rastrero o trepador por la presencia de zarcillos (Baudoin *et al.*, 2002).

Los tallos son sarmentosos, de color verde, flexibles y ramificados, de sección pentagonal, cuadrangular o cilíndrica en plantas jóvenes (Reche, 2008), están recubiertos de formaciones pilosas, y presentan nudos en los que se desarrollan hojas, zarcillos y flores, brotando nuevos tallos de las axilas de las hojas.

En el tallo principal se insertan las hojas de cuyas axilas brotan las ramificaciones secundarias, y de éstas surgen a su vez las ramificaciones terciarias, donde nacerán las flores femeninas portadoras de frutos (Reche, 2008).



Figura 9. Detalle del tallo de la planta de melón.

Las hojas son pecioladas, con peciolo largo de 10-15 cm, palminervias, alternas, reniformes, cubiertas de vellosidades y lobuladas, con 3-7 lóbulos de bordes dentados pero no pronunciados. Las hojas se desarrollan en cada nudo del tallo junto a los zarcillos, pudiendo variar de color y tamaño dependiendo de unas variedades u otras. En las axilas de cada hoja con el tallo principal nacen los brotes de segundo orden (Reche, 2008).

La planta adquiere un buen desarrollo, con hojas de color verde-gris oscuro. (Camacho *et al.*, 2003).



Figura 10. Detalle de una hoja de melón.

Las flores, de color amarillo, nacen en las axilas de las hojas de manera solitaria. Éstas pueden ser masculinas, femeninas o hermafroditas. Las flores masculinas, que aparecen en primer lugar en los entrenudos más bajos, son mucho más numerosas que las femeninas y las hermafroditas, que aparecen más tarde en las ramificaciones de segunda y tercera generación, conjuntamente con otras flores masculinas (Cantón *et al.*, 2003). El número de flores masculinas, femeninas y hermafroditas así como el momento de su aparición dependen del cultivar, de la interacción temperatura-luz, del uso de fitorreguladores y fertilizantes (Baudoin *et al.*, 2002).

Los días largos, las temperaturas elevadas y las giberelinas favorecen la aparición de flores masculinas, mientras que los días cortos, las temperaturas bajas y las auxinas favorecen la aparición de flores femeninas y hermafroditas. El vigor de la planta no favorece la aparición de las flores femeninas, de tal modo que cuanto mayor es el vigor,

más tardía será la aparición de las primeras flores femeninas. La proporción entre flores femeninas y masculinas aumenta desde el tallo principal hacia las ramas laterales y también desde la base hasta el ápice. La poda, al favorecer la ramificación de la planta, fuerza la aparición de flores femeninas, lo que puede inducir una cosecha más temprana.



Figura 11. Detalle de una flor de melón.

La fecundación del melón es principalmente entomófila. Para los cultivares monoicos es imprescindible el transporte del polen de la flor masculina a la femenina y para los andromonoicos, aunque no haya incompatibilidad entre el polen y el ovario de las flores hermafroditas, se recomienda también la polinización con abejas ya que no siempre coincide la dehiscencia de las anteras con la receptividad del estigma o puede que no haya suficiente cantidad de polen.

La floración suele ser escalonada para dar lugar a 2 ó 3 cortes de fruto. Las flores permanecen abiertas durante uno o dos días, abriéndose por la mañana y cerrándose al atardecer, así hasta que pasado dicho tiempo si no han sido fecundadas dejan de ser receptivas. (Reche, 2008). Una vez fecundado, el ovario comienza a engrosarse en muy

breve periodo de tiempo. Si la polinización es insuficiente, se obtienen frutos con pocas semillas frecuentemente deformados, lo que hace aconsejable la colocación de colmenas en el invernadero (Cantón *et al.*, 2003). Es recomendable para una buena polinización y uniformidad en la fecundación de los óvulos que las temperaturas en el invernadero estén próximas a los 18-20 °C, ya que en este rango se produce la apertura de los sacos polínicos.

El cuajado y crecimiento de los primeros frutos suele reducir el cuajado de los siguientes, lo cual puede ser debido, entre otros factores, a la competencia por carbohidratos (Cantón *et al.*, 2003). El fruto, clasificado como pepónide, tiene forma esférica y ligeramente aplastada, con una piel fina de color gris-verde y costillas poco marcadas.

La variedad Vulcano es vigorosa y se mantiene fuerte hasta el final del cultivo, de entrada en producción precoz y posee una buena aptitud para el cuaje. Sus frutos son melones charentais de “larga vida”, sin vitrescencia que se caracterizan por poseer un buen calibre, homogéneo, con la corteza clara y las vetas bien marcadas.

Se recolectan con facilidad y alcanzan su máximo nivel de azúcares sin llegar a despezonarse. Además, poseen una carne de color intenso y presentan una excelente conservación, tanto interna como externa. Presenta resistencia a las cepas F0, 1 y 2 de *Fusarium oxysporum* y frente a *Aphis gossypii*.

Existen muchas variedades de melón tipo Cantalupo que en la actualidad están en el mercado, las cuales se exponen en la siguiente tabla.

Tabla 6. Variedades de melón tipo Cantalupo.

VARIEDADES	CARACTERÍSTICAS
Alvaro F₁	Planta precoz, vigorosa y con gran facilidad para el cuaje, Resistente a las razas 0, 1 y 2 de <i>Fusarium</i> , a pulgones y tolerante al oídio. Variedad aconsejada para siembras tempranas. Frutos de tipo “Charentais”, esféricos, de piel lisa color vainilla y meridianos de

Comportamiento de la lana de roca bajo distintas concentraciones de oxígeno y su efecto sobre la morfología de la planta en un cultivo de melón cv. Vulcano.

VARIETADES	CARACTERÍSTICAS
	color verde. Pulpa color salmón, olorosa, consistente y muy azucarada.
Aurabel F₁	Planta con vegetación muy uniforme y equilibrada. Aconsejada para plantaciones tempranas de diciembre a enero. Resistente a las razas 0, 1 y 2 de Fusarium, a pulgones y al oídio. Frutos de piel lisa, de buena conservación y resistentes al rajado. Pulpa firme y consistente.
Bayard F₁	Variedad “media vida”, precoz, de vigor medio y con buen cuaje, recomendada para plantaciones tempranas. Resistente a las razas 0, 1 y 2 de Fusarium y tolerante a pulgones y oídio. Frutos cuyo color de corteza vira de un color verde oscuro a color amarillo en la madurez. Pulpa consistente, con alto grado de azúcar y buen aguante tras la cosecha.
Brennus F₁	Variedad precoz y muy productiva. Resistente a las razas 0,1 y 2 de Fusarium y resistente a oídio. Los frutos son de forma ovalada, pulpa jugosa y de buena calidad.
Brio F₁	Variedad de piel estriada, de larga conservación, de vigor medio con abundante cuaje y producción. Resistente a Fusarium 0,1 y 2 y tolerante a oídio. Frutos redondos, homogéneos y escriturado uniforme. Pulpa consistente con un alto contenido de azúcar.
Búster F₁	Variedad recomendada para plantaciones tempranas, vigorosa con buen equilibrio entre vegetación y cuajado del fruto. Resistente a Fusarium 0,1 y 2. Frutos de tamaño muy uniforme, alrededor de 1 kg, pulpa consistente, con un buen contenido de azúcar y un color naranja muy intenso, con escriturado fino y suturas bien diferenciadas. Es una variedad fácil de recolectar por el ligero color amarillo que presenta el escriturado durante la maduración.
Calmio F₁	Planta vigorosa, de cobertura rápida y excelente cuajado. Resistente a las razas 0,1 y 2 de Fusarium y a oídio. Recomendada para plantaciones tempranas-medias. Frutos muy bien escriturados de 1,5-2 kg de peso. Pulpa de color salmón intenso, azucarada, firme y olorosa. Buena conservación post-recolección.
Castella F₁	Variedad de larga conservación. Desarrollo vigoroso y ciclo precoz. Adaptada tanto a cultivo al aire libre como a invernadero. Resistente a las razas 0 y 2 de Fusarium y parcialmente resistente a oídio. Frutos redondos ovalados, bien escriturados, piel de color verde que vira a gris verde en la plena madurez, carne de color naranja y buen contenido en azúcar. Peso medio 1-1,5 kg.
Cezanne F₁	Planta precoz y muy productiva. Resistente a las razas 0 y 1 de Fusarium y resistencia intermedia a oídio. Frutos de peso medio 1 kg, resistentes al transporte, de color gris verde y acostillado de color oscuro. De forma redonda y pulpa de color naranja.
Chandul F₁	Planta de vigor equilibrado y gran facilidad de cuaje. Ciclo precoz con elevados rendimientos en cultivo de invernadero. Resistente a Fusarium 0, 1 y 2. Frutos de tipo Charentais, redondos, de piel lisa, color gris claro con surcos poco profundos de color verde medio oscuro, peso medio alrededor de 1 kg, carne de color anaranjado, elevado nivel de azúcar y buena capacidad de conservación.

Comportamiento de la lana de roca bajo distintas concentraciones de oxígeno y su efecto sobre la morfología de la planta en un cultivo de melón cv. Vulcano.

VARIETADES	CARACTERÍSTICAS
Charentais	Variedad con precocidad en torno a los 90 días, buen desarrollo y hojas de un color verde grisáceo. Frutos redondos, de 1-1,5 kg, de piel lisa con poco espesor, de color gris verdoso y acostillado, con suturas finas y oscuras. Pulpa de color naranja muy perfumada y jugosa, pero poco azucarada.
Cyrano F₁	Variedad muy adaptada a plantaciones tempranas. Planta rústica de buen cuaje y muy precoz. Resistente a las razas 0,1 y 2 de Fusarium y tolerante a oídio. Frutos semiescriturados, piel de color dorado en la madurez y carne de color naranja, aromática y de buena conservación.
Flores F₁	Planta con buena cobertura foliar, Variedad adecuada para ciclos tempranos-medios, finales de enero a primeros de marzo. Buena resistencia a las razas 0, 1 y 2 de Fusarium. Frutos tipo “Charentais”, esféricos y meridianos de color verde oscuro. Pulpa de color naranja y muy azucarada.
Galoubet F₁	Variedad tipo “Charentais”, precoz y productiva. Vegetación equilibrada de vigor medio y con un buen enraizamiento. Resistente a Fusarium 0,1 y 2. Frutos redondos, ligeramente escriturados y peso alrededor de 800 g. Carne firme y azucarada. Buena conservación.
Harmatan F₁	Planta vigorosa y de excelente fructificación. Con resistencia a las razas 0,1 y 2 de Fusarium, resistente a oídio y buena resistencia de pulgones. Frutos muy uniformes, escriturados y redondos.
Heliobel F₁	Planta resistente a las razas 0, 1 y 2 de Fusarium y parcialmente resistente a oídio. Frutos redondos y escriturados, de piel color verde que vira a amarillo en plena madurez, suturas de color verde oscuro. Carne jugosa de color naranja y aromática con alto contenido en azúcar. Peso medio cercano a 1 kg.
Kioto F₁	Planta frondosa y de buen cuaje. Resistente a las razas 0, 1 y 2 de Fusarium y resistente a oídio. Frutos de piel color crema, semiescriturada y muy uniforme. De excelente conservación y resistente al transporte. Pulpa consistente y muy jugosa.
Lunastar F₁	Planta de vigor medio y producción semiprecoz. Adaptada a cultivos tempranos protegidos y al aire libre. Resistente a Fusarium 0,1 y 2 y parcialmente resistente a oídio y pulgones. Frutos esféricos, de piel lisa y amarillos en la madurez. Peso medio de 0,75-1 kg. Carne firme, cremosa, aromática, de color naranja intenso y alto contenido en azúcar.
Lutetia F₁	Variedad tipo “Charentais”, de vigor medio, producción precoz y concentrada. Recomendado para cultivos en invernadero y aire libre. Resistente a Fusarium 0, 1 y 2, a pulgones y tolerante a oídio. Frutos redondos, de color amarillo en la madurez, carne de color naranja, alto contenido en azúcar y peso medio de 1 kg.
Macingno F₁	Variedad productiva con resistencia a las razas 0,1 y 2 de Fusarium y resistente a oídio. Frutos de forma ovalada con escriturado muy pronunciado y con vetas marcadas. Pulpa de color anaranjado intenso y muy dulce. Buena conservación.
Magant F₁	Planta adaptada a siembra de ciclo medio. Planta frondosa y con excelente fructificación. Resistente a las razas 0,1 y 2 de Fusarium y resistencia intermedia a oídio. Frutos con excelente conservación, uniformes, escriturados, con pulpa de color

VARIETADES	CARACTERÍSTICAS
	naranja intenso y buena conservación.
Magenta F₁	Variedad de abundante vegetación. Recomendada para plantaciones tempranas por su fácil cuajado. Resistente a Fusarium 0,1 y 2 y resistencia parcial a oídio. Peso medio de 1 kg, uniformes, resistentes al almacenamiento, escriturados con suturas bien definidas. Pulpa pigmentada de color naranja intenso.
Picasso F₁	Variedad vigorosa y con buena fructificación. Resistente a las razas 0, 1 y 2 de Fusarium y con resistencia intermedia a oídio y a pulgones. Frutos acostillados, redondos y con reticulado medio intenso. Pulpa dulce y olorosa. Peso medio de 1 kg.
Recor F₁	Variedad larga vida, vigorosa y facilidad para el cuaje. Resistencia intermedia a oídio. Frutos redondos, acostillados y con reticulado pronunciado. Pulpa de color anaranjado intenso y muy dulce.
Sirio F₁	Variedad “Charentais”, vigorosa y precoz. Buen cuaje y resistente a las razas de Fusarium 0,1 y 2 y tolerante a <i>A. gossypii</i> . Frutos lisos, de color claro y buena conservación.
Timothy F₁	Variedad resistente a Fusarium 0,1 y 2 y resistencia parcial a oídio. Recomendada para plantaciones tempranas. Frutos de peso medio entorno a 1 kg, con excelente conservación, uniformes y bien escriturados, con suturas más gruesas y definidas. Pulpa de color naranja intenso.
Topper F₁	Variedad vigorosa, precoz y de buena producción. Variedad resistente a las razas 0,1 y 2 de Fusarium. Frutos uniformes y de buena conservación, con pesos medios entorno a 1 kg, esféricos y de piel lisa. Carne firme, anaranjada, olorosa y alto contenido en azúcar.
Vulcano F₁	Melón larga vida, de planta precoz y vigorosa, con abundante vegetación, recomendada para plantaciones tempranas.

Fuente: Reche, 2008.

2.1.3.2. Exigencias ambientales

El melón es uno de los cultivos protegidos más exigentes en calor y luz (Baudoin *et al.*, 2002). Requiere calor para su cultivo y una humedad no excesiva (Cantón *et al.*, 2003). Tanto la temperatura del suelo como la del ambiente tienen gran incidencia en los procesos de germinación, floración, fecundación y maduración del fruto. La falta o exceso de calor igualmente influye en esos procesos, de tal forma que en zonas con escasa insolación su desarrollo se reduce afectando a la producción y calidad de los frutos. (Reche, 2008).

La tabla siguiente, muestra las temperaturas críticas para el cultivo de melón en las distintas fases de su desarrollo.

Tabla 7. Temperaturas máximas, mínimas y óptimas para el cultivo de melón en distintas etapas fenológicas.

Fase	Temperaturas		
	Mínima	Óptima	Máxima
Germinación	14-16 °C	24-26 °C	35-40 °C
Desarrollo del cultivo	10-12 °C	20-25 °C	30-35 °C
Temperatura mínima letal	1 °C	-	-
Temperatura mínima biológica	10 °C	-	-
Temperatura máxima biológica	-	-	40 °C
Temperatura óptima nocturna para desarrollo	-	18-20 °C	-
Temperatura óptima diurna para desarrollo	-	20-25 °C	-
Temperatura óptima de suelo para germinación	-	18-20 °C	-
Temperatura óptima para la floración y la germinación	-	20-22 °C	-
Temperatura óptima para la maduración de los frutos	-	25-30 °C	-

Fuente: Reche, 2008

La duración de la luminosidad en relación de la temperatura influye en el crecimiento de la planta y en la inducción floral, de forma que días largos y temperaturas elevadas favorecen la formación de flores masculinas, mientras que días cortos con temperaturas bajas inducen el desarrollo de flores femeninas. La fecundación de las flores y ritmo de absorción de elementos nutritivos también están estrechamente influenciados por la temperatura y las horas de iluminación.

La humedad relativa recomendada al inicio del desarrollo de la planta es del 65-75%, en floración del 60-70% y en fructificación del 55-65% (Cantón *et al.*, 2003). Por otra parte cuando existe exceso de humedad ambiental se produce una condensación de agua en las paredes del techo del invernadero que origina el goteo sobre las plantas y suelo, provocando el aumento de enfermedades aéreas y dificultan las funciones fisiológicas de la planta (Reche, 2008). Las plantas de melón necesitan bastante agua en el periodo de crecimiento y durante la maduración de los frutos. La mayor extracción de agua y

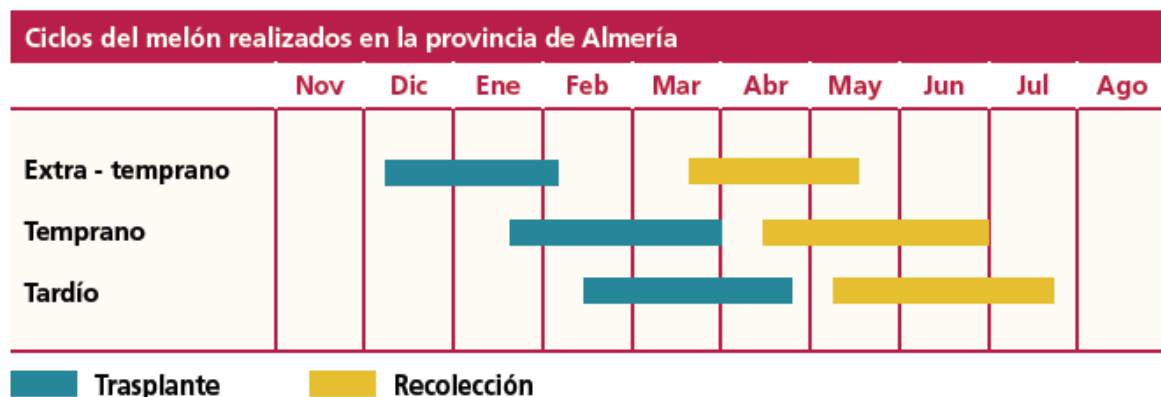
nutrientes tiene lugar justo después de la floración (Cantón *et al.*, 2003). Además, es una planta muy sensible a la asfixia radicular, que reduce drásticamente el desarrollo de los pelos radiculares y que puede tener repercusiones en la formación de los frutos.

El dióxido de carbono es un factor indispensable para la fotosíntesis, estando muy interrelacionado con la humedad y la temperatura. Como norma general, por medio de una buena ventilación en las horas centrales de la mañana, se proporciona a las plantas la cantidad suficiente. (Reche, 2008).

2.1.4. Manejo del cultivo de melón

2.1.4.1. Ciclos de cultivo

El melón en invernaderos se siembra desde el mes de diciembre hasta abril, dependiendo de la fecha que se desee recolectar y el destino de la producción. Por la fecha de siembra o plantación pueden considerarse tres ciclos productivos para el cultivo de melón: (Maroto, 1997 y Camacho *et al.*, 2003).



- ✓ **Ciclo extra-temprano:** La siembra se realiza a mediados de diciembre, en algunas zonas incluso un mes antes, generalmente en semilleros, sembrando sobre bandejas rellenas de turba colocadas en invernaderos dotados de calefacción. El trasplante se realiza generalmente unos 45-50 días después. La recolección de las plantas cultivadas en este ciclo suele producirse a los 120-

130 días, aunque algunas variedades como por ejemplo las del tipo Galia se pueden adelantar en su recolección algunos días. Este ciclo es el que se sigue generalmente con la utilización de los modernos híbridos, principalmente Cantalupos y Galia, en el cultivo para la exportación más precoz, del litoral mediterráneo (Almería).

- ✓ **Ciclo temprano:** La siembra se realiza desde mediados de marzo a mediados de abril. La recolección puede iniciarse a partir de mediados de junio. Este ciclo es característico de determinadas zonas del litoral mediterráneo como Almería, Murcia, Valencia, etc.
- ✓ **Ciclo normal-tardío:** Las siembras se realizan entre mediados de abril y mediados de mayo, normalmente siembra directa, y comenzándose la recolección a mediados de julio.



2.1.4.2. Plantación



El transplante debe realizarse evitando las horas de máximo calor, por la mañana o por la tarde (García, 2000). El taco con las plántulas procedente del semillero se coloca sobre los agujeros de la tabla y se fija con las piquetas de los goteros. Una vez finalizado el transplante se aplica un riego de 250-300 ml, evitando las horas de máximo calor, para homogeneizar

la solución nutritiva del taco con la de la tabla, asegurar el íntimo contacto entre el taco y el sustrato y facilitar el anclaje de las raíces a éste. La plantación se suele efectuar cuando la planta tiene 2-3 hojas verdaderas. En cultivo rastrero, la planta se extiende en el suelo,

mientras que el cultivo “entutorado” se apoya en hilos o mallas y la planta se desarrolla en sentido vertical.

Las densidades de plantación depende de la variedad, de la fecha de siembra, de las características del invernadero, del tipo de agua con las que se va a regar y, por supuesto, del tipo de conducción que se le vaya a dar al melón: con desarrollo vertical o rastrero.

Según Camacho *et al.*, (2003), en cultivo “entutorado” la densidad de las plantas puede variar entre 0,8-1,5 plantas/m², incluso se llega a veces hasta las 2 plantas/m² en plantaciones que se van a hacer a un solo tallo. Para aquellos que crecen en el suelo, rastreros, varía entre 0,75-1,2 plantas/m². El marco de plantación puede variar: entre filas: 2-2,5 m y entre plantas: 0,5-1 m.

2.1.4.3. Manejo del microclima

Dentro del invernadero se emplean distintos sistemas de protección climática con plásticos o mantas agrotexiles para favorecer la adaptación de las plántulas desde los semilleros a los



Figura 12. Detalle de la manta térmica colocada por encima de las plantas.

invernaderos de cultivo, buscando reducir el estrés que sufren las plantas tras el transplante. Entre ellos podemos distinguir: los tunelillos (filmes de plástico que se disponen sobre semicírculos metálicos a lo largo de las líneas de cultivo), el doble techo de film transparente colocado por encima del emparrillado de forma plana o bien a dos aguas para

evitar que la humedad acumulada caiga sobre el cultivo, bandas o cortados de plástico para un reparto más homogéneo de las temperaturas y la manta térmica que se coloca por encima en contacto con las plantas (Camacho *et al.*, 2003).

2.1.4.4. Necesidades hídricas y fertilización

Dentro del ciclo del melón, Reche (2008) diferencia cuatro etapas:

- Desde la germinación hasta la aparición de las primeras flores masculinas y/o hermafroditas. Se caracteriza por un lento aumento del aparato vegetativo y una estabilidad media en cuanto a la demanda hídrica de la planta.
- Fase de fecundación. Comprende desde la aparición de las primeras flores perfectas al final de la fecundación de los primeros frutos. Se caracteriza por el desarrollo del aparato vegetativo, por la fecundación de los primeros frutos, y por un aumento importante de la demanda hídrica de la planta.
- Fase de engrosamiento de los frutos. Abarca desde la fecundación hasta las primeras fases de maduración de los frutos en que éstos alcanzan su tamaño máximo. Esta fase está caracterizada por un crecimiento abundante del aparato vegetativo, un aumento importante del tamaño de los frutos y una gran demanda hídrica de la planta que se mantienen constante durante todo este periodo.
- Fase de maduración. Comprende desde el principio de la maduración hasta la recolección de los frutos. Se reconoce por la reducción del crecimiento, el cambio en las características morfológicas de los frutos que conduce a su madurez total y por una reducción importante de la demanda hídrica de la planta.

Para el abonado es aconsejable el uso de soluciones estándar modificadas en función del desarrollo del cultivo. Camacho *et al.* (2003) aconseja la siguiente solución:

Tabla 8. Solución nutritiva estándar para un cultivo de melón en hidroponía.

MACRONUTRIENTES (mmol·L⁻¹)								
	NH₄⁺	NO₃⁻	PO₄⁻	K⁺	Ca⁺⁺	Mg⁺⁺	CO₃H⁻	SO₄⁼
Melón	0,2-0,5	9-16	0,6-1,2	4-8	4-8	1,5-3	< 1,5	1,5-2

MICRONUTRIENTES (μmol·L⁻¹)						
	Fe	Mn	Zn	Cu	B	Mo
Melón	33,5	15	2,3	1	14,8	0,52

Las recomendaciones expuestas en los cuadros anteriores son meramente indicativas, ya que dependerá del criterio a seguir por el técnico en cuestión a medida que avanza el desarrollo del cultivo y basándose en los diferentes estados de desarrollo de la planta, se realizaran los ajustes pertinentes en la solución nutritiva. Es conveniente realizar análisis periódicos de la solución de drenaje y de la tabla (cuando trabajemos con lana de roca).

Se realizarán medidas diarias del volumen de agua drenado, de la C.E. y del pH de la solución, bien sea en drenaje ó en la tabla, dependiendo del sistema de cultivo hidropónico que estemos trabajando y del tipo de sustrato que posea (Camacho *et al.*, 2003).

Las necesidades de agua y fertilizantes de la planta varían con el desarrollo y el crecimiento del melón. Hasta la floración aportes de fósforo junto a riegos cortos favorecerán el enraizamiento y la floración (Gómez-Guillamón *et al.*, 1997). De floración a cuajado se debe aportar fósforo y potasio, evitando los excesos de nitrógeno, que lo que hace es favorecer el desarrollo vegetativo. En este periodo los riegos deben ser regulares pero cortos para evitar excesos de humedad. Entre cuajado y máximo crecimiento de frutos, la planta demanda más agua y nutrientes, especialmente nitrógeno, potasio, magnesio y calcio, por lo que los riegos deberán ser regulares y abundantes. Durante la maduración de

los frutos las necesidades de agua y nutrientes disminuyen considerablemente, por lo que deben espaciarse y acortarse los riegos, pero deberán aumentarse las cantidades de potasio.

2.1.4.5. Poda

Baudoin *et al.* (2002) afirman que la poda del cultivo de melón estimula la ramificación, disminuye el vigor de la planta y fomenta la aparición de flores femeninas.

Otros autores, como Gómez-Guillamón *et al.* (1997) y Camacho *et al.* (2003) también señalan que la poda acelera la madurez, facilita la ventilación y la aplicación de los tratamientos fitosanitarios, aumenta la precocidad y permite controlar la cantidad y el tamaño de los frutos.

Suele diferenciarse la poda del cultivo entutorado (generalmente, con hilo de rafia) de la del cultivo rastrero.

- En el cultivo rastrero, cuando las plantas tienen 4 ó 5 hojas verdaderas se despunta el tallo principal por encima de la 4ª, 5ª o 6ª hoja, dependiendo del número de rastras de segundo orden que se quieran dejar a la planta. De las axilas de las hojas dejadas surgen los tallos laterales de 2º orden que también son podados cuando tienen 5-6 hojas, se despuntan por encima de la 4ª, 5ª o 6ª hoja. De estas rastras de 2º orden nacerán las de 3er orden, principales portadoras de las flores femeninas. En estos tallos la poda que se realiza es la siguiente, los tallos que llevan fruto se despuntan dejando 1-2 hojas por encima del fruto. Las yemas de las hojas dejadas se suprimen para evitar nuevas brotaciones. No es aconsejable dejar más de un fruto por tallo. Los tallos que no lleven fruto se despuntan por encima de la 4ª o 5ª hoja para evitar su crecimiento exagerado (Reche, 2008).
- En el cultivo entutorado, con la formación vertical de la planta se consigue mayor aprovechamiento de la superficie y del espacio permitiendo incrementar el número de plantas/ha. La poda de formación para melón “entutorado” puede realizarse conformando la planta a 1-2 tallos. El sistema a 2 brazos es el más empleado en los invernaderos de la zona mediterránea para variedades de fruto mediano y pequeño.

La realización de la poda es la siguiente, cuando la planta tiene 3-4 hojas verdades se despunta el tallo principal por encima de la 3ª hoja dejando sólo los dos brotes mejor constituidos, que son los que se “entutoran”, constituyendo el armazón de la planta. Todas las brotaciones que nazcan de los tallos de 2º orden y hasta una altura de 50 cm del suelo se eliminan. A partir de esa altura, las rastras de 3er orden que lleven fruto se despuntan, dejando 1-2 hojas después del fruto, suprimiendo las yemas que nacen junto a las hojas. Los tallos que no lleven fruto se despuntarán después de la 4ª-5ª hoja (Reche, 2008).

2.1.4.6. Polinización

En el cultivo en invernadero para favorecer el cuajado del fruto se realizan varias técnicas: de tipo mecánico, mediante vibración para favorecer el mayor desprendimiento de polen de la flor y mediante insectos. Introducción de colmenas de abejorros tanto del *Bombus terrestris* como *B. canariensis* (Cadenas *et al.*, 2003). No se debe retrasar en colocar las colmenas, porque la abeja puede tardar, en algunos casos, varios días en adaptarse al invernadero y podemos encontrarnos con una planta con demasiado vigor y muy cerrada, siendo más dificultosa una correcta polinización. Se ha de colocar al menos una colmena por cada 5.000 m², aunque lo normal es colocar dos e incluso tres.

Las etapas de altas temperaturas y, en contra posición, las bajas temperaturas afectan a la actividad de los abejorros y por supuesto a las desavenencias que conllevan las condiciones climáticas en la floración (Rodríguez *et al.*, 2001; Castilla, 2001). Las colmenas se han de introducir con las primeras inflorescencias y deben permanecer sombreadas para evitar el exceso de luz y temperatura y el efecto de la lluvia; siendo importante que el invernadero quede herméticamente cerrado (Rodríguez *et al.*, 2001).

La floración, cuando se inicia, se produce a primeras horas de la mañana. Las flores masculinas aparecen antes que las femeninas, en grupos de 3-5 flores y nunca en los nudos donde se encuentran las flores femeninas. Estas se presentan solas en el extremo de unos

pedúnculos que brotan de los tallos secundarios de la planta. Las flores pistilares pueden estar receptivas hasta 2-3 días. Las que no han sido fecundadas se caen.

La fecundación se produce después de las 24 horas que necesita el tubo polínico para llegar al ovario. Si la polinización es insuficiente, se obtienen frutos que contienen menos semillas y frecuentemente deformados, lo que hace aconsejable la colocación de colmenas en las plantaciones. También es conveniente de cara a una buena polinización que la temperatura en el momento en que se abren las flores masculinas sea lo más próxima posible a 20 °C (Camacho *et al.*, 2003).

2.1.4.7. Recolección

Los melones tipo Cantalupos se cosechan por madurez y no por tamaño. Idealmente la madurez comercial corresponde al estado firme-maduro o “3/4 desprendido”, que se identifica cuando al cortar la fruta suavemente, ésta se desprende de la planta.

Los melones Cantalupos maduran después de la cosecha pero su contenido de azúcar no aumenta. El color externo de los frutos en estado “3/4 desprendido” varía entre cultivares, pudiendo caracterizarse por la presencia de tintes verdosos. El color de la piel en estos cultivares es típicamente gris a verde opaco cuando el fruto no tiene madurez comercial, verde oscuro uniforme en madurez comercial y amarillo claro en plena madurez de consumo. El rango óptimo de sólidos solubles para recolección oscila entre 12 y 14 °Brix.

2.1.4.8. Plagas, enfermedades y fisiopatías del melón

a) Plagas del melón

Araña roja (*Tetranychus urticae*, *Tetranychus cinnabarin*)

Los primeros síntomas se precian en el haz de las hojas con manchas amarillentas, mientras que en el envés se observa la presencia de las arañas.

Comportamiento de la lana de roca bajo distintas concentraciones de oxígeno y su efecto sobre la morfología de la planta en un cultivo de melón cv. Vulcano.

Los daños son debidos al debilitamiento de la planta como consecuencia de las numerosas picaduras para su alimentación, así como la disminución de las funciones de las hojas que terminan por secarse.



Figura13. Decoloración en hoja de melón atacada por *Tetranychus* spp.



Figura 14. Hoja de melón con zonas secas y tela de araña producida por *Tetranychus* spp.

Control biológico mediante enemigos naturales

Principales especies depredadoras de huevos, larvas y adultos de araña roja: *Amblyseius californicus*, *Phytoseiulus persimilis* (especies autóctonas y empleadas en sueltas), *Feltiella acarisuga* (especie autóctona).

Control químico

Tabla 9. Productos fitosanitarios para controlar araña roja en cultivos de melón.

FORMULADOS QUÍMICOS	
ACRINATRIN 7,5% [EW] P/V	AZUFRE 80% [WP] P/P
AZUFRE 60% [DP] P/P	AZUFRE 90% [DP] P/P
AZUFRE 72% [SC] P/V	AZUFRE 98,5% () [DP] P/P
AZUFRE 75% [WP] P/P	AZUFRE 99% [DP] P/P
AZUFRE 80% [SC] P/V	PIRIDABEN 20% [WP] P/P
AZUFRE 80% [WG] P/P	SPIROMESIFEN 24% [SC] P/V

Fuente: Registro de productos fitosanitarios. Ministerio de Medio Ambiente, Rural y Marino, 2011.

Mosca blanca (*Trialeurodes vaporariorum* y *Bemisia tabaci*)

Las partes jóvenes de las plantas son colonizadas por los adultos, realizando las puestas en el envés de las hojas. De éstas emergen las primeras larvas, que son móviles. Tras fijarse en la planta pasan por tres estados larvarios y uno de pupa, este último característico de cada especie.

Esta plaga ocasiona dos tipos de daños. Los daños directos (amarillamientos y debilitamiento de las plantas) son ocasionados por larvas y adultos al alimentarse, absorbiendo la savia de las hojas.



Figura 15. Adultos de *Trialeurodes vaporariorum*.

Los daños indirectos se deben a la proliferación de

negrilla sobre la melaza producida en la alimentación, manchando y depreciando los

frutos y dificultando el normal desarrollo de las plantas. Ambos tipos de daños se convierten en importantes cuando los niveles de población son altos. Otros daños indirectos se producen por la transmisión de virus, al actuar como insectos vectores del virus del amarillamiento del pepino y el melón (CuYV).

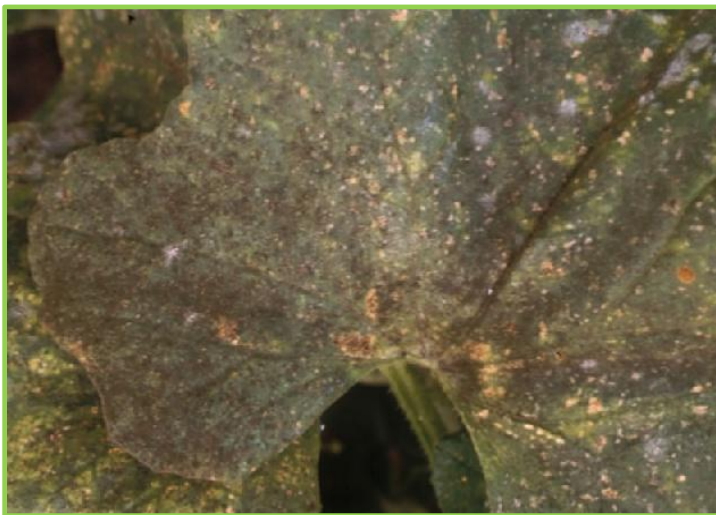


Figura 16. Detalle de negrilla en hoja de melón asociada a *Trialeurodes vaporariorum*.

Control biológico

Principales parásitos de larvas de mosca blanca:

Trialeurodes vaporariorum. Fauna auxiliar autóctona: *Encarsia formosa*, *Encarsia transvena*, *Encarsia lutea*, *Encarsia tricolor*, *Cyrtopeltis tenuis*. Fauna auxiliar empleada en sueltas: *Encarsia formosa*, *Eretmocerus californicus*, *Eretmocerus sineatis*.

Bemisia tabaci. *Eretmocerus mundus*, *Encarsia transvena*, *Encarsia lutea*, *Cyrtopeltis tenuis*, *Eretmocerus californicus*.

Control químico

Tabla 10. Productos fitosanitarios para controlar mosca blanca en cultivos de melón.

FORMULADOS QUÍMICOS	
ACEITE DE PARAFINA 75% [EC] P/V	LAMBDA CIHALOTRIN 2,5% [WG] P/P
ACEITE DE PARAFINA 85% [EC] P/V	OXAMILO 10% [SL] P/V
ACETAMIPRID 20% [SG] P/P	PIMETROZINA 25% [WP] P/P
ALFA CIPERMETRIN 10% [EC] P/V	PIMETROZINA 50% [WG] P/P
AZADIRACTIN 3,2% [EC] P/V	PIRIDABEN 20% [WP] P/P
BEAUVERIA BASSIANA 10,6% [SC] P/V	SALES POTASICAS 15% [SL] P/V
BEAUVERIA BASSIANA 2,3% [OD] P/V	SPIROMESIFEN 24% [SC] P/V
BEAUVERIA BASSIANA 22% [WP] P/P	TIACLOPRID 48% [SC] P/V
IMIDACLOPRID 20% [OD] P/V	TIAMETOXAM 25% [WG] P/P
IMIDACLOPRID 20% [SL] P/V	ZETA-CIPERMETRIN 1,5% [EC] P/V
IMIDACLOPRID 70% [WG] P/P	ZETA-CIPERMETRIN 10% [EW] P/V
LAMBDA CIHALOTRIN 10% [CS] P/V	

Fuente: Registro de productos fitosanitarios. Ministerio de Medio Ambiente, Rural y Marino, 2011.

Áfidos (*Aphis gossypii* y *Myzus persicae*)

La colonización por áfidos en plantaciones de melón se realiza principalmente a través de formas aladas que llegan a la planta, iniciándose la colonia con formas ápteras e inmaduras.

Los daños directos son producidos por la absorción de savia de larvas y adultos durante la alimentación, lo que provoca en los órganos de la planta una reducción de su

desarrollo con deformaciones, abullonaduras y enrollamiento de las hojas hacia el envés, con un retraso general de la planta.

Los indirectos se producen porque la fracción de savia absorbida y no aprovechada es eliminada por los sifones durante la alimentación. Esta sustancia pegajosa tiene un elevado contenido en azúcares, sirviendo como medio de cultivo a hongos saprofitos como la fumagina ó negrilla. Otro de los daños ocasionados es la transmisión de virus tales como Virus del Mosaico del Pepino (CMV).



Figura 17. Detalle de abarquillamiento en hoja de melón asociado a *Myzus persicae*.

Control biológico

Especies depredadoras autóctonas: *Aphidoletes aphidimyza*.

Especies parasitoides autóctonas: *Aphidius matricariae*, *Aphidius colemani*, *ysiphlebus testaceipes*.

Especies parasitoides empleadas en sueltas: *Aphidius Coleman* y *Lysiphlebus testaceipes*.

Control químico

Tabla 11. Productos fitosanitarios para controlar pulgones en cultivos de melón.

