



UNIVERSIDAD DE ALMERÍA

**ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR Y FACULTAD DE
CIENCIAS EXPERIMENTALES**

INGENIERÍA TÉCNICA AGRÍCOLA
Mecanización y Construcciones Rurales

**“EVALUACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA RADIACIÓN PAR
EN UN INVERNADERO RASPA Y AMAGADO SOMETIDO A SOMBREO
SELECTIVO MEDIANTE PLACAS FOTOVOLTAICAS FLEXIBLES
INSTALADAS EN SU CUBIERTA”**

El Alumno:

José Jiménez Martínez

Almería, noviembre 2013

Directores:

José Pérez Alonso y Ángel Jesús Callejón Ferre

ÍNDICE

1 – INTERÉS Y OBJETIVOS	11
1.1. Introducción	12
1.2. Objetivos	13
2 – ANTECEDENTES	14
2.1. Introducción	15
2.1.1. Invernaderos. Origen y evolución.....	15
2.1.2. Invernaderos. Situación actual.....	15
2.2. Factores climáticos en invernaderos	19
2.2.1. Temperatura	19
2.2.2. Humedad	20
2.2.3. Concentración de CO ₂	21
2.3. Radiación solar	22
2.3.1. Radiación solar: Conceptos básicos	22
2.3.1.1. Radiación extraterrestre solar. La constante solar.....	22
2.3.1.2. Radiación solar recibida en la tierra	23
2.3.2. Radiación solar, fotosíntesis y producción de biomasa.....	24
2.3.2.1. Producción de asimilados. Fotosíntesis	24
2.3.2.2. Producción de biomasa. Eficiencia del uso de la radiación	27
2.3.3. Interceptación de la radiación por los cultivos	28
2.3.3.1. Índice de área foliar	30
2.3.3.2. Distribución angular y orientación de las hojas de cultivo ..	30
2.3.3.3. Disposición del dosel vegetal.....	31

2.3.3.4. Influencia de la radiación difusa	31
2.3.4. Materiales de cubierta. Propiedades y características	32
2.3.5. Tipos de invernaderos y radiación solar	35
2.3.6. Sistemas de sombreado.....	37
2.3.6.1. Encalado de la cubierta.....	37
2.3.6.2. Mallas o pantallas de sombreado	38
2.3.6.3. Ventajas e inconvenientes y sistemas móviles de sombreado ...	38
2.3.6.4. Influencia del blanqueo en la radiación solar	40
2.3.7. Optimización de la radiación en el invernadero.....	41
2.3.7.1. Disposición de las líneas de cultivo	42
2.3.7.2. Espaciamiento	42
2.3.7.3. Arquitectura del cultivo.....	43
2.3.7.4. Elección de la orientación y geometría de cubierta que maximice la radiación	43
2.3.8. Modelos de transmisión de la radiación en el invernadero	46
2.3.9. Integración de las energías renovables en agricultura	48
3 – MATERIAL Y MÉTODOS	51
3.1. Diseño experimental	52
3.1.1. Invernadero experimental	55
3.1.2. Instalación fotovoltaica experimental.....	56
3.1.3. Equipamiento de medida de parámetros medioambientales	58
3.2. Datos experimentales.....	61
3.3. Análisis de datos	61

4 – RESULTADOS Y DISCUSIÓN **64**

4.1. Análisis descriptivo de las variables ambientales	65
4.1.1. Estación climática exterior	65
4.1.1.1. Temperatura	65
4.1.1.2. Humedad	65
4.1.1.3. Radiación solar	66
4.1.1.4. Radiación PAR	67
4.1.1.5. Velocidad del viento	67
4.1.2. Temperatura en el interior del invernadero	68
4.2. Análisis mensual de la distribución de la radiación PAR en el invernadero raspa y amagado	71
4.2.1. Mes de noviembre.....	71
4.2.1.1. Distribución horaria de la radiación PAR	71
4.2.1.2. Distribución por tratamiento de la radiación PAR.....	72
4.2.1.3. Distribución por hileras de la radiación PAR de las sondas de T₀	72
4.2.1.4. Distribución por hileras de la radiación PAR de las sondas de T₁	73
4.2.1.5. Distribución por hileras de la radiación PAR de las sondas de T₂	74
4.2.1.6. Análisis de la varianza de la radiación PAR por hileras de sondas para cada tratamiento	74
4.2.1.7. Distribución por columnas de la radiación PAR de las sondas de T₀	75
4.2.1.8. Distribución por columnas de la radiación PAR de las sondas de T₁	76
4.2.1.9. Distribución por columnas de la radiación PAR de las sondas de T₂	77