FORMULADOS QUÍMICOS	
ACEITE DE PARAFINA 75% [EC] P/V	IMIDACLOPRID 20% [SL] P/V
ACEITE DE PARAFINA 85% [EC] P/V	IMIDACLOPRID 70% [WG] P/P
ACETAMIPRID 20% [SG] P/P	LAMBDA CIHALOTRIN 10% [CS] P/V
ALFA CIPERMETRIN 10% [EC] P/V	LAMBDA CIHALOTRIN 2,5% [WG] P/P
AZADIRACTIN 3,2% [EC] P/V	OXAMILO 10% [SL] P/V
AZUFRE 40% + CIPERMETRIN 0,5% [DP] P/P	PIMETROZINA 25% [WP] P/P
CIPERMETRIN 0,5% [DP] P/P	PIMETROZINA 50% [WG] P/P
CIPERMETRIN 10% [EC] P/V	PIRETRINAS 4% (EXTR. DE PELITRE) [EC] P/V

FORMULADOS QUÍMICOS	
CIPERMETRIN 20% [WP] P/P	PIRIMICARB 50% [WG] P/P
CIPERMETRIN 5% [EC] P/V	TIACLOPRID 48% [SC] P/V
DELTAMETRIN 1,5% [EW] P/V	TIAMETOXAM 25% [WG] P/P
DELTAMETRIN 2,5% [EC] P/V	ZETA-CIPERMETRIN 1,5% [EC] P/V
FLONICAMID 50% [WG] P/P	ZETA-CIPERMETRIN 10% [EW] P/V
IMIDACLOPRID 20% [OD] P/V	

Fuente: Registro de productos fitosanitarios. Ministerio de Medio Ambiente, Rural y Marino, 2011.

Trips (*Frankliniella occidentalis*)

Las puestas de huevos las realizan las hembras adultas de forma aislada dentro de los tejidos de donde salen las larvas, que recién nacidas son de color blanco y que conforme van creciendo, van tomando una coloración más amarillenta y oscura hasta alcanzar el estadio de pupa inmóvil y el estado de adulto.



Figura 18. Detalle de larva neonata, L2 y adulto de *Fankliniella occidentalis* en melón.



Figura 19. Detalle de placas plateadas secas en hoja de melón producidas por *Fankliniella occidentalis*.

Las larvas y adultos pueden localizarse en todas las partes de la planta abundando sobre todo en las flores, donde se refugian y son difíciles de ver. Al alimentarse vacían las células del parénquima, que pierden su coloración propia.

En las hojas afectadas, se observan unas placas o manchas plateadas y brillantes que con el tiempo se necrosan. En las flores, los daños se traducen a malformaciones. Cuando las picaduras son numerosas y extensas en el fruto, en ciertos tipos de melones como cantaloup, pueden ser causa de una depreciación en la calidad comercial. Las picaduras producen manchas plateadas en los frutos.



Figura 20. Detalle de daños por alimentación de *Fankliniella occidentalis* (zona con concavidades crateriformes).

Control biológico

Fauna auxiliar autóctona: *Amblyseius barkeri*, *Aeolothrips sp.*, *Orius spp.*

Control químico

Tabla 12. Productos fitosanitarios para controlar trips en cultivos de melón.

FORMULADOS QUÍMICOS	
ACEITE DE PARAFINA 75% [EC] P/V	FORMETANATO 50% (HIDROCLORURO) [SP] P/P
ACEITE DE PARAFINA 85% [EC] P/V	LUFENURON 5% [EC] P/V (*)
ACRINATRIN 7,5% [EW] P/V	OXAMILO 10% [SL] P/V
AZADIRACTIN 3,2% [EC] P/V	SPINOSAD 48% [SC] P/V (*)
AZUFRE 40% + CIPERMETRIN 0,5% [DP] P/P	

(*) Uso protegido

Fuente: Registro de productos fitosanitarios. Ministerio de Medio Ambiente, Rural y Marino, 2011.

Minadores de hojas (*Liriomyza trifolii*, *Liriomyza bryoniae*, *Liriomyza strigata*, *Liriomyza huidobrensis*)

Las hembras adultas realizan las puestas dentro del tejido de las hojas jóvenes, donde comienza a desarrollarse una larva que se alimenta del parénquima, ocasionando las típicas galerías. La forma de las galerías es diferente, aunque no siempre distinguible, entre especies y cultivos. Una vez finalizado el desarrollo larvario, las larvas salen de las hojas

para pupar, en el suelo o en las hojas, para dar lugar posteriormente a los adultos. (Camacho *et al.*, 2003).

Control biológico

Especies parasitoides autóctonas: *Diglyphus isaea*, *Diglyphus minoens*, *Diglyphus rassinervis*, *Chrysonotomyia formosa*, *Hemiptarsenus zihalisebessi*.



Figura 21. Galerías producidas por larvas de *Liriomyza* sp. en hojas de melón.

Especies parasitoides empleadas en sueltas: *Diglyphus isaea*.

Control químico

El producto fitosanitario permitido y recomendado para controlar minadores de hojas en cultivos de melón es Azadiractin 3,2% [EC] P/V.

Noctuidos (*Spodoptera exigua*, *Spodoptera littoralis*, *Plusia* spp., *Heliothis* spp.)

Las mariposas depositan los huevos sobre el envés de las hojas en ooplacas o plastones, con un número variable y envueltos en una masa de escamas blancas en el caso del género *Spodoptera* o de forma aislada y sin escamas en los de *Plusia* y *Heliothis*. Las larvas recién eclosionadas se agrupan sobre los tallos y hojas. Las larvas



Figura 22. Comeduras de *Spodoptera* spp. en hoja de melón.

más desarrolladas tienen tendencia a vivir aisladamente, causando los mayores daños.

Los síntomas que se aprecian son las hojas con zonas comidas en forma redondeada y distribuidas por toda ella. Las larvas pequeñas dejan la epidermis de las hojas. En fruto, se puede observar hendiduras superficiales o comeduras que marcan los frutos. (Camacho *et al.*, 2003).

Control biológico

Parásitos autóctonos: *Apantelles plutellae*.

Patógenos autóctonos: Virus de la poliedrosis nuclear de *S. exigua*.

Productos biológicos: *Bacillus thuringiensis*.

Control químico

Tabla 13. Productos fitosanitarios para controlar trips en cultivos de melón.

FORMULADOS QUÍMICOS	
ALFA CIPERMETRIN 10% [EC] P/V	CIPERMETRIN 10% [EC] P/V
AZADIRACTIN 3,2% [EC] P/V	CIPERMETRIN 20% [WP] P/P
AZUFRE 40% + CIPERMETRIN 0,5% [DP] P/P	CIPERMETRIN 5% [EC] P/V
BACILLUS THURINGIENSIS AIZAWAI 15% (15 MILL. DE U.I./G) [WG] P/P (*)	DELTAMETRIN 1,5% [EW] P/V
BACILLUS THURINGIENSIS KURSTAKI 10% (10 MILL. DE U.I./G) [WP] P/P	DELTAMETRIN 2,5% [EC] P/V
BACILLUS THURINGIENSIS KURSTAKI 11,8% (11,8 MILL. DE U.I./G) [SC] P/V	EMAMECTINA 0,855% (BENZOATO) [SG] P/P
BACILLUS THURINGIENSIS KURSTAKI 18% [WG] P/P	FLUBENDIAMIDA 24% [WG] P/P
BACILLUS THURINGIENSIS KURSTAKI 24% [SC] P/V	INDOXACARB 30% [WG] P/P (*)
BACILLUS THURINGIENSIS KURSTAKI 32% (32 MILL. DE U.I./G) [WG] P/P	LAMBDA CIHALOTRIN 2,5% [WG] P/P
BACILLUS THURINGIENSIS KURSTAKI 32% (32 MILL. DE U.I./G) [WP] P/P	ZETA-CIPERMETRIN 1,5% [EC] P/V
BACILLUS THURINGIENSIS KURSTAKI 32% (KURSTAKI 30.36, CEPA SA-11; 32 MILL. DE U.I./G) [WG] P/P	ZETA-CIPERMETRIN 10% [EW] P/V

(*) Uso protegido

Fuente: Registro de productos fitosanitarios. Ministerio de Medio Ambiente, Rural y Marino, 2011.

b) Nemátodos



El género *Meloidogyne* es el único que causa daños de importancia económica a melón. *Meloidogyne javanica* y *Meloidogyne arenaria* han sido las especies más recientemente encontradas e identificadas en los cultivos hortícolas de Almería. Los ataques suelen presentarse en rodales donde las plantas muestran un crecimiento irregular y pobre con una tendencia a marchitarse fácilmente por desequilibrios hídricos, más acentuados durante la fructificación. Al arrancar éstas plantas se pueden apreciar unos abultamientos (agallas o nódulos) en las raíces, característicos de esta afección. Ha dado buen resultado la solarización. En pretrasplante se están utilizando desinfecciones a base de dicloropropeno, el tiempo de espera en estos casos es de 21 días. Cuando el cultivo está implantado y se nos presenta el ataque se aplican tratamientos al suelo con oxamilo. (Camacho *et al.* 2003).

Control químico

Tabla 14. Productos fitosanitarios para controlar nemátodos en cultivos de melón.

FORMULADOS QUÍMICOS	
METAM POTASIO 40% (ANHIDRO) [SL] P/V (ESP.)	1,3-DICLOROPROPENO 107% (EQUIV. AL 90% P/P) [EC] P/V
FENAMIFOS 40% [EC] P/V	METAM SODIO 40% (ANHIDRO) [SL] P/V
OXAMILO 10% [GR] P/P	OXAMILO 10% [SL] P/V

c) Enfermedades causadas por bacterias

✓ *Pseudomonas syringae* pv. *Lachrymans* (Mancha angular de la hoja)

Su presencia se hace evidente primero en las hojas y más tarde se extiende a los frutos que aparecen manchados. La transmisión tiene lugar por semilla, infectándose los cotiledones y de ahí a las hojas. Su sintomatología comienza con unas pequeñas manchas en hojas o cotiledones como infiltradas de agua. Las lesiones van creciendo hasta quedar limitadas por las nerviaduras de las hojas, dándoles un aspecto anguloso que da nombre a la

enfermedad. Si la humedad relativa es alta estas lesiones pueden exudar gotitas de suspensión bacteriana semejantes a lágrimas. Los exudados cuando se secan forman una costra blanquecina encima de la lesión o muy cercana a ella. Las lesiones pueden estar rodeadas de un halo amarillento. Cuando el ataque es fuerte se presentan las lesiones incluidas en un área amarilla más o menos grande. El centro de la lesión puede, una vez seca, caer, quedando la hoja perforada. En Almería se ha observado también otra sintomatología en plantas adultas, con marchitez, estrías necróticas de color oscuro y atabacado de las hojas. En frutos pueden aparecer lesiones redondeadas de 2-3 mm de diámetro, con exudado bacteriano.

✓ **Erwinia carotovora (Podredumbre blanda)**

Produce una típica podredumbre blanda en el cuello y tallo del melón. Aparece una dislaceración de los tejidos que toman un tono marrón claro. En condiciones de humedad alta se pueden producir chancros y fisuras. El fruto presenta así mismo una podredumbre y desintegración de los tejidos.

✓ **Erwinia tracheiphila (Marchitamiento bacteriano)**

Repentino marchitamiento de las hojas, pudiéndose recuperar algo por la noche, pero rápidamente se produce el colapso y muerte de la planta. Si se corta el tallo afectado longitudinalmente se pueden observar los vasos dañados y en ocasiones puede verse una sustancia blanquecina, que no es otra cosa que suspensión bacteriana.

Los ataques de bacterias no son preocupantes en los invernaderos del sureste peninsular, debido a las fechas en que se realizan los cultivos. Normalmente se recurre a la ventilación si fuese necesario se aplicaría cualquier producto a base de oxiclورو de cobre.

d) Principales enfermedades producidas por hongos en melón

✓ *Acremonium cucurbitacearum* (Acremoniosis)

El síntoma característico es la aparición de zonas pardas acorchadas en la raíz de plántulas que comienzan a manifestarse 3-4 semanas después de la siembra: los primeros síntomas se inician con un pardeamiento que comienza a verse en la zona de unión de hipocótilo y raíz; la raíz principal cesa en su desarrollo y puede acabar desecándose y generalmente se observa la emisión de nuevas raicillas en la zona del hipocótilo por encima de la zona afectada. Más adelante, la planta presenta un aparato radicular muy pobre, con poca barbada y descompensado respecto a la parte aérea, lo que hace que sea incapaz de abastecer toda la demanda hídrica provocando el colapso de la parte aérea. En esta última etapa, la raíz está muy deteriorada, con abundantes necrosis y podredumbres y prácticamente sin barbada. Se está aplicando contra la enfermedad metil tiofanato y/o propamocarb.

✓ *Rhizoctonia solani*

Provoca una pérdida de barbada en la raíz y en las raíces de mayor tamaño se aprecian grandes lesiones de color pardo. Se está aplicando contra la enfermedad metil tiofanato y/o propamocarb.

✓ *Didymella bryoniae* (Chancro gomoso)

Las plantas afectadas presentan en el cuello zonas acuosas y de color pardo, sobre las que se suele observar gotas de exudados. Éstas zonas evolucionan posteriormente a colores negruzcos. Cuando el ataque es muy intenso, la planta puede llegar a marchitarse con el aspecto típico de colapso. También pueden aparecer estos síntomas en la cruz de la planta o en las ramas. En fruto es menos frecuente el ataque, donde provoca podredumbres blandas. En cacharreo se aplica metil tiofanato con un antibotrytis específico.

✓ ***Fusarium oxysporum sp. melonis.***

Presenta dos tipos de sintomatología según cepas:

▪ **Tipo Yellow.** Amarilleo de hojas. Comienzan con el amarilleo de venas en un lado de las hojas que avanza afectando al limbo, haciéndose más amarillas, gruesas y quebradizas, despidiendo un olor típico a madreSelva. En tallos se observan estrías necróticas longitudinales de las que exuda goma, posteriormente el hongo esporula sobre las zonas necróticas formando esporodoquios rosados. En la sección transversal del tallo se observa un oscurecimiento de los vasos.

▪ **Tipo Wilt.** Marchitez en verde súbita de las plantas sin que amarillean o desarrollen color.

En Almería se han encontrado hasta ahora las razas *Fusarium oxysporum sp. melonis*: 0(Wilt y Yellow), 1 (Wilt y Yellow), 2 (Yellow) y 1-2 (Wilt).

✓ ***Sphaerotheca fuliginea (Oidio)***

Los síntomas que se observan son manchas pulverulentas de color blanco en la superficie de las hojas (haz y envés) que van cubriendo todo el aparato vegetativo llegando a invadir la hoja entera, también afecta a tallos y peciolo e incluso frutos en ataques muy fuertes. Las hojas y tallos atacados se vuelven de color amarillento y se secan.

En melón se han establecido tres razas de *Sphaerotheca fuliginea* (raza 1, 2 y 3), detectándose en Málaga y Almería las razas 1 y 2.

Las materias activas que se están empleando para combatir la enfermedad son: azoxystrobin, kresoxim-metil, ciproconazol, miclobutanil, nuarimol, quinometionato, tetraconazol y triadimenol.

✓ **Pseudoperonospora cubensis (Mildiu de las cucurbitáceas)**

El síntoma más frecuente en campo es la aparición en el haz de la hoja de unas manchas amarillentas irregulares que se van necrosando rodeadas por un halo amarillento. Cuando la humedad es más alta, las manchas aparecen de mayor tamaño y también rodeadas por el halo amarillento. En condiciones de alta humedad, en el envés de las zonas afectadas aparece un polvillo gris que está formado por las fructificaciones del hongo. Con ataques intensos, las hojas afectadas se pliegan hacia arriba y si no se controla adecuadamente, pueden llegar a secarse.

Se está combatiendo la enfermedad con la aplicación de las siguientes materias activas: azoxystrobin, benalaxil, cimoxanilo, clortalonil, dimetomorf, mancoceb y compuestos de cobre, alternando materias activas y familias.

e) Virosis

Es uno de los principales problemas con los que se enfrenta el agricultor en la actualidad y, sin lugar a dudas, los virus ocasionan los mayores tratamientos al intentar controlar a los insectos vectores.

Los virus son parásitos obligados, necesitando para desarrollarse y multiplicarse células vivas de las plantas a las que parasitan, siendo necesaria la ayuda de vectores para penetrar en los tejidos. Una vez en el interior de las células se multiplican y se difunden por los vasos liberianos y leñosos. Al cabo de un corto espacio de tiempo toda la planta queda invadida, continuando así durante todo el ciclo vegetativo. Cuando la planta parasitada muere, el virus tiende a desaparecer con ella a menos que acceda a nuevos tejidos.

✓ **Virus del Mosaico del pepino. Cucumber Mosaic Virus (CMV)**

Es un virus muy polífago, difundido por todas las zonas hortícolas de invernadero, afectando al melón como al resto de las cucurbitáceas. La difusión de esta virosis es por medio de los pulgones, principalmente *A. gossypii* y *M. Persicae*.

Las plantas afectadas por este virus, presentan, un fuerte mosaico de color verde claro-verde oscuro en las hojas, malformación y acaparamiento de la planta en ataques tempranos con reducción del tamaño de la hoja, abullonamiento en las zonas verdes de las hojas afectadas y bandeado verde oscuro de las venas. En fruto produce mosaico y moteado, y generalmente reducción del tamaño. (Camacho *et al.*, 2003).



✓ **Virus del mosaico amarillo del calabacín. Zucchini Yellow Mosaic Virus (ZYMV)**

Es transmitido por pulgones de forma no persistente, principalmente por *A. gossypii* y *M. persicae*. Es un virus con incidencia baja en plantas de melón, aunque muy distribuido.



Las plantas presentan enanismo generalizado, mosaicos, abollonaduras, amarilleamiento y filimorfismo en las hojas y necrosis en limbos y peciolos. En los frutos se observa endurecimiento de la pulpa, con grietas externas, deformaciones y protuberancias, con reducción del tamaño. (Reche, 2008).

✓ **Virus del Amarilleo del pepino (CuMV)**

Se trasmitía a través de la mosca blanca *Trialeudores vaporarium*, aunque últimamente también a través de la especie *Bemisia tabaci*.

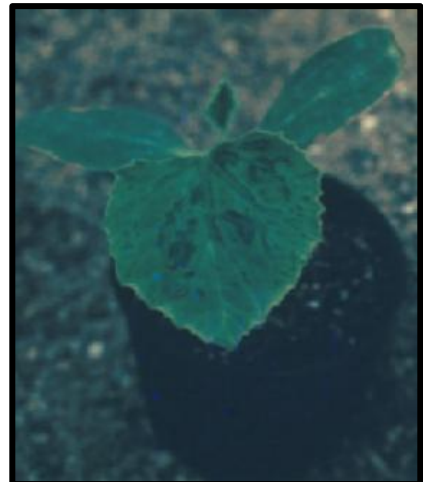
Este virus es muy frecuente en invernadero, apreciándose los daños, en primer lugar, en plantas situadas junto a las bandas, que es donde se encuentra mayor cantidad de mosca blanca, transmitiéndose el virus en un plazo pequeño de tiempo.(Reche, 2003).

La sintomatología se presenta inicialmente con un pequeño moteado en las zonas internerviales de la hoja. Posteriormente se van haciendo mayores hasta que prácticamente la hoja queda totalmente amarilla conservando los nervios verdes. También puede comenzar con una mancha amarilla en la base de la hoja que se va extendiendo hasta que toda la hoja está amarilla, conservándose los nervios verdes. El número de frutos disminuye considerablemente. (Camacho *et al.*, 2003).

✓ **Virus del Mosaico de la Calabaza. Squash Mosaic Virus (SqMV)**

Afecta fundamentalmente a la familia de las cucurbitáceas, sobre todo a melón y calabacín. Su transmisión se realiza por semillas y por contacto entre hojas durante las operaciones culturales, así como por insectos masticadores.

Los síntomas se presentan en forma de manchas verde oscuro junto a las nerviaciones, con deformaciones y reducción del crecimiento. En los frutos no aparecen síntomas destacables, aunque sí reducción del tamaño y del número. (Reche, 2008).



✓ **Virus del cribado del melón. Melon Necrotic Spot Virus (MNSV)**

Esta enfermedad, también conocida por el “virus de las manchas necróticas”, ha causado grandes pérdidas a los cultivos de melón en invernadero. La transmisión se produce por un hongo de suelo, concretamente por *Olpidium radiale*, principalmente, y según autores, también por semillas cuando hay presencia de *Olpidium* en el suelo, acentuándose el daño a medida que la planta crece. Los daños ocasionados son bastantes graves, sobre todo en la variedades tipo galia. (Reche, 2003).



Los síntomas se caracterizan por la aparición de pequeñas lesiones cloróticas en hojas 1-2 mm de diámetro que posteriormente evolucionan a necróticas, dándole el peculiar aspecto de “cribado” que da nombre a la enfermedad. En el cuello y tallos de la planta se pueden apreciar estrías que pueden causar el marchitamiento de la

planta. Cuando el ataque es muy fuerte, en los frutos se aprecia la corteza rugosa, moteado interno y tamaño más pequeño.

✓ **Virus del mosaico de la sandía-2. Watermelon Mosaic Virus-2 (WMV-2)**

Su transmisión se realiza por los pulgones de forma persistente, causando graves daños en melón.

Los síntomas que presentan las plantas afectadas por este virus, son principalmente, un mosaico verde oscuro con deformaciones y reducción de la superficie foliar y un mosaico acusado y deformaciones en los frutos. (Reche, 2008).

✓ **Virus de las Venas Amarillas del Pepino. Cucumber vein yellowing virus (CVYV)**

Este virus es de reciente introducción, concretamente en la campaña 00/01 se introdujo en el poniente almeriense. Afecta a todas las cucurbitáceas, extendiéndose con gran virulencia. La transmisión la realiza *Bemisia tabaci* de forma semipersistente.

En cuanto a la sintomatología, en las hojas del brote se observa amarilleamiento de las nerviaciones, característica que le da nombre al virus, aunque dependiendo del momento de infección, también puede presentarse de forma generalizada en toda la planta, así como un menor desarrollo de la misma. En frutos de melón no se han observado síntomas. (Camacho *et al.*, 2003 y Reche, 2008).

f) Fisiopatías en melón

✓ **Deformaciones en frutos.**

Puede tener su origen en una o varias de las siguientes causas: una mala polinización, un estrés hídrico, incorrecta utilización de ciertos fitorreguladores empleados para mejorar el engorde y el cuajado del melón, deficiente fecundación por inactividad o insuficiencia de polen, condiciones climáticas adversas, etc.

✓ **Planchado o asolanado (Golpe de sol).**

Como consecuencia de la incidencia directa de los rayos de sol asociada a altas temperaturas, se producen unas manchas blanquecinas en los frutos.

✓ **Rajado de frutos.**

Principalmente longitudinales, provocado por desequilibrios de la humedad ambiental, ó por irrigación desigual bien sea por un exceso de agua o por un estrés

provocado por la falta de la misma en las fases previas a la maduración final. También puede suceder este problema con cambios bruscos en la C.E. de la solución nutritiva, normalmente por ser muy baja en los momentos de la maduración. En algunos casos por un aguante excesivo del fruto en la planta una vez que éste está ya maduro. (Camacho *et al.*, 2003).

✓ **Manchas en frutos.**

Son más evidentes en melones tipo Amarillo, presentando unas manchas marrones dispersas por la superficie del fruto. La causa está en la elevada humedad del invernadero y bajo las hojas. En otras ocasiones, las manchas son debidas a pequeñas quemaduras por tratamientos sobre la piel delicada de los frutos jóvenes que al desarrollarse toman un aspecto rugoso y con más o menos relieve. Otra causa de que aparezcan manchas en frutos puede ser consecuencia de ataques de enfermedades (hongos, bacterias y virus) ó depósitos de polen ocasionados por las abejas que dejan caer bolitas cuando vuelan. (Camacho *et al.*, 2003).

✓ **Aborto de frutos.**

Los frutos recién cuajados amarillean, se arrugan y abortan en un porcentaje más o menos elevado. Esto es debido a una carga de frutos demasiado elevada o a una falta de nutrientes y de agua, o a ambas causas. Cuando una planta está muy cargada de frutos sufre un gran estrés, y realiza un aclareo natural de frutos al no proporcionar nutrientes suficientes para el desarrollo de todos los frutos, abortando los últimos cuajados. Cuando la planta tiene varios frutos bien desarrollados, éstos monopolizan las actividades de la planta, superan en demanda al resto de frutos, impidiendo el crecimiento de otros frutos cuajados posteriormente. En general, plantas muy cargadas de frutos y con sistema radicular dañado o poco desarrollado, presentan corrimiento de frutos más o menos intenso. (Camacho *et al.*, 2003).

✓ **Bajada brusca de pH.**

La planta de melón cuando comienza la fase de maduración, demanda gran cantidad de K^+ , por lo que absorbe gran cantidad del mismo presente en el medio de cultivo. Para compensar la gran entrada de cationes de K^+ libera al medio de cultivo H^+ en demasía, provocando una bajada brusca del pH del medio. El momento exacto de comienzo de esta reacción será función de las condiciones ambientales (sobre todo temperatura) y del tipo de melón. Los tipos Cantaloup y Galia son los más sensibles en estas condiciones de cultivo. Este problema provoca unas quemaduras en la superficie foliar, dando un aspecto a la plantación de “chamuscado” total de las hojas de color gris-ceniza, provocando la muerte del cultivo, si no se corrige a tiempo. La planta muestra unas necrosis parciales en la superficie foliar como primeros síntomas, aumentando la proporción de necrosis paralelamente a la rapidez de evolución del problema.

✓ **Asfixia radical**

Es una alteración fisiológica que se manifiesta desde que las plantas jóvenes, La humedad no puede ser absorbida en forma suficiente y la planta se marchita. La causa principal es la ausencia de oxígeno necesario en las raíces para su respiración, y está originada por el desplazamiento del aire al existir exceso de agua en el suelo. Se puede observar el ensanchamiento de la base del tallo con aparición de raicillas a nivel del suelo generadas por la planta para defenderse de la asfixia. (Reche, 2008).

✓ **Vitrescencia de los frutos**

Con excesos de madurez, parte o la totalidad de la pulpa adquiere una consistencia blanda. Las causas más probables pueden ser: fertilización desequilibrada, exceso de agua durante la madurez, insuficiente aporte de potasio y calcio o temperaturas bajas. (Reche, 2008).

2.2. EL CULTIVO SIN SUELO

2.2.1. Concepto de hidroponía

Etimológicamente el concepto hidroponía deriva del griego y significa literalmente trabajo o cultivo (ponos) en agua (hydros).

El Cultivo hidropónico en su concepción más amplia, engloba a todo sistema de cultivo en el que las plantas completan su ciclo vegetativo sin la necesidad de emplear el suelo, suministrando la nutrición hídrica y la totalidad o parte de la nutrición mineral mediante una solución en la que van disueltos los diferentes nutrientes esenciales para su desarrollo. El concepto es equivalente al de "cultivos sin suelo", y supone el conjunto de cultivo en sustrato más el cultivo en agua.

El cultivo hidropónico puro, sería aquel en el que, mediante un sistema adecuado de sujeción, la planta, desarrolla sus raíces en medio líquido (agua con nutrientes disueltos) sin ningún tipo de sustrato sólido. Cultivo hidropónico según la tendencia mayoritaria, es utilizado para referirnos al cultivo en agua (acuicultura) o en sustratos sólidos más o menos inertes y porosos a través de los cuales se hace circular la disolución nutritiva.

La palabra sustrato, se aplica en horticultura a todo material sólido, distinto del suelo in situ, natural, de síntesis o residual, mineral u orgánico, que colocado en un contenedor, de forma pura o en mezcla, permite el anclaje del sistema radical, desempeñando, por tanto, un papel de soporte para la planta, pudiendo intervenir (material químicamente activo) o no (material inerte) en el complejo proceso de la nutrición mineral de la planta. (Abad *et al.*, 1996).

Hidroponía se define ahora como la ciencia de cultivo de plantas sin el uso de tierra, pero con uso de un medio inerte, como arena gruesa, turba, vermiculita o aserrín al que se agrega una solución nutriente que contiene todos los elementos esenciales requeridos por la planta para su crecimiento y desarrollo. Puesto que muchos métodos hidropónicos emplean

algún tipo de medio que contiene material orgánico como turba o aserrín, son a menudo llamados "cultivos sin suelo", mientras que aquellos con la cultura del agua serían los verdaderamente hidropónicos.

Los sistemas de cultivo hidropónico se dividen en dos grandes grupos:

- Cerrados: son aquéllos en los que la solución nutritiva se recircula aportando de forma más o menos continua los nutrientes que la planta va consumiendo.
- Abiertos o a solución perdida: son aquellos en los que los drenajes provenientes de la plantación son desechados.

A nivel mundial, los sistemas cerrados son los más extendidos, mientras que en nuestro país la práctica totalidad de las explotaciones comerciales son sistemas abiertos y que adoptan el riego por goteo (generalmente con una piqueta por planta), sin recirculación de la solución nutritiva dadas las condiciones generales de calidad de agua de riego y la exigencia de nivel técnico que tienen los sistemas cerrados (Fernández y Cuadrado, 1999; Resh, 1992).

2.2.2. Antecedentes, evolución y situación actual

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. 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 bolsas 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.

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 (Maroto, 1990). 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.

Este impulso se reactiva en los años 70 en países como Japón y algunos países de Europa, en este segundo caso influenciado claramente por la antigua P.A.C., que entre sus objetivos primordiales figura, el aumentar la productividad agraria para garantizar el abastecimiento alimentario.

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 (Martínez, P. F. 1996).

Es en los años 80 cuando se produce la auténtica expansión de estos cultivos, gracias a la aparición de sustratos inertes tales como la lana de roca o la perlita que, junto con los avances producidos en instalaciones y automatismos de control, han permitido obtener producciones elevadas. Actualmente existen en Europa amplias zonas invernadas de cultivos sin suelo y, en algunas de ellas, estos sistemas superan en superficie a los que aún utilizan el suelo como medio de cultivo. (Camacho *et al.*, 2003).

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 cuatriplicándose en productos como el tomate, lechugas y melones.

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

De cara al futuro próximo el desarrollo de los cultivos sin suelo parece irreversible y continuado.

Algunos factores que favorecerán en el futuro el desarrollo de los cultivos sin suelo frente a los de suelo, son los siguientes:

- El aumento de los riesgos de contaminación, infección o degradación del suelo en aquellos cultivos realizados en éste.
- La necesidad de ahorrar agua, que llevará a la recirculación de las soluciones nutritivas para eliminar o, al menos, reducir los drenajes emitidos al medio.
- La obligación, a través de una legislación ambiental restrictiva, de controlar la contaminación del medio ambiente, lo cual conducirá igualmente a la recirculación de las soluciones en cultivos sin suelo. (Camacho *et al.*, 2003).

A pesar de todo esto, en la actualidad, existen algunos problemas en el uso de sustratos, éstos son principalmente de tipo técnico y de tipo económico (Martínez, 1992 y Abad, 1993):

- Los problemas de tipo técnico son los más generalizados en las explotaciones, debido al manejo inadecuado que se le da al sustrato, bien sea porque el agricultor no se adecua a las propiedades del mismo, por falta de experiencia en el uso del sustrato, o bien porque el sustrato no es el adecuado para las condiciones de cultivo. También hay que tener en cuenta y considerar la dificultad para adaptar la tecnología de los cultivos sin suelo a las instalaciones simples y básicas en las que se basa nuestra producción hortícola.
- Dentro de los problemas de tipo económico destacan el precio del sustrato, sobre todo cuando su origen se encuentra a gran distancia de los centros de consumo, el suministro, que a veces puede ser inestable cuando el abastecimiento procede del exterior, y la homogeneidad del mismo, que puede ser variable de un lote a otro sobre todo cuando se trata de sustratos que precisas compostaje.

2.2.3. Justificación del cultivo sin suelo

Para ello se analizan las ventajas y los inconvenientes del sistema.

✓ Ventajas del cultivo sin suelo

a) Se obtiene una óptima relación aire/agua en el sistema radicular de la planta, favoreciendo por tanto el desarrollo del cultivo.

b) 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.

c) 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.

d) 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.

e) Al emplear en la mayor parte de los casos sustratos totalmente inertes, con ausencia de enfermedades típicas del suelo, convierten al sistema de cultivo sin suelo, como una buena alternativa al empleo de desinfectantes, entre los que cabe citar el bromuro de metilo, el cual se encuentra en fase de desaparición.

f) Generalmente se obtiene en los cultivos una buena uniformidad que facilita las labores culturales, como podas, entutorados, etc. 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. En determinados cultivos como el fresón cultivado en invernadero, la posibilidad de montar el sistema en altura, puede facilitar la recolección.

g) 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.

h) Generalmente se puede obtener una mejor calidad de cultivo y por lo tanto del producto.

✓ **Inconvenientes del cultivo sin suelo**

a) En las instalaciones donde se trabaja a solución perdida, el sistema puede ser contaminante, cuando se evacúan los drenajes al suelo ó a una fosa.

b) El vertido tanto de sustratos como de plásticos de forma incontrolada, es también contaminante.

c) Pueden aparecer, y de hecho aparecen, enfermedades de raíz, por ausencia de mecanismos de defensa en los sustratos. Un ejemplo es el *Phytium* que actúa en sistemas de cultivo sin suelo sobre plantas adultas, produce enanismo acusado y llega a matar las plantas.

d) El sistema requiere de una mayor precisión en el manejo del riego y la nutrición. En cultivos sin suelo generalmente se trabaja con bajos volúmenes de sustrato, con poca reserva de agua y un error puede traer consecuencias fatales.

e) En sustrato se da una menor inercia térmica que en el suelo y los cultivos están más expuestos a los posibles cambios de temperatura ambiental.

f) El establecimiento de un cultivo sin suelo, supone un mayor coste de instalación, tanto por los elementos de riego, por la conveniencia de adecuar el cabezal de riego, la adquisición de contenedores y sustratos.

g) Por ser una técnica novedosa para el agricultor, requiere de un asesoramiento técnico, aunque en muchos casos pasa a ser una ventaja, puesto que dicho servicio termina siendo un asesoramiento integral del cultivo.

Podemos decir que el sistema es eficaz en la mayor parte de los cultivos hortícolas y en algunos florales, como rosas, gerbera, clavel, cultivados en invernadero. La tecnología se está imponiendo principalmente en sistemas de cultivos hortícolas avanzados y con limitaciones del suelo. La instalación, antes de dar el paso debe estar totalmente justificada, existen casos claros como el establecimiento de un invernadero en un suelo incultivable o de malas características agronómicas, en suelos que por la repetición de cultivo y tras realizar desinfecciones continuadas, resulta difícil obtener una buena productividad, o bien en aquellos cultivos de plantas, especies o variedades locales, especialmente sensibles a enfermedades y plagas del suelo (Baixauli *et. al.*, 2002).

Tras los puntos expuestos, dicho sistema por ser alternativo al empleo de desinfectantes más o menos agresivos siempre que se cumplan una serie de normas de higiene en cuanto a los lixiviados y los materiales de desecho, podría contemplarse como compatible a los reglamentos de producción integrada que se están diseñando para los cultivos hortícolas producidos en invernadero (Baixauli *et al.*, 2002).

2.2.4. Principales sustratos empleados en cultivo sin suelo

Existen diferentes criterios de clasificación de los sustratos, basados en el origen de los materiales, su naturaleza, sus propiedades, su capacidad de degradación, etc.

Los sustratos se pueden clasificar como se detalla a continuación (Baixauli *et al.*, 2002):

- a. **Sustratos orgánicos**, que al mismo tiempo se pueden subdividir en:
 - De origen natural, entre los que se encuentran las turbas.
 - Subproductos de la actividad agrícola, la fibra de coco, virutas de madera, paja de cereales, residuos de la industria del corcho, cascarilla de arroz, cáscara de almendra, etc.
 - Productos de síntesis, entre los que encontramos: polímeros no biodegradables, como la espuma de poliuretano y el poliestireno expandido.

- b. **Sustratos inorgánicos**, que podemos subdividir en:
 - De origen natural, que no requieren de un proceso de manufacturación, entre los que encontramos: la arena, las gravas, las zeolitas y las tierras de origen volcánico.
 - Aquellos que pasan por un proceso de manufacturación, como son: la lana de roca, la fibra de vidrio, perlita, vermiculita, arcilla expandida, etc.

La elección de un sustrato u otro va a depender por orden de prioridad: de la disponibilidad del mismo, de las condiciones climáticas, de la finalidad de la producción y especie cultivada, de sus propiedades, del coste de la experiencia de manejo, homogeneidad, de la dedicación al sistema y de las posibilidades de instalación. (Baixauli *et al.*, 2002).

2.2.5. Características de los sustratos

2.2.5.1. Propiedades físicas

Las propiedades físicas de los sustratos son de gran importancia para el normal desarrollo de la planta, pues determinarán la disponibilidad de oxígeno, la movilidad del agua y la facilidad para la penetración de la raíz. Las propiedades físicas de un sustrato son más importantes que las propiedades químicas, puesto que las segundas las podemos modificar mediante el manejo de las soluciones nutritivas, siendo las primeras más difíciles de modificar (Baixauli *et al.*, 2002).

Desde el punto de vista físico, un sustrato se caracteriza por 3 fases: sólida, líquida y gaseosa, cada una de las cuales tiene una función muy definida frente a la planta.

- ✓ La fase sólida constituye el soporte físico del vegetal, dando estabilidad a la planta.
- ✓ La fase líquida permite su alimentación en agua y elementos nutritivos.
- ✓ La fase gaseosa asegura la oxigenación de las raíces.

El equilibrio entre estas 3 fases será determinante para la calidad del sustrato. A un buen sustrato le vamos a pedir un comportamiento similar al de una esponja, es decir, una elevada porosidad, gran capacidad de retención de agua fácilmente disponible, drenaje rápido, buena aireación, distribución del tamaño de partículas, baja densidad aparente y estabilidad. (Baixauli *et al.*, 2002).

En general, las propiedades físicas de un sustrato no pueden predecirse, de forma sencilla, a partir de las características de los materiales que lo conforman, pues éstos varían significativamente de una zona a otra. Además, las mezclas de los distintos materiales producen complejas interacciones que alteran las propiedades físicas de la mezcla final (Ansorena, 1994).

Las características físicas más relevantes son:

- **Densidad aparente**

Viene definida como la materia seca en gramos contenida en un centímetro cúbico de medio de cultivo. Los sustratos con valores bajos de densidad aparente son fáciles de manipular. (Baixauli *et al.*, 2002).

- **Porosidad**

Es el volumen total del sustrato de cultivo no ocupado por partículas orgánicas o minerales, es decir el cociente entre el volumen de poros y el volumen total del sustrato que ocupa el contenedor. (Burés, 1997; Baixauli *et al.*, 2002 y Urrestarazu *et al.*, 2004).

El valor óptimo de porosidad es superior al 85%, razón por la cual podemos cultivar con volúmenes reducidos de sustrato, dejando un gran volumen disponible al aire y a la solución nutritiva. (Baixauli *et al.*, 2002).

El total de poros se mide en microporos, que son los encargados de retener el agua, y los macroporos que permiten la correcta aireación y drenaje del sustrato. La porosidad puede ser:

- Intraparticular (poros en el interior de las partículas), que podrá estar conectada al exterior o cerrada, esta última no será efectiva y se le conoce como porosidad ocluida.

En el caso de la porosidad ocluida, no existe comunicación posible entre los poros del interior de las partículas y los que están en el exterior, entre dichas partículas. En consecuencia los poros internos no influirán sobre la distribución del agua y del aire en el sustrato, siendo su único efecto el proporcionar cierta ligereza a dicho sustrato.

Si la porosidad es abierta, el agua puede circular por el interior de las partículas, pudiendo participar, en consecuencia, en la nutrición hídrica de las plantas.

- Interparticular, poros existentes entre las diferentes partículas.

El conocimiento de la porosidad total no es suficiente para conocer la accesibilidad del líquido a los poros, ya que como hemos comentado anteriormente, los poros formados dentro de las partículas pueden ser ocluidos, por lo que en estos casos es aconsejable hablar de porosidad efectiva que es la que interesa con fines agronómicos. (Urrestarazu *et al.*, 2004).