4.2.1.10. Análisis de la varianza de la radiación PAR por columna de sondas para cada tratamiento.....	77
4.2.2. Mes de diciembre	78
4.2.2.1. Distribución horaria de la radiación PAR.....	78
4.2.2.2. Distribución por tratamiento de la radiación PAR	79
4.2.2.3. Distribución por hileras de la radiación PAR de las sondas de T₀	80
4.2.2.4. Distribución por hileras de la radiación PAR de las sondas de T₁	80
4.2.2.5. Distribución por hileras de la radiación PAR de las sondas de T₂	81
4.2.2.6. Análisis de la varianza de la radiación PAR por hilera de sondas para cada tratamiento	81
4.2.2.7. Distribución por columnas de la radiación PAR de las sondas de T₀	82
4.2.2.8. Distribución por columnas de la radiación PAR de las sondas de T₁.....	83
4.2.2.9. Distribución por columnas de la radiación PAR de las sondas de T₂	83
4.2.2.10. Análisis de la varianza de la radiación PAR por columna de sondas para cada tratamiento.....	84
4.2.3. Mes de enero.....	85
4.2.3.1. Distribución horaria de la radiación PAR	85
4.2.3.2. Distribución por tratamiento de la radiación PAR.....	85
4.2.3.3. Distribución por hileras de la radiación PAR de las sondas de T₀	86
4.2.3.4. Distribución por hileras de la radiación PAR de las sondas de T₁	86

4.2.3.5. Distribución por hileras de la radiación PAR de las sondas de T ₂	87
4.2.3.6. Análisis de la varianza de la radiación PAR por hilera de sondas para cada tratamiento	87
4.2.3.7. Distribución por columnas de la radiación PAR de las sondas de T ₀	88
4.2.3.8. Distribución por columnas de la radiación PAR de las sondas de T ₁	89
4.2.3.9. Distribución por columnas de la radiación PAR de las sondas de T ₂	89
4.2.3.10. Análisis de la varianza de la radiación PAR por columna de sondas para cada tratamiento.....	90
4.2.4. Mes de febrero	91
4.2.4.1. Distribución horaria de la radiación PAR	91
4.2.4.2. Distribución por tratamiento de la radiación PAR.....	92
4.2.4.3. Distribución por hileras de la radiación PAR de las sondas de T ₀	92
4.2.4.4. Distribución por hileras de la radiación PAR de las sondas de T ₁	93
4.2.4.5. Distribución por hileras de la radiación PAR de las sondas de T ₂	93
4.2.4.6. Análisis de la varianza de la radiación PAR por hilera de sondas para cada tratamiento	94
4.2.4.7. Distribución por columnas de la radiación PAR de las sondas de T ₀	95
4.2.4.8. Distribución por columnas de la radiación PAR de las sondas de T ₁	95
4.2.4.9. Distribución por columnas de la radiación PAR de las sondas de T ₂	96
4.2.4.10. Análisis de la varianza de la radiación PAR por columna de sondas para cada tratamiento.....	96

4.2.5. Mes de marzo	97
4.2.5.1. Distribución horaria de la radiación PAR	97
4.2.5.2. Distribución por tratamiento de la radiación PAR	98
4.2.5.3. Distribución por hileras de la radiación PAR de las sondas de T₀.....	98
4.2.5.4. Distribución por hileras de la radiación PAR de las sondas de T₁.....	99
4.2.5.5. Distribución por hileras de la radiación PAR de las sondas de T₂.....	99
4.2.5.6. Análisis de la varianza de la radiación PAR por hilera de sondas para cada tratamiento	100
4.2.5.7. Distribución por columnas de la radiación PAR de las sondas de T₀.....	101
4.2.5.8. Distribución por columnas de la radiación PAR de las sondas de T₁.....	102
4.2.5.9. Distribución por columnas de la radiación PAR de las sondas de T₂.....	102
4.2.5.10. Análisis de la varianza de la radiación PAR por columna de sondas para cada tratamiento.....	103
4.2.6. Mes de abril.....	104
4.2.6.1. Distribución horaria de la radiación PAR	104
4.2.6.2. Distribución por tratamiento de la radiación PAR	104
4.2.6.3. Distribución por hileras de la radiación par de las sondas del T₀	105
4.2.6.4. Distribución por hileras de la radiación PAR de las sondas de T₁.....	105
4.2.6.5. Distribución por hileras de la radiación PAR de las sondas de T₂.....	106
4.2.6.6. Análisis de la varianza de la radiación PAR por hilera de sondas para cada tratamiento	106

4.2.6.7. Distribución por columnas de la radiación PAR de las sondas de T ₀	108
4.2.6.8. Distribución por columnas de la radiación PAR de las sondas de T ₁	108
4.2.6.9. Distribución por columnas de la radiación PAR de las sondas de T ₂	109
4.2.6.10. Análisis de la varianza de la radiación PAR por columna de sondas para cada tratamiento.....	109
4.2.7. Mes de mayo.....	110
4.2.7.1. Distribución horaria de la radiación PAR	110
4.2.7.2. Distribución por tratamiento de la radiación PAR.....	111
4.2.7.3. Distribución por hileras de la radiación PAR de las sondas de T ₀	111
4.2.7.4. Distribución por hileras de la radiación PAR de las sondas de T ₁	112
4.2.7.5. Distribución por hileras de la radiación PAR de las sondas de T ₂	112
4.2.7.6. Análisis de la varianza de la radiación PAR por hilera de sondas para cada tratamiento	113
4.2.7.7. Distribución por columnas de la radiación PAR de las sondas de T ₀	114
4.2.7.8. Distribución por columnas de la radiación PAR de las sondas de T ₁	114
4.2.7.9. Distribución por columnas de la radiación PAR de las sondas de T ₂	115
4.2.7.10. Análisis de la varianza de la radiación PAR por columna de sondas para cada tratamiento.....	115
4.2.8. Mes de junio	116
4.2.8.1. Distribución horaria de la radiación PAR	116
4.2.8.2. Distribución por tratamiento de la radiación PAR.....	117

4.2.8.3. Distribución por hileras de la radiación PAR de las sondas de T ₀	117
4.2.8.4. Distribución por hileras de la radiación PAR de las sondas del T ₁	118
4.2.8.5. Distribución por hileras de la radiación PAR de las sondas de T ₂	119
4.2.8.6. Análisis de la varianza de la radiación PAR por hilera de sondas para cada tratamiento.....	119
4.2.8.7. Distribución por columnas de la radiación PAR de las sondas de T ₀	120
4.2.8.8. Distribución por columnas de la radiación PAR de las sondas de T ₁	121
4.2.8.9. Distribución por columnas de la radiación PAR de las sondas de T ₂	121
4.2.8.10. Análisis de la varianza de la radiación PAR por columna de sondas para cada tratamiento.....	122
5 – CONCLUSIONES	124
6 – BIBLIOGRAFIA	127

1. INTERÉS Y OBJETIVOS

1.1. INTRODUCCIÓN.

La integración de fuentes de energía renovable en los procesos productivos de los cultivos bajo invernadero del Sureste de España podrían aportar un valor añadido a los agricultores. Entre esas fuentes de energía renovable se puede mencionar el aprovechamiento de la energía eólica mediante pequeños o medianos aerogeneradores, la gasificación de la biomasa de los cultivos, y la energía solar fotovoltaica. Con respecto a esta última, cabe destacar que el empleo de módulos solares fotovoltaicos flexibles en la cubierta de los invernaderos es posible debido a los altos niveles de radiación solar en la provincia de Almería (SE España) y al avance tecnológico que disminuye los costes de obtención de energía (Varun et al., 2009).

Existen numerosos ejemplos del uso de la energía solar fotovoltaica en la agricultura, como su empleo para abastecer demanda de energía de comunidades de regantes aisladas de las redes de distribución eléctrica, analizando su viabilidad económica frente al uso de electrógenos (Qoaidier y Steinbrecht, 2010); el bombeo de aguas subterráneas de pozos alejados de las redes de distribución eléctrica (Meah et al., 2008); su empleo en sistemas de desalinización (Al-Karaghoulí et al., 2010) e incluso la integración en la cubierta de módulos de desalación solar cuyos efectos sobre la transmisión de la luz y el crecimiento del cultivo han sido estudiados (Chaibi y Jilar, 2005), controladores de ventilación lateral impulsados por energía fotovoltaica (Yano et al., 2007), así como la energía eléctrica generada por módulos fotovoltaicos instalados en la cubierta de un invernadero tipo multitúnel (Yano et al., 2009) y otras experiencias relacionadas con la calefacción y refrigeración de invernaderos mediante energía solar fotovoltaica (Nayak y Tiwari, 2009).

La provincia de Almería es una de las áreas europeas con mayor nivel de radiación solar por unidad de superficie y año, lo que unido a la gran superficie de invernaderos existente (27000 ha), la hace potencialmente idónea para la integración de la tecnología fotovoltaica sobre las cubiertas, aunque pueda ocasionar pérdidas en la producción del cultivo o alteraciones en las propiedades de la fruta ya que parte de la radiación PAR (photosynthetically active radiation) queda bloqueada debido al efecto de sombreado sobre las plantas.

El sombreado reduce la transpiración de los cultivos al disminuir la energía que alcanza la cubierta vegetal y por tanto provoca un aumento de la eficiencia en el uso del agua y los fertilizantes, lo que representa una ventaja muy importante asociada a los métodos de control climático, sobre todo en áreas de producción como Almería donde el agua es un recurso escaso (Lorenzo et al., 2006).

El sistema de sombreado más habitual en los invernaderos tipo Almería es el blanqueo o encalado de la cubierta. Para Kittas et al., (2003) el blanqueo no interfiere

con la ventilación del invernadero, mientras que el uso de pantallas de sombreado, tanto internas como externas, disminuye la ventilación y aumenta la humedad, lo que favorece la aparición de enfermedades fúngicas que influirán sobre la producción final.

Por otro lado existen numerosos estudios de estimación de la radiación global solar exterior y de sus componentes directa y difusa (Liu y Jordan, 1960; Collares-Pereira y Rabl, 1979; Iqbal, 1980; Spencer, 1982; Iqbal 1983; Spitters et al., 1986; Spitters, 1986.). No obstante, y dada la variabilidad espacial y temporal que presenta la radiación solar, estos modelos deben de validarse para una zona determinada. Para las condiciones de Almería, se dispone de este tipo de estudios así como de estimaciones de las componentes directa y difusa de la radiación PAR (Batles, 1995; Alados, 1997; Battles et al., 1998; Rubio, 2002).