- **Capacidad de aireación**

Es la proporción de volumen de sustrato de cultivo que contiene aire después de que dicho sustrato ha sido saturado con agua y dejado drenar (tensión de 10 cm de columna de agua). (Baixauli *et al.*, 2002).

El valor óptimo se sitúa entre el 20-30%, (Baixauli *et al.*, 2002 y Urrestarazu *et al.*, 2004), siendo dicho valor el encargado de suministrar aire y por lo tanto, oxígeno a las raíces de la planta. Un mismo volumen de sustrato retendrá más agua cuanto menor sea la altura del contenedor, debiendo adecuar la altura al tipo de sustrato empleado.

- **Agua fácilmente disponible**

Es la diferencia entre la cantidad de agua retenida por el sustrato después de haber sido saturado con agua y dejado drenar a tensión de 10 cm de columna de agua y la

cantidad de agua presente en dicho sustrato tras una succión de 50 cm de columna de agua, es decir, es la succión efectuada por la planta en su alimentación sin necesidad de realizar un gran esfuerzo. El valor óptimo es 20-30%. (Baixauli *et al.*, 2002).

- **Agua de reserva**

Es la cantidad de agua (% de volumen) que libera un sustrato al pasar de 50 a 100 cm de columna de agua de desorción. El valor óptimo es del 4-10%. (Baixauli *et al.*, 2002 y Urrestarazu *et al.*, 2004).

- **Agua total disponible**

Viene dada por la suma del agua fácilmente disponible más el agua de reserva. El nivel óptimo se encuentra entre el 24 y el 40% de volumen (Baixauli *et al.*, 2002).

La disponibilidad de agua de un sustrato y su relación con las plantas, se explica en la curva de desorción o liberación de agua que se muestra a continuación:

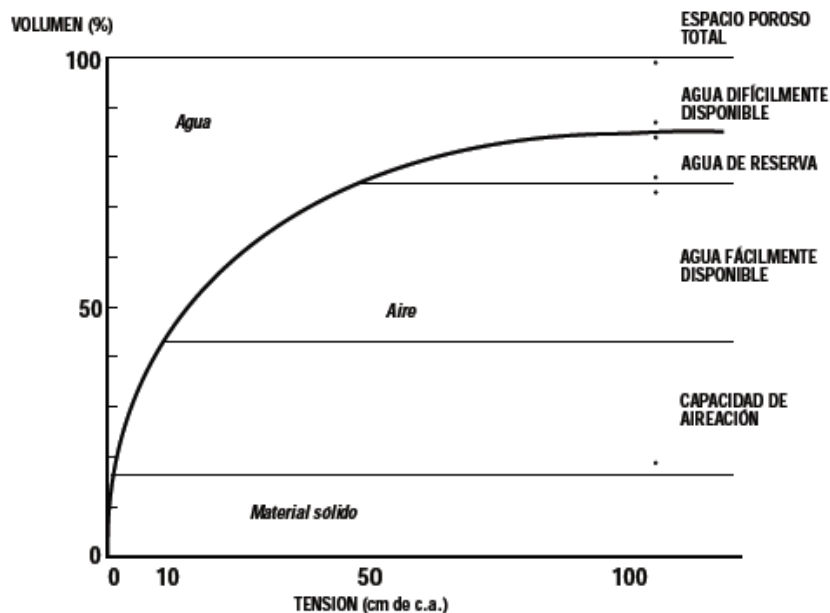


Figura 23. Curva de liberación de agua de un sustrato de cultivo (Baixauli *et al.*, 2002).

- **Agua difícilmente disponible**

Es el volumen de agua retenida por el sustrato tras ser sometido a una tensión superior a 100 cm. columna de agua. En muchos casos se produce una incapacidad por parte de la planta de extraer el agua del sustrato, pudiendo llegar incluso a mostrar síntomas de marchitez (Baixauli *et al.*, 2002).

- **Mojabilidad**

Algunos materiales orgánicos presentan dificultades para ser humedecidos inicialmente y para ser rehumectados una vez se han secado en el contenedor, lo que puede provocar un retraso y una reducción en el crecimiento de la planta. Las dificultades para mojar un sustrato se atribuyen generalmente a dos causas: la hidrofobicidad del material y la contracción que experimenta al secarse. La mojabilidad se expresa como el tiempo necesario para que se absorban 10 ml. De agua destilada a través de la superficie de una muestra de sustrato seco a 40°C. El nivel óptimo es igual o inferior a 5 minutos. (Urrestarazu *et al.*, 2004).

- **Contracción en volumen**

Se refiere al porcentaje de pérdida de volumen cuando el sustrato se seca (generalmente a 105° C referido al volumen aparente inicial en unas determinadas condiciones de humedad (generalmente saturación y drenaje posterior a 10 cm tensión de c.a.)). La contracción del volumen facilita la compactación del sustrato y la compresión de las raíces, disminuye la eficiencia del riego y la fertilización, etc.

El nivel óptimo de contracción, expresada como pérdida de volumen, se sitúa por debajo del 30% (Urrestarazu *et al.*, 2004).

2.2.5.2. Propiedades químicas

La reactividad química de los sustratos se plasma en un intercambio de materia entre el material sólido que forma el sustrato y la solución del mismo (Burés, 1997).

Las propiedades químicas de los sustratos caracterizan las transferencias de materia entre el sustrato y la solución del sustrato: reacciones de disolución e hidrólisis de los constituyentes minerales, reacciones de intercambio de iones y reacciones de biodegradación de la materia orgánica.

Los materiales orgánicos son los componentes que contribuyen en mayor grado a la química de los sustratos, debido principalmente a la formación y presencia de las sustancias húmicas, el producto final más importante de la descomposición de la materia orgánica. (Urrestarazu *et al.*, 2004).

Las características químicas más relevantes son:

- **Capacidad de intercambio catiónico.** C.I.C, se define como la suma de cationes que pueden ser adsorbidos por unidad de peso del sustrato, es decir, la capacidad de retener cationes nutrientes e intercambiarlos con la solución acuosa.

El valor óptimo de C.I.C de los sustratos está estrechamente relacionado con la frecuencia de la fertirrigación. Si la fertirrigación se aplica permanentemente, la capacidad de absorción de los cationes no representa ninguna ventaja, siendo recomendable la utilización de sustratos inertes, con baja o nula C.I.C. Si, por el contrario, la fertirrigación se aplica de forma intermitente, será interesante la utilización de sustratos con moderada a elevada C.I.C. (Urrestarazu *et al.*, 2004).

Una CIC alta es propia de los sustratos orgánicos. Se expresa en miliequivalentes por unidad de peso o volumen, meq/100 g o meq/100 cc.

En los actuales sistemas, en los que con la nueva tecnología existente en el riego permite formular de forma cómoda las soluciones nutritivas, suele interesar sustratos con una baja CIC, o sea, que sean químicamente inertes o de muy baja actividad. (Baixauli *et al.*, 2002).

- **Disponibilidad de los nutrientes**, la mayor parte de los sustratos inertes existentes poseen un contenido de nutrientes inicial casi nulo. (Baixauli *et al.*, 2002).

Los sustratos orgánicos difieren entre sí en el contenido en nutrientes asimilables. Así, algunos (turba, corteza de pino, etc.) poseen un nivel reducido de nutrientes asimilables, mientras que otros como por ejemplo el compost, presentan elevados niveles, dependiendo dicho niveles del origen del compost y del proceso de compostaje. (Urrestarazu *et al.*, 2004).

Cuando hemos elegido un sustrato orgánico como medio para desarrollar nuestro cultivo, será conveniente realizar un análisis del extracto de saturación, para ajustar la solución nutritiva. (Baixauli *et al.*, 2002).

- **Salinidad**, hace referencia a la concentración de sales existente en el sustrato cuando es suministrado. En aquellos que son inertes la salinidad es prácticamente nula, en sustratos orgánicos puede tener valores elevados. La podremos determinar a través de una analítica del extracto saturado, para aprovechar dichas sales, si son apropiadas, o proceder al lavado del sustrato empleando agua de riego. (Baixauli *et al.*, 2002).

Los valores de la conductividad eléctrica C.E representan bien la situación de salinidad de un sustrato. A continuación se expresan unos valores orientativos para la C.E del extracto de saturación (expresados en mS por cm a 20°C), (Bunt, 1988 citado por Urrestarazu *et al.*, 2004). :

	C.E (mS·cm ⁻¹) a 20°C
Muy bajo	< 0.75
Apropiado para germinación de semillas y crecimiento de plántulas	0.75 - 2
Apropiado para la mayoría de las plantas	2 - 3.5
Elevado para la mayoría de las plantas	> 3.5

- **pH**, el desarrollo de las plantas se ve reducido en condiciones de acidez o alcalinidad marcada.

La acidez de un sustrato se expresa por su pH, el cual es una medida de la concentración de iones H^+ de la solución acuosa, y por tanto de su carácter ácido o básico. También los distintos medios de cultivo sólidos tienen diferentes valores de pH, que son transmitidos a la solución acuosa en que se encuentran disueltos los nutrientes minerales, influyendo de manera importante en la nutrición de las plantas.

El intervalo de pH en que pueden crecer sin restricciones las plantas, es bastante amplio (de 4 a 8), siempre que las concentraciones de nutrientes disponibles se mantengan en niveles suficientes. En sustratos orgánicos, el rango de óptimo de pH para el crecimiento de las plantas es el comprendido entre 5 y 5.5, lo que no excluye que puedan crecer satisfactoriamente fuera de ese intervalo (Ansorena, 1994).

Además, la gran importancia del pH radica en que puede reflejar la existencia de desequilibrios o toxicidades (manganeso, aluminio) para las raíces de las plantas y, sobre todo, en que regula la solubilidad y, por tanto, la disponibilidad de los nutrientes minerales.

El pH ejerce sus efectos principales sobre la asimilabilidad de los nutrientes, la capacidad de intercambio catiónico y la actividad biológica (Escudero, 1993; citado por Nuez, 2001 a). Por una parte, la asimilabilidad de los elementos nutritivos se encuentra afectada de modo marcado por el pH (Lucas *et al.*, 1961; citado por Nuez 2001 a), ya que, con pH de 5 a 7, la mayoría de los nutrientes mantienen su máximo nivel de asimilabilidad. Por debajo de 5, pueden presentarse deficiencias de N, K, Ca, Mg, B, etc., mientras que por encima de 7 puede disminuir la asimilabilidad de Fe, P, Mn, B, Zn y Cu (Nuez, 2001 a).

En general, cuando un sustrato se encuentra fuera de los rangos de pH aconsejados, lo debemos corregir a valores adecuados.

El valor óptimo de pH aconsejado en la disolución del sustrato dependerá mucho de la especie a cultivar, pero por lo general, el rango de valores de pH en el que se encuentran

de forma asimilable la mayor parte de los nutrientes está comprendido entre 5,5 y 6,8. (Baixauli *et al.*, 2002).

- **Capacidad tampón**, la capacidad tampón de un sustrato mide su poder amortiguador sobre cambios rápidos de pH provocados por la adición de fertilizantes de carácter ácido o básico del sustrato. La capacidad tampón de un sustrato aumenta con la capacidad de intercambio catiónico. El poder tampón de los sustratos orgánicos es en general superior al de los sustratos inorgánicos puesto que las sustancias húmicas proporcionan capacidad tampón frente a un rango amplio de pH. (Burés, 1997).

- **Relación C/N**, es la relación del porcentaje de carbono orgánico y nitrógeno total del sustrato, representando un índice de salud del mismo y de la posibilidad de éste para nutrir a la planta en N en un momento dado. El valor de dicha relación nos da una idea del grado de inmadurez de los sustratos orgánicos y de su estabilidad. Un nivel del orden de 30 puede ser indicativo de la falta de descomposición del sustrato, dando lugar a una inmovilización del nitrógeno de la solución y a una reducción del oxígeno debida a la actividad microbiana. Una relación C/N inferior a 20 es considerada como óptima para cultivo en sustrato, recomendándose un valor en torno a 10-12. (Baixauli *et al.*, 2002).

2.2.5.3. Propiedades biológicas

Cualquier actividad biológica en los sustratos es claramente perjudicial. Los microorganismos compiten con la raíz por oxígeno y nutrientes. También pueden degradar el sustrato y empeorar sus características físicas de partida. Generalmente disminuye su capacidad de aireación, pudiéndose producir asfixia radical. Así las propiedades biológicas de un sustrato se pueden concretar en:

- **Velocidad de descomposición**, todos los sustratos orgánicos, incluso los relativamente estables son susceptibles de degradación biológica. El responsable de dicho

proceso es la población microbiana, pudiendo resultar finalmente su actividad biológica en deficiencias de oxígeno y nitrógeno, liberación de sustancias fitotóxicas y contracción del sustrato. Así pues, la descomposición de la materia orgánica en los sustratos de cultivo, considerada de un modo global, es desfavorable desde el punto de vista agrícola, debiéndose tomar precauciones con objeto de minimizar sus efectos sobre la planta. (Urrestarazu *et al.*, 2004).

- **Actividad reguladora del crecimiento**, se conocen determinadas sustancias existentes en los extractos de muchos sustratos orgánicos utilizados en los medios de cultivo de las plantas que tienen un cierto efecto estimulador sobre el crecimiento celular y la iniciación de las raíces. (Baixauli *et al.*, 2002).

- **Propiedades supresivas**, dificultan o inhiben el crecimiento y/o desarrollo de determinados agentes fitopatógenos, especialmente hongos. Estas propiedades se han encontrado en materiales orgánicos compostados, particularmente cortezas de árboles, con supresividad a enfermedades inducidas por *Phytophthora*, *Fusarium*, *Rhizoctonia*, *Pythium*, etc. (Urrestarazu *et al.*, 2004).

2.2.6. Métodos para determinar el contenido de humedad del sustrato.

Determinar el contenido de humedad en un sustrato es necesario para poder conocer la cantidad de agua disponible para las raíces. Por analogía con los suelos naturales, en los sustratos se utiliza principalmente el método gravimétrico y se suele tomar como contenido en humedad la cantidad de agua que se pierde al secar un sustrato a 105 °C hasta peso constante. Sin embargo, la materia orgánica que forma la componente sólida de los sustratos presenta problemas en su secado a esta temperatura, ya que en ella es posible que existan líquidos volátiles distintos al agua y pueden tener lugar oxidaciones o descomposiciones que den lugar a imprecisiones en la medida (Burés, 1997); con el inconveniente añadido de que es un método destructivo (Hidalgo *et al.*, 2003).

Lo ideal es medir el contenido en agua del sustrato de forma continua y no destructiva (Moriya, 1992). Siguiendo esta línea, se utilizan diversos métodos indirectos para determinar el contenido en agua, destacando los métodos electromagnéticos, que están basados en la medida de las propiedades dieléctricas del suelo que se relacionan con el contenido de humedad, la conductividad eléctrica y la temperatura del sustrato (Burés, 1997 y Smith- Rose, 1934; citado por Hilhorst, 1992), habiéndose estudiado para el caso concreto de la lana de roca (De Groot, 1993).

Existen dos métodos básicos que miden las propiedades dieléctricas del suelo: Dominio de frecuencia (Frequency domain o FD) y Dominio en el tiempo (Time domain o TD) (Grand *et al.*, 1978), utilizando la mayoría de los instrumentos reflectometría, con lo que estos dispositivos se denominan Reflectometría del Dominio de Frecuencia (Frequency domain reflectometry o FDR) y Reflectometría del Dominio en el Tiempo (Time domain reflectometry o TDR) (Topp, 1985, citado por Hilhorst, 1992).

El método TD consiste en introducir en el sustrato una sonda de púas a través de las cuales se emiten señales electromagnéticas. La velocidad de propagación de las ondas es función del contenido de agua en el sustrato. La ventaja de este método es la rapidez y el hecho de que puede permitir estudiar la variación del contenido en agua en el tiempo de un modo no destructivo. Es un método interesante a nivel de campo (Burés, 1997).

La principal desventaja del TDR es la necesidad de una interpretación gráfica de los datos. Por otro lado, necesita electrodos muy largos, de al menos 15 cm (Zegelin *et al.*, 1989; citado por Hilhorst, 1992), de modo que no resulta posible construir sondas TDR para estimaciones de volúmenes pequeños. Además, el método no es adecuado para automatizaciones, y ha de calibrarse para cada tipo de sustrato distinto, lo cual dificulta su aplicación (Burés, 1997).

Por tanto, aunque el TDR es un método bastante adecuado para investigación, los instrumentos que emplean la técnica FDR parecen más sencillos de utilizar en campo (De Groot, 1995).

La humedad y la C.E. pueden ser calculadas a partir de las relaciones lineales que existen entre ambas con la constante dieléctrica. Esta correlación ha sido constatada en lana de roca por Baas *et al.*, (2001), que hallaron un factor de corrección para la humedad en función de la temperatura y la C.E. y otro para la C.E., en este caso en función de la temperatura.

La técnica FDR presenta un futuro prometedor en cuanto a su uso en medios de cultivo por las siguientes razones:

- Mide el contenido volumétrico de agua, en vez de la tensión, como sucede en el caso de los tensiómetros. Esto es importante, ya que en los medios de cultivo utilizados en horticultura las diferencias en el contenido de humedad pueden ser elevadas (aproximadamente un 10%) para pequeñas diferencias de tensión (Da Silva *et al.*, 1995; citados por Baas *et al.*, 2001), lo cual limita el uso de los tensiómetros.

- Permite estimar la C.E. de la solución del medio *in situ*. Este parámetro es un importante indicador del estado nutricional y la salinidad del medio (Baas *et al.*, 2001). La medida continua de la conductividad eléctrica ofrece la posibilidad de corregir la C.E. del medio de cultivo modificando la C.E. de la solución nutritiva sin la necesidad de tomar y analizar muestras del medio.

2.2.7. Métodos para estimar el pH y la salinidad del sustrato

Estos dos parámetros proporcionan una información importantísima sobre el estado nutricional del sustrato, y pueden ser determinados en la explotación de una manera muy sencilla, con peachímetros y conductímetro de bolsillo, disponibles a precios muy reducidos.

En concreto, debido a que la salinidad de la zona radicular presenta un marcado efecto en varias características del crecimiento de la planta (Raviv *et al.*, 1988; citados por Eymar, 2001) la gestión de la solución nutritiva en cultivos sin suelo requiere su preciso control (Son 1996; citado por Eymar, 2001).

Los muestreos en sistemas de cultivos sin suelo, para algunos sustratos se llevan a cabo analizando la solución del ambiente radicular, como ocurre en la lana de roca. En otros casos, las determinaciones tienen lugar en el extracto de sustrato. La C.E. del extracto acuso del medio de cultivo se utiliza como un indicador no específico del estado nutricional (Timmer *et al.*, 1984), utilizando los agricultores tal información para determinar la necesidad de lixiviar sales en la zona radicular (Eymar *et al.*, 2001).

Lo que varía de unos métodos a otros es la relación suelo-agua (Jones *et al.*, 1993, Sonneveld *et al.*, 1971 y Timmer *et al.*, 1984; citados por Eymar *et al.*, 2000 y 2001), la forma de preparación del extracto y volumen de sustrato. En este sentido, y dadas las elevadas diferencias de densidad de los sustratos, generalmente se parte de volumen (Ansorena, 1994).

Ya que la producción óptima de plantas en contenedor depende de un ajuste frecuente de los factores ambientales que afectan al crecimiento vegetal, existen tecnologías de control continuo para prácticamente todas las variables atmosféricas (temperatura, luz, humedad ambiental, etc.). Sin embargo, para variables relacionadas con el sustrato y la rizosfera únicamente existen dispositivos para medir de forma continua el contenido en agua, pero ninguno para controlar de forma continua el contenido de iones de la solución del sustrato (Eymar *et al.*, 2000).

Eymar *et al.*, (2001) desarrollaron la medida en continuo de la C.E. en sustratos utilizando una sonda de succión modificada, con la ventaja de que no es una técnica destructiva (ya que no es necesario muestrear el medio de cultivo) y es posible obtener el valor de la C.E. del sustrato en continuo y a tiempo real.

El sistema acopla una cápsula cerámica y una célula de medida de la C.E. que permite el muestreo en continuo de la solución del sustrato y la medida de su C.E. mediante la aplicación de una succión con una columna de agua. Se crea un flujo de entrada continuo desde la disolución del sustrato, a través de la cápsula cerámica y finalmente hasta la célula de medida de C.E. El registro continuo de la C.E. se logra conectando el conductivímetro a un recopilador de datos.

Por último, señalar que, en la mayoría de los sustratos, los nutrientes y otras sales se encuentran desigualmente distribuidos en el ambiente radicular; por tanto, el lugar del que es tomada la muestra deberá ser tenido en cuenta y afectará de una forma importante a los resultados de los análisis y a su interpretación (Sonneveld *et al.*, 2001).

2.2.8. Características del sustrato ideal

Ante la pregunta ¿Existe un sustrato ideal? La respuesta es muy clara, y es “no” ya que el sustrato solo es un elemento más de un complejo agroecosistema.

El mejor medio de cultivo en cada caso variará de acuerdo con numerosos factores:

- Tipo de material vegetal con el que se trabaja (semillas, plantas, estacas, etc.).
- Especie vegetal.
- Condiciones climáticas.
- Tamaño y forma del contenedor.
- Sistemas y programas de riego y fertilización.
- Aspectos económicos.
- Experiencia local en su utilización, etc.

Salvo situaciones extremas, ningún sustrato que cumpla unos requerimientos mínimos puede considerarse inapropiado para el cultivo.

Ya que las plantas responden a las características o propiedades de los sustratos más bien que a los materiales que lo componen, se debe hablar de características “ideales” de los sustratos a utilizar en la producción de plantas en vivero.

Para obtener buenos resultados durante la germinación, el enraizamiento y el crecimiento de las plantas, se requiere las siguientes características del sustrato (Abad *et al.*, 2004):

a) Propiedades físicas:

- Alta Capacidad de retención de agua fácilmente disponible.
- Suministro de aire suficiente.
- Elevada porosidad.
- Distribución del tamaño de las partículas, que mantenga las condiciones anteriores.
- Baja densidad aparente.
 - Una estructura estable para impedir la contracción o hinchazón del medio.

b) Propiedades químicas:

- Mínima velocidad de descomposición.
- Baja o moderada capacidad de intercambio catiónico, dependiendo de que la fertirrigación se aplique permanentemente o intermitente, respectivamente.
- Salinidad reducida.
- Suficiente nivel de nutrientes asimilables.
- Alta capacidad tampón y capacidad para mantener constante el pH.

c) Otras propiedades:

- Fácil de preparar y mezclar.
- Libre de semillas de malas hierbas, nematodos, patógenos y sustancias fitotóxicas.
- Reproductividad y disponibilidad.
- Bajo coste.

- Fácil de desinfectar y estabilidad frente a la desinfección.
- Resistencia a cambios externos físicos, químicos y ambientales.
- De manejo conocido.

En conclusión que un sustrato particular proporciona los mejores resultados, realmente quiere decir, que ese sustrato dio los mejores resultados bajo un sistema particular de manejo que prevaleció durante el cultivo. Un cambio en las prácticas de manejo o un cambio en el medio ambiente, a menudo pueden llegar a proporcionar resultados completamente distintos, por tanto nunca se puede hablar de sustrato “ideal”, ya que es el binomio sustrato-manejo el que determinará el éxito o el fracaso en la utilización de un determinado material como sustrato.

2.2.9. Sustrato lana de roca

2.2.9.1. Origen y proceso de fabricación

La lana de roca es un material fibroso inerte obtenido por la fundición a 1 600 °C de diabasa y calizas, utilizando como combustible carbón. El resultado de la fundición da



Figura 24. Detalle de la lana de roca embolsada.

lugar a una fibra, la cual es comprimida en planchas. Estas planchas son cortadas con distintas dimensiones según su finalidad.

Durante el proceso de fabricación se añade un aglutinante y un agente hidrófilo para conseguir una absorción uniforme del agua.

El resultado es un medio de cultivo con unas características físico-químicas idóneas para su uso en agricultura. Debido

a su proceso de fabricación con altas temperaturas es un producto libre de patógenos y semillas de malas hierbas (inerte), sin reacciones químicas entre la planta, los fertilizantes y el sustrato, que nos altere el equilibrio de la solución nutritiva deseada. (Fernández y Cuadrado, 1999).

Las tablas van embolsadas con un polietileno de color blanco exteriormente y negro en el interior, para evitar la proliferación de algas, e impedir la inhibición del desarrollo radicular. (Abad *et al*, 2004).

2.2.9.2. Características físico-químicas

La lana de roca es un sustrato que se caracteriza por tener una estructura física compacta y químicamente por ser inerte:

- **Propiedades Físicas,** aunque éstas dependen del grosor de las fibras, su densidad, la cantidad de estabilizante y mojante añadidos, etc., y esto varía en función del fabricante, puede decirse que en general dichas propiedades son las siguientes:



Figura 25. Detalle de la lana de roca comprimida.

- **Espacio poroso total:** hasta el 97%.

- **Agua fácilmente disponible:** cuando se moja por inversión previo a la plantación, puede alcanzar un valor superior al 70%, pero posteriormente durante el cultivo tiende a descender entre el 50 y el 60% ya que la lana de roca no es capaz de rehumectarse completamente. Por ello es muy importante evitar que este sustrato se seque en exceso (menos del 50% de humedad) pues, en ese caso, habría grandes dificultades para

rehumedecerlo y el cultivo podría sufrir estrés hídrico, debiéndose ofrecer entonces riegos muy cortos y frecuentes, que son difíciles de manejar.

- **Agua de reserva:** entorno al 1%.

- **Agua difícilmente disponible:** se sitúa entre el 2 y el 4%.

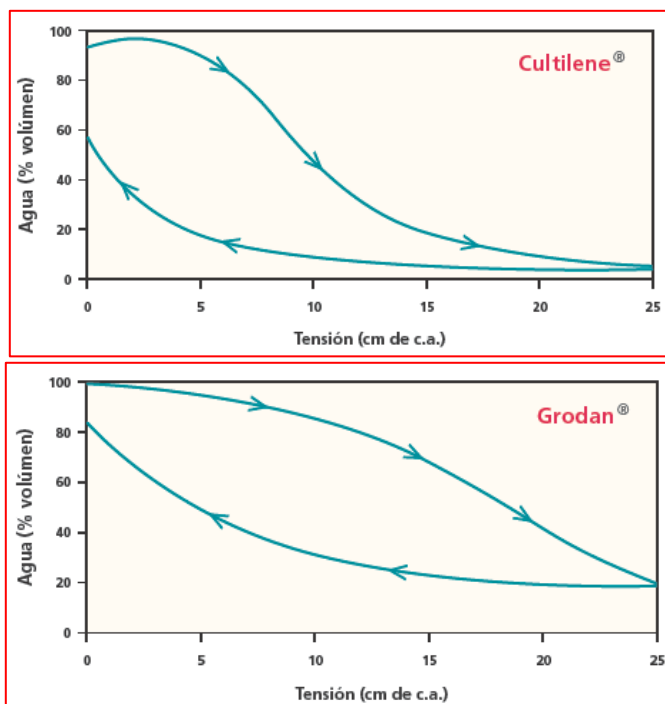
Se observa por tanto que la lana de roca retiene muy débilmente el agua pues casi toda ella es fácilmente disponible. Esto supone una ventaja ya que el gasto de energía que tiene que realizar la planta en el proceso de absorción es muy pequeño, pero por otro lado apenas existe una reserva de agua de la que pueda abastecerse el cultivo en caso de que el riego no sea el adecuado o haya un corte eléctrico. Por ello el periodo que puede estar sin riego es menor que para otros sustratos y además el manejo del mismo debe ser mucho más preciso para obtener buenos resultados.

- **Capacidad de aireación:** del 25-30%. (Camacho *et al.*, 2003).

Como se ha comentado anteriormente, en el proceso de rehumectación la lana de roca retiene cada vez menos porcentaje de agua y, por tanto, más aire. Sin embargo, esto no tiene lugar de forma homogénea en todo el sustrato, sino en zonas diferenciadas, como la parte alta del mismo o el espacio entre goteros. Al estar más secas, estas zonas son peor colonizadas por las raíces del cultivo y, por tanto, su mayor nivel de aireación no es útil para la raíz.

Las curvas de retención de agua de dos tipos de lana de roca comerciales son las siguientes:

Comportamiento de la lana de roca bajo distintas concentraciones de oxígeno y su efecto sobre la morfología de la planta en un cultivo de melón cv. Vulcano.



La distribución del agua en la tabla es variable en función de altura considerada. Así, al aumentar dicha altura desde la base de la tabla, se observa que el contenido de agua del sustrato es cada vez menor y a 10 cm, el sustrato está casi seco. Por contra, en la base hay unas condiciones de saturación y hasta los 5 cm el nivel de humedad es muy adecuado para el cultivo. Desde los 5 hasta los 7,5 cm hay un descenso rápido del nivel hídrico, pero aún resulta aceptable. Finalmente, desde los 7,5 a los 10 cm la humedad es muy baja y el desarrollo radicular tiende a ser escaso. No obstante en nuestra zona es frecuente encontrar tablas de 10 cm con el fin de mejorar la oxigenación radicular en invierno.

Dado que el volumen mínimo de sustrato que se debe manejar en lana de roca es de 2-3 litros por planta cuando se establecen 6 plantas por tabla, normalmente éstas son de 15 litros. De este modo, son habituales las dimensiones siguientes (expresadas en cm) 100x20x7,5 y 100x15x10. En nuestra zona, es habitual establecer unos $50 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ de lana de roca. Las tablas se presentan forradas con polietileno blanco opaco para evitar su colonización por algas.

La densidad aparente de la lana de roca es variable en función del fabricante, pero en cualquier caso resulta baja, inferior a $100 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. La de la marca Grodan suele estar alrededor de $70 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, mientras que la de Cultilène se sitúa en torno a $80 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Una mayor densidad aparente implica la existencia de más fibra y ello supone mayor resistencia mecánica y menor tamaño de los poros, por lo que el material se mojará más fácil y uniformemente y su estructura favorable durará más tiempo. Por tanto, resultará más cara pero tendrá más calidad.

- **Densidad aparente:** $0,08 \text{ gr}\cdot\text{cm}^{-3}$

Se trata de un sustrato compacto, por lo que la distribución de la humedad y oxigenación va a depender de la disposición de la fibra y de la altura del sustrato. La altura del sustrato es realmente importante, ya que el gradiente de agua crece de arriba hacia abajo, por lo que la oxigenación es mayor en la parte superior de la tabla.

Esta altura hay que tenerla en cuenta a la hora del manejo del riego y de la apertura del drenaje. En los sustratos de menor altura deberemos estar seguros de que no queda agua acumulada dentro, para evitar la asfixia radicular.

La densidad de la lana de roca varía entre 50-70% $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ según cultivo, tipo de agua a utilizar y duración del sustrato. (Fernández y Cuadrado, 1999).

- **Propiedades Químicas**

- La **capacidad de intercambio catiónico** (CIC) es prácticamente nula al igual que su poder tampón, por lo que no es capaz de alterar la composición de la solución nutritiva existente en la rizosfera. Esto en general es una ventaja ya que podemos controlar mejor la nutrición del cultivo. Sin embargo, no se dispone de una reserva de nutrientes en caso de que el aporte no sea el correcto. Es, en definitiva, un sustrato muy técnico.

▪ Por otro lado, la **salinidad** inicial es despreciable y por tanto no constituye un factor limitante. El pH inicial se sitúa en torno a 8-9, por lo que es necesario dar un riego de saturación con solución nutritiva con el fin de reducir este valor y conseguir que sea óptimo en el momento del transplante.

En lo que respecta a las alteraciones sufridas por el material, la lana de roca no sufre descomposición por actividad biológica, sino alteraciones mecánicas que consisten básicamente en a compactación de las fibras. La vida útil suele ser de 2 ó 3 años, aunque también se comercializan tablas de un solo año de duración, más económicas y con menos riesgos fitosanitarios. (Camacho *et al.*, 2003).

La lana de roca presenta como ventajas que, por ser un material totalmente inerte apenas interfiere en la nutrición, control de enfermedades de suelo, presenta una excelente relación aire-agua, la mayor parte del agua es fácilmente asimilable, existe una gran experiencia de manejo contrastada en diversos países. Como inconvenientes presenta, el que debemos estar muy atentos en el manejo evitando quedarnos sin agua, por su difícil recuperación, formulando correctamente la solución nutritiva, por su nula C.I.C. y bajo poder tampón.

Tabla 15. Principales características de la lana de roca.

CARACTERÍSTICAS	LANA DE ROCA
Densidad Aparente (g/cm ³)	0,08
Porosidad Total (% volumen)	97
Capacidad de aireación (% volumen)	25-30
Agua fácilmente disponible (% volumen)	50-60*
Agua difícilmente disponible (% volumen)	2-4
Agua de reserva (% volumen)	1
C.I.C. (meq/100 gr)	0

*Cuando se moja por inversión previo a la plantación, puede alcanzar un valor superior al 70%, pero posteriormente durante el cultivo tiende a descender entre el 50 y el 60% ya que la lana de roca no es capaz de rehumectarse completamente.

Los principales inconvenientes que presentan la lana de roca son:

- La capacidad de intercambio catiónico es prácticamente nula al igual que su poder tampón, esto puede ser una ventaja pero también un inconveniente, como se ha comentado anteriormente ya que no se dispone de ninguna reserva de nutrientes en caso de que el aporte no sea el correcto.
- Sufre alteraciones mecánicas que consisten básicamente en la compactación de las fibras.
- pH inicial elevado (entorno a 8-9), por lo que es necesario dar un riego de saturación con solución nutritiva con el fin de reducir este valor y conseguir que sea óptimo en el momento del transplante.

2.2.9.3. Tipos de tablas de lana de roca

En el mercado internacional existe un importante y variado catálogo de tablas adaptadas a cada necesidad.

En la zona sur de Europa se desarrollan las siguientes líneas de tablas cuyas diferencias son la disposición de la fibra, densidad y dimensiones.

La disposición de las fibras son: en vertical, crespada y horizontal, desarrollándose nuevos diseños por parte de las distintas firmas que la comercializan, así como la altura de la tabla.

Normalmente se utilizan tablas cuyas fibras se disponen horizontalmente ya que ello aumenta el cono de sustrato mojado directamente por el emisor y mejora la colonización de la tabla por las raíces. (Camacho *et al.*, 2003).

No obstante, las tablas de fibra vertical también están teniendo un gran desarrollo en los últimos tiempos ya que permite un mejor ajuste de los niveles de agua, una mejor

resaturación de la tabla entre los ciclos de cultivo debido a su alta capilaridad (esto nos va a poder permitir bajar los niveles de humedad en el invierno y poder recuperar la humedad en primavera sin esfuerzos, así como, mantener una correcta relación de humedad día-noche, que nos permita conseguir un menor grado de humedad en el sustrato durante las horas de poca actividad de la planta, siendo importante en cultivos con sensibilidad al encharcamiento), la tabla es mucho más rígida, lo que asegura el uso de la misma varios años sin perder propiedades y disminuye los drenajes, lo que se traduce en un ahorro de agua y abono. (Fernández y Cuadrado, 1999). Éstas pueden tener el inconveniente de acumulación de sales durante el proceso de ascenso capilar en el volumen colindante al cono de humedad. (Camacho *et al.*, 2003).

2.2.9.4. Vida útil de la lana de roca

Los agricultores del litoral almeriense tienden a alargar la vida útil del sustrato basándose en su experiencia y en la información de técnicos y fabricantes para reducir los costes de cultivo, pero no hay criterios claros que les permitan decidir hasta cuándo deben usarlos sin que haya pérdidas productivas (Acuña *et al.*, 2004). La renovación tiene un marcado carácter económico, donde se considera el coste de esta operación y las posibles pérdidas en caso de mantenerlo (Vega y Raya, 2000). En cambio, en Holanda, en general, los agricultores de hortalizas en invernadero suelen renovar los sustratos una vez al año, para evitar gastos de desinfección (Van Os *et al.*, 2002).

La información sobre la duración del uso de los sustratos hortícolas en el litoral almeriense es escasa y heterogénea. Hay autores que recomiendan renovaciones cada dos o tres cultivos, considerando que no hay una disminución del rendimiento de la calidad durante este periodo de uso (Ammá y Cascardo, 1997, citados por Haro, 2003). Otros autores recomiendan renovaciones cada 3 ó 4 años (Sánchez *et al.*, 2001), aunque pueden apreciarse reducciones de producción en las tablas de segundo año. En general, no se recomienda alargar el uso de las tablas más de tres años.

La información concerniente al efecto de la reutilización de los sustratos sobre sus características físico-químicas es escasa.

La calidad de un medio de cultivo depende de sus características físicas y de sus propiedades químicas. Generalmente, el sustrato es diseñado para una óptima capacidad de retención de agua y nutrientes, así como variaciones gaseosas. Sin embargo, virtualmente todos los sustratos experimentan cambios físicos y químicos durante su uso. Además, los parámetros de los sustratos cambian debido al propio cultivo. Por ejemplo, la porosidad puede disminuir por el incremento de la masa radical (Schröder y Lieth, 2002). En cuanto a la ausencia de enfermedades, hay que decir que la lana de roca se presenta como un medio inerte, libre de patógenos, pero a medida que transcurre el tiempo y las campañas, en el sustrato reutilizado, se van acumulando restos de las raíces de los cultivos previos, que pueden estar o no contaminadas por patógenos que afecten a los cultivos posteriores. Por eso, cuando la incidencia de las enfermedades transmitidas a través de la reutilización de los sustratos es importante, la mejor solución es la reposición del sustrato.

Por otro lado, cuando se va a reutilizar el sustrato hay autores que recomiendan mantener su humedad, dando riegos periódicos con agua sin fertilizantes, durante el periodo en el que no hay cultivo para evitar así una excesiva acumulación de sales. Magán (2000), recomienda dar dos riegos semanales de 10 minutos de duración, mientras que García (1999), aconseja dar tres riegos de la misma duración. Sin embargo, otros especialistas no recomiendan esta práctica debido a que las altas temperaturas estivales junto con la humedad del sustrato degradan la lana de roca y empeoran sus propiedades físico-químicas. En este caso será necesario dar varios riegos antes de la próxima plantación para rehumectar y lavar las sales, controlando la conductividad eléctrica de la solución en el interior de la tabla. Incluso se deberán cerrar los orificios de drenaje con el fin de poder saturar el sustrato que deberá alcanzar una humedad mayor del 70%. (García, 1999).

En cualquier caso, cuando se reutiliza un sustrato, es conveniente hacer una desinfección con suficiente antelación a la plantación para garantizar un buen estado sanitario. La desinfección puede llevarse a cabo por diversos métodos, pero los más utilizados son la desinfección con productos químicos (hipoclorito sódico, amonio cuaternario, etc.) y mediante vapor de agua. (Haro, 2003).

2.3. LA OXIGENACIÓN DE LA RIZOSFERA DE LOS CULTIVOS

2.3.1. Introducción

La respiración ocurre en las mitocondrias de todas las células vivas (parte aérea y raíces) y se llama respiración mitocondrial u oscura para evitar su confusión con la fotorespiración. La respiración implica la oxigenación de sustratos de carbono a partir de la extracción de electrones e hidrógeno y la liberación de dióxido de carbono.

El funcionamiento del sistema radical requiere un suministro continuo de oxígeno a todas sus células. Un suministro sostenido de oxígeno molecular parece esencial para un crecimiento activo de las raíces (Armstrong, 1979), si bien las raíces de algunas especies pueden funcionar bajo condiciones anaerobias temporales cambiando de formas metabólicas aerobias a anaerobias.

La fuente primaria de oxígeno molecular en las raíces es la atmósfera, desde donde fluye el oxígeno vía difusión hasta las raíces a través de dos posibles vías: a través del medio de cultivo hasta la interfase medio/raíz (rizosfera) y de ahí radialmente hasta la raíz (vía externa), o bien a través de la parte aérea y longitudinalmente a lo largo de la raíz (vía interna). La vía externa es la más importante (Drew, 1983), excepto en plantas con estructuras especiales (aerenquima) adaptadas a crecer en medios anaerobios, como el arroz.

El oxígeno se encuentra en los poros de los medios de cultivo tanto en forma gaseosa formando parte del aire, como disuelto en la solución del medio. Las raíces de las

plantas, sin embargo, consumen solo oxígeno disuelto en la solución. El oxígeno de la rizosfera se repone, fundamentalmente, por difusión en el aire entre la atmósfera y los poros de aire del medio de cultivo, y por difusión en el agua entre los poros llenos de aire y los poros llenos de solución del medio de cultivo.

2.3.2. Espacio poroso, intercambios aire-agua y difusión de oxígeno en el sustrato

El oxígeno es transferido hacia las raíces (mediante difusión) a través de la lámina de agua que las rodea. La difusión del oxígeno en el aire es del orden de 10⁴ veces a la del oxígeno en el agua. Por tanto la reposición del oxígeno en el sustrato depende en gran medida de la porosidad llena de aire del mismo y también de la morfología de la matriz porosa. Pero cuando el agua ocupa la mayor parte del espacio poroso de un sustrato, el agotamiento del oxígeno en la fase líquida y en la fase gaseosa de los microporos tiene lugar de forma exponencial y lleva asociado un aumento de la concentración de CO₂ y de otros gases, tales como etileno y metano, resultando de las condiciones reductoras del medio, y también se producen alteraciones del pH.

Predominando los fenómenos de difusión sobre los flujos de masa y siendo la reposición del oxígeno lenta. (Veen, 1988).

Un suelo se considera que está compactado cuando la porosidad total, de manera particular la porosidad llena de aire, es tan baja que la aireación se ve restringida, así también por efecto de la compactación, los poros son tan pequeños que la penetración de la raíz es impedida. (Hillel, 1982).

En los cultivos sin suelo, el sistema radical está confinado en un contenedor, en donde el volumen de la rizosfera es reducido. Este confinamiento y restricción obliga a usar sustratos, que aseguren la disponibilidad de agua y oxígeno a las raíces, por lo cual tendrán unas propiedades físicas específicas y diferenciadas del resto de los suelos naturales.

Complementariamente el ferririego de los cultivos sin suelo deberá favorecer la disponibilidad de agua y de oxígeno para el sistema radical. (Marfà, 1997).

El agotamiento del agua y del oxígeno en el medio de los cultivos sin suelo evoluciona según una escala temporal acelerada, sobre todo, si las tasas transpiratorias y de respiración radical son elevadas. Estas circunstancias propias del clima mediterráneo coinciden además con demandas evaporativas ambientales elevadas y con temperaturas y/o salinidad elevadas en el medio radical. Por ello, en los cultivos sin suelo de la zona pueden darse cambios bruscos desde situaciones de “confort” a “estrés” hídrico y también en la disponibilidad de oxígeno a nivel de la rizosfera. (Marfà, 1998).

Para garantizar contenidos adecuados de aire y de agua, los sustratos deben tener una granulometría tal que el espacio poroso total sea superior al 75% y que el tamaño medio de los poros esté comprendido entre 0,03 y 0,3 mm. (Orozco *et al.*, 1997, citado por Marfà, 1999). Para cumplir con estas condiciones el diámetro geométrico medio de las partículas debe estar comprendido entre 5 y 0,25 mm y la distribución de los tamaños de las partículas debe evitar posibles empaquetamientos que den lugar a una reducción de la porosidad interparticular. Dichas características determinan que los sustratos liberen una considerable cantidad de agua en un invernadero de potencial matricial reducido, entre -1 y -10 kPa (equivalente a -10 y a -100 cm de columna de agua). El contenido volumétrico equivalente al agua disponible, debería ser mayor de 30%; pero el volumen de macroporos debe ser suficiente para que el contenido volumétrico lleno de aire a -1 kPa de potencial matricial sea mayor de 20%, para garantizar la correcta oxigenación de raíces. Todas estas relaciones aire-agua dependerán del tipo de sustrato.

Cuando se parte de la saturación del sustrato, el agua retenida por la matriz porosa, no se libera hasta que la succión externa alcanza un valor umbral denominado “potencial de entrada de aire” del sustrato. En sustratos con textura fina o intermedia y en aquellos que presentan empaquetamiento de partículas dicho potencial de entrada puede presentar valores superiores a -1 kPa. Esto refleja la posible existencia de condiciones deficientes de

aireación al utilizar contenedores de poca altura, con riegos muy frecuentes o bien cuando el consumo de agua por parte de las raíces es lento.

Dentro de los sustratos se dan condiciones dinámicas y por tanto cambiantes. El flujo del agua y aire en el sustrato o entre el sustrato y las raíces depende no sólo del gradiente del potencial matricial del agua o de la concentración de oxígeno, sino que además depende de la capacidad del medio físico de transmitir agua o aire, según su naturaleza y estado de humectación. La capacidad de transmitir agua se llama conductividad hidráulica, y depende de la humedad y la naturaleza intrínseca del sustrato representándose con el denominado índice de tortuosidad (τ), mientras que el inverso es denominado efectividad al flujo de agua (γ). En cuanto a la fase gaseosa la difusividad relativa de un gas en un sustrato (D_s/D_o), respecto a la difusión del aire, es función del índice de efectividad al flujo del gas (γ^*), que es inverso a la tortuosidad (τ^*) y función exponencial (μ) de la porosidad llena de aire (AFP), (King *et al.*, 1987; citado por Marfá *et al.*, 1999).

Calculo de la difusividad relativa de un gas en el sustrato:

$$D_s/D_o = \gamma^* \cdot AFP^\mu$$

Bunt (1991), observó que el suministro de oxígeno en el sustrato está determinado principalmente por las características físicas del sustrato y sobre todo por su contenido volumétrico de aire y estimó empíricamente la tasa de difusión de oxígeno (ODR) en los sustratos más comunes mediante la expresión:

$$ODR = 10 + AFP^{1,85}$$

Dicha tasa de difusión es aproximadamente igual al cuadrado de la porosidad llena de aire. Es decir que la capacidad de reposición del oxígeno en el espacio poroso de un sustrato varía en razón al cuadrado AFP. Valores de ODR superiores a $80 \cdot 10^{-8} \text{ g O}_2 \cdot \text{cm}^{-2} \cdot$

min^{-1} se consideran adecuados, valores de $25 \cdot 10^{-8} \text{ g O}^2 \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$ empiezan a ser limitantes. Puesto que entre el oxígeno de la fase gaseosa del sustrato y el disuelto en la solución de medio de cultivo se establece un equilibrio, las medidas sucesivas del oxígeno disuelto en la solución del sustrato pueden ser un buen indicativo de la dinámica del oxígeno en el mismo (Marfá, 1990; Riviere *et al*, 1993; Morard, 1995; citado por Marfá *et al.*, 1999).

En sustratos envueltos en una película plástica que dejan una pequeña superficie abierta a la atmósfera, la velocidad con la que el oxígeno de la rizosfera es renovado o tasa de difusión del oxígeno puede verse reducida y el oxígeno en disolución puede bajar por debajo de niveles limitantes, sobre todo si la frecuencia del riego es baja (Adams, 2002).

2.3.3. Factores que afectan a la solubilidad del oxígeno en agua

La cantidad de oxígeno disuelto en agua depende fundamentalmente de las condiciones físicas y ambientales de la misma. Los principales factores físicos que afectan a la solubilidad del oxígeno son la temperatura, la presión parcial de dicho gas, la presión atmosférica, la salinidad del agua, y la superficie del agua expuesta al aire (Molina, 1996; Marfá y Guri, 1999). En condiciones normales (20 °C, 1 atmósfera de presión, y aire no enrarecido de oxígeno) la cantidad máxima de oxígeno disuelto es de 9 ppm (Molina, 1996).

La solubilidad disminuye de forma lineal a medida que aumenta la temperatura. (Molina, 1996). La salinidad del agua también influye en la solubilidad del oxígeno, que disminuye cuanto mayor es la salinidad (Margalef, 1991; citado por Molina, 1996; Marfá *et al.*, 1999).

La solubilidad de los gases en líquidos cumple la ley de Henry. La solubilidad de un gas en un líquido es proporcional a la presión parcial de gas (Molina, 1996). La presión atmosférica o barométrica no es constante, sino que varía en función de las condiciones atmosféricas y la altitud. La solubilidad del oxígeno en el agua está relacionada

directamente con la presión atmosférica del aire que le rodea. Si la presión del aire, por ejemplo pasa de ser el doble para la misma temperatura, la solubilidad del oxígeno en el aire se duplica (Pauling, 1958, citado por Molina, 1996). A medida que aumenta la altura en relación al nivel del mar, la presión atmosférica se hace menor y, por tanto, disminuye la solubilidad del oxígeno en agua.

Por último, otro de los factores que interviene en la disolución del oxígeno es la superficie de contacto con el ambiente (Molina, 1996; Marfá y Guri, 1999 y Vestergaard, 1984, citado por Schröder y Liethg, 2002). La difusión de oxígeno aumentara cuanto mayor sea la superficie expuesta al aire y la temperatura de la capa superficial del agua.

2.3.4. Relación oxígeno-rizosfera en los cultivos en sustrato

El oxígeno forma parte de la mayoría de los compuestos orgánicos de las plantas. Solamente unos pocos de estos compuestos orgánicos como por ejemplo el caroteno, no contiene oxígeno. También da lugar al intercambio de aniones entre las raíces y el medio exterior, y es receptor terminal de H⁺ en la respiración aerobia (Resh, 2001).

La presencia de una fase gaseosa volumétricamente importante es una característica primordial en un soporte de cultivo. Esta fase gaseosa permite en particular el aprovisionamiento en oxígeno del sistema radical y la evacuación del gas carbónico producido por la respiración de las raíces y de los microorganismos, han demostrado que el sistema radical está siempre más desarrollado en los sitios donde la circulación del aire es más fácil.

Cuando el sustrato está suficientemente aireado, las raíces se agrupan en la parte superior, más rica en aire; mientras que cuando su desarrollo horizontal es impedido por la pared del contenedor, las raíces se desarrollan referentemente en la interfaz sustrato/pared (Lemaire *et al.*, 2005).

Estudios relativos a la evolución del contenido de oxígeno en la solución de la rizosfera permiten diferenciar tres etapas en las curvas de agotamiento del mismo. En la primera etapa hay un descenso lineal del contenido de oxígeno hasta alcanzar una presión parcial entre el 4 y el 6%; en la segunda etapa, que dura hasta que la presión parcial alcanza el 1%, el descenso es más lento y la tasa respiratoria radical es progresivamente más lenta; finalmente cuando se alcanza una presión parcial alrededor del 1% (presión parcial que coincide con el límite de utilización del oxígeno por parte de la mayoría de las especies hortícolas), se produce una evolución asintótica. (Morad, 1995). Desde la segunda fase, asociada a la hipoxia, aumenta la expulsión de CO₂ por parte de la planta y también aumenta la concentración de etileno en la rizosfera.

La hipoxia, se produce cuando la proporción de oxígeno que entra en el medio de cultivo, procedente de la atmósfera o incorporado por el agua de riego, es menor que la utilizada en los procesos respiratorios de la parte radical de la plantas, de las bacterias o de otros organismos (Russell, 1997, citado por Molina 1999). Las causas de hipoxia radican por una parte en el propio medio de cultivo y por otra en la planta. En condiciones de anegamiento permanente o estacional, cuando casi todos los espacios porosos están ocupados por agua, el oxígeno atrapado en las bolsas de aire es rápidamente apurado por la respiración de las raíces y los microorganismos. Otra causa es, la compactación mecánica de los sustratos (Russell, 1977 y Querol, 2004), que disminuye la fracción de volumen de huecos y, por consiguiente, aumenta la densidad aparente. Esto se traduce en una reducción de la capacidad de circulación de aire y por tanto en una reducción de la renovación del oxígeno.

Como se ha comentado con anterioridad, la disponibilidad de oxígeno está muy relacionada con la temperatura. La correlación entre ellas es inversa, de forma que en una disolución nutritiva a medida que aumenta la temperatura, disminuye la concentración de oxígeno disuelto, mientras que a la capacidad de difusión del mismo le ocurre el efecto contrario, es decir aumenta a medida que lo hace la temperatura, de manera que, en parte, estos fenómenos se compensan sin llegar a equilibrarse (Schwarz, 1995). Esta razón hace

que el valor absoluto de oxígeno en una disolución nutritiva previamente saturada con aire a presión sea menor en las horas centrales donde la temperatura en el cultivo es mayor (Urrestarazu, 2004).

El problema de la baja concentración de oxígeno en la solución nutritiva debido a una elevada temperatura se puede agravar con la presencia de microorganismo en el medio, que compiten con las raíces por el oxígeno. Un aumento de la temperatura, provoca el mismo tiempo, un incremento en la demanda de oxígeno por parte de la microflora (Marfà y Guri, 1999 y Adams, 2002), que se alimentan de los exudados de las raíces de las plantas. De esta manera existe una competición entre la microflora y las raíces por el oxígeno disponible en solución, siendo la microflora el competidor más fuerte (Papadopoulos y Hao, 2002).

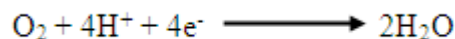
2.3.5. Efecto de la hipoxia radical sobre el medio de cultivo y el cultivo

2.3.5.1. Efecto de la hipoxia radical sobre el medio de cultivo

Las raíces pueden consumir el oxígeno disuelto en el agua o soluciones nutritivas hasta su agotamiento. La asfixia se produce progresivamente a medida que el oxígeno existente se va agotando. La aparición de fenómenos fermentativos en sustitución a la respiración aeróbica permite asegurar la producción de energía y mantener el funcionamiento de la vida de las células de las raíces mientras duren los niveles bajos de oxígeno en el medio (Molina, 1996).

Cuando se desarrollan condiciones anaerobias en el medio radical, aparecen numerosos cambios de tipo biológicos, químicos y físicos que pueden afectar potencialmente a las plantas. Los microorganismos, al descomponer la materia orgánica consumen el oxígeno libre disuelto en el agua del suelo mucho más rápido de lo que el oxígeno atmosférico puede infiltrarse dentro de un suelo mojado, provocando así una carencia de oxígeno. Esta carencia de oxígeno generará sustancias tóxicas producidas por

los microorganismos y por pérdidas de nutrientes como el nitrógeno soluble de los suelos (ya sea por lixiviación o por desnitrificación), que pueden afectar a la supervivencia o recuperación de las plantas. Toda respiración depende de la transferencia de electrones de un nutriente que es oxidado hasta un receptor que es reducido. En el proceso aeróbico el receptor de electrones es el oxígeno libre (O_2), que se combina con iones de hidrógeno para formar agua:



En ausencia de oxígeno libre, otras sustancias pueden aceptar electrones y formar parte de una reacción de reducción:



(El NO_2^- es reducido posteriormente a N_2O o N_2)



Se observa, por tanto una pérdida de nitratos en el medio radicular en las formas gaseosas N_2O o bien del N_2 (desnitrificación) y también la acumulación de sustancia fitotóxicas como el H_2O y otras concentraciones de iones solubles. Fe^{2+} y Mn^{2+} . (Molina, 1996).

2.3.5.2. Efecto de la hipoxia radical sobre el cultivo

La asfixia radicular comprende cambios en la planta de tipo morfológico estructural o fisiológicos metabólicos.

✓ **Cambios de tipo morfológico-estructural**

Las plantas sensibles a los suelos o sustratos anaeróbicos pueden presentar rápidamente síntomas evidentes de afecto no solo en las raíces sino también en la parte aérea. El primer síntoma por estrés de oxígeno en las raíces conduce al marchitamiento (Schnitzler y Gruda, 2002). Después de una deficiencia prolongada de oxígeno, tiene lugar una clorosis o senescencia prematura y defoliación de las hojas situadas en la parte baja (Schröder *et al.*, 2002) cuyas consecuencias se pueden transmitir a toda la planta. Se produce una disminución del crecimiento radical, pérdida de peso seco de la parte aérea, acortamiento de los entrenudos. (Marfà y Guri, 1999).

Las condiciones anaerobias persistentes también pueden provocar cambios adaptativos en algunas especies como pueden ser: formación de raíces adventicias para tomar más oxígeno y formación de espacios aéreos intercelulares (parénquimas aéreas) que permiten la aportación de oxígeno desde la parte aérea hasta las raíces (Molina 1996).

La falta de aireación provoca una reducción de la asimilación total del agua y de la mayoría de los nutrientes (N, P, K, Ca, Mg), que en ocasiones puede alcanzar un 30%, según un trabajo que realizó Adams (1994) sobre un cultivo de tomate. (Papadopulus, 2002), siendo el P el elemento mas afectado (Adams, 2002) y el Mg el menos. Todas las respuestas de la planta ante las distintas situaciones de estrés como consecuencia de la falta de oxígeno en el medio radical se traduce en pérdidas sustanciales en la producción (Marfà y Guri, 1996) o incluso la muerte de la planta (Schröder 2002).

• **Cambios fisiológicos / metabólicos**

El daño sobre las raíces y su incapacidad de funcionar, debido a las cantidades insuficientes de oxígeno, se comunica a la parte aérea mediante vías fisiológicas: los mensajes van encaminados a frenar el crecimiento y pueden comportar cambios en la transferencia de nutrientes, agua, y hormonas vegetales (Drew, 1990, citado por Molina, 1996; Marfà *et al.*, 1999). En general todas las repuestas fisiológicas que se producen en la

parte aérea son perjudiciales en cuanto a la productividad de los cultivos desde el punto de vista agronómico.

Muchos autores coinciden en que una respuesta habitual por parte de la planta frente a condiciones de hipoxia o anegamiento es el cierre estomático. La acumulación del ABA (ácido abscísico) en las hojas puede producir cierre estomático como respuesta a esas condiciones estresantes (Marfá *et al.*, 1999). El cierre estomático, se produce por el efecto del ABA sobre el ión K⁺, que controla la turgencia de las células oclusivas.

No está claro, la fuente de la que procede este ABA, pero en condiciones de hipoxia se observa una acumulación de esta hormona tanto en hojas como en las raíces (Jackson *et al.*, 1988; Newman y Smit, 1991; Castonguay *et al.*, 1993 y Save *et al.*, 1994, citados por Molina 1996).

Otras hormonas como las citoquininas y giberelinas también pueden modificar su concentración en el interior de las plantas e intervenir en el cierre estomático, según unos experimentos realizados por Jackson y Kowalewska en 1983 (Molina, 1996) sobre plantas de guisantes. Tanto la producción de giberelinas como la de citoquininas por las raíces, está bastante demostrada, y puede ser que la concentración de ambas hormonas disminuya en el xilema de las raíces y de la parte aérea como consecuencia de las condiciones anaeróbicas radicales. Según Russel (1977), citado por Molina (1996), posiblemente el etileno sea la hormona que aparece más estrechamente asociada a la respuesta de las plantas a suelos anaeróbicos.

2.3.6. Métodos de oxigenación de la rizosfera

Hay numerosos métodos para mejorar la oxigenación del medio de cultivo. En la actualidad podemos encontrar en diferentes estudios y experimentos realizados, dos métodos o sistemas de oxigenación en cultivos sin suelo. El primero corresponde a un método de carácter físico o mecánico y el segundo se realiza mediante la aplicación de

productos químicos; sin embargo ambas metodologías tienen el mismo principio, que es el oxigenar la solución nutritiva.

2.3.6.1. Método físico o mecánico

Los sistemas físicos de aireación consisten en la agitación mecánica de la solución nutritiva, mediante burbujeo continuo o insuflación de aire.

La técnica más usada en investigación es el burbujeo continuo con un compresor. En sistemas recirculantes es posible aumentar la oxigenación provocando un salto del drenaje en el tanque de recogida. Según recomiendan Carrasco e Izquierdo (1996), (citado por Urrestarazu, 2004), el salto debe ser de al menos 50 cm tanto en la caída de retorno de drenaje, como en el agua de relleno para la preparación de la disolución.

Otro método que ha dado buenos resultados en sistemas NFT, es el aprovechamiento del efecto venturi en la cabecera de los inyectores o bien en un by-pass en el retorno del tanque (Urrestarazu, 2004).

El método más simple, en los sistemas en los que el aparato radical está inmerso en la disolución nutritiva, es la interrupción del paso de la disolución nutritiva por el canal de cultivo. Se intenta mantener el equilibrio entre la necesaria oxigenación de las raíces mediante el contacto directo con el aire y la necesidad del agua humedeciendo sus raíces para que no sufra estrés hídrico (Urrestarazu, 2004).

Otra técnica de enriquecimiento de oxígeno es la oxifertirrigación, técnica que consiste en la inyección y disolución de oxígeno gaseoso a presión en la tubería del agua de riego por encima de los valores de saturación (Marfá *et al.*, 2004). La oxifertirrigación permite aumentar la concentración de oxígeno en el espacio poroso lleno de aire del sustrato y de la solución, puede ser una técnica complementaria a la fertilización clásica

cuando las condiciones técnicas puedan comportar deficiencias en el mantenimiento de una adecuada oxigenación del medio de cultivo.

Estos métodos prácticos pueden ser eficaces cuando se dan condiciones de elevadas tasas de respiración radical, cuando las aguas para el riego contienen poco oxígeno disuelto, por ejemplo cuando su temperatura es elevada (Riviére *et al.*, 1993), en condiciones de baja evapotranspiración en que es más habitual el encharcamiento del sustrato (Ansorena, 1994) o cuando la salinidad del agua de riego es elevada.

2.3.6.2. Método químico

La aplicación de productos químicos en la disolución nutritiva que mejoran e incrementan la disponibilidad de oxígeno, fue desarrollada con resultados favorables, desde mediados del pasado siglo (Melsted *et al.*, 1949) al aplicar H₂O₂ en plantas de maíz. También está descrita la ozonización de las soluciones nutritivas, como medio de desinfección de las mismas, dando lugar, adicionalmente, a que las soluciones nutritivas resultantes contengan una elevada concentración de oxígeno (Vanachter *et al.*, 1988).

La aplicación de oxigenates químicos es una interesante alternativa para los cultivos sensibles a la hipoxia radical. Experimentos realizados por Urrestarazu *et al* (2005) en pimiento, concluyeron que la aplicación de un oxigenante químico a base de nitrógeno y potasio, de nombre comercial (Liberoxi), mejoró la eficiencia del uso del agua, la absorción de nutrientes y los rendimientos del cultivo.

La aplicación de peróxido de hidrógeno tiene la ventaja que el oxígeno es más soluble en el agua que si se aplica presurizado. Sin embargo, la aplicación de H₂O₂ en altas concentraciones puede causar problemas de toxicidad en la planta (Urrestarazu y Mazuela, 2005).

Actualmente existen en el mercado varias sustancias químicas que permiten la oxigenación de la disolución nutritiva con buenos resultados en la producción de cultivos

hortícolas que presentan sensibilidad a la hipoxia. Son comercializados como peróxido de potasio y peróxido de calcio. (Walter et al., 2004).

2.3.7. Respuesta de los cultivos al enriquecimiento de oxígeno

El aporte de oxígeno en la solución nutritiva comprende un efecto positivo en el cultivo que no necesariamente se observa en la producción (Couto *et al.*, 2004).

En numerosos experimentos se describe un aumento del área foliar del cultivo. Holtman *et al* (2004), observaron diferencias crecientes en el área foliar de plantas de pepino al hacerlas crecer bajo distintos niveles de oxígeno, mostrándose la mayor área foliar en aquellas plantas a las que se suministró una solución nutritiva rica en oxígeno disuelto.

Gislerod *et al.* (2004), además de obtener un mayor crecimiento de la parte aérea, observaron un aumento en el número de raíces y en su longitud en el periodo de enraizamiento.

Otros ensayos llevados a cabo por Marfà y Guri (1999) en un cultivo de pimiento, mostraron diferencias significativas en el peso fresco acumulado del fruto durante y al final del ciclo productivo y en el número de frutos cosechados.

En lechuga, obtuvieron mayores índices de cosecha, en términos de peso fresco, cuando se aplicó una solución sobresaturada de oxígeno y en experimentos realizados a escala comercial en un cultivo de pepino, la producción del tratamiento con oxigenación fue un 9,2% superior a la del tratamiento no oxigenado. El uso de un liberador de oxígeno químico, también proporcionó resultados positivos en un cultivo de melón, incrementándose la producción por un mayor número de frutos·m⁻².

En ocasiones, la adición de oxígeno en el medio puede no generar respuesta alguna. Goto *et al.* (1996) no observaron diferencias significativas en los parámetros evaluados (peso seco y peso fresco de raíces y parte aérea) en los distintos tratamientos en un cultivo de lechuga.

Vargas en el 2001, en su trabajo: “Uso de la oxifertirrigación en un cultivo de sandía en sustrato de perlita en un invernadero de El Ejido en Almería”, obtuvo una producción ligeramente superior en el tratamiento con aporte de oxígeno, aunque no llegó a ser estadísticamente significativa. En el resto de los parámetros evaluados (peso fresco, % de materia seca, sólidos solubles, pH, firmeza de pulpa, color, biomasa aérea e índice de cosecha), tampoco hubo diferencias significativas al fertirrigar con una solución nutritiva con concentraciones de oxígeno por encima de la saturación.

Gil en el año 2005, en su trabajo: “Respuesta de un cultivo de melón en sustrato de lana de roca al aumento del oxígeno disuelto en la solución nutritiva y a la reutilización del sustrato”, concluyó que la oxifertirrigación de la solución nutritiva aportada no afectaba ni al crecimiento ni a la producción de biomasa del cultivo, sin embargo afectaba significativamente al número de frutos de melón, y con ello, la productividad comercial y los frutos de primera categoría.

Acuña en el 2007, en su trabajo: “Oxigenación en cultivos hortícola en sustratos de lana de roca y perlita en el litoral de Almería. Técnicas de mejora y efectos de los sustratos.”, obtuvo resultados contradictorios; así para los cultivos de melón en lana de roca la producción fue significativamente mayor en aquellos con aplicación de oxígeno que para el control; mientras que para los cultivos de melón en perlita no hubo diferencias significativas de los cultivos con oxigenación respecto al control. Por otro lado para los cultivos de pimiento, tanto en lana de roca como en perlita ninguno de los métodos de enriquecer el sustrato con oxígeno obtuvo resultados satisfactorios.

Alcayde en el 2009, en su trabajo: “Evaluación de la respuesta productiva y cualitativa de un cultivo de melón cv. Vulcano, cultivado en distintos sustratos de lana de roca y bajo distintas concentraciones de oxígeno disuelto en el agua de riego”, concluyó que el aporte suplementario de oxígeno al sistema radical de la planta, no influyó sobre los parámetros de producción, ya que, no se apreciaron diferencias estadísticamente significativas sobre ninguno de dichos parámetros, obteniéndose valores prácticamente iguales entre los distintos tratamientos. En cuanto a los parámetros de calidad de fruto evaluados, tampoco obtuvo diferencias estadísticamente significativas con aporte de oxígeno. Sin embargo, en los parámetros medidos sobre la planta (diámetro basal y longitud del tallo), sí observó en sus resultados, que el aporte de oxígeno al sistema radical, mejoraba en cierta medida dichos parámetros en relación al tratamiento testigo (sin aporte de oxígeno).

En tomate, López en 2009, en su trabajo: “Evaluación del comportamiento de distintos tipos de sustratos de lana de roca, con y sin enriquecimiento de oxígeno en el agua de riego en un cultivo de tomate cherry (*Lycopersicon Esculentum* cv. Salomee), concluyó que con aporte suplementario de oxígeno, no existe una mejoría sobre los parámetros de rendimiento y producción evaluados a lo largo del ciclo de cultivo, obteniéndose valores muy similares en las parcelas testigo y en las parcelas con aporte de oxígeno en el agua de riego.

Al igual que Cazorla en 2010, en su trabajo: Respuesta de un cultivo de melón (*Cucumis melo* cv. Vulcano) en invernadero, cultivado sobre distintos tipos de lana de roca y bajo distintas condiciones de oxigenación en el agua de riego. Evaluación de la calidad de la producción y morfología”, tampoco obtuvo resultados positivos con aporte suplementario de oxígeno al sistema radical de la planta, sobre los parámetros de calidad de fruto evaluados (peso medio, perímetro ecuatorial medio, consistencia de la pulpa, contenido en sólidos solubles y pH), ya que, no obtuvo diferencias estadísticamente significativas. Y, al contrario que Alcayde en 2009, en los parámetros medidos sobre la planta (longitud del tallo y diámetro del brazo principal), tampoco obtuvo diferencias significativas entre los distintos tratamientos (con o sin aporte de oxígeno).

Material y métodos

3. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1 . LOCALIZACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL INVERNADERO.

El ensayo se realizó durante la campaña 2008/2009 en las instalaciones pertenecientes a la Fundación Finca Experimental UAL-ANECOOP situada en el paraje “Los Goterones” de la localidad de Retamar en el Término Municipal de Almería, cuya identificación catastral es polígono 24, parcela 281.



Figura 26. Detalle aéreo de la ubicación de la Finca Ual-Anecoop.



Figura 27. Localización de la finca experimental UAL-ANECOOP.

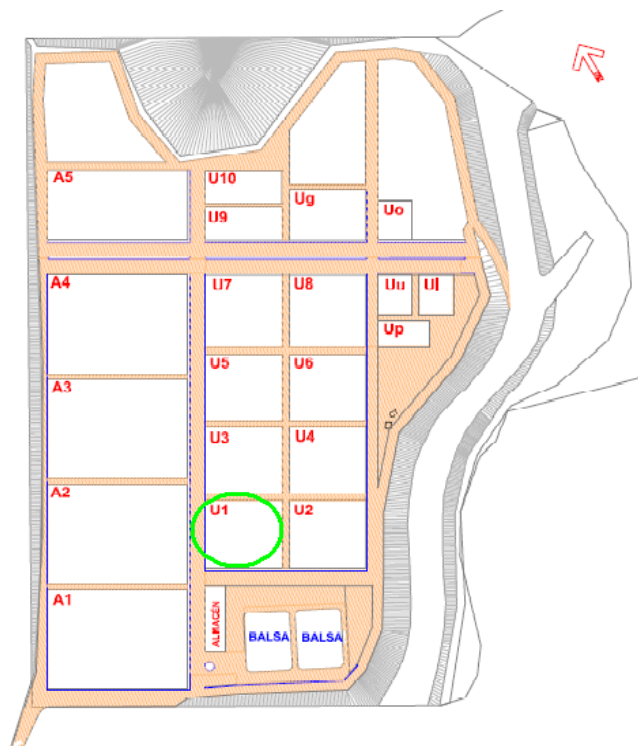


Figura 28. Croquis de la ubicación del invernadero U1 empleado en el ensayo.

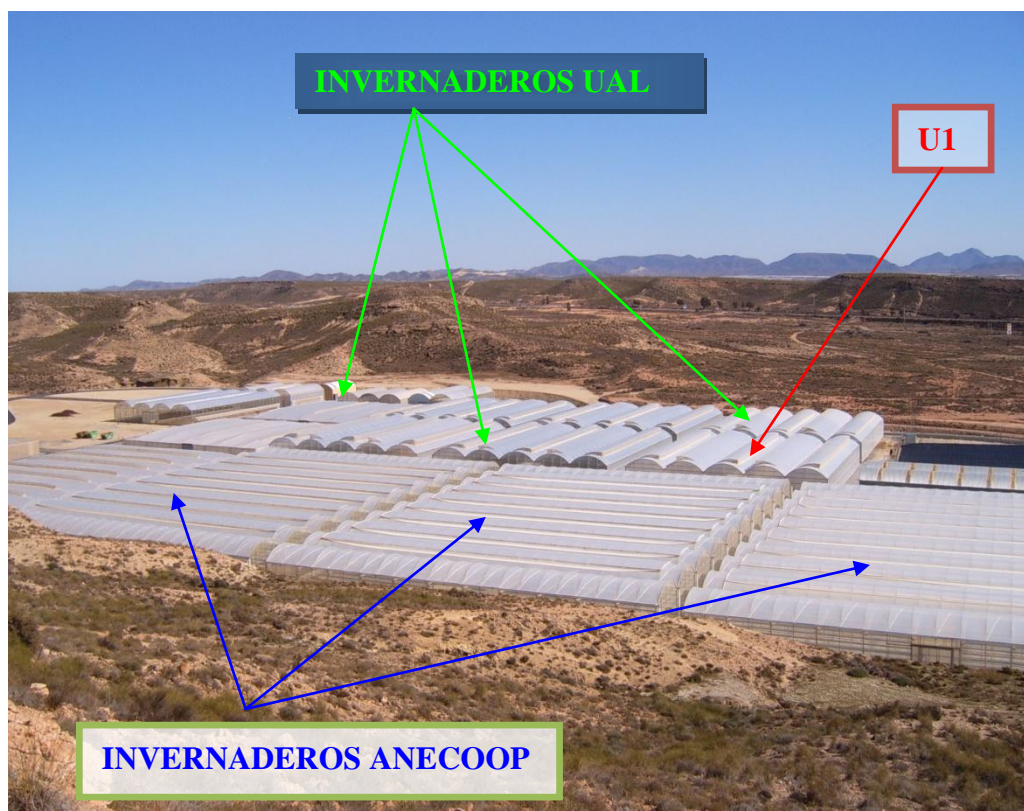


Figura 29. Vista de la finca experimental UAL-ANECOOP y diferenciación entre las instalaciones de la UAL y las de ANECOOP.

El ensayo se ha llevado a cabo en el módulo U1 de la UAL, el cual tiene una orientación noroeste-suroeste y una superficie total de 1800 m^2 , lo que equivale a una superficie cultivable de 1683 m^2 , dividida en dos tablares: tablar norte con una superficie de 926 m^2 cultivable, y tablar sur con una superficie de 757 m^2 cultivable, separados por una pasillo central.

El invernadero presenta una estructura multitúnel con techumbre curvada simétrica, posee elementos metálicos con elementos protectores contra la corrosión (galvanizado en frío y en caliente). Está compuesto por 5 túneles de 8 m de ancho y 45 m de largo que dotan al invernadero de los 1800 m^2 de superficie anteriormente indicada. El arco de cada túnel posee una altura cenital de 5,7 m y una altura en canal 4,5 m con una altura del emparrillado de 4 m, se consigue así una estructura alta que proporciona una mayor inercia ambiental al recinto (temperatura, humedad, composición del aire), las variaciones son más suaves.



Figura 30. Vista frontal del invernadero U1.

Son invernaderos que por sus características estructurales son capaces de soportar sin grandes modificaciones en su diseño original la mecanización y automatización (control climático, fertirrigación, entutorado, etc.).

De esta forma al cultivo se le proporcionan unas condiciones idóneas, desde el punto de vista climatológico y de prevención de plagas y enfermedades, para su crecimiento y desarrollo óptimos.

La cubierta del invernadero es un plástico térmico tricapa de 800 galgas, de tres campañas de duración, en color blanco. Sobre el plástico se han instalado unas cintas de poliéster de 4,0 cm de ancho. Se montan cruzadas en zig-zag (2 cintas por cada 2,5 m lineales de túnel). Los frontales y laterales han cerrado con tela plastificada.



Figura 31. Detalle del techo tipo arco y de la cubierta plástica.

El invernadero dispone de ventilación pasiva automatizada, con cinco ventanas supercentrales de medio arco desplazado de 40 m de longitud y 2,5 m de ancho que dotan al invernadero de una superficie ventilable del 27,7 % y se protegen con malla de 20 x 10 hilos · cm⁻² para evitar la entrada de insectos vectores al invernadero (figura x). Las ventanas tienen sentido de apertura hacia el norte y hacia el sur, alternativamente. A la hermeticidad de la estructura multitúnel se le unen dos dobles puertas, con un habitáculo de 7,6 m² cada una. Dicho sistema constituye una herramienta más para el control físico de plagas.



Figura 32. Detalle de una ventana supercentral de medio arco desplazado.



Figura 33. Detalle del motoreductor que acciona la apertura o cierre de la ventana.

La apertura y cierre de las ventanas se regula a través de un automatismo en función de los siguientes parámetros:

- Velocidad y dirección del viento.
- Temperatura y humedad relativa en el interior del invernadero.

A continuación se puede observar el diagrama de operaciones del automatismo de las ventanas:

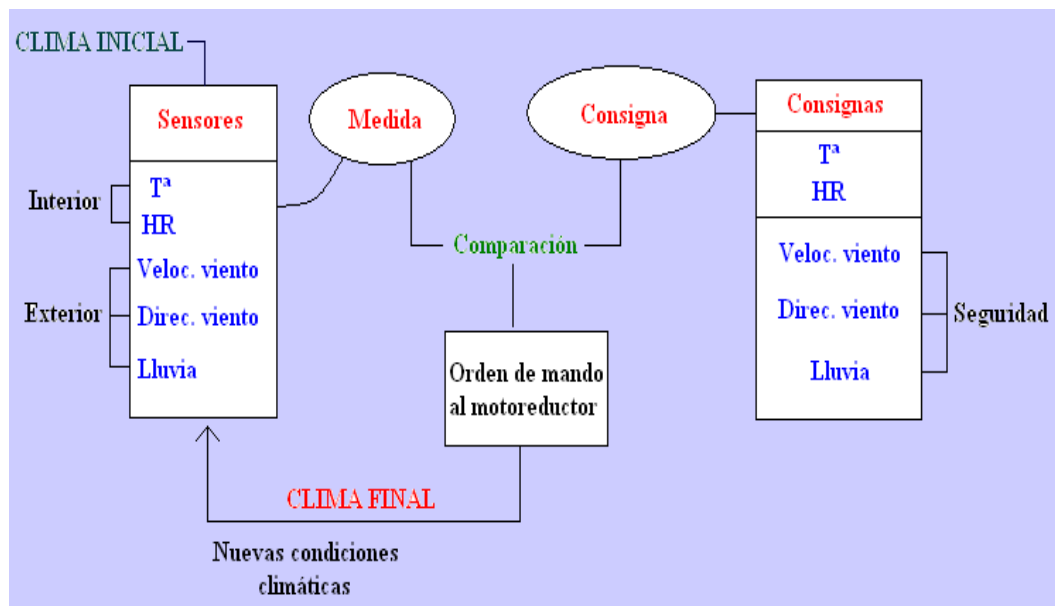


Figura 34. Detalle del diagrama de operaciones del automatismo de las ventanas.

Existe un clima inicial, y los sensores toman una medida de humedad y temperatura tanto en el interior como en el exterior del invernadero; esa medida es comparada con la consigna que se le introduce al equipo encargado del automatismo (la velocidad del viento, dirección del viento y lluvia son consideradas como consignas de seguridad). Entonces, tras la comparación, el equipo da la orden de mando al motorreductor para que abra o cierre ventanas según las condiciones. Al final, existirá un clima final (nuevas condiciones climáticas) en relación a la consigna que se le ha introducido, para obtener las condiciones climáticas deseadas.