Los modelos que estiman la radiación solar en invernadero empezaron a desarrollarse en los años 70, por lo que también se dispone actualmente de una base amplia de conocimientos sobre esta temática. Para los invernaderos mediterráneos también existen modelos que han sido validados para las estructuras típicas de esta zona (Gonzalez-Real et al., 2001; Castilla et al., 2001; Soriano, 2002; Gonzalez-Real et al., 2003). Sin embargo, son pocos los modelos que abordan la distribución espacial de la radiación directa y difusa al interior del invernadero (Kurata et al., 1991; Wang y Boulard, 2000; Gonzalez-Real et al., 2003). Es un hecho conocido que la homogeneidad de la producción de un invernadero, depende, en gran parte, de la homogeneidad espacial de la radiación solar incidente sobre el cultivo (Hanan, 1998; Adams et al., 2000). Por lo tanto, el conocimiento de esta variabilidad espacial de la radiación solar puede utilizarse como un criterio relevante a la hora de diseñar estructuras de invernaderos.

En la mayoría de los estudios sobre la transmisión de la radiación en invernaderos, se ha cuantificado principalmente la radiación global dentro y fuera del invernadero, o la radiación directa interior (Soriano, 2002).

1.2. OBJETIVOS.

El objetivo del presente trabajo es realizar la evaluación de la distribución espacial de la radiación PAR en el interior de un invernadero raspa y amagado de 1024 m² sometido a sombreado selectivo al haberse instalado en su cubierta módulos fotovoltaicos flexibles con la finalidad de compatibilizar la producción agrícola con la producción fotovoltaica.

2. ANTECEDENTES

2.1 INTRODUCCIÓN.

2.1.1 INVERNADEROS. ORIGEN Y EVOLUCIÓN.

Se puede definir un invernadero como un cerramiento en gran medida transparente para cultivar temporalmente plantas protegidas (Enoch y Enoch, 1998).

Uno de los objetivos fundamentales del cultivo en invernadero es la producción fuera de estación. En la historia antigua existe constancia de estructuras para la producción de flores y frutas fuera de sus calendarios de producción al aire libre. Por ejemplo en Roma (300-200 a. C) se utilizaban cerramientos hechos con láminas delgadas de minerales transparentes como el talco y la mica. Probablemente se utilizaban para el cultivo de las uvas que eran consumidas por la gente adinerada fuera de estación. Se tiene constancia de cultivo de pepino para el emperador Tiberio en camas móviles situadas en el exterior los días buenos y en el interior cuando el tiempo era desfavorable (Dalrymple, 1973).

En china se realizaba una construcción con una pared orientada este-oeste y con una cubierta en el lado sur formada por cañas de bambú y papel en aceite formando un ángulo de 30°-40° sobre la horizontal. La pared norte protegía del viento y además se calentaba durante el día cediendo calor durante la noche al invernadero. La cubierta sur se cubría a su vez con una estera por la noche de modo que guardara el calor del interior del habitáculo.

Durante el Renacimiento también hay constancia del consumo de frutas fuera de temporada por parte de la gente adinerada, aunque no se ha constatado la existencia de invernaderos en Europa. En el siglo XVI si se registra la presencia de una especie de cobertizos en el norte de Italia y sur de Alemania. En Japón se utilizaba también durante este siglo un sistema de protección de cultivos mediante papel empapado con aceite.

En los siglos XVII Y XVIII se extienden por toda Europa invernaderos de cristal, siendo frecuentes en Jardines Botánicos.

En el siglo XIX, fue cuando la industrialización del vidrio repercutió en el rápido desarrollo de la tecnología de invernaderos aplicada a la horticultura comercial alrededor de grandes ciudades de Europa y Estados Unidos.

2.1.2 INVERNADEROS. SITUACIÓN ACTUAL.

En la actualidad la producción en invernaderos representa un importante sector de la agricultura en el mundo. Europa es el líder mundial en esta industria. Holanda tiene más de 10 000 ha, la mayor parte de invernaderos de cristal (Nederhoff y Houter,

2008). Con unas condiciones climáticas más favorables, España tiene la mayor extensión de invernaderos en Europa, con más de 40.000 ha; especialmente en producción vegetal. Esta industria también ha sido desarrollada en otros países de Europa como Italia, Francia, Grecia, Inglaterra y Bélgica, así como en los países Escandinavos. Israel (3.000 ha), junto con Turquía (22.000 ha) comparten el liderazgo de este tipo de industria con España y Holanda (Kacira et al., 2004). Esta industria también está muy desarrollada en Japón (50.000 ha) y en China (1.000.000 ha) (Gosselin y Dansereau, 2006). Durante la última década, los invernaderos en África (Marruecos, Kenia y Túnez) han experimentado una rápida evolución debido a sus condiciones climáticas, costes más bajos, ayuda internacional y a la extensión de los mercados europeos y americanos. En América central, Colombia (4.000 ha) ha evolucionado más rápido en este sector que países como Ecuador, Brasil, Argentina y Chile, principalmente por la exportación de flores. Recientemente, España e Israel han comenzado a construir cientos de hectáreas de invernaderos en Méjico, Kenia y Marruecos debido a sus favorables condiciones climáticas y a sus bajos costes. En la figura 2.1. se muestra la distribución geográfica de los invernaderos en el mundo.

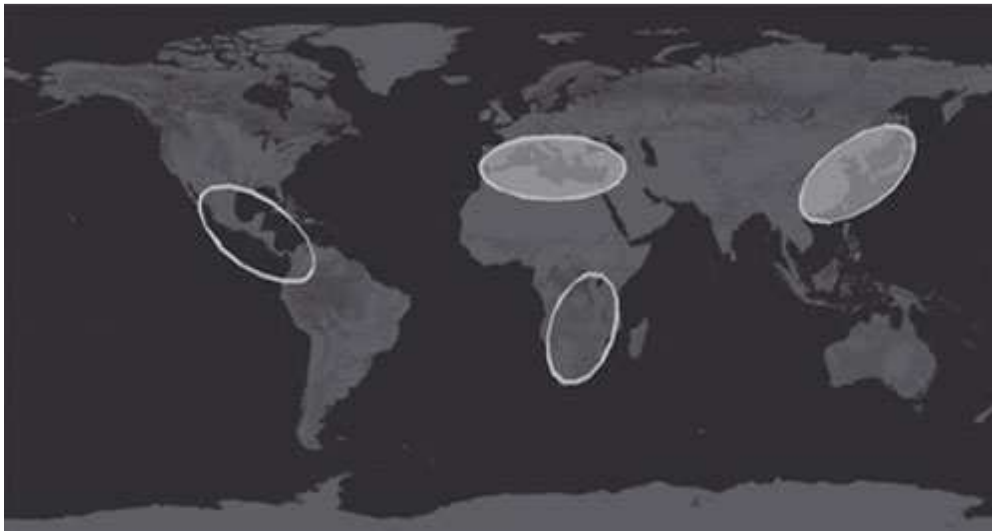


Figura 2.1. Distribución geográfica de los invernaderos en el mundo (Interempresas.net).

En España, la mayor superficie de invernaderos se encuentra en el sureste, destacando Andalucía y Murcia con aproximadamente el 66% y el 10%, respectivamente. La provincia de Almería concentra el 60% del total de invernaderos con cerca de 27.000 ha (Sanjuan Estrada, 2004). Esta superficie representa el 0,25% de la superficie total cultivada y el 1,5% de la superficie de regadío. Sin embargo, el valor económico de las producciones obtenidas bajo invernadero contribuye con un 15% a la

producción de la Rama Agraria (PRA) española, lo que indica su alta rentabilidad respecto de otros sistemas productivos (Pérez-Parra et al., 2002).

Los invernaderos mediterráneos se caracterizan por su bajo coste aunque existe una tendencia hacia la mejora de estructuras y equipamientos (Hernández et al., 2001). En su construcción se emplean diferentes materiales según su disponibilidad en la zona. Los invernaderos de madera y los denominados “*parral*” (Pérez-Parra, 1998) han ido evolucionado progresivamente, sobre todo se han mejorado sus estructuras, que con el tiempo se han ido dotando de un mayor grado de tecnificación, mayor altura y materiales estructurales más resistentes.

Las geometrías más utilizadas en la construcción de cubiertas de invernaderos son (Figura 2.2.): plana (a), plana simétrica a dos aguas (b), plana asimétrica a dos aguas (c), plana diente de sierra (d), arco redondeado o túnel (e), arco redondeado con paredes verticales (f), arco en punta con paredes laterales en pendiente (g), arco en punta con paredes laterales verticales (h) y arco asimétrico (i) (Von Zabeltitz, 1999).

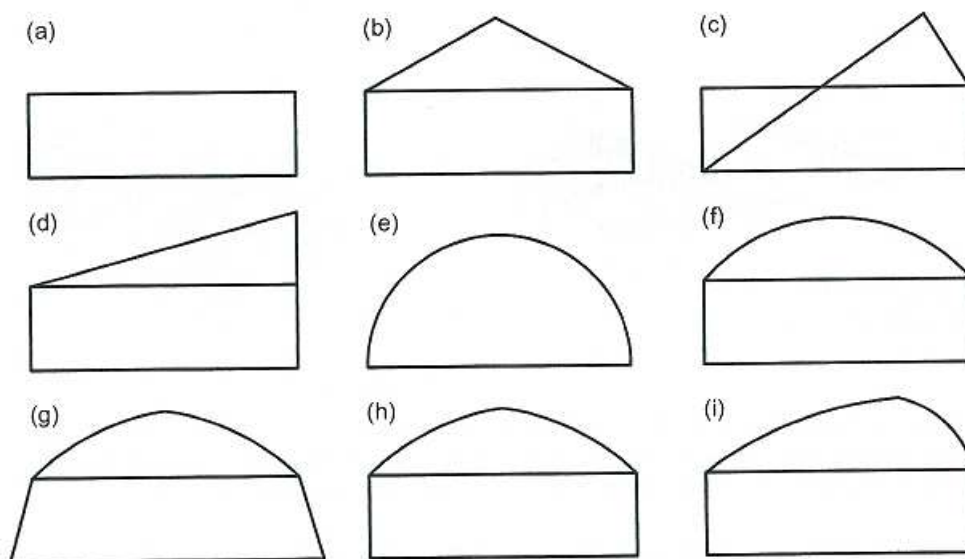


Figura 2.2. Tipos de geometrías de cubiertas utilizadas en invernaderos.