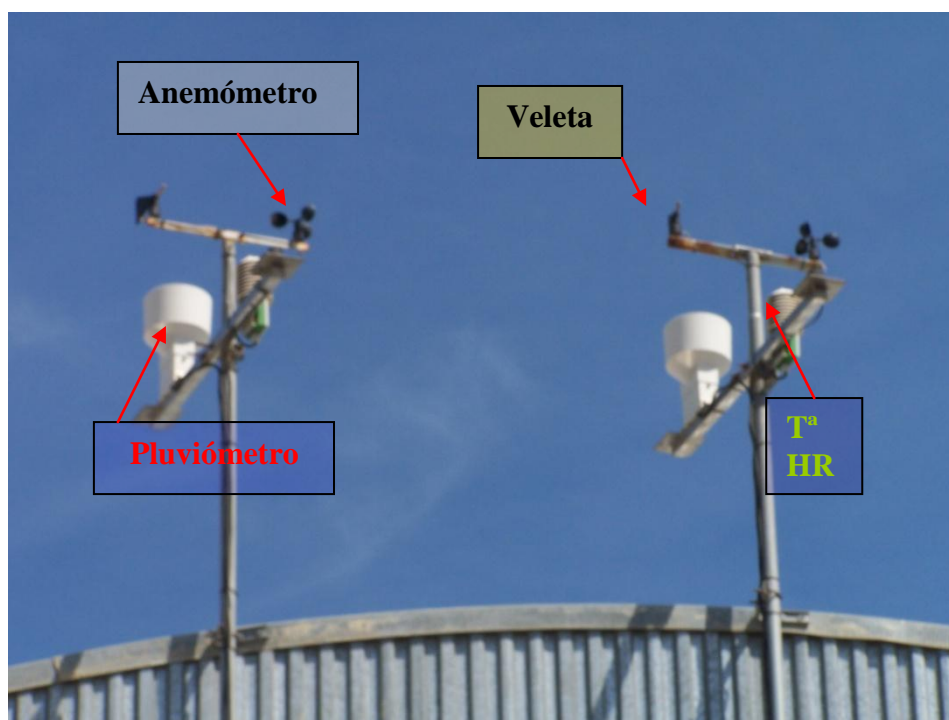


Figura 35. Detalle de la estación meteorológica instalada en el exterior.



Figura 36. Detalle del sensor de temperatura y humedad relativa instalado en el interior del invernadero.

Comportamiento de la lana de roca bajo distintas concentraciones de oxígeno y su efecto sobre la morfología de la planta en un cultivo de melón cv. Vulcano.

El invernadero cuenta con un sistema de cultivo hidropónico sobre lana de roca. Se utilizaron cuatro tipos distintos de tablas con diferentes dimensiones, densidad de fibras, grosor y orientación. Las tablas se fertirrigaron con goteros autocompensantes y autodrenantes con piqueta, cuyo caudal nominal era de $3 \text{ l}\cdot\text{h}^{-1}$ y presión de funcionamiento de 1-3 bar.



Figura 37. Detalle de una de las tablas de lana de roca.

Además, el invernadero consta de un sistema para medir el drenaje del cultivo, este sistema se compone de dos bandejas de drenaje (cada una de ellas recoge el drenaje de dos tablas de lana de roca), situadas, una en la parte norte y la otra en la parte sur del invernadero.

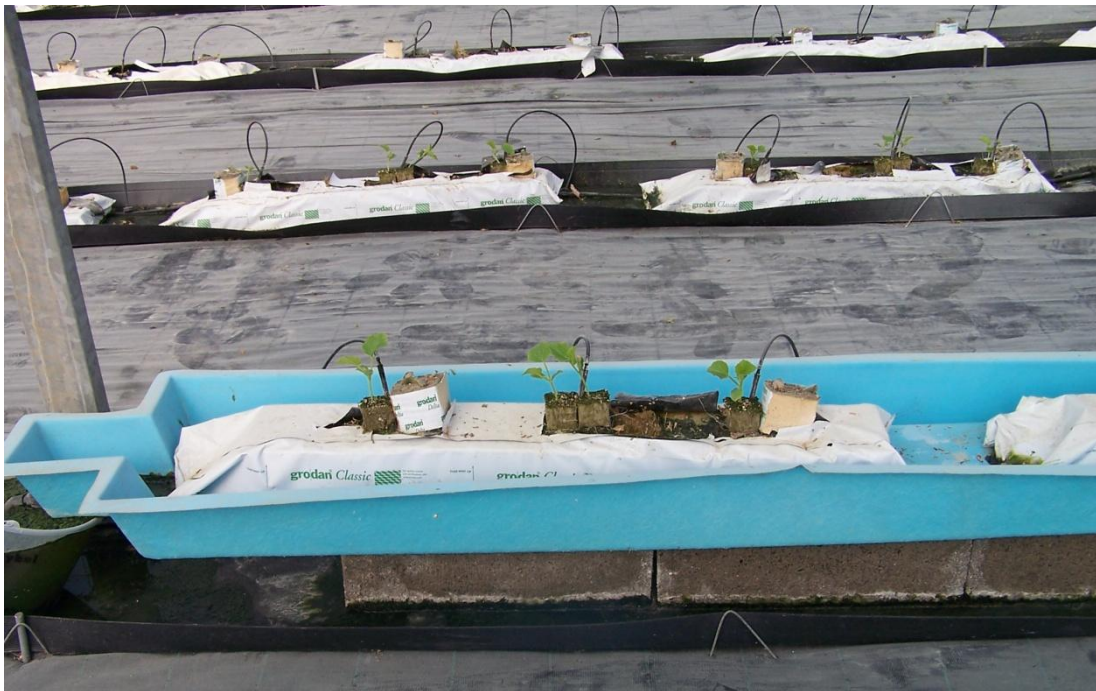


Figura 38. Detalle de la bandeja de drenaje

3.1.1. Otras instalaciones y equipamientos

La finca dispone de un almacén para la gestión de los invernaderos que se divide en los siguientes equipamientos especiales:

- Oficinas.
- Laboratorio.
- Sala de cámaras frigoríficas.
- Sala de cabezales de riego desde los que se gestiona el riego y la fertilización.
- Sala de calderas.

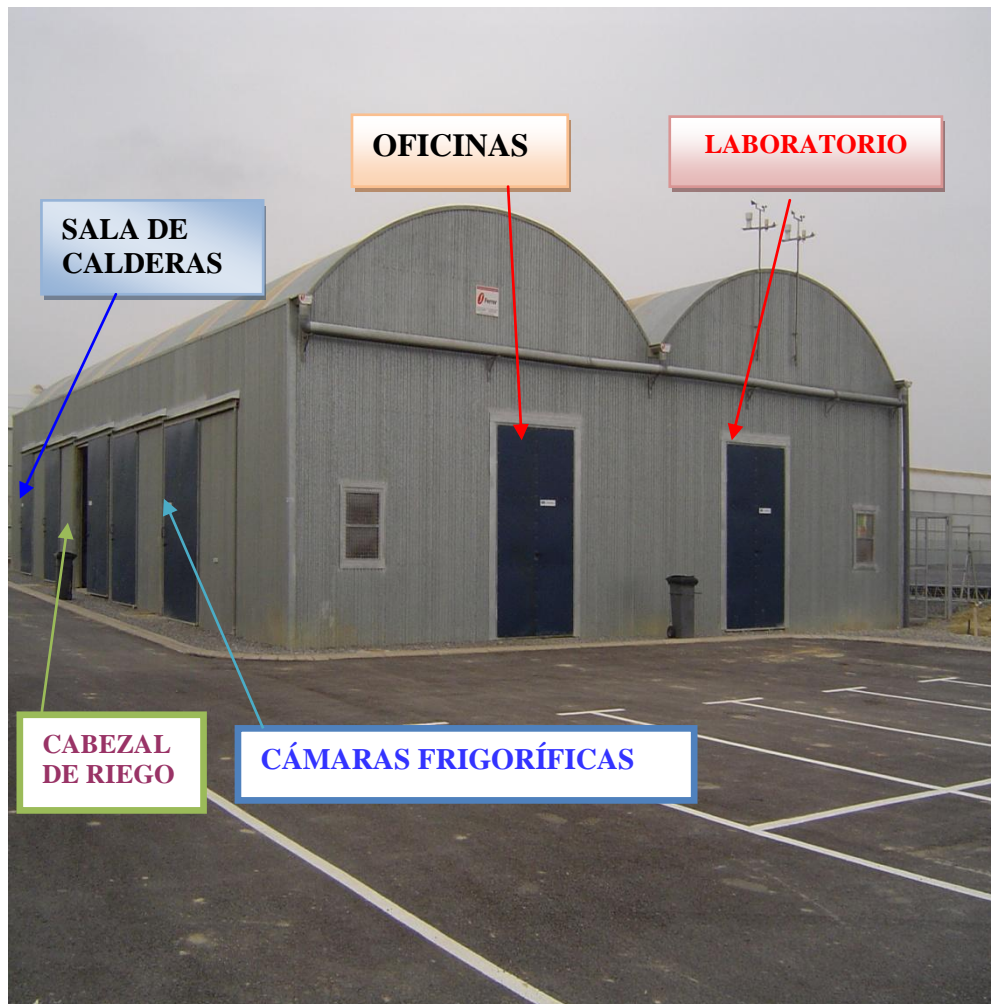


Figura 39. Detalle exterior de la nave de servicios

- **Sistema de riego**

Los elementos del sistema de fertirriego, que se gestiona desde la nave auxiliar, son básicamente: dos balsas, filtros, sistema de inyección de fertilizantes, sistema de impulsión de la solución final a los goteros y ordenador.

♦ **BALSAS:** se dispone de dos balsas de materiales sueltos y cubierta de polietileno negro con una capacidad de 5000 m³ cada una y techadas con cubierta de geotextil negro, con las siguientes características:

Balsa 1: almacena las aguas pluviales que se recogen a través de las canaletas de los invernaderos.

Balsa 2: contiene aguas ozonificadas procedentes de la depuradora de agua de Almería gestionada por la Comunidad de Regantes de Cuatro Vegas.



Figura 40. Detalle de las balsas techadas con geotextil negro.

Cada una de las balsas dispone de una bomba multicelular que bombea el agua hasta el tanque de mezclas situadas en el cabezal de riego.

El agua; una vez mezclada, abastece los cabezales de riego utilizados en los invernaderos que riegan los cultivos sobre suelos arenados y aquellos que se hacen en hidroponía, se filtra a través de dos filtros de arena y posteriormente en dos filtros de

anillas. Los volúmenes de riego consumidos se registran mediante dos caudalímetros situados aguas arriba de los cabezales (Figura 41).



Figura 41. Detalle de los contadores de volumen.

◆ Sistema de inyección de fertilizantes

El invernadero U1 se abastece mediante el cabezal 1 en el que se inyectan los fertilizantes como se describe a continuación.

El agua llega a un tanque de mezcla con capacidad de 200 l provisto de una boya para mantener su nivel, sobre este tanque se inyecta la proporción deseada de cada uno de los tanques de fertilización que se detallan a continuación:

- Cuatro tanques de 1000 l de capacidad para cada uno para disolver los siguientes fertilizantes:
 - Tanque A: nitrato potásico.
 - Tanque B: nitrato cálcico y microelementos.
 - Tanque C: sulfato potásico, sulfato magnésico y fosfato monopotásico.
 - Tanque D: ácido fosfórico.
- Un tanque de 1000 l utilizado para el ácido nítrico para mantener un pH (5,5-6).
- Un tanque de 500 l para las aportaciones puntuales en caso de carencias.



Figura 42. Detalle del tanque de mezcla.



Figura 43. Detalle los demás tanques para los abonos.

Para que la proporción de los fertilizantes sea lo más exacta posible, se ha incorporado un sistema que consta de 5 piezómetros los cuales se encuentran llenos del fertilizante que le corresponda según su tanque de procedencia. Se dispone de una bomba inyectora por cada piezómetro, que inyecta la solución madre de cada tanque a

su piezómetro correspondiente, a continuación cada electroválvula correspondiente gobierna el porcentaje de fertilización final que pasa al tanque de mezcla, regulando su apertura.

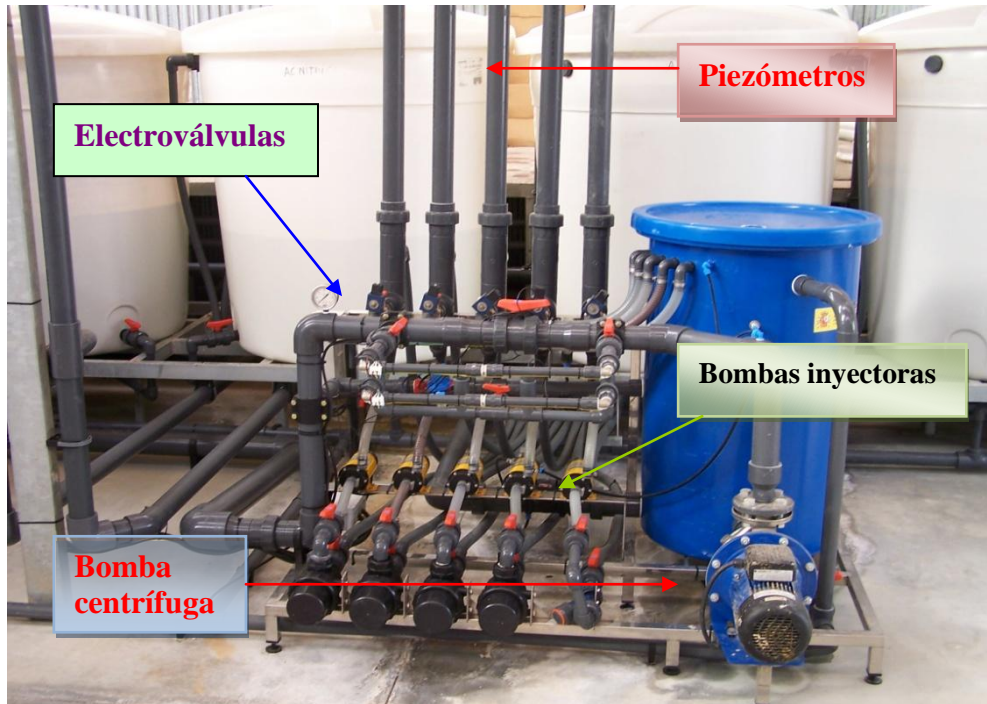


Figura 44. Detalle del cabezal de riego.

◆ Sistema de inyección de oxígeno.

Este sistema, consta de un compresor que inyecta aire a presión en la tubería del agua de riego, y de dos rotámetros (caudal 1000-1500 L.h⁻¹) que miden el caudal de aire inyectado.



El enriquecimiento de oxígeno de la solución nutritiva aportada se llevó a cabo mediante burbujeo de la solución nutritiva (oxifertirrigación) con el compresor colocado aguas abajo del equipo de impulsión final.

El rotámetro consiste en un flotador (indicador) que se mueve libremente dentro de un tubo vertical ligeramente cónico, con el extremo angosto hacia abajo. El fluido entra por la parte inferior del tubo y hace que el flotador suba hasta que el área anular entre él y la pared del tubo sea tal, que la caída de presión de este estrechamiento sea lo suficientemente para equilibrar el peso del flotador. El tubo es de vidrio y lleva grabado una escala lineal, sobre la cual la posición del flotador indica el gasto o caudal.



◆ **Sistema de impulsión de la solución final a los goteros.**

La solución mezcla de fertilizantes se irá impulsando mediante una electrobomba centrífuga de riego de 3 cv.

La solución nutritiva final se pasa por un filtro de anillas y es enviada al invernadero, dentro de cada invernadero hay una electroválvula para cada uno de los cuatro sectores de riego.

La entrada del agua al invernadero se realiza a través de tuberías de PVC de 60 mm con una reducción de la tubería portarramales de 32 mm de polietileno. Posteriormente, se ramifican en tuberías portagoteros de 12 mm de polietileno de baja densidad con goteros autocompensantes de 3 litros hora⁻¹.



Figura 45. Detalle de las tuberías que suministran el riego en dos de los sectores del invernadero.

Los goteros son del tipo AutoTwin con el microtubo incorporado de 50 cm y una piqueta para el cultivo hidropónico, autocompensante y antidrenante de 3 litros · hora⁻¹ de descarga, manteniendo un caudal constante trabajando de 1.0 a 3.5 kg·cm⁻².

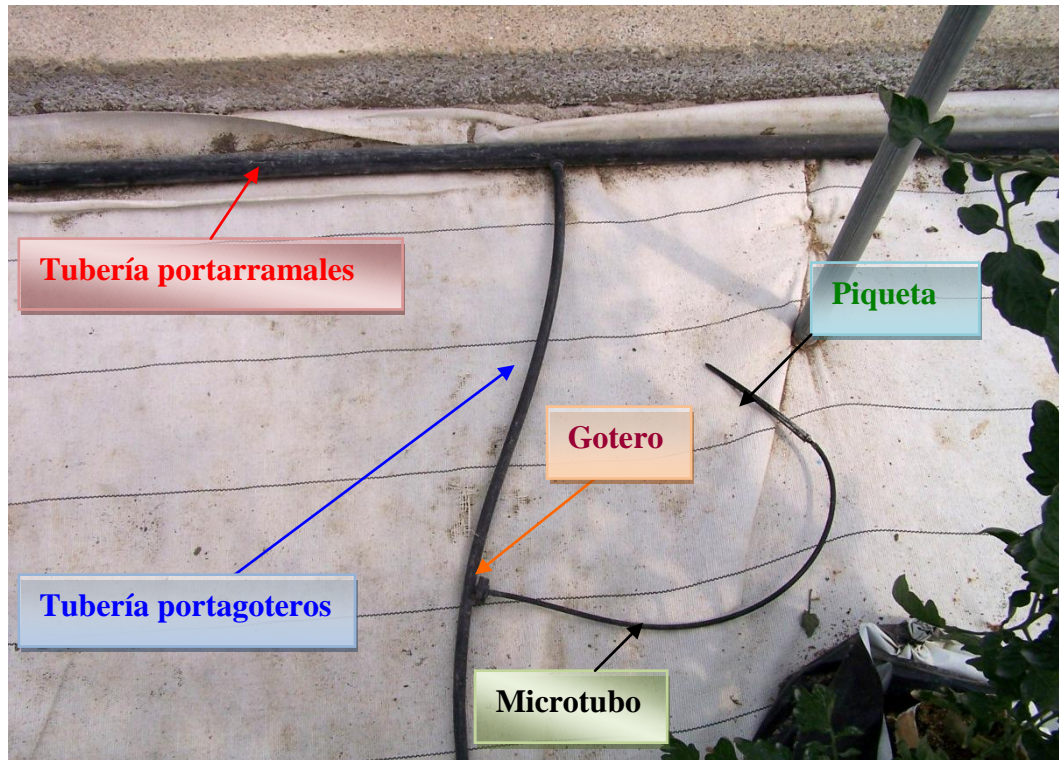


Figura 46. Detalle de la tubería portarramales que se ramifica en tuberías portagoteros y ésta a su vez en los goteros.

◆ Ordenador y cuadro de control

A través del ordenador y cuadro de control, situado en una oficina en el interior de la sala de cabezales, se controla la fertirrigación de la finca. Permite realizar diferentes sistemas de programación de riego, hora fija, riegos cíclicos, riego por demanda, etc.



3.2. MATERIAL VEGETAL

En el experimento se cultivó un melón Cantaloup cv. Vulcano, de la casa de semillas Clause-Tézier. Es una variedad de melón larga vida, de planta precoz, vigorosa y con abundante vegetación, recomendada para plantaciones tempranas. Resistente a Fusarium 0, 1 y 2 y resistencia intermedia al pulgón *Aphis gossypii*.

Es un melón tipo Charentais con frutos homogéneos, esféricos, de gran calibre, de pulpa muy lisa, sin fibras y de color muy intenso. El contenido en sólidos solubles es alto y presentan buena conservación.

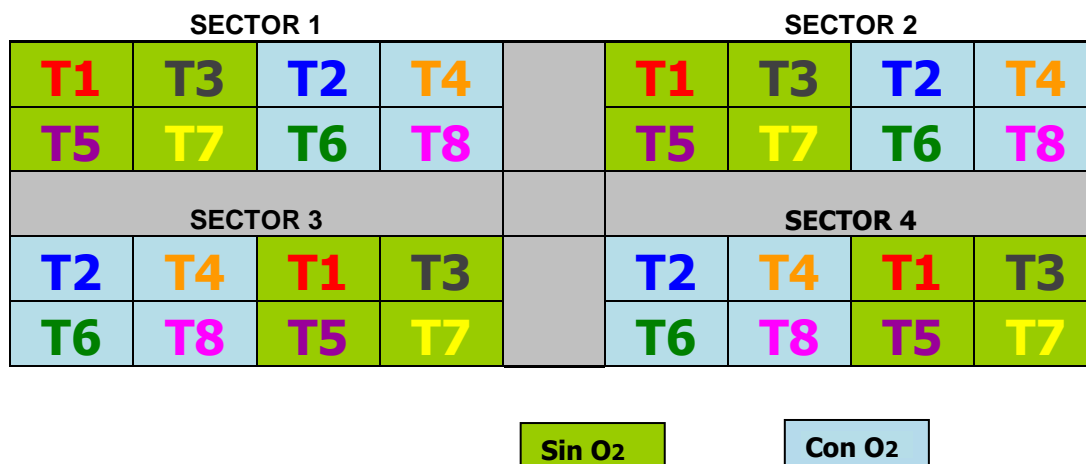
3.3. DISEÑO EXPERIMENTAL

El invernadero constaba de ocho sectores divididos cuatro a cuatro por un pasillo central que dejaba cuatro al norte, con una superficie de aproximadamente 232 m² cada uno y cuatro al sur con una superficie de aproximadamente 190 m² cada uno. En cada uno de los sectores se diferenciaron dos tratamientos: uno con aplicación de oxígeno disuelto a una concentración variable de O₂ y el tratamiento testigo sin aplicación de oxígeno disuelto.



Figura 47. Detalle de las plántulas de melón

El modelo que se siguió fue el que se muestra a continuación:



Los factores de variabilidad del experimento fueron dos:

- **Oxigenación:** se diferenciaron dos tratamientos uno con aplicación de oxígeno disuelto a una concentración de 8 ppm de O₂ y el tratamiento testigo sin aplicación extra de oxígeno con 5 ppm de O₂ en el agua.
- **Tipo de tabla:** se colocaron cuatro tipos de tabla distintos:
 - ✓ Classic More Year (100 x 15 x 10).
 - ✓ Easy (100 x 15 x 10).
 - ✓ Classic More Year (100 x 20 x 7,5).
 - ✓ Cutilène (100 x 20 x 7,5).

Tabla 16. Parámetros característicos de las distintas tablas de lana de roca.

Parámetros	Classic More Year	Classic More Year	Easy	Cutilène
Dimensiones	100x15x10	100x20x7,5	100 x 15x10	100x20x7,5
Tipo de fibras	Horizontal	Horizontal	Vertical	Horizontal
Índice de saturación (%)	78	79	81	-
Resaturación (%)	59	57	59	-
Contenido en agua en el tercio superior a C.C (%)	30	29	23	-
Contenido en agua en el tercio inferior a C.C (%)	76	75	67	-
Contenido en agua en el tercio medio a C.C (%)	46	46	44	-
Densidad (kg·m ⁻³)	73	73	57	-

Comportamiento de la lana de roca bajo distintas concentraciones de oxígeno y su efecto sobre la morfología de la planta en un cultivo de melón cv. Vulcano.

Estos dos factores de variabilidad dan lugar a ocho tratamientos distintos; que, con un mínimo de cuatro repeticiones por tratamiento dan lugar a treinta y dos parcelas elementales distribuidas en bloques divididos.

T1: Classic more year (100 x 15 x 10 cm) + Sin oxigenación (5 ppm de O₂ disuelto).

T2: Classic more year (100 x 15 x 10 cm)+ Con oxigenación (8,5 ppm de O₂ disuelto).

T3: Easy (100 x 15 x 10 cm) + Sin oxigenación (5 ppm de O₂ disuelto).

T4: Easy (100 x 15 x 10 cm) + Con oxigenación (8,5 ppm de O₂ disuelto).

T5: Classic more year (100 x 20 x 7,5 cm) + Sin oxigenación (5 ppm de O₂ disuelto).

T6: Classic more year (100 x 20 x 7,5cm)+ Con oxigenación (8,5 ppm de O₂ disuelto).

T7: Cultilène (100 x 20 x 7,5 cm) + Sin oxigenación (5 ppm de O₂ disuelto).

T8: Cultilène (100 x 20 x 7,5 cm) + Con oxigenación (8,5 ppm de O₂ disuelto).

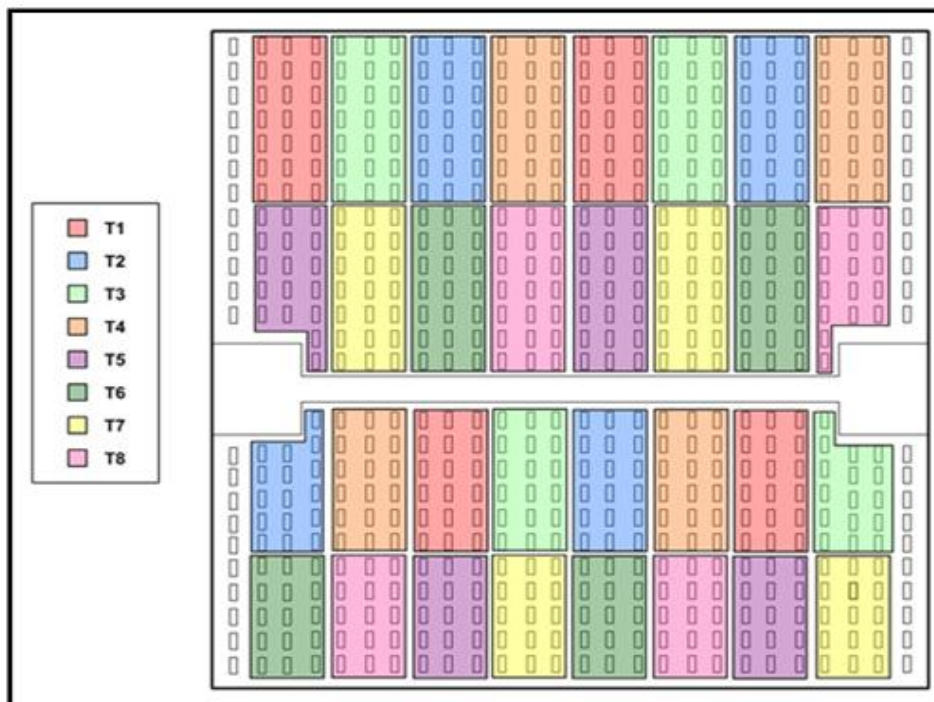


Figura 48. Distribución de los distintos tratamientos en el invernadero del ensayo.

3.4. MANEJO DEL CULTIVO

3.4.1. Transplante del cultivo e instalación de la manta térmica.

El estudio se realizó en un ciclo de cultivo de primavera, con fecha de transplante el 19 de Febrero de 2009.

Esta tarea consistió en colocar 4 tacos, con una planta por taco, en cada una de las tablas de lana de roca, quedando sujetas a la tabla mediante las piquetas de los goteros. Esta tarea conllevó un total de 22 horas.

A la semana del transplante, se instaló la manta térmica, y se mantuvo hasta el 6 de Marzo de 2009, día en que fue retirada. Esta tarea, poner y quitar la manta térmica, conllevó un total de 6 horas de trabajo.



Figura 49. Detalle de la manta térmica colocada sobre el cultivo.

Tabla 17. Fecha y horas empleadas en el transplante del cultivo.

TRANSPLANTE Y MANTA TÉRMICA	
Fecha	Horas
19/02/2009	22
26/02/2009	6
HORAS TOTALES	28

3.4.2. Destallado

Esta operación consistió en eliminar los tallos laterales de la planta. Se realizó con la finalidad de favorecer la precocidad y el cuajado de las flores, controlar el número y tamaño de los frutos, acelerar la madurez y facilitar la ventilación y la aplicación de tratamientos fitosanitarios. Cuando se tutora el melón pueden dejarse dos brazos principales o un solo brazo, como fue el caso de este experimento.

Tras la realización de las labores de destallado y despunte se procedía a la limpieza del invernadero para eliminar posibles fuentes de plagas y enfermedades.



Figura 50. Detalle de los tallos eliminados en el suelo.

Tabla 18. Fechas y horas empleadas por los operarios en el destallado del cultivo.

DESTALLADO	
Fecha	Horas
9/03/2009	11,5
18/03/2009	9
19/03/2009	10,5
24/03/2009	14,5
25/03/2009	33
28/03/2009	11,5
31/03/2009	14
1/04/2009	9,5
9/04/2009	13,5
17/04/2009	8
24/04/2009	6,5
27/04/2009	6
HORAS TOTALES	147,5

3.4.3. Entutorado

El sistema de “entutorado” empleado en el ensayo, consistió en colocar perchas con hilo enrollado para sujetar a la planta mediante clips. De esta forma la planta se desarrolla recibiendo el máximo de luminosidad, por lo que incide en una mejora de la calidad del fruto y un incremento de la producción.



Figura 51. Detalle del sistema “gancho y descuelgue” utilizado en el ensayo.

Tabla 19. Fechas y horas empleadas por los operarios en el entutorado del cultivo.

ENTUTORADO	
Fecha	Horas
9/03/2009	4
10/03/2009	7
11/03/2009	26
12/03/2009	10,5
13/03/2009	11,5
3/04/2009	7
6/04/2009	9
14/04/2009	15
20/04/2009	10
24/04/2009	18,5
2/05/2009	8
HORAS TOTALES	126,5

3.4.4. Despunte de las plantas

Consistió en despuntar el tallo guía que se le había dejado a la planta. Con el despunte se acorta el ciclo de la planta y aumenta el tamaño de los frutos.

En los despuntes que se hacen en primavera, se deben de hacer, dejando 1 ó 2 hojas por encima del último fruto para proteger a los mismos de la incidencia directa del sol y evitar coloraciones defectuosas.

Tabla 20. Fechas y horas empleadas en el despunte de las plantas.

DESPUNTE DE LAS PLANTAS	
Fecha	Horas
13/05/2009	4,5
HORAS TOTALES	4,5

3.4.5. Insectos auxiliares

Para el cuaje de las flores, se introdujeron colmenas de *Apis mellifera* cuando se empezó a observar la entrada en floración del cultivo y se retiraron cuando se observó que el cuaje estaba realizado.

Tabla 21. Fecha y cantidad de colmenas de *Apis mellifera* introducidas en el invernadero.

INTRODUCCIÓN DE COLMENAS	
Fecha	Cantidad
27/04/2009	1
CANTIDAD TOTAL	1



Figura 52. Detalle de la colmena y de una abeja polinizando una flor de melón.

3.4.6. Recolección de frutos

La recolección se llevó a cabo realizando 3 cortes, que tuvieron lugar en los siguientes días: 1/06/09, 5/06/09 y 10/06/09.

Los melones cortados se iban depositando en el suelo, siempre separando cada parcela elemental, para ir contándolos y a continuación depositándolos en las cajas para pesarlos y posterior toma de datos.



Figura 53. Detalle de la recolección de frutos.

Tabla 22. Fechas y horas empleadas en la recolección de los frutos.

RECOLECCIÓN DE FRUTOS	
Fecha	Horas
1/06/2009	12,5
5/06/2009	13,5
10/06/2009	9
HORAS TOTALES	35

3.4.7. Control de pH y salinidad del agua de riego

Periódicamente se llevaba a cabo un control del pH y la conductividad eléctrica del riego, para lo cual se disponía de un equipo multiparamétrico para ambas medidas de control.

Los objetivos de esta labor consisten en vigilar los rangos de trabajo necesarios para el desarrollo adecuado del cultivo. Rango de pH entre 5,8 y 6,5 se considera dentro de la normalidad. En el caso de la conductividad eléctrica de la tabla o sustrato, conductividades superiores a $4,5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ en tomate se consideran preocupantes para la productividad del cultivo.

3.4.8. Control de la concentración de oxígeno

También, periódicamente, se llevaba a cabo un control del enriquecimiento de oxígeno en la solución nutritiva, tomando las muestras tanto en la parcelas con aporte de oxígeno como en las que no se aportaba el mismo.

La concentración media de oxígeno en gotero a lo largo de todo el cultivo fue de $5,70 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de O_2 en las parcelas sin aporte de O_2 ; y $7,90 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ en las parcelas con aporte de O_2 , existiendo diferencias estadísticamente significativas.

3.4.9. Arranque del cultivo

El cultivo se dio por finalizado el 10/06/09, con una duración total de 111 días después de trasplante, teniendo lugar el arranque del mismo el 15/06/09.

Tabla 23. Fecha y horas empleadas en el arranque del cultivo.

ARRANQUE DEL CULTIVO	
Fecha	Horas
15/06/2009	9
HORAS TOTALES	9

% de horas empleadas en las tareas

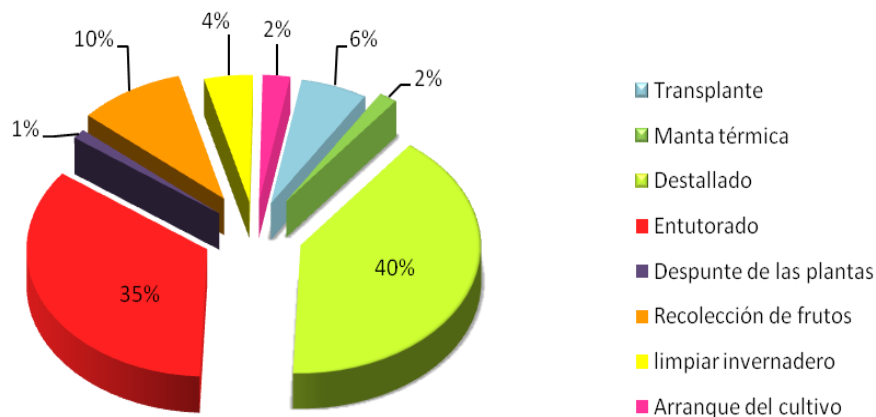


Figura 54. Detalle la distribución del tiempo empleada en cada tarea a lo largo del cultivo.

3.4.10. Tratamientos fitosanitarios

En el cultivo no hubo incidencias graves de plagas o enfermedades, salvo algún caso puntual donde se pudo observar algunas hojas afectadas por oídio y *Mycosphaerella*.

Tabla 24. Fechas y tratamientos fitosanitarios aplicados al cultivo.

Comportamiento de la lana de roca bajo distintas concentraciones de oxígeno y su efecto sobre la morfología de la planta en un cultivo de melón cv. Vulcano.

TRATAMIENTOS FITOSANITARIOS					
Fecha	Producto comercial	Materia activa	Dosis/m²	Cantidad	Función
26/02/2009	FOSBEL 80	FOSETIL-AL 80% [WP] P/P	0,03g	45 g	Fungicida
3/03/2009	GALBEN M	BENALAXIL 8% + MANCOZEB 65% [WP] P/P	0,00	0,05 kg	Fungicida
5/03/2009	PROPLANT	PROPAMOCARB 60,5% (CLORHIDRATO) [SL] P/V	0,22 ml	400 ml	Fungicida
11/03/2009	ADAMA				
	TUREX	BACILLUS THURINGIENSIS AIZAWAI 2,5% (25 MILL. DE U.I./G) [WP] P/P	0,00	0,60 kg	Insecticida
18/03/2009	MICENE TRIPLE	BENALAXIL 6% + CIMOXANILO 3,2% + MANCOZEB 40% [WP] P/P	0	0,25 kg	Fungicida
	TUREX	BACILLUS THURINGIENSIS AIZAWAI 2,5% (25 MILL. DE U.I./G) [WP] P/P	0,00	0,60 kg	Insecticida
2/04/2009	CUPRITAL	OXICLORURO DE COBRE 50% [WP] P/P	0,33 ml	600 ml	Fungicida
	BERMECTINE	ABAMECTINA 1,8% [EC] P/V	0,09 ml	170 ml	Insecticida Acaricida
20/04/2009	GUZAN	MANCOZEB 80% [WP] P/P	0,33 g	600 g	Fungicida
8/08/2009	MOJANTE INAGRA	ALQUIL POLIGLICOL 20% (ETER) [SL] P/V	0,06 ml	100 ml	Mojante
	CADDY 10 PEPITE	CIPROCONAZOL 10% [WG] P/P	0,03 g	60 g	Fungicida
13/05/2009	AZUFRIL FLOW	AZUFRE 80% [SC] P/V	0,44 ml	800 ml	Acaricida Fungicida

TRATAMIENTOS FITOSANITARIOS					
Fecha	Producto comercial	Materia activa	Dosis/m ²	Cantidad	Función
	TAMBORIL 25	TRIADIMENOL 25% [EC] P/V	0,07 g	125 g	Fungicida
	FULMINAL-12	MICLOBUTANIL 12,5% [EC] P/V	0,06 g	100 g	Fungicida

3.4.11. Riego y fertilización

Las dosis de agua y fertilizantes requeridas por el cultivo fueron aplicadas mediante el sistema de riego localizado, ya descrito en apartados anteriores y bajo la supervisión del ingeniero agrónomo encargado de la finca.

Tabla 25. Cantidad de fertilizantes aportados al cultivo.

FERTILIZANTE	CANTIDAD (kg)
Nitrato Cálcico (14,2% NO ₃ ⁻ ; 1,3% NH ₄ ⁺ ; 26% CaO)	411,2
Nitrato Potásico (13% NO ₃ ⁻ ; 45% K ₂ O)	433
Fosfato Monopotásico (52% P ₂ O ₅ ; 34% K ₂ O)	13,5
Nutrigeo Mix (7% Fe quelatado con EDTA y EDDHA ; 3,8% Mn quelatado con EDTA; 0,4% Cu quelatado con EDTA; 0,6% Zn quelatado con EDTA; 0,5% Mo en forma mineral)	7,1
Sulfato Potásico (50% K ₂ O; 46% SO ₃ ⁻)	337,6
Sulfato Magnésico (16% MgO; 31,7% SO ₃)	89,8
Nitrato Amónico (33,5% N)	21,8
Ácido Fosfórico (52% P ₂ O ₅)	14,4
Ácido Nítrico (54% NO ₃ ⁻)	181,3

3.5. TOMA DE DATOS

Se puede distinguir entre la toma de datos sobre tabla (porcentaje de humedad y cE, directamente en tabla; pH, conductividad eléctrica y oxígeno, medidas posteriores de la solución extraída de las tablas) y la toma de datos sobre la morfología de la planta (altura basal, longitud del brazo principal y diámetro del brazo principal).

3.5.1. Toma de datos sobre tablas

La toma de muestras sobre tablas (% humedad, pH, conductividad eléctrica y oxígeno), se inició el 10 de marzo de 2009 y se realizaron siete medidas hasta el 18 de mayo de 2009. Ésta se llevó a cabo mediante la siguiente distribución (tabla 26), analizando todas las muestras en el laboratorio de la finca como en el invernadero

Tabla 26. Fechas en las que se realizaron cada toma de datos.

TOMA DE DATOS	DDT	FECHA
1	18	10/03/2009
2	28	20/03/2009
3	39	31/03/2009
4	53	14/04/2009
5	62	23/04/2009
6	74	05/05/2009
7	87	18/05/2009



Figura 55. Detalle del instrumento de medida del contenido de humedad (HH2, sensor WET-UM-1.4)

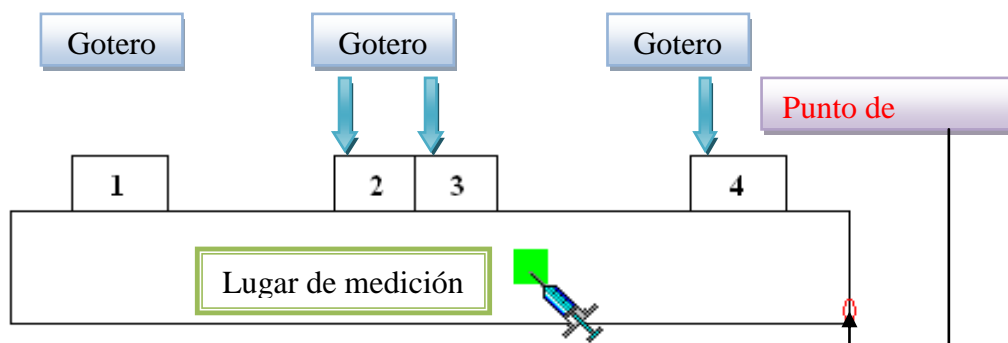
Comportamiento de la lana de roca bajo distintas concentraciones de oxígeno y su efecto sobre la morfología de la planta en un cultivo de melón cv. Vulcano.