Atendiendo al número de módulos que componen la estructura, los invernaderos pueden ser monomodulares o monocapilla y multimodulares o multicapilla. En los invernaderos multimodulares, se repite la forma de la cubierta en cada módulo, con el objeto de conseguir grandes superficies de cultivo, guardando la pendiente necesaria para mejorar la evacuación de aguas pluviales. Sin embargo, pueden inducir niveles bajos de transmisión de la radiación en periodo de invierno (Hernandez et al., 2001^a;

Soriano et al., 2004) debido al sombreado mutuo entre módulos, sobre todo cuando están orientados Este-Oeste.



Figura 2.3. Invernadero multicapilla fotovoltaico.

La superficie media de los invernaderos de Almería es de $0,73\pm 0,45$ ha. La superficie cubierta con estructuras tipo “parral” representa un 96% de la superficie total. Los parrales con techo plano alcanzan una altura en cumbre de $2,7\pm 0,5$ m y ocupan el 33% de la superficie. Los parrales de tipo “raspa y amagado” simétricos, orientados ya sea N-S (55% de la superficie) o E-O (5% de la superficie) representan un 60%, con una altura media en cumbre de $3,8\pm 0,5$ m y una pendiente de $16,8\pm 5,3^\circ$ (Fernandez Sierra et al., 2004).

Los materiales de cubierta más utilizados son el polietileno de 180 μm de espesor (720 galgas), que cubre un 45% de la superficie total, seguido del polietileno térmico de 200 μm (800 galgas), con un 35% y en menor proporción los filmes tricapa con un 20%. Se utiliza plástico de color amarillo y también incoloro, predominando el primer tipo que ocupa un 60% de la superficie cubierta. Dentro de este tipo, el material más utilizado es el PE-720 con un 43% de la superficie total cubierta (Pérez-Parra et al., 2002).

Un porcentaje importante de la superficie destinada a cultivos protegidos (48%) está equipada con acolchado de suelo de color negro. También es frecuente el uso de dobles cubiertas y mallas térmicas para aumentar la precocidad de la cosecha. Las primeras cubren un 17% de la superficie, en general con plástico de 25 μm (100 galgas), mientras que las pantallas térmicas más utilizadas son las de poliéster de 17 g m^{-2} que cubren un 25 de la superficie (Pérez-Parra y Céspedes López, 2001).

A pesar de la enorme importancia del sector hortícola protegido, no se estaba llevando a cabo un esfuerzo paralelo en investigación próximo a las necesidades del agricultor y que permitiera optimizar los rendimientos mediante mejoras en las estructuras (orientación, pendiente, ventilación, tipos de sombreado, etc.), a veces de bajo costo respecto al valor de la inversión inicial del invernadero, pero de grandes ventajas productivas a corto plazo.

La radiación solar se puede considerar el factor ambiental más importante en el cultivo en invernadero, pues influye en procesos relacionados con la fotosíntesis, los balances de agua y de energía, el crecimiento y el desarrollo del cultivo.

La influencia de la radiación en la fotosíntesis es de vital importancia por ser la luz la fuente de energía de proceso fotosintético. Estudios recientes muestran que, contrariamente a lo que se creía, los invernaderos de la costa mediterránea, difícilmente alcanzan el límite de saturación lumínica. Para localizaciones geográficas en latitudes mayores de 30°, la reducción natural estacional de la radiación solar es el principal factor limitante para el crecimiento y desarrollo de la planta (Giacomelli y Ting, 1999).

En lo referente al balance de energía del invernadero, la radiación solar es durante el día, el único input de energía, responsable del “efecto invernadero”. Una fracción de esta energía recibida por el día es almacenada en el suelo y cedida al invernadero durante la noche mejorando su inercia térmica vital para mantener la temperatura interior nocturna.

La maximización de la radiación en época invernal, por tanto, incrementará la producción en estas fechas. Este mejor aprovechamiento de la radiación solar, energía gratuita y limpia, es el primer paso para integrarse en los nuevos sistemas de producción más respetuosos con el medio.

2.2. FACTORES CLIMÁTICOS EN INVERNADEROS.

Los cuatro factores climáticos de importancia vital en el microclima del invernadero son: radiación, temperatura, humedad y concentración de CO₂.

Aunque sus efectos son conjuntos, comenzaremos hablando de los tres últimos para abordar el estudio de la radiación en el invernadero al ser éste el elemento base del presente proyecto.

2.2.1. TEMPERATURA.

La temperatura es esencial para los cultivos pues influye en la mayoría de los procesos biológicos implicados en el crecimiento y desarrollo de la planta. Es el único

factor que tiene un efecto directo en la fuerza del sumidero de los órganos individuales de las plantas por lo que es esencial en el reparto de asimilados entre los diferentes órganos de la planta.