Previo a la toma de muestras, se seleccionaron y marcaron dos tablas de cada una de las parcelas elementales (teniendo en cuenta que éstas no estuvieran situadas en los extremos de la línea de cultivo, ya que en los extremos pueden verse afectados los valores de humedad y C.E.) y se realizó una extracción periódica de la solución del sustrato.

Las muestras se tomaban con una jeringa de 50 ml de capacidad y se vertían en vasos de plástico con cierre hermético para evitar la pérdida de propiedades de la solución. En cada una de estas muestras, se midió pH (pH-metro, WTW 340 i, sensibilidad = 0,01), conductividad eléctrica, % de humedad (WET-UM-1.4, sensibilidad 0,1%) y concentración de oxígeno (HQ30d, sensibilidad 0,01 mg·L⁻¹).



El punto donde se realizó la medida fue a unos 10 cm del taco hacia la salida de drenaje, garantizando una solución acuosa adecuada en la tabla en el momento de la medición. Siempre se midió en el mismo punto, y se evitaron los primeros y últimos 10 cm de los extremos de la tabla, siendo la parte central de la misma el mejor punto para realizar la medición.



Además de recoger muestras de la solución nutritiva del sustrato, también se recogieron de manera periódica cuatro muestras de la solución nutritiva a nivel de gotero, una por cada sector de riego, en las cuales también se midió pH, C.E. y concentración de oxígeno.

De las mismas tablas seleccionadas para las medidas anteriores, se realizaron medidas del % de humedad (WET-UM-1.4, sensibilidad 0,1%) a lo largo de la tabla, medidos en tres puntos de la misma; el primer punto en la parte izquierda superior, el segundo en el centro de la tabla y el tercero en la parte inferior derecha (Esquema 1). Por tanto se realizan tres medidas de cada una de las tablas seleccionadas. Estas medidas se realizaron cada 15 días aproximadamente.

Estas medidas se iniciaron el 3 de abril de 2009 y se realizaron seis medidas hasta el 25 de mayo de 2009. Ésta se llevó a cabo mediante la siguiente distribución (tabla 27), realizando todas las muestras en el invernadero.

Tabla 27. Fechas en las que se realizaron cada toma de datos.

TOMA DE	DDT	FECHA
1	42	3/04/2009
2	62	23/04/2009
3	76	7/05/2009
4	87	18/05/2009
5	91	22/05/2009
6	94	25/05/2009

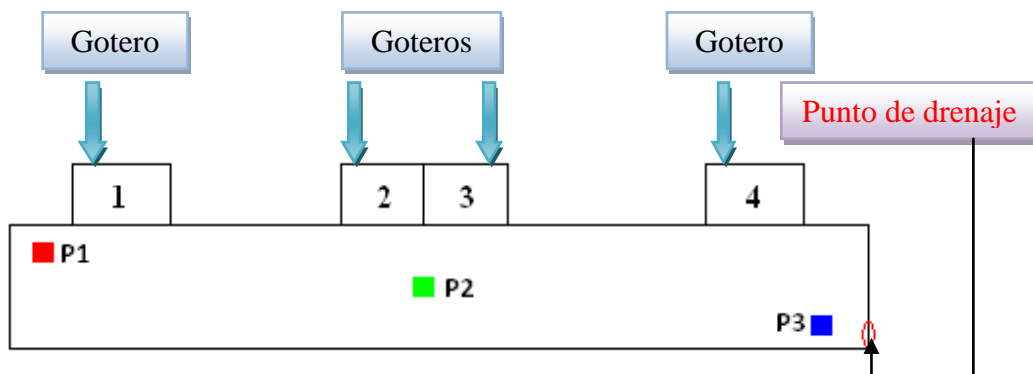


Figura 56. Detalle de los puntos (P1, P2 y P3) donde se realizaron las medidas de la humedad (%) en las tablas, para evaluar la distribución a lo largo de la misma.

3.5.2. Toma de datos sobre plantas

De cada parcela elemental se seleccionaron 5 plantas al azar, obteniendo un total de 160 plantas seleccionadas, en las cuales se midió la altura basal (desde la base hasta el punto donde se ramifican los dos brazos de la planta), longitud total del tallo (desde la ramificación de los dos brazos hasta el segundo zarcillo de la parte superior, que se tomará como punto de referencia para tomar la misma referencia en todas las plantas, y el cual quedará marcado para posteriores medidas) y diámetro del brazo principal (se realizará la medida justo debajo del segundo zarcillo de la parte superior, igual que en el caso anterior), para los siguientes días después de transplante 47, 75, 89 y 111.

Estas medidas se realizaron en cuatro fases del cultivo como son: iniciación de la planta, crecimiento, floración y maduración del fruto.



Los materiales utilizados para las medidas fueron:

- Cinta métrica, sensibilidad = 1 mm.
- Calibre electrónico, Dicsa que mide de 0 a 150 mm, sensibilidad=0,01mm.

Las conclusiones de los parámetros medidos sobre planta son los siguientes (Ver Anexo A):

En la longitud total del tallo, no se observaron diferencias estadísticamente significativas durante los días evaluados. Pero podemos observar una tendencia de tablas que dieron lugar a plantas con mayor longitud de tallo como son las Cultilène (100x20x7,5), seguidas de las Easy (100X15X10), seguidas de las Classic More Year (100x20x7,5) y por último las Classic More Year (100x15x10).

En el caso del parámetro diámetro del brazo principal (cm) no se observan diferencias estadísticamente significativas. Si se puede ver que durante el mismo día de corte, los valores alcanzados para el diámetro del brazo principal en los diferentes tipos de tabla de lana de roca, son prácticamente los mismos. Por ello se realizó un análisis promedio de los datos y se puede concluir que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las distintas tablas para este parámetro medido sobre la planta ya que se observan valores muy similares entre ellas.

3.6. PROCESADO DE DATOS Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

La toma de datos se realizó sobre estadillos previamente diseñados. Los datos tomados en campo y en laboratorio fueron clasificados y almacenados en una hoja de cálculo mediante la utilización del programa Microsoft Office Excel.

Para el análisis de los datos se ha utilizado el paquete estadístico Statgraphics plus V. 5.0 para Windows. Realizando análisis de la varianza y test de mínimas diferencias significativas mediante el método LSD para un valor de probabilidad del 95%.

Resultados y discusión

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1. Humedad en tabla

En la tabla 28 se muestran los resultados obtenidos en el análisis estadístico para la evaluación del parámetro porcentaje de humedad (%H) en las tablas de cultivo, en un cultivo de melón cv. Vulcano a lo largo del ciclo de cultivo (primavera-verano), durante la campaña 2008/2009, atendiendo a los factores de variabilidad: tipo de tabla y oxigenación.

Tabla 28. Efecto de los factores tipo de tabla y oxigenación sobre el porcentaje de humedad (%H) de las tablas en un cultivo de melón cv. Vulcano

DIAS DESPUES DE TRASPLANTE (DDT)				
TIPO DE TABLA	18	28	39	53
CLASSIC MORE YEAR (100x15x10)	52,31ab	61,19a	56,56b	60,60bc
CLASSIC MORE YEAR (100x20x7,5)	58,63a	69,50a	63,83ab	66,75ab
CULTILENE (100x20x7,5)	61,31a	67,50a	73,02a	74,88a
EASY (100x15x10)	46,19b	46,00b	42,65c	52,72c
p-valor	0,0223	0,0010	0,0000	0,0013
mds	10,32	12,11	9,71	10,87
es	1,93	2,39	2,18	2,14
cv %	28,22	31,31	29,59	26,82
OXIGENACIÓN				
- O ₂	53,50a	59,72a	56,69a	58,93b
+ O ₂	55,72a	62,37a	61,34a	68,55a
p-valor	0,5689	0,5824	0,2910	0,0231
mds	7,74	9,60	8,72	8,26
es	1,93	2,39	2,18	2,14
cv %	28,22	31,31	29,59	26,83
DIAS DESPUES DE TRASPLANTE (DDT)				
TIPO DE TABLA	62	74	87	
CLASSIC MORE YEAR (100x15x10)	74,27ab	55,325a	46,16b	
CLASSIC MORE YEAR (100x20x7,5)	71,59ab	56,46a	51,17b	
CULTILENE (100x20x7,5)	77,14a	59,42a	60,83a	
EASY (100x15x10)	65,88b	51,18a	45,88b	
p-valor	0,1210	0,3724	0,0038	
mds	9,56	9,38	8,86	
es	1,73	1,66	1,71	
cv %	19,16	23,90	26,79	

DIAS DESPUES DE TRASPLANTE (DDT)			
OXIGENACIÓN	62	74	87
- O ₂	72,13a	54,11a	49,32a
+ O ₂	72,31a	57,07a	52,69a
p-valor	0,9594	0,3777	0,3280
mds	6,97	6,65	6,83
es	1,73	1,66	1,71
cv %	19,16	23,90	26,79

Test de mínimas diferencias significativas. Valores numéricos seguidos de distinta letra denotan significación estadística para $p < 0,05$.

Tabla 29. Evaluación de la dispersión de valores de porcentaje de humedad (%H) medidos a lo largo del ciclo de cultivo.

TIPO TABLA	MEDIA (%)	MIN (%)	MAX (%)	RANGO (%)	DESV. TÍPICA (%)	COEF. VAR. (%)
CMY (100x15x10)	58,06	20,0	89,2	69,2	15,18	26,14
CMY (100x20x7,5)	62,56	28,8	91,1	62,3	14,68	23,47
CULTILENE (100x20x7,5)	67,73	27,8	93,4	65,6	15,52	22,92
EASY (100x15x10)	50,07	11,0	87,2	76,2	17,58	35,11
OXIGENACIÓN						
- O ₂	57,77	11	92,6	81,6	16,32	28,26
+ O ₂	61,44	17	93,4	76,4	17,51	28,50

Respecto al factor tipo de tabla, se aprecian diferencias significativas todos los días evaluados, excepto el sexto día (d.d.t. 74), siendo las tablas Cultilène (100x20x7,5), las que mayores resultados obtienen, seguidas de las tablas Classic More Year (100x20x7,5), Classic More Year (100x15x10) y por último las Easy (100x15x10).

Como se puede observar en la tabla 28 y 29, los valores de humedad más altos se obtienen en las tablas de menor altura como son la Cultilène (100x20x7,5), Classic More Year (100x20x7,5), en este orden, y en último lugar Classic More Year (100x15x10) y las Easy (100x15x10), que son las de mayor altura.

A la misma vez, las que presentan menores valores de humedad son las tablas que tienen las fibras en posición vertical, como son las tablas Easy (100x15x7,5).

En el ensayo realizado por Lafuente (2002), “Nuevos materiales de lana de roca: evaluación agronómica de la estructura y envejecimiento en un cultivo de tomate”, obtuvo diferencias estadísticas significativas entre los dos tratamientos estudiados que fueron Med+ (100x15x10) y Expert (100x20x7,5) (ambas de fibra horizontal), obteniendo los mayores valores, también para la tabla de menor altura.

En cuanto al factor oxigenación, solo se aprecian diferencias significativas en el cuarto día evaluado (d.d.t. 53), obteniendo mayor valor (68,55%) las tablas con aporte de oxígeno frente a 58,93% las tablas sin aporte de oxígeno, pero se puede observar, que a pesar de no existir diferencias significativas, si hay una tendencia de mayores valores de humedad en las tablas con aporte de oxígeno.

También podemos observar, en la tabla 29, que las tablas Easy (100x15x10) son bastante más inestables, con respecto al contenido de humedad, que el resto de tipos de tabla, y la más estable es la Cultilène (100x20x7,5), seguida de CMY (100x20x7,5) y CMY (100x15x10).

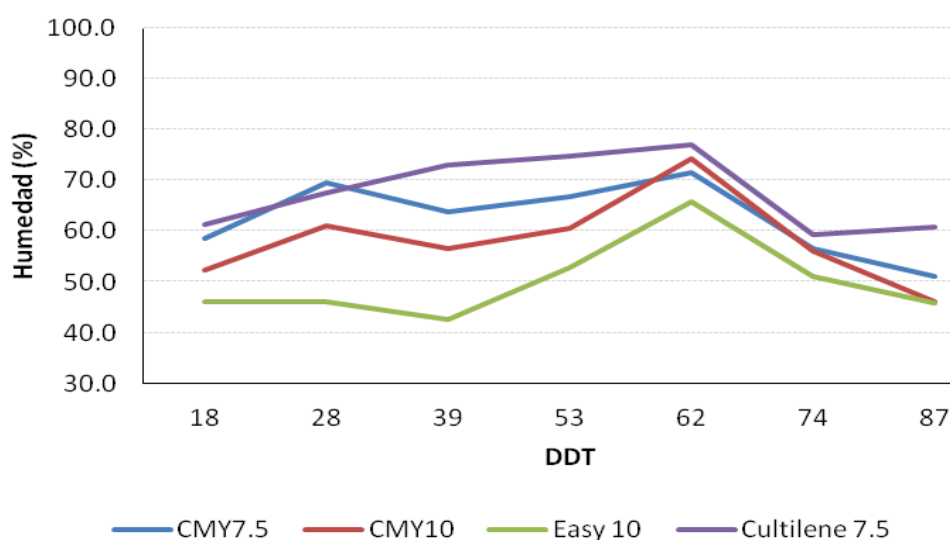


Figura 57. Efecto del factor tipo de tabla sobre el porcentaje de humedad (%H) de las tablas en un cultivo de melón cv. Vulcano.

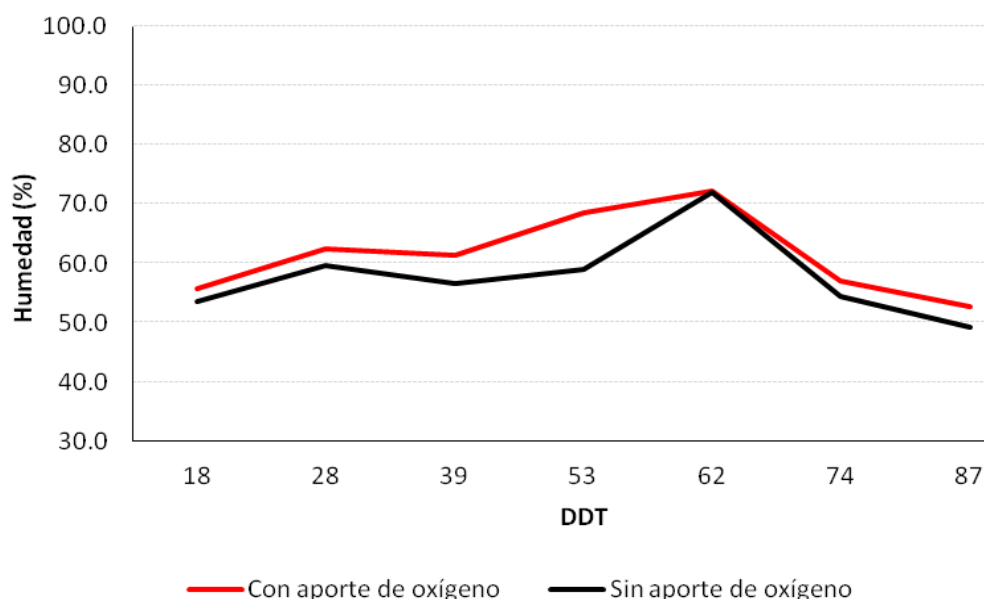


Figura 58. Efecto del factor oxigenación sobre el porcentaje de humedad (%H) del extracto de las tablas en un cultivo de melón *cv. Vulcano*.

4.2. Conductividad eléctrica

4.2.1. Conductividad eléctrica del extracto de la tabla

En la tabla 30 se muestran los resultados obtenidos en el análisis estadístico para la evaluación del parámetro conductividad eléctrica ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$) del extracto de las tablas de cultivo, en un cultivo de melón *cv. Vulcano* a lo largo de un ciclo de cultivo (primavera-verano), durante la campaña 2008/2009, atendiendo a los factores de variabilidad: tipo de tabla y oxigenación.

Tabla 30. Efecto de los factores tipo de tabla y oxigenación sobre la cE ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$) del extracto de la tabla en un cultivo de melón *cv. Vulcano*.

DIAS DESPUES DE TRASPLANTE (DDT)				
TIPO DE TABLA	18	28	39	53
CLASSIC MORE YEAR (100x15x10)	3,11b	2,58a	3,25ab	3,15ab
CLASSIC MORE YEAR (100x20x7,5)	2,94b	2,41a	2,68b	2,69b
CULTILENE (100x20x7,5)	3,24ab	2,59a	3,77a	3,20ab
EASY (100x15x10)	3,67a	2,73a	3,86a	3,35a
p-valor	0,0513	0,4170	0,0326	0,1549
mds	0,53	0,41	0,87	0,58
es	0,097	0,07	0,16	0,10
cv %	24,03	22,84	38,23	26,97

Comportamiento de la lana de roca bajo distintas concentraciones de oxígeno y su efecto sobre la morfología de la planta en un cultivo de melón cv. Vulcano.

DIAS DESPUES DE TRASPLANTE (DDT)				
OXIGENACIÓN	18	28	39	53
- O ₂	3,36a	2,61a	3,56a	3,14a
+ O ₂	3,13a	2,59a	3,22a	3,00a
p-valor	0,2319	0,8969	0,2992	0,5046
mds	0,39	0,2881	0,65	0,42
es	0,097	0,07	0,16	0,10
cv %	24,03	21,98	38,23	26,97
DIAS DESPUES DE TRASPLANTE (DDT)				
TIPO DE TABLA	62	74	87	
CLASSIC MORE YEAR (100x15x10)	3,64a	10,93a	4,48a	
CLASSIC MORE YEAR (100x20x7,5)	3,82a	10,05a	4,50a	
CULTILENE (100x20x7,5)	3,90a	10,17a	5,11a	
EASY (100x15x10)	3,96a	9,00a	4,29a	
p-valor	0,6607	0,4870	0,2167	
mds	0,54	4,19	0,83	
es	0,09	0,73	0,15	
cv %	19,68	55,99	25,90	
OXIGENACIÓN				
- O ₂	4,06a	10,59a	4,85a	
+ O ₂	3,59b	10,49a	4,35a	
p-valor	0,0111	0,9481	0,1004	
mds	0,36	2,97	0,59	
es	0,09	0,73	0,15	
cv %	19,68	55,99	25,90	

Test de mínimas diferencias significativas. Valores numéricos seguidos de distinta letra denotan significación estadística para $p < 0,05$.

Tabla 31. Evaluación de la dispersión de valores de conductividad eléctrica ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$) del extracto de las tablas medidos a lo largo del ciclo de cultivo.

TIPO TABLA	MEDIA ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$)	MIN ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$)	MAX ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$)	RANGO ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$)	DESV. TÍPICA ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$)	COEF. VAR. (%)
CMY (100x15x10)	3,41	2,00	7,45	5,45	0,97	28,63
CMY (100x20x7,5)	3,16	1,97	6,28	4,31	0,94	29,66
CULTILENE (100x20x7,5)	3,62	1,89	7,99	6,10	1,37	37,80
EASY (100x15x10)	3,64	1,40	6,25	4,85	1,12	30,72
OXIGENACIÓN						
- O ₂	3,60	1,4	7,99	6,59	1,24	34,50
+ O ₂	3,31	1,8	6,34	4,54	0,98	29,55

Para el factor tipo de tabla, encontramos diferencias estadísticamente significativas en los valores de CE del extracto para algunos de los días de muestreo, que pueden ser debidos a la composición de cada tipo de tabla. Se observa un patrón de comportamiento vinculado a la posición de la fibra vertical (ddt = 18, 39, 53) con mayores valores de CE que las tablas con fibra horizontal. Para el resto de los días, donde no aparecen diferencias significativas, no existe un patrón de comportamiento definido, ya que los mayores o menores valores de conductividad eléctrica, se van alternando entre los distintos tipos de tablas. Lo que si podemos decir, fijándonos en la tabla 31, es que las tablas que se comportan de forma más estable frente a subidas o bajadas de conductividad eléctrica son las Classic More Year.

López en el 2009, en su trabajo: “Evaluación del comportamiento de distintos tipos de sustratos de Lana de Roca con y sin enriquecimiento de oxígeno en el agua de riego en un cultivo de tomate Cherry (*Lycopersicon esculentum* cv. Solomee)”, obtuvo resultados similares; ya que obtuvo diferencias significativas en varios días, observándose los mayores valores de conductividad eléctrica en las tablas de menor altura.

En cuanto al factor oxigenación, solo se aprecian diferencias significativas en el quinto día evaluado (d.d.t. 62), obteniendo mayor valor ($4,06 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$) en las tablas sin aporte de oxígeno frente a $3,59 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ en las tablas con aporte de oxígeno, obteniéndose el resto de los días evaluados valores muy similares en ambos tratamientos sin un patrón de comportamiento definido, aunque existe una tendencia de mayores valores de CE en las tablas sin aporte de oxígeno.

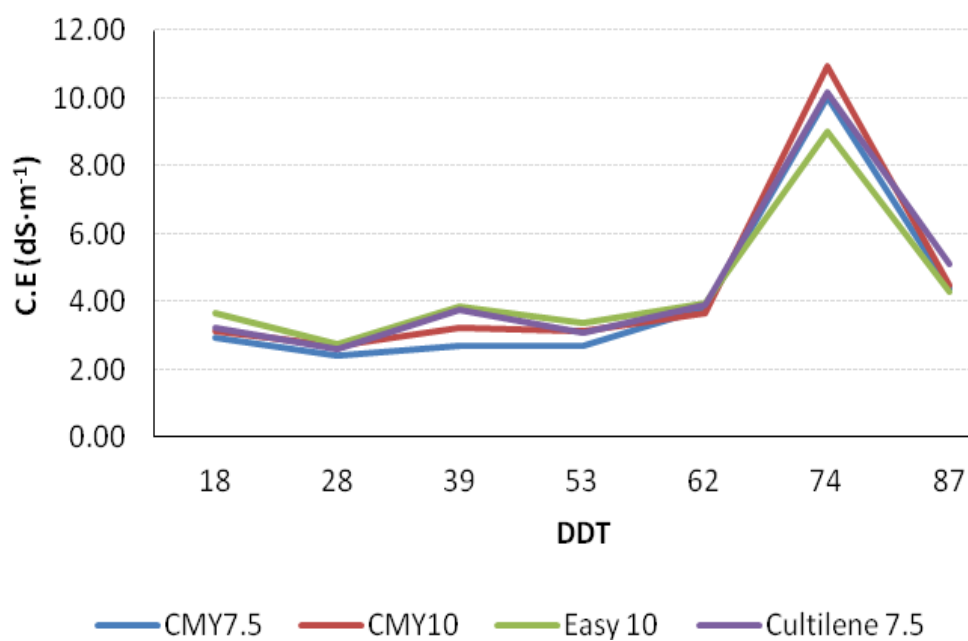


Figura 59. Efecto del factor tipo de tabla sobre la CE ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$) del extracto de la tabla en un cultivo de melón *cv. Vulcano*.

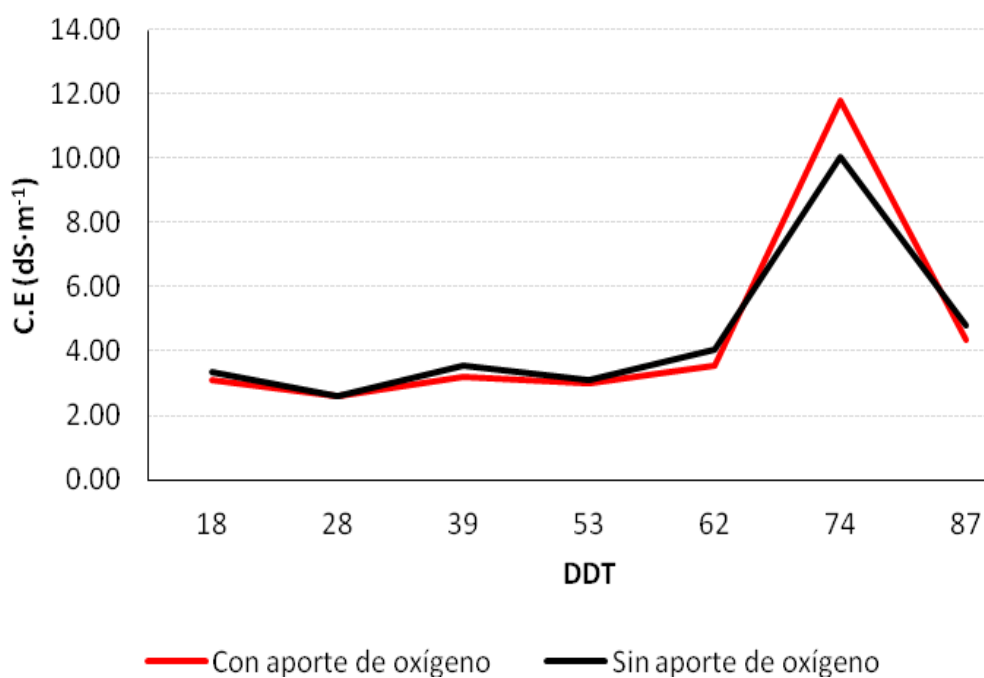


Figura 60. Efecto del factor oxigenación sobre la CE ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$) del extracto de la tabla en un cultivo de melón *cv. Vulcano*.

4.2.2. Conductividad eléctrica medida directamente en el medio de cultivo

En la tabla 32 se muestran los resultados obtenidos en el análisis estadístico para la evaluación del parámetro conductividad eléctrica ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$) en el medio de cultivo, en un cultivo de melón cv. Vulcano a lo largo del ciclo de cultivo (primavera-verano), durante la campaña 2008/2009, atendiendo a los factores de variabilidad: tipo de tabla y oxigenación.

Tabla 32. Efecto de los factores tipo de tabla y oxigenación sobre la CE en el medio de cultivo, en un cultivo de melón cv. Vulcano.

DIAS DESPUES DE TRASPLANTE (DDT)				
TIPO DE TABLA	18	28	39	53
CLASSIC MORE YEAR (100x15x10)	3,40a	2,84ab	2,73a	2,52a
CLASSIC MORE YEAR (100x20x7,5)	3,46b	2,86c	2,91a	2,61a
CULTILENE (100x20x7,5)	3,69a	3,07a	2,93a	2,65a
EASY (100x15x10)	3,21b	2,61bc	2,60a	2,46a
p-valor	0,0008	0,0002	0,3575	0,2903
mds	0,29	0,24	0,42	0,23
es	0,06	0,05	0,07	0,04
cv %	13,29	14,05	21,39	12,75
OXIGENACIÓN				
- O ₂	3,55a	2,75a	2,82a	2,59a
+ O ₂	3,36a	2,79a	2,77a	2,53a
p-valor	0,1090	0,7031	0,7563	0,4257
mds	0,23	0,19	0,30	0,16
es	0,06	0,05	0,07	0,04
cv %	13,29	14,05	21,39	12,75
DIAS DESPUES DE TRASPLANTE (DDT)				
TIPO DE TABLA	62	74	87	
CLASSIC MORE YEAR (100x15x10)	3,21b	5,24a	3,04b	
CLASSIC MORE YEAR (100x20x7,5)	3,52a	5,53a	3,36ab	
CULTILENE (100x20x7,5)	3,29ab	5,31a	3,18ab	
EASY (100x15x10)	3,46ab	5,22a	3,34a	
p-valor	0,1322	0,8128	0,1198	
mds	0,38	1,092	0,43	
es	0,07	0,19	0,08	
cv %	16,29	27,88	19,01	

DIAS DESPUES DE TRASPLANTE (DDT)			
OXIGENACIÓN	62	74	87
- O ₂	3,43a	5,88a	3,33a
+ O ₂	3,27a	5,02b	3,24a
p-valor	0,2453	0,0214	0,5789
mds	0,27	0,73	0,31
es	0,07	0,19	0,08
cv %	16,29	27,88	19,01

Test de mínimas diferencias significativas. Valores numéricos seguidos de distinta letra denotan significación estadística para $p < 0,05$.

Tabla 33. Evaluación de la dispersión de valores de conductividad eléctrica ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$) en el medio de cultivo medidos a lo largo del ciclo de cultivo.

TIPO TABLA	MEDIA ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$)	MIN ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$)	MAX ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$)	RANGO ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$)	DESV. TÍPICA ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$)	COEF. VAR. (%)
CMY (100x15x10)	3,01	1,90	4,70	2,80	0,54	18,05
CMY (100x20x7,5)	3,02	2,10	4,50	2,40	0,58	19,15
CULTILENE (100x20x7,5)	3,13	2,10	5,90	3,80	0,69	22,05
EASY (100x15x10)	2,98	2,10	4,60	2,50	0,59	19,79
OXIGENACIÓN						
- O ₂	3,07	1,90	5,90	4,00	0,65	21,26
+ O ₂	2,99	2,10	4,70	2,60	0,55	18,25

Al igual que ocurre en el caso anterior, para el factor tipo de tabla encontramos diferencias estadísticamente significativas en los valores de CE medidos directamente en tablas, para algunos de los días evaluados que pueden ser debidos a la composición de cada tipo de tabla. Se observa un patrón de comportamiento vinculado a la altura de la tabla (ddt= 18, 28, 62, 87) proporcionando mayores valores de CE las tablas de menor altura. Para el resto de los días evaluados, se observa que, aunque no existen diferencias estadísticas significativas, existe una tendencia de mayores valores de CE en las tablas de menor altura. Esto nos induce a pensar que existe un mejor aprovechamiento de agua a menor altura de contenedor.

Por otro lado, como podemos observar en la tabla 32, en la mayoría de los días de muestreo, se aprecia también un patrón de comportamiento vinculado a la posición de la fibra vertical, ya que generalmente se dan los valores más bajos de CE en las tablas Easy (100x15x10), y esto puede ser debido a que al disponer de la fibra en vertical, el agua sale de forma más rápida, y por tanto, como drena más rápido, se lavan las fibras más que si se disponen en posición horizontal.

Estos resultados coinciden con los obtenidos por López (2009) en el estudio realizado sobre oxigenación en tablas de lana de roca en un cultivo de tomate. En este estudio también aparecieron diferencias significativas (en algunos de los días evaluados), observándose los mayores valores de conductividad eléctrica en tablas de menor altura y valores más bajos en las tablas con la posición de la fibra vertical como son las tablas Easy (100x15x10).

En el ensayo realizado por Lafuente (2002), “Nuevos materiales de lana de roca: evaluación agronómica de la estructura y envejecimiento en un cultivo de tomate”, ocurre lo mismo, ya que obtuvo diferencias estadísticas altamente significativas entre los dos tratamientos estudiados que fueron Med+ (100x15x10) y Expert (100x20x7,5), obteniendo los mayores valores, también para la tabla de menor altura. Además, Lafuente en su ensayo estudió la edad del sustrato utilizando tablas con disposición de fibra horizontal y dimensiones de 100x15x10, con 2 tratamientos, tablas nuevas y tablas de un año, donde los resultados obtenidos para la conductividad eléctrica fueron de 3,51 y 4,04 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$, obteniendo el mayor valor de CE las tablas de 1 año.

En cuanto al factor oxigenación, solo se aprecian diferencias significativas en el cuarto día evaluado (d.d.t. 74), obteniendo mayor valor ($5,88 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$) las tablas sin aporte de oxígeno frente a $5,02 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ las tablas con aporte de oxígeno, obteniéndose el resto de los días evaluados valores muy similares en ambos tratamientos. Aunque sí se puede observar, que existe una tendencia de mayores valores de CE en las tablas sin aporte de oxígeno.

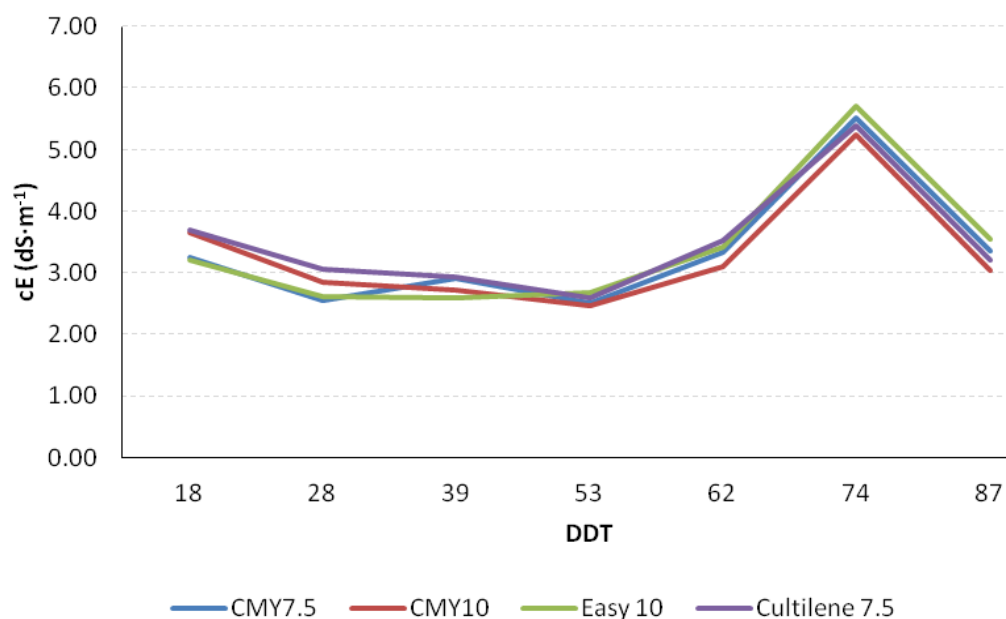


Figura 61. Efecto del factor tipo de tabla sobre la CE ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$) en el medio de cultivo, en un cultivo de melón *cv. Vulcano*.

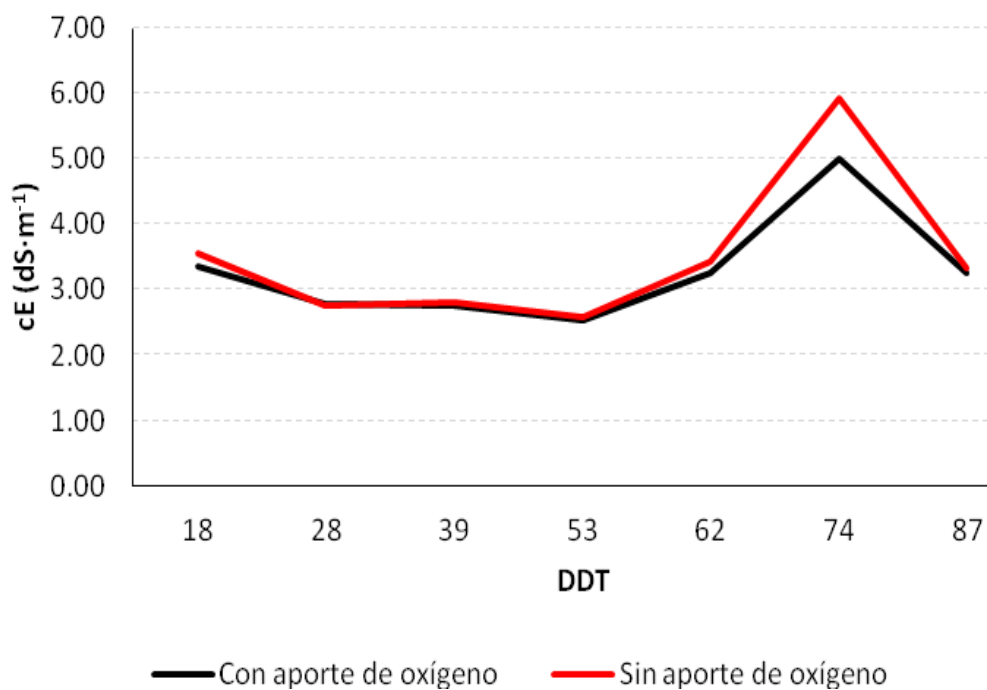


Figura 62. Efecto del factor oxigenación sobre la CE ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$) en el medio de cultivo, en un cultivo de melón *cv. Vulcano*.

4.3. pH en tabla

En la tabla 34 se muestran los resultados obtenidos en el análisis estadístico para la evaluación del parámetro pH en las tablas de cultivo, en un cultivo de melón *cv. Vulcano* a lo largo del ciclo de cultivo (primavera-verano), durante la campaña 2008/2009, atendiendo a los factores de variabilidad: tipo de tabla y oxigenación.

Tabla 34. Efecto de los factores tipo de tabla y oxigenación sobre el pH del extracto de las tablas en un cultivo de melón *cv. Vulcano*.

DIAS DESPUES DE TRASPLANTE (DDT)				
TIPO DE TABLA	18	28	39	53
CLASSIC MORE YEAR (100x15x10)	7,25b	6,57b	6,27a	5,63a
CLASSIC MORE YEAR (100x20x7,5)	7,28b	6,54b	6,07b	5,10b
CULTILENE (100x20x7,5)	7,49a	6,89a	6,33a	5,72a
EASY (100x15x10)	7,54a	6,59b	6,12b	5,73a
p-valor	0,0032	0,0004	0,0012	0,0120
mds	0,18	0,17	0,14	0,43
es	0,04	0,04	0,03	0,08
cv %	3,84	4,23	3,61	11,65
OXIGENACIÓN				
- O ₂	7,45a	6,68a	6,22a	5,56a
+ O ₂	7,32a	6,61a	6,18a	5,53a
p-valor	0,0623	0,3525	0,5030	0,8423
mds	0,14	0,14	0,11	0,33
es	0,04	0,04	0,03	0,08
cv %	3,84	4,23	3,61	11,65
DIAS DESPUES DE TRASPLANTE (DDT)				
TIPO DE TABLA	62	74	87	
CLASSIC MORE YEAR (100x15x10)	5,35ab	4,85ab	5,57a	
CLASSIC MORE YEAR (100x20x7,5)	5,98b	4,63b	5,40a	
CULTILENE (100x20x7,5)	5,46a	4,88ab	5,33a	
EASY (100x15x10)	5,31ab	4,95a	5,37a	
p-valor	0,1964	0,1930	0,5048	
mds	0,47	0,31	0,34	
es	0,08	0,06	0,06	
cv %	12,38	9,19	8,73	

DIAS DESPUES DE TRASPLANTE (DDT)			
OXIGENACIÓN	62	74	87
- O ₂	5,22a	4,74a	5,43a
+ O ₂	5,33a	4,91a	5,40a
p-valor	0,5129	0,1233	0,7877
mds	0,34	0,22	0,24
es	0,084	0,06	0,06
cv %	12,38	9,19	8,73

Test de mínimas diferencias significativas. Valores numéricos seguidos de distinta letra denotan significación estadística para p<0,05.

Tabla 35. Evaluación de la dispersión de valores de pH del extracto de las tablas medidos a lo largo del ciclo de cultivo.

TIPO TABLA	MEDIA (pH)	MIN (pH)	MAX (pH)	RANGO (pH)	DESV. TÍPICA	COEF. VAR. (%)
CMY (100x15x10)	5,93	4,15	7,60	3,45	0,86	14,43
CMY (100x20x7,5)	5,71	4,03	7,94	3,91	1,01	17,67
CULTILENE (100x20x7,5)	6,01	4,20	8,04	3,84	0,95	15,83
EASY (100x15x10)	5,93	4,15	7,87	3,72	0,94	15,86
OXIGENACIÓN						
- O ₂	5,90	4,15	8,04	3,89	0,97	16,53
+ O ₂	5,90	4,03	7,87	3,84	0,91	15,52

Para el factor tipo de tabla encontramos diferencias estadísticamente significativas en los valores de pH del extracto, excepto en el último día de evaluación (d.d.t.=87) que pueden ser debidos a la composición de cada tipo de tabla. Sin embargo, el comportamiento fue muy similar en todas ellas y existe una alternancia en la magnitud de los valores entre los distintos tratamientos, sin un patrón de comportamiento definido. Incluso, como podemos observar en la tabla 35, podemos decir que todas las tablas se comportan de forma muy similar en cuanto a la estabilidad frente al pH, ya que todas presentan valores muy similares.

Estos resultados coinciden con los obtenidos por López (2009) en el estudio realizado sobre oxigenación en tablas de lana de roca en un cultivo de tomate. En este

estudio también aparecieron diferencias significativas en la mayoría de los días evaluados.

Sin embargo, en el ensayo realizado por Lafuente (2002), “Nuevos materiales de lana de roca: evaluación agronómica de la estructura y envejecimiento en un cultivo de tomate”, no obtuvo diferencias estadísticas significativas entre los dos tratamientos estudiados que fueron Med+ (100x15x10) y Expert (100x20x7,5).

Para el factor oxigenación no se encontraron diferencias estadísticamente significativas, por lo que en general, los valores de pH en las tablas con aporte de O₂ y las que no llevaban aporte de O₂, fue similar a lo largo de todo el ciclo de cultivo.

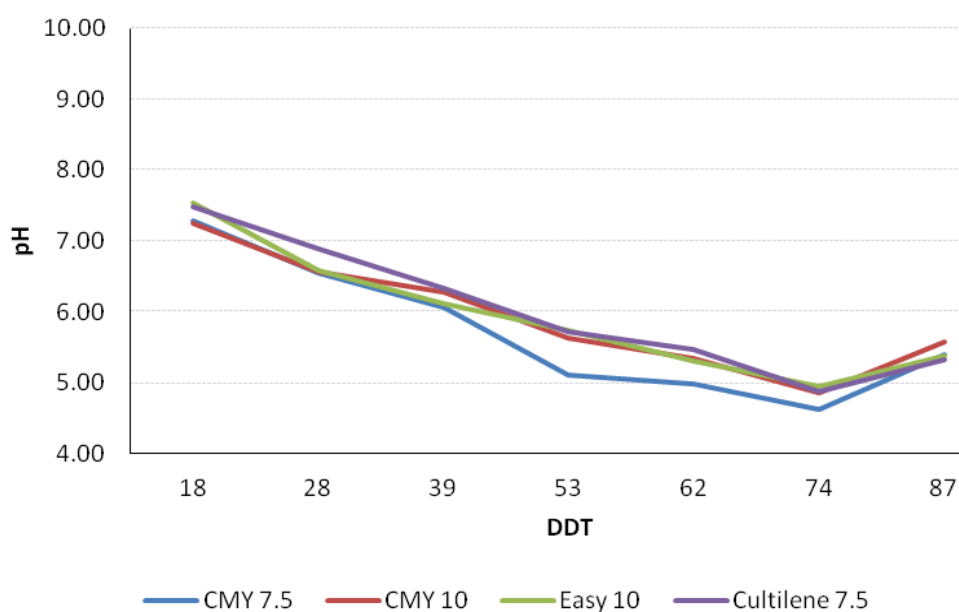


Figura 63. Efecto del factor tipo de tabla sobre el pH del extracto de las tablas en un cultivo de melón cv. Vulcano.

Si nos fijamos en la figura 63, los diferentes tipos de tablas, obtienen valores muy similares a lo largo del ciclo de cultivo, excepto en tres días evaluados donde las tablas Classic More Year (100x20x7,5) obtiene un pH más bajo, pero sin diferencias significativas.

Comportamiento de la lana de roca bajo distintas concentraciones de oxígeno y su efecto sobre la morfología de la planta en un cultivo de melón *cv. Vulcano*.

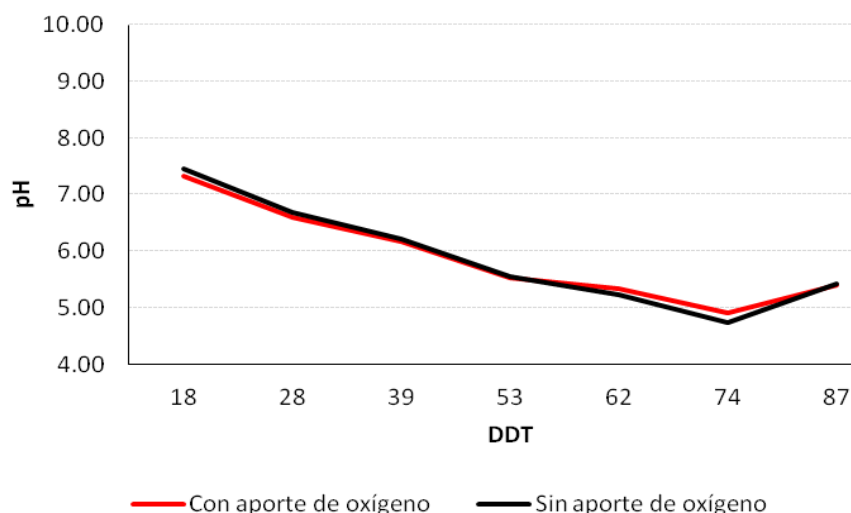


Figura 64. Efecto del factor oxigenación sobre el pH del extracto de las tablas en un cultivo de melón *cv. Vulcano*.

4.4. Evolución del contenido medio de oxígeno en el agua del extracto de la tabla de cultivo.

En la tabla 36 se muestran los resultados obtenidos en el análisis estadístico para la evaluación del parámetro concentración de oxígeno ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) en el extracto de las tablas de cultivo, en un cultivo de melón *cv. Vulcano* a lo largo del ciclo de cultivo (primavera-verano), durante la campaña 2008/2009, atendiendo a los factores de variabilidad: tipo de tabla y oxigenación.

Tabla 36. Efecto de los factores tipo de tabla y oxigenación sobre la concentración de oxígeno ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) de la solución nutritiva en un cultivo de melón *cv. Vulcano*.

TIPO DE TABLA	DIAS DESPUES DE TRASPLANTE (DDT)			
	18	28	39	53
CLASSIC MORE YEAR (100x15x10)	6,34a 26,33 ^{oC}	6,98a 21,68 ^{oC}	7,39a 20,27 ^{oC}	7,20a 20,14 ^{oC}
CLASSIC MORE YEAR (100x20x7,5)	6,28a 25,21 ^{oC}	6,99a 21,88 ^{oC}	7,55a 20,19 ^{oC}	7,41a 20,05 ^{oC}
CULTILENE (100x20x7,5)	6,38a 24,53 ^{oC}	6,88a 21,81 ^{oC}	7,47a 20,19 ^{oC}	7,28a 20,14 ^{oC}
EASY (100x15x10)	6,14a 25,74 ^{oC}	6,99a 21,88 ^{oC}	7,52a 20,20 ^{oC}	7,25a 20,14 ^{oC}
p-valor	0,2840	0,4639	0,4117	0,3357
mds	0,26	0,17	0,20	0,23
es	0,05	0,03	0,04	0,04
cv %	5,90	3,40	3,86	4,42

Comportamiento de la lana de roca bajo distintas concentraciones de oxígeno y su efecto sobre la morfología de la planta en un cultivo de melón cv. Vulcano.

DIAS DESPUES DE TRASPLANTE (DDT)				
OXIGENACIÓN	18	28	39	53
- O ₂	6,23a 25,49°C	6,91a 21,77°C	7,47a 20,20°C	7,25a 20,19°C
+ O ₂	6,33a 25,41°C	7,00a 21,86°C	7,50a 20,23°C	7,31a 20,04°C
p-valor	0,3114	0,1268	0,6973	0,5067
mds	0,19	0,12	0,15	0,16
es	0,05	0,03	0,04	0,04
cv %	5,90	3,40	3,86	4,42
DIAS DESPUES DE TRASPLANTE (DDT)				
TIPO DE TABLA	62	74	87	
CLASSIC MORE YEAR (100x15x10)	7,33a 24,45°C	7,12ab 24,74°C	7,02a 27,61°C	
CLASSIC MORE YEAR (100x20x7,5)	7,28a 24,54°C	7,25a 24,96°C	6,97a 27,56°C	
CULTILENE (100x20x7,5)	7,13a 24,58°C	7,04b 25,04°C	6,82ab 27,74°C	
EASY (100x15x10)	7,36a 24,48°C	7,11ab 24,88°C	6,72b 27,69°C	
p-valor	0,1880	0,0107	0,0514	
mds	0,22	0,17	0,24	
es	0,04	0,03	0,04	
cv %	4,41	3,47	5,08	
DIAS DESPUES DE TRASPLANTE (DDT)				
OXIGENACIÓN	62	74	87	
- O ₂	7,22a 24,59°C	7,13a 24,85°C	6,83a 27,65°C	
+ O ₂	7,32a 24,43°C	7,13a 24,96°C	6,93a 27,65°C	
p-valor	0,2336	0,9442	0,2810	
mds	0,1599	0,1245	0,1746	
es	0,040	0,031	0,044	
cv %	4,41	3,47	5,08	

Test de mínimas diferencias significativas. Valores numéricos seguidos de distinta letra denotan significación estadística para $p < 0,05$.

Como podemos observar en la tabla 36, la cantidad de oxígeno disuelto en la solución, es menor a mayores temperaturas, como podemos apreciar en los d.d.t. 18,74 y 87, ya que los gases se comportan al contrario que los sólidos en cuanto a solubilidad.

Tabla 37. Evaluación de la dispersión de valores de concentración de oxígeno ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) del extracto de las tablas medidos a lo largo del ciclo de cultivo.

TIPO TABLA	MEDIA ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	MIN ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	MAX ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	RANGO ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	DESV. TÍPICA ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	COEF. VAR. (%)
CMY (100x15x10)	7,06	5,64	8,90	3,26	0,47	6,65
CMY (100x20x7,5)	7,10	5,60	7,90	2,30	0,46	6,53
CULTILENE (100x20x7,5)	7,00	5,94	7,87	1,93	0,42	6,00
EASY (100x15x10)	7,01	5,26	8,00	2,74	0,53	7,65
OXIGENACIÓN						
- O ₂	7,02	5,42	7,85	2,43	0,45	6,44
+ O ₂	7,06	5,26	8,90	3,64	0,50	7,02

Para el factor tipo de tabla encontramos diferencias estadísticamente significativas en los valores de concentración de oxígeno del extracto, en los dos últimos días evaluados (d.d.t. 74 y 87). Para el resto de los días, los valores son muy similares en todas las tablas.

López (2009), en el estudio realizado sobre oxigenación en tablas de lana de roca en un cultivo de tomate, obtuvo diferencias significativas en la concentración de oxígeno, en varios días de evaluación, sin un patrón de comportamiento definido.

Para el factor oxigenación no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en ninguno de los días evaluados, por lo que, en general, los valores de las tablas con aporte de O₂ y las que no llevaban aporte de O₂ fue similar a lo largo de todo el ciclo de cultivo.

Los resultados de López (2009) fueron similares, ya que para el factor oxigenación no obtuvo diferencias estadísticamente significativas salvo en el DDT 171, por lo que en general, los valores de las tablas con aporte de O₂ y las que no llevaban aporte de O₂ fue similar a lo largo de todo el ciclo de cultivo.

Comportamiento de la lana de roca bajo distintas concentraciones de oxígeno y su efecto sobre la morfología de la planta en un cultivo de melón *cv. Vulcano*.

Con estos resultados nos podría inducir a pensar que, las características de las tablas inducen cambios sobre la concentración de oxígeno en mayor medida que el propio suplemento extra del mismo.

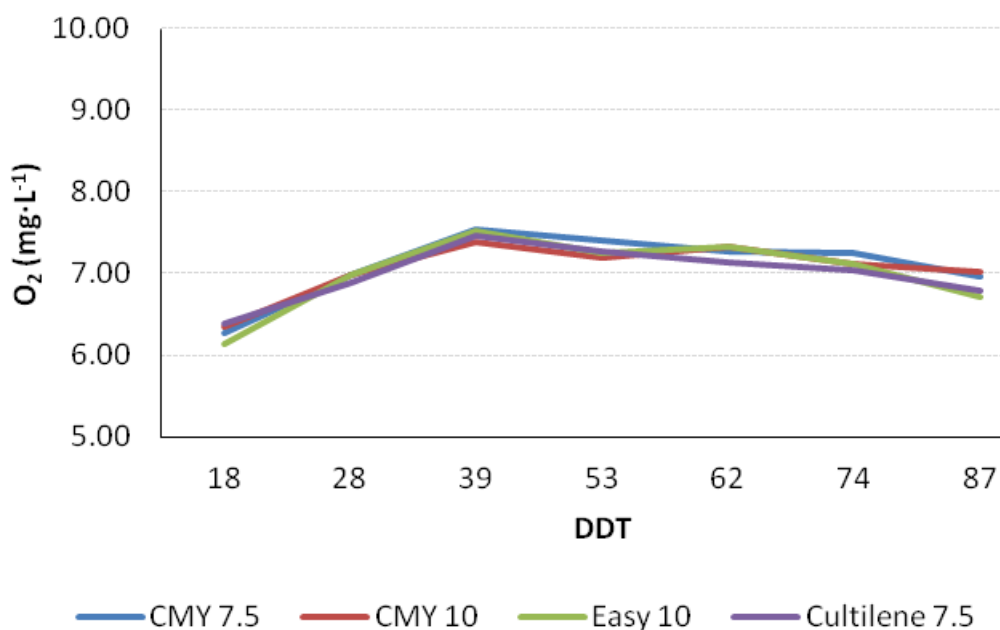


Figura 65. Efecto del factor tipo de tabla sobre la concentración de oxígeno (mg·L⁻¹) de la solución nutritiva en un cultivo de melón *cv. Vulcano*.

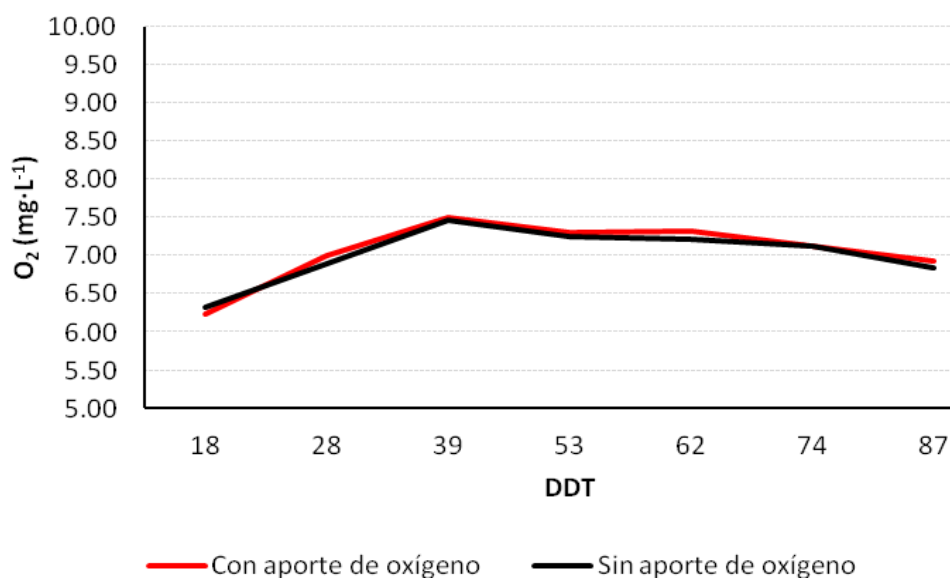
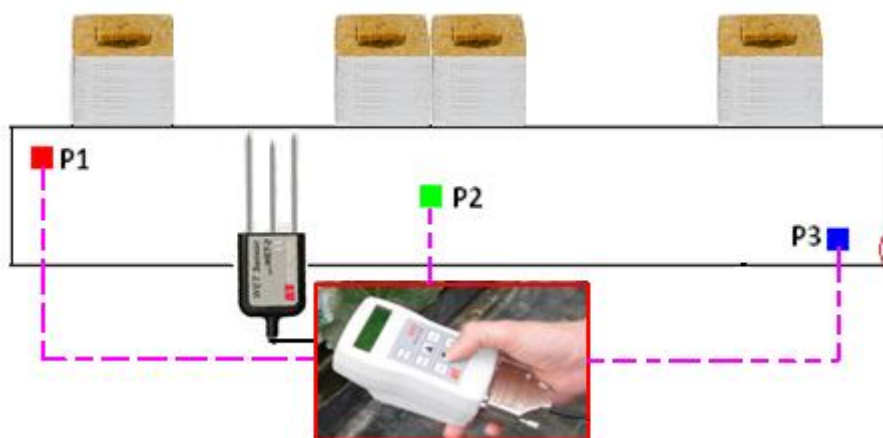


Figura 66. Efecto del factor oxigenación sobre la concentración de oxígeno (mg·L⁻¹) de la solución nutritiva en un cultivo de melón *cv. Vulcano*.

Tabla 38. Seguimiento de la dispersión de valores de concentración de oxígeno ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) a nivel de gotero.

OXIGENACIÓN	MEDIA (%)	MIN (%)	MAX (%)	RANGO (%)	DESV. TÍPICA	COEF. VAR. (%)
Con aporte de oxígeno	7,90	5,50	9,69	4,19	1,11	15,01
Sin aporte de oxígeno	5,70	3,33	7,88	4,55	1,26	20,38

4.5. Distribución espacial de la humedad a lo largo de las tablas de cultivo



4.5.1. Contenido de humedad (%) en el punto 1 de las tablas con y sin aporte de oxígeno.

En la tabla 39 y 41, se muestran los resultados obtenidos en el análisis estadístico para la evaluación de la distribución espacial de la humedad en el punto 1 de las tablas de cultivo con y sin aporte de oxígeno, mediante el parámetro porcentaje de humedad (%H), en un cultivo de melón *cv. Vulcano* a lo largo del ciclo de cultivo (primavera-verano), durante la campaña 2008/2009, atendiendo al factor de variabilidad tipo de tabla y con aporte de oxígeno.

Tabla 39. Efecto del factor tipo de tabla, en el punto 1 (P1) de la tabla con aporte de oxígeno (+O₂), sobre el porcentaje de humedad (%H) de las tablas en un cultivo de melón *cv. Vulcano*.

DIAS DESPUES DE TRASPLANTE (DDT)			
TIPO DE TABLA	42	62	76
CLASSIC MORE YEAR (100x15x10)	62,38ab	71,01ab	69,83a
CLASSIC MORE YEAR (100x20x7,5)	49,00bc	64,24bc	61,89a
CULTILENE (100x20x7,5)	70,84a	77,94a	75,19a
EASY (100x15x10)	35,75c	55,05c	43,68b
p-valor	0,0006	0,0062	0,0008
mds	15,99	12,54	14,56
es	3,55	2,56	3,21
cv %	36,87	21,57	28,97
DIAS DESPUES DE TRASPLANTE (DDT)			
TIPO DE TABLA	87	91	94
CLASSIC MORE YEAR (100x15x10)	53,10ab	68,05ab	61,51a
CLASSIC MORE YEAR (100x20x7,5)	44,18bc	61,88b	56,61ab
CULTILENE (100x20x7,5)	60,31a	76,10a	67,38a
EASY (100x15x10)	39,33c	44,68c	45,51b
p-valor	0,0008	0,0001	0,0241
mds	9,8544	12,0593	14,0152
es	2,17	2,87	2,71
cv %	24,97	25,87	26,58

Test de mínimas diferencias significativas. Valores numéricos seguidos de distinta letra denotan significación estadística para $p < 0,05$.

Tabla 40. Evaluación de la dispersión de valores en el punto 1(P1) de la tabla con aporte de oxígeno (+O₂), sobre el porcentaje de humedad (%H) del extracto de las tablas medidos a lo largo del ciclo de cultivo.

TIPO TABLA (P1) Con aporte de oxígeno	MEDIA (%)	MIN (%)	MAX (%)	RANGO (%)	DESV. TÍPICA	COEF. VAR. (%)
CMY (100x15x10)	64,31	28,8	89,7	60,9	12,80	19,91
CMY (100x20x7,5)	56,28	26,3	85,6	59,3	16,20	28,77
CULTILENE (100x20x7,5)	71,29	45,0	98,1	53,1	12,99	18,23
EASY (100x15x10)	44,00	15,3	74,7	59,4	13,30	30,22

Comportamiento de la lana de roca bajo distintas concentraciones de oxígeno y su efecto sobre la morfología de la planta en un cultivo de melón cv. Vulcano.

Tras realizar el análisis estadístico, como se puede apreciar en la tabla 39, para el factor tipo de tabla en la posición 1 y con aporte de oxígeno, existen diferencias estadísticas significativas en todos los días evaluados, observándose que las tablas que presentan los mayores valores de humedad son las tablas Cultilène (100x20x7,5), seguidas de las Classic More Year (100x15x10), Classic More Year (100x20x7,5), y por último, las que presenta los valores más bajos de humedad son las tablas Easy (100x15x10). Esto nos induce a pensar que existe una mayor humedad en las tablas de menor altura tipo Cultilène y con la disposición de la fibra en horizontal.

Tabla 41. Efecto del factor tipo de tabla, en el punto 1 (P1) de la tabla sin aporte de oxígeno (-O₂), sobre el porcentaje de humedad (%H) del extracto de las tablas en un cultivo de melón cv. Vulcano.

DIAS DESPUES DE TRASPLANTE (DDT)			
TIPO DE TABLA	42	62	76
CLASSIC MORE YEAR (100x15x10)	57,65ab	76,10a	64,25a
CLASSIC MORE YEAR (100x20x7,5)	51,46ab	65,99a	58,85a
CULTILENE (100x20x7,5)	60,89a	73,86a	57,09a
EASY (100x15x10)	41,95b	69,38a	58,60a
p-valor	0,1584	0,4369	0,8927
mds	17,68	13,57	20,10
es	3,18	2,33	3,33
cv %	33,91	18,51	31,58
DIAS DESPUES DE TRASPLANTE (DDT)			
TIPO DE TABLA	87	91	94
CLASSIC MORE YEAR (100x15x10)	53,13a	61,40a	60,55a
CLASSIC MORE YEAR (100x20x7,5)	49,76a	61,86a	57,40a
CULTILENE (100x20x7,5)	49,96a	64,49a	60,55a
EASY (100x15x10)	48,60a	61,13a	48,00a
p-valor	0,9356	0,9621	0,3371
mds	15,03	14,49	15,59
es	2,48	2,39	2,71
cv %	27,90	21,72	27,17

Test de mínimas diferencias significativas. Valores numéricos seguidos de distinta letra denotan significación estadística para $p < 0,05$.

Tabla 42. Evaluación de la dispersión de valores en el punto 1 (P1) de la tabla sin aporte de oxígeno (-O₂), sobre el porcentaje de humedad (%H) del extracto de las tablas medidos a lo largo del ciclo de cultivo.

TIPO TABLA (P1) Sin aporte de oxígeno	MEDIA (%)	MIN (%)	MAX (%)	RANGO (%)	DESV. TÍPICA	COEF. VAR. (%)
CMY (100x15x10)	62,10	36,4	93,2	56,8	14,10	22,70
CMY (100x20x7,5)	57,55	31,3	86,4	55,1	15,85	27,54
CULTILENE (100x20x7,5)	61,14	13,1	89,8	76,7	20,64	33,76
EASY (100x15x10)	54,61	24,2	86,9	62,7	15,70	28,76

Al contrario que en el caso anterior, como se puede apreciar en la tabla 41, para el factor tipo de tabla y sin aporte de oxígeno, en la posición 1 de la tabla sólo existen diferencias estadísticas significativas en el primer día evaluado (d.d.t. 42), observándose de nuevo, que las tablas que presentan los mayores valores de humedad son las tablas Cultilène (100x20x7,5), seguidas de las Classic More Year (100x15x10), Classic More Year (100x20x7,5), y por último, las que presenta los valores más bajos de humedad son las tablas Easy (100x15x10). El resto de los días evaluados, fue similar a lo largo de todo el ciclo de cultivo, observándose una tendencia de mayor contenido de humedad en las tablas Classic More Year.

Cabe destacar que, con aporte de oxígeno, existen unas diferencias estadísticas significativas entre los distintos tipos de tablas, cosa que no ocurre sin aporte de oxígeno, ya que en este caso, los valores de las distintas tablas son similares a lo largo del ciclo y sin diferencias.

4.5.2. Contenido de humedad (%) en el punto 2 de las tablas con y sin aporte de oxígeno.

En las tablas siguientes, se muestran los resultados obtenidos en el análisis estadístico para la evaluación de la distribución espacial de la humedad en el punto 2 de las tablas de cultivo con y sin aporte de oxígeno, mediante el parámetro porcentaje de humedad (%H), en un cultivo de melón cv. Vulcano a lo largo del ciclo de cultivo (primavera-verano), durante la campaña 2008/2009, atendiendo al factor de variabilidad tipo de tabla y con aporte de oxígeno.

Tabla 43. Efecto del factor tipo de tabla, en el punto 2 (P2) de la tabla con aporte de oxígeno (+O₂), sobre el porcentaje de humedad (%H) del extracto de las tablas en un cultivo de melón cv. Vulcano.

DIAS DESPUES DE TRASPLANTE (DDT)			
TIPO DE TABLA	42	62	76
CLASSIC MORE YEAR (100x15x10)	79,19a	74,35ab	75,08ab
CLASSIC MORE YEAR (100x20x7,5)	81,49a	71,21ab	76,65ab
CULTILENE (100x20x7,5)	81,88a	79,91a	84,70a
EASY (100x15x10)	54,55b	63,76b	65,69b
p-valor	0,0011	0,1607	0,0745
mds	14,37	14,34	14,10
es	3,13	2,58	2,61
cv %	23,81	20,15	19,56
DIAS DESPUES DE TRASPLANTE (DDT)			
TIPO DE TABLA	87	91	94
CLASSIC MORE YEAR (100x15x10)	43,25c	69,68bc	66,78bc
CLASSIC MORE YEAR (100x20x7,5)	56,51ab	72,89ab	74,00ab
CULTILENE (100x20x7,5)	63,75a	82,34a	81,28a
EASY (100x15x10)	47,25bc	62,19a	57,85a
p-valor	0,0066	0,0054	0,0002
mds	11,95	10,57	9,56
es	2,43	2,17	2,21
cv %	26,09	17,08	17,87

Test de mínimas diferencias significativas. Valores numéricos seguidos de distinta letra denotan significación estadística para $p < 0,05$.

Tabla 44. Evaluación de la dispersión de valores en el punto 2 (P2) de la tabla con aporte de oxígeno (+O₂), sobre el porcentaje de humedad (%H) del extracto de las tablas medidos a lo largo del ciclo de cultivo.

TIPO TABLA (P2) Con aporte de oxígeno	MEDIA (%)	MIN (%)	MAX (%)	RANGO (%)	DESV. TÍPICA	COEF. VAR. (%)
CMY (100x15x10)	68,05	31,7	92,4	60,7	15,80	23,21
CMY (100x20x7,5)	72,12	32,7	94,0	61,3	13,69	18,98
CULTILENE (100x20x7,5)	78,98	47,4	94,5	47,1	10,92	13,83
EASY (100x15x10)	58,55	26,5	88,4	61,9	16,71	28,54

En la posición 2 de las tablas de lana de roca, como se puede apreciar en la tabla 43, para el factor tipo de tabla y con aporte de oxígeno, existen diferencias estadísticas significativas en todos los días evaluados, observándose que, igual que en el punto 1, las tablas que presentan los mayores valores de humedad son las Cultilène (100x20x7,5),

Comportamiento de la lana de roca bajo distintas concentraciones de oxígeno y su efecto sobre la morfología de la planta en un cultivo de melón cv. Vulcano.

seguidas de las Classic More Year (100x20x7,5), Classic More Year (100x15x10), y por último, las que presenta los valores más bajos de humedad son las tablas Easy (100x15x10). Por tanto podemos decir que existe una tendencia de mayores valores de humedad en las tablas de menor altura y con la disposición de la fibra en horizontal.

Tabla 45. Efecto del factor tipo de tabla, en el punto 2 (P2) de la tabla sin aporte de oxígeno (-O₂), sobre el porcentaje de humedad (%H) del extracto de las tablas en un cultivo de melón cv. Vulcano.

DIAS DESPUES DE TRASPLANTE (DDT)			
TIPO DE TABLA	42	62	76
CLASSIC MORE YEAR (100x15x10)	72,25a	74,23a	76,85a
CLASSIC MORE YEAR (100x20x7,5)	73,33a	71,98a	76,41a
CULTILENE (100x20x7,5)	72,99a	74,38a	70,21a
EASY (100x15x10)	63,58a	67,99a	71,95a
p-valor	0,5539	0,7695	0,7317
mds	15,50	14,03	14,48
es	2,64	2,35	2,43
cv %	21,23	18,41	18,62
DIAS DESPUES DE TRASPLANTE (DDT)			
TIPO DE TABLA	87	91	94
CLASSIC MORE YEAR (100x15x10)	49,06a	73,21a	67,55ab
CLASSIC MORE YEAR (100x20x7,5)	45,83a	74,10a	70,61a
CULTILENE (100x20x7,5)	50,69a	77,25a	71,13a
EASY (100x15x10)	44,50a	70,01a	57,69b
p-valor	0,8545	0,5480	0,0774
mds	16,25	10,16	11,36
es	2,70	1,73	2,10
cv %	32,17	13,28	17,81

Test de mínimas diferencias significativas. Valores numéricos seguidos de distinta letra denotan significación estadística para $p < 0,05$.

Tabla 46. Efecto del factor tipo de tabla, en el punto 2 (P2) de la tabla sin aporte de oxígeno (-O₂), sobre el porcentaje de humedad (%H) del extracto de las tablas en un cultivo de melón cv. Vulcano.

TIPO TABLA (P2) Sin aporte de oxígeno	MEDIA (%)	MIN (%)	MAX (%)	RANGO (%)	DESV. TÍPICA	COEF. VAR. (%)
CMY (100x15x10)	68,86	24,3	90,0	65,7	16,44	23,88
CMY (100x20x7,5)	68,71	28,8	89,5	60,7	15,28	22,24
CULTILENE (100x20x7,5)	69,27	6,41	91,8	85,4	17,04	24,60
EASY (100x15x10)	62,62	34,0	93,0	59,0	14,78	23,61

Al contrario que en el caso anterior, como se puede apreciar en la tabla 45, para el factor tipo de tabla y sin aporte de oxígeno, en el punto 2 de la tabla solo existen diferencias estadísticas significativas en el último día evaluado (d.d.t. 94), observándose de nuevo, que las tablas que presentan los mayores valores de humedad son las tablas Cultilène (100x20x7,5), seguidas de las Classic More Year, y por último, las que presenta los valores más bajos de humedad son las tablas Easy (100x15x10). El resto de los días evaluados, fue similar a lo largo de todo el ciclo de cultivo, observándose una tendencia de mayor contenido de humedad en las tablas Classic More Year, después de las tablas Cultilène.

Esto nos induce a pensar, que las tablas con la disposición de la fibra horizontal, mantienen una humedad de forma más homogénea que las tablas con disposición de la fibra en vertical.

4.5.3. Contenido de humedad (%) en el punto 3 de las tablas con y sin aporte de oxígeno.

En la tabla 47 y 49, se muestran los resultados obtenidos en el análisis estadístico para la evaluación de la distribución espacial de la humedad en el punto 3 de las tablas de cultivo con y sin aporte de oxígeno, mediante el parámetro porcentaje de humedad (%H), en un cultivo de melón cv. Vulcano a lo largo del ciclo de cultivo (primavera-verano), durante la campaña 2008/2009, atendiendo al factor de variabilidad tipo de tabla y con aporte de oxígeno.

Tabla 47. Efecto del factor tipo de tabla, en el punto 3 (P3) de la tabla con aporte de oxígeno (+O₂), sobre el porcentaje de humedad (%H) del extracto de las tablas en un cultivo de melón cv. Vulcano.

DIAS DESPUES DE TRASPLANTE (DDT)			
TIPO DE TABLA	42	62	76
CLASSIC MORE YEAR (100x15x10)	86,66a	73,74a	85,47ab
CLASSIC MORE YEAR (100x20x7,5)	84,30a	75,14a	84,71ab
CULTILENE (100x20x7,5)	84,19a	77,48a	89,84a
EASY (100x15x10)	81,70a	65,80a	81,00b
p-valor	0,2838	0,2780	0,1313

Comportamiento de la lana de roca bajo distintas concentraciones de oxígeno y su efecto sobre la morfología de la planta en un cultivo de melón cv. Vulcano.

DIAS DESPUES DE TRASPLANTE (DDT)			
TIPO DE TABLA	42	62	76
CLASSIC MORE YEAR (100x15x10)	86,66a	73,74a	85,47ab
CLASSIC MORE YEAR (100x20x7,5)	84,30a	75,14a	84,71ab
CULTILENE (100x20x7,5)	84,19a	77,48a	89,84a
EASY (100x15x10)	81,70a	65,80a	81,00b
mds	5,09	12,62	7,36
es	0,89	2,22	1,33
cv %	5,99	17,16	8,84
DIAS DESPUES DE TRASPLANTE (DDT)			
TIPO DE TABLA	87	91	94
CLASSIC MORE YEAR (100x15x10)	62,30a	75,13b	74,94a
CLASSIC MORE YEAR (100x20x7,5)	56,39a	80,38ab	79,39a
CULTILENE (100x20x7,5)	66,93a	84,18a	81,24a
EASY (100x15x10)	55,49a	81,24ab	78,85a
p-valor	0,2906	0,0726	0,3087
mds	13,58	6,79	6,85
es	2,38	1,29	1,20
cv %	22,32	8,87	8,61

Test de mínimas diferencias significativas. Valores numéricos seguidos de distinta letra denotan significación estadística para $p < 0,05$.

Tabla 48. Evaluación de la dispersión de valores en el punto 3 (P3) de la tabla con aporte de oxígeno (+O₂), sobre el porcentaje de humedad (%H) del extracto de las tablas medidos a lo largo del ciclo de cultivo.

TIPO TABLA (P3) Con aporte de oxígeno	MEDIA (%)	MIN (%)	MAX (%)	RANGO (%)	DESV. TÍPICA	COEF. VAR. (%)
CMY (100x15x10)	75,24	33,7	93,8	60,1	13,57	17,04
CMY (100x20x7,5)	76,72	31,6	93,9	62,3	13,09	17,06
CULTILENE (100x20x7,5)	80,64	55,6	94,9	39,3	9,36	11,61
EASY (100x15x10)	75,15	39,7	92,1	52,4	13,01	17,32

Por último, en el punto 3 de las tablas de lana de roca, como se puede apreciar en la tabla 47, para el factor tipo de tabla y con aporte de oxígeno, existen diferencias estadísticas significativas solo en dos de los días evaluados (d.d.t. 76 y 91), observándose que, igual que en los puntos 1 y 2, las tablas que presentan los mayores valores de humedad son las Cultilène (100x20x7,5), seguidas de las Classic More Year mayormente, y por último, las que presenta

Comportamiento de la lana de roca bajo distintas concentraciones de oxígeno y su efecto sobre la morfología de la planta en un cultivo de melón cv. Vulcano.

los valores más bajos de humedad, en la mayoría de los días evaluados, son las tablas Easy (100x15x10).

Tabla 49. Efecto del factor tipo de tabla, en el punto 3 (P3) de la tabla sin aporte de oxígeno (-O₂), sobre el porcentaje de humedad (%H) del extracto de las tablas en un cultivo de melón cv. Vulcano.

DIAS DESPUES DE TRASPLANTE (DDT)			
TIPO DE TABLA	42	62	76
CLASSIC MORE YEAR (100x15x10)	83,60ab	74,35a	84,54a
CLASSIC MORE YEAR (100x20x7,5)	79,80b	75,71a	80,28a
CULTILENE (100x20x7,5)	81,43b	78,49a	83,29a
EASY (100x15x10)	87,90a	70,81a	86,06a
p-valor	0,0608	0,7317	0,4936
mds	6,12	14,06	7,85
es	1,14	2,36	1,34
cv %	7,77	17,83	9,09
DIAS DESPUES DE TRASPLANTE (DDT)			
TIPO DE TABLA	87	91	94
CLASSIC MORE YEAR (100x15x10)	61,60a	79,40ab	78,83a
CLASSIC MORE YEAR (100x20x7,5)	55,05a	78,75b	77,95a
CULTILENE (100x20x7,5)	62,41a	82,96a	78,81a
EASY (100x15x10)	59,74a	82,41ab	77,86a
p-valor	0,7039	0,0793	0,9758
mds	13,89	3,87	5,85
es	2,34	0,71	0,96
cv %	22,13	4,99	6,95

Test de mínimas diferencias significativas. Valores numéricos seguidos de distinta letra denotan significación estadística para p<0,05.

Tabla 50. Evaluación de la dispersión de valores en el punto 3 (P3) de la tabla sin aporte de oxígeno (-O₂), sobre el porcentaje de humedad (%H) del extracto de las tablas medidos a lo largo del ciclo de cultivo.

TIPO TABLA (P3) Sin aporte de oxígeno	MEDIA (%)	MIN (%)	MAX (%)	RANGO (%)	DESV. TÍPICA	COEF. VAR. (%)
CMY (100x15x10)	77,05	42,3	92,3	50,0	12,03	15,61
CMY (100x20x7,5)	74,59	26,8	95,1	68,3	12,48	16,73
CULTILENE (100x20x7,5)	77,90	33,7	94,3	60,6	11,43	14,67
EASY (100x15x10)	77,46	40,0	93,6	53,6	12,81	16,54

Sin embargo, en el punto 3, como se puede apreciar en la tabla 49, para el factor tipo de tabla y sin aporte de oxígeno, solo existen diferencias estadísticas significativas en dos de los días evaluados (d.d.t. 42 y 91), observándose en este caso, que las tablas que presentan los mayores valores de humedad son las tablas Cultilène (100x20x7,5) y las Easy (100x15x10), justo al contrario de lo que ha ocurrido en los puntos 1 y 2 de las tablas a lo largo de todo el ciclo, ya que las tablas Easy casi siempre ha obtenido los menores valores de humedad en cualquier posición y día evaluado. El resto de los días evaluados se obtuvieron valores de humedad similares entre las distintas tablas a lo largo de todo el ciclo de cultivo. Esto puede ser debido, aparte de que la posición 3 de las tablas está más próxima al punto de drenaje, a que las tablas Easy al disponer sus fibras en posición vertical, el agua drene de forma más rápida y por ello se produce una acumulación de humedad mayor en este punto.

4.5.4. Contenido de humedad (%) a lo largo del perfil de las tablas de cultivo (P1, P2 y P3) con y sin aporte de oxígeno.

En la tabla 51, se muestran los valores promedio obtenidos para la evaluación de la distribución espacial de la humedad en los tres puntos de medida de las tablas de cultivo con y sin aporte de oxígeno, mediante el parámetro porcentaje de humedad (%H), en un cultivo de melón cv. Vulcano a lo largo del ciclo de cultivo (primavera-verano), durante la campaña 2008/2009, atendiendo al factor de variabilidad tipo de tabla.

Tabla 51. Valores promedio del efecto del factor tipo de tabla, con y sin aporte de oxígeno, en los tres puntos de la tabla (P1, P2, P3), sobre la distribución espacial de la humedad (%H) a lo largo de las tablas.

TIPO DE TABLA	Punto 1		Punto 2		Punto 3	
	+ O2	- O2	+ O2	- O2	+ O2	- O2
CMY (100x15x10)	64,31	62,10	68,06	68,86	76,37	77,05
CMY (100x20x7,5)	56,30	57,55	72,13	68,71	76,72	74,59
CULTILENE (100x20x7,5)	71,29	61,14	78,98	69,28	80,64	77,90
EASY (100x15x10)	44,00	54,61	58,55	62,62	74,01	77,46

En la tabla anterior (Tabla 51), podemos observar los valores promedio de humedad (%) con aporte de oxígeno, en cada punto de medida de las tablas de cultivo.