Las características climáticas de los países de la zona mediterránea (altos valores de radiación solar y elevadas temperaturas) provocan que desde principios de la primavera hasta finales de otoño se produzcan temperaturas excesivas que afectan al rendimiento y a la calidad de los cultivos protegidos. La refrigeración de los invernaderos durante los períodos cálidos es pues un problema fundamental para conseguir un buen control climático. Además, se ha verificado que las temperaturas excesivas producen pérdida de calidad del tomate, pepino, pimiento, afectando a la forma, textura y color. Por el contrario, las temperaturas demasiado bajas producen una textura harinosa en tomate (Schnitzler y Gruda, 2002).

Para hacer descender las temperaturas altas, el agricultor puede emplear uno o varios de los siguientes medios: ventilación, refrigeración mediante diversos sistemas y sombreado (encalado y pantallas de sombreado).

El control climático durante el periodo invernal es también muy importante incidiendo negativamente sobre las condiciones en el interior del invernadero, principalmente por falta de temperatura nocturna y baja renovación de aire por la falta de ventilación al intentar mantener las temperaturas lo más elevadas posibles en el interior de la estructura, lo que conlleva a problemas de concentración de CO₂ y alta humedad, favoreciendo la condensación de agua en la cara interior de las cubiertas y el goteo sobre el cultivo y en consecuencia la pérdida de producción por todos los problemas que ello conlleva.

Las bajas temperaturas se pueden contrarrestar con uno o varios de los siguientes medios: pantallas térmicas o dobles cubiertas, túneles dentro del invernadero, plástico térmico y calefacción.

2.2.2. HUMEDAD.

La humedad es uno de los factores climáticos que es necesario mantener en perfecto equilibrio para obtener un cultivo aceptable en el invernadero. El aire del invernadero se enriquece de vapor de agua proveniente del suelo y de la transpiración de las plantas (Nielsen et al., 1988). Por otro lado, para un determinado contenido de vapor de agua del aire, la humedad relativa varía en función inversa de la temperatura.

Los métodos de control de la humedad en invernadero se basan en el aumento de la renovación del aire, de la evapotranspiración del cultivo y de la evaporación de agua.

En períodos fríos el principal factor para la regulación de la humedad es la condensación que se forma sobre las superficies internas frías y que puede tener efectos negativos sobre el cultivo (Nielsen et al., 1988). Este inconveniente puede evitarse mediante calefacción. En los invernaderos sin calefacción puede reducirse la humedad del aire, y por tanto la condensación sobre las plantas y la cubierta del invernadero, de las siguientes formas: riego localizado, acolchado plástico, ventilar el invernadero durante la noche incluso si supone una pérdida de calor, etc.

Sin embargo, en la estación estival en la zona mediterránea, la humedad relativa puede descender del nivel deseado. En este caso se pueden utilizar las siguientes técnicas para aumentar la humedad: sombreado (al disminuir la temperatura se produce el aumento de la humedad relativa), riego del suelo, de las plantas y del material de cobertura, sistemas de vaporización de agua (nebulización o atomización), etc.

2.2.3. CONCENTRACIÓN DE CO₂.

El cultivo en Almería está sujeto a una concentración de CO₂ fluctuante. La concentración de CO₂ bajo las estructuras de cultivo en condiciones de alto consumo (dosel cerrado, alta radiación y baja renovación de aire) puede llegar a ser 160 ppm cuando la velocidad del viento en exterior es baja (Hand, 1992).

Algunos autores recomiendan como mínimo mantener la concentración de CO₂ del invernadero al nivel atmosférico exterior (340 ppm), incluso en aquellas condiciones en las que la práctica de la ventilación es necesaria (Hand, 1984; Nederhoff, 1990).

Los resultados experimentales muestran rendimientos productivos superiores cuando se aplica la técnica de enriquecimiento carbónico a concentraciones entre el rango de 700 – 900 ppm (Papadopoulos et al., 1997).

Comercialmente para el enriquecimiento de CO₂ se dispone de diferentes fuentes:

- Descomposición microbiológica de la materia orgánica. Cuando las plantas se cultivan en amplios volúmenes de suelo orgánico, y se fertilizan con abonado orgánico la concentración de dióxido de carbono en el aire del invernadero puede triplicarse respecto a la concentración exterior. Sin embargo, la práctica del abonado orgánico ha sido remplazada en gran medida por la fertilización inorgánica y la introducción de sustratos inertes ha contribuido a reducir el escaso papel que juega la incorporación de CO₂ procedente de la descomposición microbiológica en la horticultura intensiva actual (Lorenzo, 1994).

- Ventilación. La ventilación facilita la renovación del aire del interior del invernadero, permitiendo que la concentración interna se aproxime a la exterior y evitando disminuciones extremas. Sin embargo, en condiciones de alta demanda de CO₂ (alto nivel de radiación y dosel vegetal cerrado) la ventilación puede ser insuficiente para restablecer la concentración de CO₂ exterior (Hand, 1984).
- Combustión de hidrocarburos fósiles (propano, queroseno, gas natural, etc.). Estos sistemas producen CO₂ y calor simultáneamente. En determinadas circunstancias esto puede representar una ventaja considerable en términos de rentabilidad, aunque a menudo, la demanda de CO₂ por el cultivo no está sincronizada con las necesidades de calefacción, pudiéndose incluso reducir la rentabilidad.
- CO₂ líquido. El suministro es independiente del sistema de calefacción. Una desventaja suele ser el precio, a menudo más elevado que el de los otros sistemas.