De forma general, observamos que las tablas Cultilène (100x20x7,5) obtienen los valores de humedad de forma más homogénea a lo largo de las tablas de cultivo, que el resto de los diferentes tipos de tablas.

Estos datos, nos podría inducir a pensar que, cuando se aporta oxígeno, las tablas de lana de roca de menor altura, obtienen mayores valores de humedad a lo largo de la tabla, excepto en la posición 1, ya que es el punto de medida más alto de la tabla, y esto es debido a la mayor importancia en la lana de roca de las fuerzas gravitatorias frente a las capilares.

En los valores promedio de humedad (%), sin aporte de oxígeno para los tres puntos de medida de las tablas de cultivo (tabla 51), podemos apreciar, de forma general, que las tablas Cultilène, y Classic More Year obtienen los valores de humedad de forma más homogénea a lo largo del ciclo de cultivo frente a las tablas Easy.

Esto nos podría inducir a pensar que cuando no se aporta oxígeno, las tablas de lana de roca con disposición de la fibra en horizontal, mantienen la humedad de forma más homogénea que con disposición de la fibra en vertical.

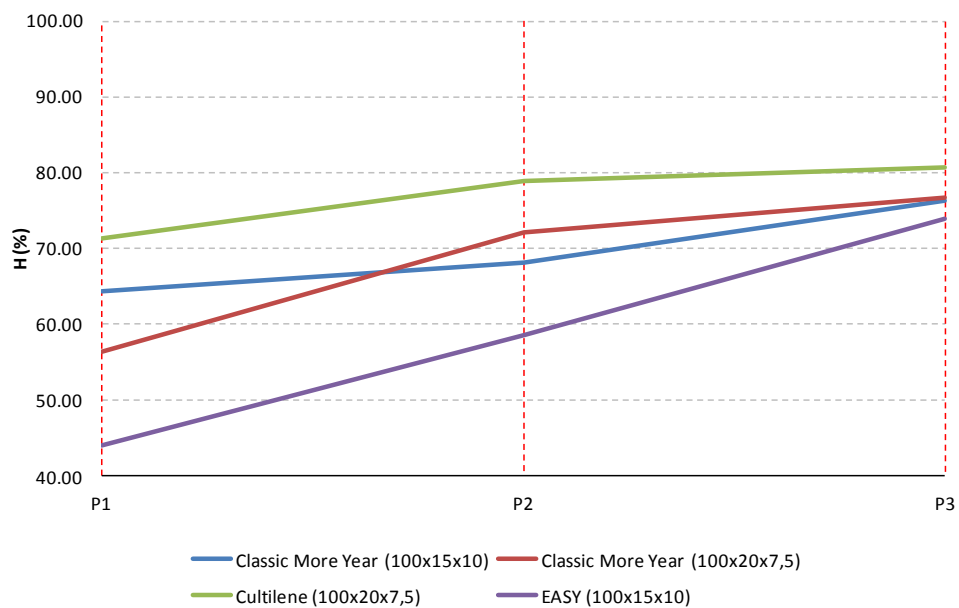


Figura 67. Efecto del factor tipo de tabla con aporte de oxígeno (+O₂) sobre la distribución espacial de la humedad (%H) a lo largo de la tabla según tres posiciones de la misma.

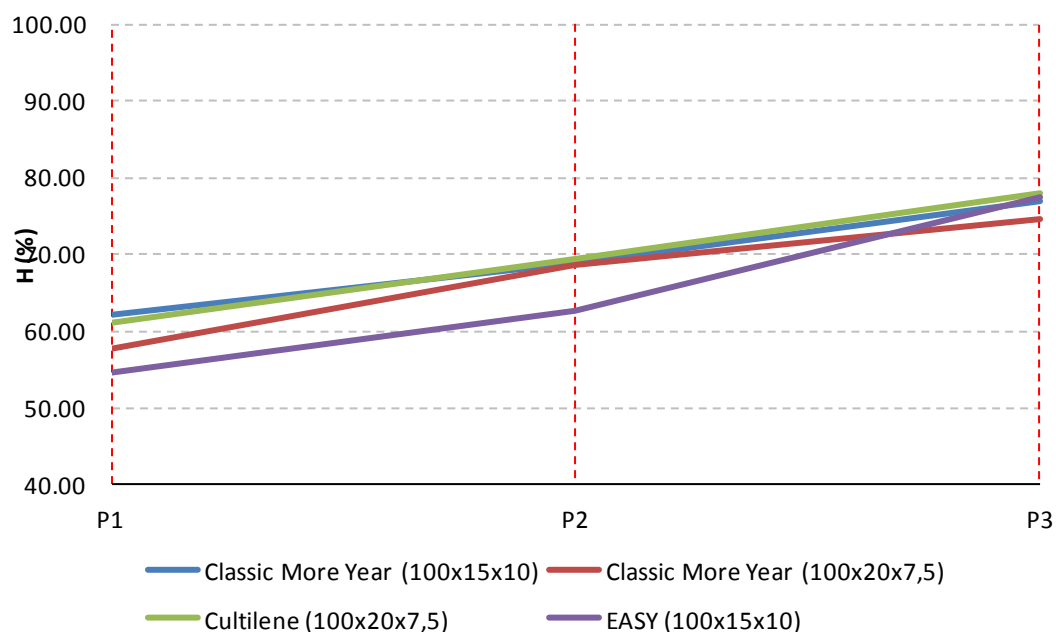


Figura 68. Efecto del factor tipo de tabla sin aporte de oxígeno ($-O_2$) sobre la distribución espacial de la humedad (%H) a lo largo de la tabla según tres posiciones de la misma.

Como se puede apreciar en la figura 69, las tablas Cultilène, con aporte de oxígeno, mantienen una mayor homogeneidad de la humedad a lo largo del perfil de las tablas, al contrario que le ocurre a las tablas Easy con aporte de oxígeno, la más heterogénea en cuanto a porcentaje de humedad con una rango de valores desde 44% en la P1 hasta un 74% en la P3.

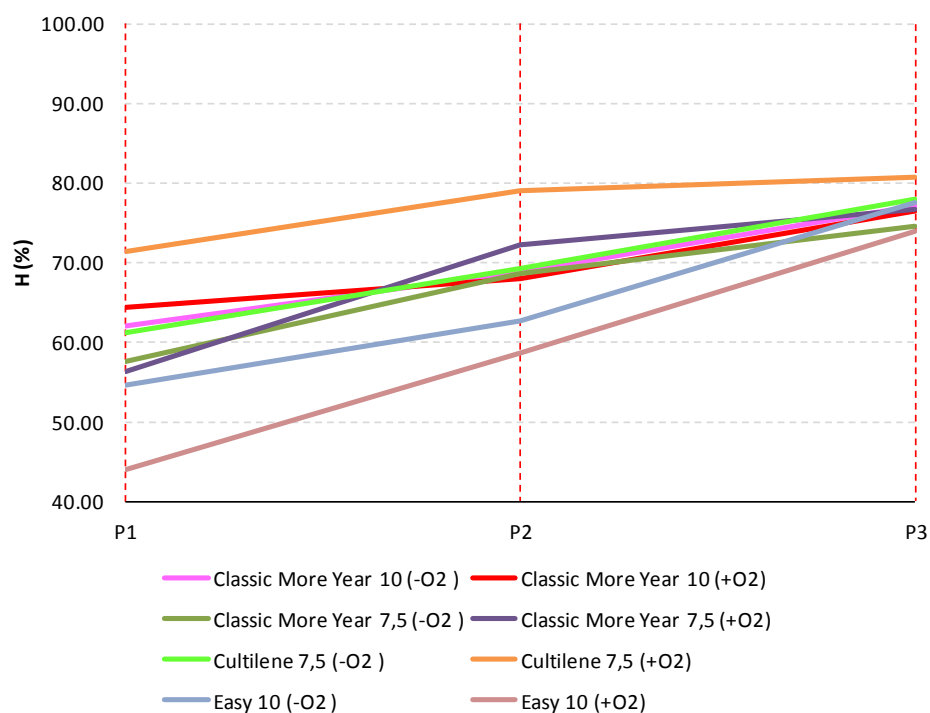


Figura 69. Efecto del factor tipo de tabla y oxigenación sobre la distribución espacial de la humedad (%H) a lo largo de la tabla según tres posiciones de la misma.

Anexo A): Efecto del factor tipo de tabla y oxigenación sobre la morfología de la planta en un cultivo de melón cv. Vulcano.

A.1) Diámetro del brazo principal

En la tabla 54 se muestran los resultados obtenidos tras el análisis estadístico del parámetro diámetro del brazo principal (cm) en cultivo de melón cv. Vulcano a lo largo de un ciclo corto de cultivo (primavera-verano), durante la campaña 08/09, atendiendo a los factores de variabilidad: tipo de tabla y oxigenación.

Tabla 54. Efecto de los factores tipo de tabla y oxigenación sobre diámetro del brazo principal (cm).

DIAS DESPUES DE TRASPLANTE (DDT)				
TIPO DE TABLA	47	75	89	Promedio
CLASSIC MORE YEAR (100x15x10)	0,63 a	0,51 a	0,41 a	0,47 a
CLASSIC MORE YEAR (100x20x7,5)	0,60 a	0,51 a	0,41 a	0,46 a
EASY (100x15x10)	0,61 a	0,52 a	0,42 a	0,47 a
CULTILENE (100x20x7,5)	0,60 a	0,52 a	0,41 a	0,46 a
p-valor	0,3317	0,4041	0,4540	0,7329
mds	0,03	0,06	0,08	0,01
es	0,01	0,01	0,01	0,01
cv %	12,63	12,59	11,45	9,67
OXIGENACIÓN				
- O ₂	0,61 a	0,51 a	0,41 a	0,47 a
+ O ₂	0,61 a	0,51 a	0,41 a	0,46 a
p-valor	0,4169	0,1430	0,0998	0,0747
mds	0,02	0,04	0,05	0,05
es	0,01	0,01	0,01	0,01
cv %	12,63	12,59	11,45	9,67

Test de mínimas diferencias significativas. Valores numéricos seguidos de distinta letra denotan significación estadística para p<0,05.

Para el factor tipo de tabla, no se observan diferencias estadísticamente significativas en cuanto al parámetro diámetro del brazo principal (cm). Si se puede ver que durante el mismo día de corte, los valores alcanzados para el diámetro del brazo principal en los diferentes tipos de tabla de lana de roca, son prácticamente los mismos.

Para el factor oxigenación, no se muestran diferencias estadísticamente significativas para ninguno de los días evaluados. Además como se puede observar en la tabla 54, los valores obtenidos para ambos tratamientos son idénticos.

En el ensayo similar realizado por Alcayde (2009), sobre oxigenación en un cultivo de melón cv. Vulcano, se observaron resultados muy parecidos, pero con la diferencia de que obtuvo diferencias significativas en los tres días evaluados, lo que hace intuir, que es posible que la oxigenación pueda tener un efecto sobre el desarrollo vegetativo y no tanto sobre el generativo o reproductivo, coincidiendo esto con lo comentado por Couto *et al.* (2004), donde afirmaba que el aporte de oxígeno en la solución nutritiva comprende un efecto positivo en el cultivo que no necesariamente se tiene que observar en la producción.

A.2) Longitud del tallo (m)

En la tabla 55 se muestran los resultados obtenidos tras el análisis estadístico del parámetro longitud total del tallo (m) en cultivo de melón cv. Vulcano a lo largo de un ciclo corto de cultivo (primavera-verano), durante la campaña 08/09, atendiendo a los factores de variabilidad: tipo de tabla y oxigenación.

Tabla 55. Efecto de los factores tipo de tabla y oxigenación sobre la longitud del tallo (m).

DIAS DESPUES DE TRASPLANTE (DDT)				
TIPO DE TABLA	47	75	89	111
CLASSIC MORE YEAR (100x15x10)	0,85a	1,73a	2,06a	2,58a
CLASSIC MORE YEAR (100x20x7,5)	0,88a	1,75a	2,04a	2,54a
EASY (100x15x10)	0,91a	1,81a	2,10a	2,61a
CULTILENE (100x20x7,5)	0,83a	1,74a	2,16a	2,67a
p-valor	0,3317	0,4041	0,4540	0,7329
mds	0,09	0,11	0,15	0,24
es	0,02	0,02	0,03	0,80
cv %	22,57	13,78	16,32	14,18

OXIGENACIÓN				
- O ₂	0,86a	1,73a	2,05a	2,55a
+ O ₂	0,88a	1,78a	2,13a	2,65a
p-valor	0,4169	0,1430	0,0998	0,0747
mds	0,06	0,07	0,10	0,11
es	0,02	0,02	0,03	0,03
cv %	22,57	13,78	16,32	14,18

Test de mínimas diferencias significativas. Valores numéricos seguidos de distinta letra denotan significación estadística para $p < 0,05$.

Para el factor tipo de tabla, se pueden observar que no existen diferencias estadísticamente significativas en cuanto al parámetro longitud total del tallo (m), en ninguno de los días evaluados. Este día podemos observar que las tablas que dan lugar a plantas con mayor longitud de tallo son las Cultilène (100x20x7,5), seguidas de las Classic More Year (100x15x10), seguidas de las Classic More Year (100x20x10) y por último las Easy (100x20x10).

En el ensayo similar realizado por Alcayde (2009), sobre oxigenación en un cultivo de melón *cv. Vulcano*, se observaron diferencias estadísticamente significativas en los tres días evaluados, pudiéndose apreciar que los resultados oscilaban de un día a otro. El último día que se evaluó que coincidió prácticamente con el final del cultivo, se pudo observar que las tablas que dieron lugar a plantas con mayor longitud de tallo, fueron las Classic More Year (100x20x7,5), seguidas de las Classic More Year (100x15x10), las Cultilène (100x20x7,5) y por último las Easy (100x15x10).

Para el factor oxigenación, no se muestran diferencias estadísticamente significativas. Se puede apreciar que las plantas cultivadas con aporte de O₂, durante todo el cultivo, presentan una longitud del tallo mayor a las plantas del tratamiento testigo (sin aporte de O₂).

Alcayde (2009) en su ensayo sobre oxigenación en un cultivo de melón *cv. Vulcano* obtuvo resultados muy similares. Observó diferencias estadísticamente significativas para el último día de corte, donde se pudo apreciar que las plantas

cultivadas con aporte de oxígeno, al final del cultivo, presentaban una longitud del tallo mayor a las plantas del tratamiento testigo (sin aporte de O₂).

Todos estos resultados obtenidos en diferentes ensayos, nos hacen intuir que es posible que la oxigenación pueda tener un efecto sobre el desarrollo vegetativo y no tanto sobre el generativo o reproductivo, coincidiendo esto con lo comentado por Couto *et al.* (2004), donde afirmaba que el aporte de oxígeno en la solución nutritiva comprende un efecto positivo en el cultivo que no necesariamente se observa en la producción.

Conclusiones

5. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha estudiado la variabilidad existente para tablas de lana de roca distintas, en cuanto a cuatro factores: humedad, pH, C.E. y concentración de oxígeno; así como con y sin enriquecimiento de oxígeno de la solución nutritiva. Además, también se ha evaluado el comportamiento de las distintas tablas en cuanto a la distribución de la humedad a lo largo de las tablas. Las conclusiones que hemos obtenido son las siguientes:

▪ Tipos de tablas de lana de roca

Para el factor humedad (%), se puede concluir que se obtienen los mayores valores en las tablas de menor altura como son Cultilène (100x20x7,5) y Classic More Year (100x20x7,5) y los valores más bajos en las tablas de mayor altura como Classic More Year (100x15x10) y las Easy (100x15x10). También, las tablas con disposición de la fibra vertical son las que obtienen valores más bajos de humedad, presentando una mayor estabilidad, las tablas con la fibra en posición horizontal. Por tanto, esto es un dato importante, puesto que podemos elegir el tipo de tabla en función de la época climática, ya que si tenemos un ciclo de cultivo de primavera-verano, donde las temperaturas son elevadas y las plantas transpiran mucho, nos interesan tablas de menor altura y con la fibra horizontal para que las plantas dispongan de más humedad y de forma más homogénea; pero si por el contrario, tenemos un ciclo de otoño-invierno, donde las temperaturas son bajas, nos interesan tablas tipo Easy (fibra vertical), las cuales nos van a permitir mantener una correcta relación de humedad día-noche que nos permita conseguir un menor grado de humedad en el sustrato durante las horas de poca actividad de la planta, ya que al disponer de las fibras en disposición vertical, el agua sale de forma más rápida.

La influencia de las tablas sobre los parámetros químicos de comportamiento estudiados a lo largo del ciclo de cultivo; aunque si bien no siguen un orden lógico, se aprecia una tendencia de comportamiento similar en las tablas según su altura o constitución de las fibras; obteniéndose mayores valores de CE (medida directamente en el medio de cultivo) para tablas de 7,5 cm de altura y una mayor estabilidad en las CMY y EASY. Sin embargo, de forma contradictoria, en la C.E. del extracto de las tablas, se obtienen los mayores valores en las tablas Easy, que son de mayor altura y con la disposición de la fibra vertical.

En cuanto a la influencia del tipo de tabla sobre el pH, sí pudieron observarse diferencias estadísticamente significativas para la mayoría de los días evaluados, pero no se puede establecer una conclusión clara de los resultados del pH, ya que el comportamiento fue muy similar en los distintos tipos de tablas.

El efecto del tipo de tabla sobre la concentración de oxígeno ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) en el extracto de las tablas de cultivo, no se puede establecer una conclusión clara, ya que sólo existen diferencias significativas en dos de los días evaluados, obteniendo el resto de los días valores muy similares, alternándose los mayores y menores valores de contenido en

oxígeno, entre los distintos tipos de tablas. Si se puede observar menor estabilidad en las tablas de tipo EASY como indican los índices estadísticos desviación típica y coeficiente de variación.

▪ **Oxigenación**

El aporte suplementario de oxígeno al sistema radical de la planta, no influyó en gran medida sobre los parámetros humedad, C.E. y pH de las tablas, ya que, no se apreciaron diferencias estadísticamente significativas sobre ninguno de dichos parámetros, excepto un día en C.E. y humedad, pudiendo concluir que, el aporte de oxígeno no tiene una influencia sobre estos parámetros (ni positiva, ni negativa), ya que además de no observarse diferencias estadísticamente significativas entre ambos tratamientos, los valores obtenidos son siempre muy similares.

En cuanto al parámetro concentración de oxígeno en el extracto de las tablas para el factor oxigenación, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en ninguno de los días evaluados, por lo que, se puede concluir que el aporte extra de oxígeno a la rizosfera no influye sobre este parámetro, ya que los valores de las tablas con aporte de O₂ y las que no llevaban aporte de O₂ fue similar a lo largo de todo el ciclo de cultivo.

Lo que sí se puede decir en cuanto al empleo de distintos tipos de tablas de lana de roca, es que en general, parece que las características de las tablas de lana de roca, inducen cambios sobre los parámetros evaluados en mayor medida que el aporte extra de oxígeno.

▪ **Distribución espacial de la humedad a lo largo de las tablas de cultivo**

El contenido de humedad varía a lo largo del perfil de la tabla, correspondiendo los valores mayores de humedad al punto 3 (parte inferior de la tabla), seguidos del punto 2 (parte intermedia); registrándose los menores valores en el punto (parte superficial). A parte de esto, se puede concluir tras los resultados, que las tablas tipo Cultilène son las más estables en cuanto al contenido de humedad a lo largo de la tabla, ya que mantienen una mayor homogeneidad de la humedad a lo largo del perfil de las tablas, manteniéndose en un rango de humedad de 71-77%. Y las tipo Easy son las más inestables y heterogéneas en cuanto al contenido de humedad. Las Classic More Year, presentan una homogeneidad dentro de un rango medio entre ambas.

Bibliografía

6. BIBLIOGRAFÍA

ABAD, M.; NORUEGA, P. Y CARRION, C., 2004. **Los sustratos en los cultivos sin suelo**. En: Urrestarazu, M. Tratado de cultivo sin suelo. 3ª Edición. Ed. Mundi- Prensa. Madrid. Pp. 113-158.

ABAD, M., 1993. **Sustratos para el cultivo sin suelo: inventario y características**. En: Cultivos sin suelo. Cánovas, F y Díaz, J. FIAPA. Pp.47-80.

ACUÑA, R; GIL, I; BONACHELA, S; MAGÁN, J.J., 2008. **Oxyfertigation of a greenhouse melon crop grown in rockwool slabs in a mediterranean area**. Acta Horticulturae 779: International Symposium on Growing Media.

ACUÑA, R., 2007. **Oxigenación en cultivos hortícola en sustratos de lana de roca y perlita en el litoral de Almería. Técnicas de mejora y efectos de los sustratos**. Escuela Politécnica Superior. Universidad de Almería. Pp. 84 – 120.

ADAMS, P., 2004. **Aspectos del manejo de los diferentes sustratos, su comparación, elección y factores medioambientales a considerar**. En: Urrestarazu, M. Tratado de cultivo sin suelo. 3ª Edición. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. Pp. 111-262.

ADAMS, P., 2002. **Nutricional Control in Hidroponics**. En: Hydroponics Production of Vegetables and Ornamentals. Savvas, D. y Passam. Embryo Publications, Athen, Greece. Pp. 211 – 261.

ALARCÓN, A.L., 2000. **Introducción a los cultivos sin suelo**. En: Tecnología para Cultivos de Alto Rendimiento. Alarcón, A.L. (coord.). Ed. Novedades Agrícolas. Almería. Pp. 191-203.

ALARCÓN, A.L; MADRID, R; EGEA, C; RINCÓN, L., 1 997. **Respuesta del melón galia sobre lana de roca para diferentes aguas de riego y zonas de cultivo**. Actas de Horticultura, 18:439-444.

ALCAYDE, F., 2009. **Evaluación de la respuesta productiva y cualitativa de un cultivo de melón cv. Vulcano, cultivado en distintos sustratos de lana de roca y bajo distintas concentraciones de oxígeno disuelto en el agua de riego**. Escuela Politécnica Superior. Universidad de Almería.

ALIAGA, J.A., 1 999. **Evolución y Situación Actual de la Horticultura Intensiva en Almería**. En: Cultivo Sin Suelo II. Fernández, M. y Cuadrado, I. M. FIAPA. Pp.11-27.

ANSORENA, J., 1994. **Sustratos. Propiedades y Características**. Ed. Mundi Prensa. Madrid.

ARMSTRONG, W. 1979. **Aeration in higher plants.** Advances in Botanical Research. 7:225-332.

BAIXAULI, C. Y AGULAR, J. M., 2002. **Cultivo sin suelo de hortalizas. Aspectos prácticos.** Ed. Generalitat Valenciana. Consejería de Agricultura, Pesca y Alimentación.

BAAS, R., 1991. **Effect of Oxygen Deficiency on Spray Carnation (*Dianthus caryophyllus*) Grown in Artificial Substrates.** En: Acta Horticulturae n° 294. Ed. R. U. Roeber. Inglaterra: 233-240.

BONACHELA, S.; VARGAS, J. A. Y ACUÑA, R., 2004. **Fertirrigación con una solución nutritiva con contenidos de oxígeno disuelto por encima de saturación en un cultivo de sandía en sacos de perlita en invernadero.** En: IX Simposio Internacional sobre Cultivo sin Suelo e Hidroponía. ISHS, Working Group on Soils Culture-ISOSC y el Departamento de Producción Vegetal de Universidad de Almería. Universidad de Almería. Almería. Pp. 10 - 11.

BUNT, A. C., 1991. **The Relationship of Oxygen diffusion Rate to the Air-Filled-Porosity of Potting Substrate.** En: Actas de Horticultura n° 294. Ed. R.U. Roeber. Inglaterra. Pp. 215 - 224.

BURES, S., 1997. **Sustratos.** Ed. Ediciones Agrotécnicas S.L. Madrid.

CADAHÍA, C., 2005. **Fertirrigación. Cultivos hortícolas, frutales y ornamentales.** 3ª Edición. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.

CAMACHO, F; FERNÁNDEZ, E., 2008. **Manual práctico de fertirrigación en riego por goteo.** Ed. Ediciones Agrotécnicas, S.L. Madrid.

CAMACHO, F., 2003. **Técnicas de producción en cultivos protegidos.** Volumen 1 y 2. Ed. Caja Rural Intermediterránea. Almería, España.

CÁNOVAS, F., 1993. **Principios básicos de la hidroponía. Aspectos comunes y diferencias de los cultivos con y sin suelo.** En: Cultivos sin suelo. Cánovas, F. y Díaz, R. FIAPA. Pp. 25-42.

CANTÓN-RAMOS, J.M. 1999. **Técnicas de producción de frutas y hortalizas en los cultivos protegidos: El cultivo del melón en el poniente almeriense.** Ed. Caja rural de Almería.

CASTELLANOS, D., 2006. **Aireación radical a bajo costo de hortalizas en sistemas de cultivo sin suelo con diferentes sustratos.** Escuela Politécnica Superior. Universidad de Almería.

CARAZO, N; LÓPEZ, D; MANCILLA, S; MARTÍNEZ, A., 2004. **Oxifertirrigación y contenido mineral foliar en un cultivo sin suelo cerrado de rosa.** En: IX Simposio Internacional sobre cultivo sin suelo e hidroponía. ISHS, Working Group on Soilless Culture-ISOSC y el departamento de producción vegetal de la Universidad de Almería. Universidad de Almería. Almería. Pp. 13-14.

CAZORLA, R., 2010. **Respuesta de un cultivo de melón (*Cucumis melo* cv. Vulcano) en invernadero, cultivado sobre distintos tipos de lana de roca y bajo distintas condiciones de oxigenación en el agua de riego. Evaluación de la calidad de la producción y morfología.** Escuela Politécnica Superior. Universidad de Almería.

CONSEJERÍA DE AGRICULTURA Y PESCA. 2010. Dirección General de la Producción Agrícola y Ganadera. Red de alerta e información fitosanitaria. [Web en línea]. Disponible en: <http://dgpa.besana.es/agentes/info.sintomas.do?agente=7&cultivo=7&page=2>. [Consultado el 19 de Mayo de 2010].

COUTO, T; MAZUELA, P; GUILLÉN, C; VENTURA, F; URRESTARAZU, M., 2004. **Efecto de la aplicación de aire sobre los parámetros de fertirrigación en cultivo sin suelo.** En: IX Simposio Internacional sobre cultivo sin suelo e hidroponía. ISHS, Working Group on Soilless Culture-ISOSC y el departamento de producción vegetal de la Universidad de Almería. Universidad de Almería. Almería. Pp. 100.

FAOSTAT. 2010. **Bases de datos estadísticos de FAO.** [Web en línea]. Disponible en: <http://faostat.fao.org>. [Consultado el 10 de Diciembre de 2010].

FERNÁNDEZ, M.; CUADRADO, I.M. 1999. **Cultivos sin suelo II. Curso Superior de Especialización.** Consejería de agricultura y pesca, Fundación para la Investigación Agraria en la Provincia de Almería (IFAPA) y Caja Rural de Almería.

FUNDACIÓN CAJAMAR, 2009. **Análisis de la campaña hortofrutícola de Almería. Campaña 2008/2009.** Informes y Monografías.

GAMAYO, J., 1999. **Cultivo de Melón Bajo Invernadero.** Vida Rural nº 97. Servicio de Desarrollo Tecnológico Agrario. Elche (Alicante).

GARCIA, A., 2004. **Cultivo en lana de roca. Parte III.** En: Urrestarazu, M. Tratado de cultivo sin suelo. 3ª Edición. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. Pp. 603-636.

GIL, I., 2005. **Respuesta de un cultivo de melón en sustrato de lana de roca al aumento del oxígeno disuelto en la solución nutritiva y a la reutilización del sustrato.** Escuela Politécnica Superior. Universidad de Almería.

GISLEROD, R; ADAMNS, P., 1993. **The oxygen content of flowing nutrient solutions used for Cucumber and Tomato Culture.** Scientia Hort. 20:23-33.

GÓMEZ-GUILLAMÓN, M.L; CAMERO, R; GONZÁLEZ-FERNÁNDEZ, J.J., 1997. **El melón en invernadero.** En: Melones. Namesny, A. (coord.). Ed. Ediciones de Horticultura, S.L. Compendio de Horticultura nº 10. Barcelona. Pp. 67-77.

HOLTMAN, W; VAN DUIJN, B; BLAAKMEER, A; BLOK, C., 2004. **Optimización de los niveles de oxígeno en el aparato radical como herramienta de cultivo efectiva.** En: IX Simposio Internacional sobre cultivo sin suelo e hidroponía. ISHS, Working Group on Soilless Culture-ISOSC y el departamento de producción vegetal de la Universidad de Almería. Universidad de Almería. Almería. Pp. 23-24.

INFOAGRO, 2010. **El cultivo del melón.** [Web en línea]. Disponible en: http://www.infoagro.com/frutas/frutas_tradicionales/melon.htm. [Consultado el 10 de Marzo de 2011].

JACKSON, M.B., 1980. **Aeration in the nutrient film technique al glasshouse production and the importance of oxygen, ethylene and carbon dioxide.** Acta Hort. 98: 61-78.

JUNTA DE ANDALUCÍA. **Observatorio de precios.** Consejería de agricultura y pesca. [Web en línea]. Disponible en: <http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/obsprecios/servlet/FrontControllerhht>. [Consultado el 10 de Octubre de 2010].

JUNTA DE ANDALUCÍA. **Anuario de Estadísticas Agrarias.** Consejería de agricultura y pesca. [Web en línea]. Disponible en: <http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/portal/opencms/portal/DGPAgraria/Estadisticas/estadisticasagrarias?entrada=servicios&servicio=201>. [Consultado el 16 de Abril de 2010].

JUNTA DE ANDALUCÍA. **Plagas de los cultivos.** Consejería de agricultura y pesca. [Web en línea]. Disponible en: <http://www.marm.es/es/agricultura/temas/medios-de-produccion/productos-fitosanitarios/registro/productos/consusact.asp> [Consultado el 20 de Agosto de 2011].

LAFUENTE, N., 2002. **Nuevos materiales de lana de roca: evaluación agronómica de la estructura y envejecimiento en un cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum*).** Escuela Politécnica Superior. Universidad de Almería.

LEMAIRE, F; DARTIGUEZ, A; RIVIÈRE, L.M; CHARPENTIER. S; MOREL, P., 2005. **Cultivos en macetas y contenedores. Principios agronómicos y aplicaciones.** Ed. Mundi-Prensa. Madrid.

LEMAIRE, F., 1989. **Influence des caractéristiques du substrat sur la morphologie du System racinaire des plantes ornementales cultivées en conteneurs ou pots.** Agronomie. 9:795-801.

LLURBA, M., 1997. **Parámetros a tener en cuenta en los sustratos.** En: Revista Horticultura Nº 125 - Diciembre 1997.

LÓPEZ, J. 1993. **Problemática general de los cultivos de invernadero en la zona de Almería. La hidroponía, elemento fundamental de las nuevas tecnologías de cultivo.** En: Cultivos sin suelo. Díaz, J.R; Cánovas, F. Ed. DGIFA y FIAPA. Almería. Pp. 17-25.

LÓPEZ, M., 2009. **Evaluación del comportamiento de distintos tipos de sustratos de Lana de Roca con y sin enriquecimiento de oxígeno en el agua de riego en un cultivo de tomate Cherry (Lycopersicon esculentum cv. Solomee).** Escuela Politécnica Superior. Universidad de Almería.

MAGAN, J. J., 2008. **La agricultura sin suelo en la región mediterránea.** [publicado en línea]. Disponible en: www.canagua.com/es/pdf/agricultura.pdf. [Consultado el 5 de Marzo de 2011].

MARFÁ, O.; CACERES, R. Y GURI, S., 2004. **Oxifertigación: Una nueva Técnica para Cultivos sin suelo.** En: IX Simposio Internacional sobre Cultivo sin Suelo e Hidroponía. ISHS, Working Group on Soiles Culture-ISOSC y el Departamento de Producción Vegetal de Universidad de Almería. Universidad de Almería. Almería. Pp. 25.

MARFÁ, O. Y GURI, S., 1999. **Física de sustratos y oxigenación del medio radicular.** En: Curso Superior de Especialización sobre cultivos sin suelo II. Canovas, F. y Díaz, J. R. Almería: Dirección General de Investigación y Formación Agraria: FIAPA: Caja Rural de Almería. Pp. 93-106.

MARFÁ, O., 1998. **Física, hidrología y oxigenación en los sustratos para cultivos sin suelo. Riegos y drenajes.** 101:39-44.

MARFÁ, O; OROZCO, R., 1995. **Granulometric alteration, air entry potencial and hydraulic conductivity in perlites usad in soilless-cultures.** Acta Hort. 408:147-161.

MAROTO, J.V., 1997. **Calendario de Producción en Melón.** En: Melones. Namesny, A. (coord.). Compendio de Horticultura nº 10. Ediciones de Horticultura, S.L. Barcelona. Pp. 51-57.

MAROTO, J.V., 1995. **Horticultura herbácea especial.** Ed. Mundi.Prensa. Madrid. 3º Ed.

MARTÍNEZ, E.; GARCÍA, M. 1993. **Cultivos sin suelo: hortalizas en clima mediterráneo.** Ediciones de Horticultura. Reus.

MARTÍNEZ, P.F., 2000. **Presente y futuro de los sustratos en la horticultura mediterránea.** Actas de Horticultura. 32:19:31.

MELSTED, S.W; KURTZ, T; BROY, R.R. 1949. **Hydrogen peroxide as oxygen fertilizer.** Agron. S. 41:97.

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, RURAL Y MARINO. **Anuario de estadística Agroalimentaria.** [Web en línea]. Disponible en: <http://www.mapa.es/es/estadistica/pags/anuario/introduccion.htm>. [Consultado el 17 de Febrero de 2011].

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, RURAL Y MARINO. **Registro de Productos Fitosanitarios.** [Web en línea]. Disponible en: <http://www.mapa.es/es/agricultura/pags/fitos/registro/menu.asp>. [Consultado el 2 de Marzo de 2010].

MOLINA, X. 1996. **Efectes de l'Aplicació d'Oxigen a l'Agua de Reg.** Departamento de producciones Agrarias. Escuela Superior de Agricultura de Barcelona. Barcelona.

MORAD, P., 1995. **Etude, de l'oxygenation du Systeme racinaire.** En: Les cultures végétales hórres-sol. Ed. SARL pub. Agric.Agen Francè. Pp. 245-252.

NAMESNY, A., 1999. **Melones.** Ed. Ediciones de Horticultura.

OROZCO, R; GSCHWANDER, S; MARFÁ, O., 1997. **Substrate classification from particle size analysis.** Acta Hort. 450:397:404.

PAPADOPOULUS, A. P. Y HAO, X., 2002. **Interactions between Nutrition an Enviromental Conditions in Hidroponics.** En: Hydroponics Production of Vegetables and Ornamentals. Savvas, D. y Passam. Embryo Publications, Athen, Greece. Pp. 413 – 445.

QUEROL, M.A., 2004. **Determinación de la dosis y frecuencia de aplicación de un liberador de oxígeno en melón en cultivo sin suelo.** Escuela Politécnica. Universidad de Almería.

QUESADA, J., 2008. **Respuesta de un cultivo de tomate en sustrato de lana de roca a la oxigenación de la solución nutritiva.** Escuela Politécnica Superior. Universidad de Almería.

RECHE, J., 2008. **Cultivo del melón en invernadero.** Ed. Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca.

RESH, H.M., 2001. **Cultivos hidropónicos 5º Ed.** Ed. Mundi-Prensa. Madrid.

RIVIÈRE, L.M; CHARPENIER, D; JEANNIN, B; KAFKA, B., 1993. **Oxygen concentration of nutrient solution in mineral wools.** Acta Hort. 342:93:101.

ROLDÁN, J.S. 2004. **Influencia del sistema de cultivo sobre la calidad y conservación de frutos de melón Cantalup variedad Vulcano.** Escuela Politécnica Superior. Universidad de Almería.

SALAS SAN JUAN, M.C. 2001. **Técnicas de fertirrigación en cultivo sin suelo.** Ed. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Almería.

SÁNCHEZ, G., 2004. **Evolución de la calidad del fruto de melón Cantalupo variedad Vulcano durante conservación a dos temperaturas, ambiente y frigoconservación a 4°C.** Escuela Politécnica Superior. Universidad de Almería.

SÁNCHEZ, M.J., 2008, **Evaluación de un sistema de oxigenación del agua de riego sobre un cultivo de tomate cherry (*Lycopersicon esculentum* var. Cerasiforme) en varios tipos de sustrato de lana de roca,** Escuela Politécnica Superior. Universidad de Almería.

SANDOVAL, C., 2004. MANUAL TECNICO. **Manejo integrado de Enfermedades en cultivos hidropónicos.** [Publicado en línea]. Disponible en: www.rlc.fao.org/es/agricultura/aup/pdf/integra1.pdf. [Consultado el 20 de Abril de 2011].

SCHNITZLER, W.H; GRUDA, N.S., 2002. **Hydroponics and Product Quality.** En: Hydroponic Production of Vegetables and Ornamentals. Savvas, D. y Passam. Embryo Publications, Athen, Greece. Pp. 263 – 298.

SCHRÖDER, F. G. Y LIETH, J. H., 2002. **Irrigation Control in Hidroponics,** En: Hidroponic Production of Vegetables and Ornamental. En: Hydroponics Production of Vegetables and Ornamentals. Savvas, D. y Passam. Embryo Publications, Athen, Greece. Pp. 263 - 298.

SCHWARZ, M., 1995. **Soilless Culture Management.** Ed. Springer-Verlag. Berlín. Alemania.

TERRES, V.; ARTETXE, A.; BEUNZA, A. 1997. **Caracterización física de los sustratos de cultivo.** En: Revista Horticultura Nº 125 - Diciembre 1997.

TORRES, J.M., 1997. **Los tipos de melones comerciales.** En: Melones. Namesny, A (coord.). Compendio de horticultura nº 10. Ed. De Horticultura, S.L. Barcelona. Pp. 13-19.

URRESTARAZU, M., 2004. **Bases y sistemas de los cultivos sin suelo.** En: Urrestarazu, M. Tratado de cultivo sin suelo. 3ª Edición. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. Pp. 3-37.

URRESTARAZU, M; MAZUELA, P., 2005. **Effect of slow-release oxygen supplí by fertigation on horticultural crops. Under soilless culture.** Hort Science 41:1729-1730.

VANACHTER, A; THYS, L; VAN WAMBEKE, E; VAN AASSCHE, C., 1988. **Posible use of ozon for desinfestation of plant nutrient solutions.** Acta Hort. 221:259- 301.

VAN OSS, E.A; GIELING, Th. H; RUIJS, M.N., 2002. **Equipment for Hydroponic installations.** En: Hydroponic Production of Vegetables and Ornamentals. Savvas, D. y Passam. Embryo Publications, Athen, Greece. Pp. 103-142.

VARGAS, J.A., 2001. **Uso de la oxifertirrigación en un cultivo en Sandía en sustrato de perlita en un invernadero de El Ejido (Almería).** Escuela Politécnica Superior. Universidad de Almería.

VEGA, M; RAYA, J.L., 2000. **Cultivo de Lana de Roca. Parte I.** En Manual de Cultivo Sin suelo. Urrestarazu, M. (coord.). Servicio de Publicaciones de la Universidad de Almería. Almería. Pp. 481-499.

VENTURA, F.J., 2004. **Influencia de la aireación de la rizosfera en el desarrollo de plantas hortícolas cultivadas en sustratos.** Escuela Politécnica Superior. Universidad de Almería.

VILLALOBOS, F.J.; MATEOS, L.; ORGAZ, F.; FERRERES, E. 2002. **Bases y tecnologías de la producción agrícola.** Edt. Mundi-Prensa. Madrid.