2.3. RADIACIÓN SOLAR.

2.3.1. RADIACIÓN SOLAR: CONCEPTOS BÁSICOS.

El sol es una estrella compuesta de una masa de materia gaseosa caliente que emite energía a una temperatura absoluta efectiva de 5.777 K. Esta energía se transmite en forma de ondas electromagnéticas, o partículas denominadas fotones o cuantos. No necesita medio para propagarse y transita en el vacío a la velocidad de la luz. La frecuencia de la radiación emitida es la relación entre la velocidad de propagación y su longitud de onda.

La radiación solar recibida a nivel del suelo, o radiación de onda corta, es la energía emitida por el sol en la gama de 0,3 μm a 3 μm . Se puede expresar en términos de densidad de flujo energético ($\text{J m}^2 \text{s}^{-1}$ o W m^{-2}), o bien en términos de densidad de flujo de fotones ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). La conversión entre una y otra unidad es diferente para cada de radiación y su curva de distribución espectral.

2.3.1.1. RADIACIÓN EXTRATERRESTRE SOLAR. LA CONSTANTE SOLAR.

La radiación solar extraterrestre, que recibe en los confines de la atmósfera una superficie perpendicular a los rayos solares, situada a una distancia media entre la tierra y el sol, es prácticamente constante a lo largo del año y se conoce como constante solar. Corresponde a la cantidad total de energía por unidad de área orientada perpendicular al

sol. Actualmente, el valor más aceptado es el recomendado por el WRC (World Radiation Center) $1.367 \pm 1,6 \text{ J m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, que ha sido obtenido por Wehrli (1985), a partir de una revisión de los valores obtenidos por diferentes autores, varía aproximadamente, un $\pm 3\%$ a lo largo del año. Recientemente, la ASTM (American Society for Testing and Materials) ha determinado una constante solar media de $1.366 \pm 7 \text{ J m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (E490-00a, 2000). Es interesante resaltar que el valor estimado por Poulliet en 1938 para la constante solar es un 10% inferior al aceptado en la actualidad.

La cantidad de energía radiante emitida, transmitida o recibida por una superficie, en todas las direcciones y para todas las longitudes de onda, por unidad de tiempo se llama flujo radiante y se mide en J s^{-1} . La irradiación es la energía incidente por unidad de superficie acumulada en un determinado periodo de tiempo y se mide en J m^{-2} . Esta densidad de flujo energético, generalmente expresada en $\text{J m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, corresponde a una potencia por unidad de área (irradiancia).

2.3.1.2. RADIACIÓN SOLAR RECIBIDA EN LA TIERRA.

La radiación que llega a la superficie de la tierra difiere de la radiación solar extraterrestre debido a que ésta se atenúa al atravesar la atmosfera. La masa atmosférica, m , que atraviesan los rayos solares varía a lo largo del día y del año con la altura angular del sol. Por tanto, la radiación que recibe una superficie terrestre es función de las condiciones atmosféricas y de la altura angular del sol.

La transmisión de la atmosfera para la radiación solar depende de la absorción y difusión que provocan los aerosoles y gases atmosféricos (Guyot, 1997; Zhang y Shi, 2000; Liou, 2002). La atenuación debida a la absorción representa un 10% mientras que el proceso de difusión de la radiación varía entre un 10% (cielo despejado) y un 90% (cielo cubierto). En ausencia de nubes, la transmisión de la atmosfera depende principalmente de la concentración de gases y partículas en la atmosfera: (a) moléculas atmosféricas con un diámetro inferior a la longitud de onda de los rayos (ozono, anhídrido carbónico, etc.) y (b) moléculas y aerosoles con un diámetro superior a la longitud de onda de los rayos (vapor de agua, partículas de polvo, etc.). En su conjunto, las moléculas y partículas provocan la difusión de los rayos solares en todas las direcciones dando lugar a la radiación difusa.

Cuando las partículas tienen un diámetro inferior a la longitud de onda de los rayos solares, la difusión afecta esencialmente las longitudes de onda inferiores a $0,55 \mu\text{m}$. Este proceso, conocida como difusión de "Rayleigh", es responsable de que el cielo aparezca azul, debido a que este color corresponde a la longitud de onda de la radiación que experimenta esencialmente la difusión. Cuando las partículas tienen un tamaño

superior a la longitud de onda de los rayos solares, el proceso se conoce como difusión de “Mie”. En este caso, la difusión afecta por igual a todas las gamas de longitud de onda del espectro de radiación visible, por lo que la presencia de aerosoles atmosféricos da como resultado un cielo de aspecto lechoso.

El proceso de difusión explica que, a nivel del suelo, la radiación solar tenga dos componentes: (a) una componente directa que proviene del disco solar y (b) una componente difusa, sin dirección privilegiada, que es la resultante de la interacción entre los fotones y los aerosoles y gases de la atmosfera.

La fracción de radiación difusa ha aumentado en las últimas décadas debido a una mayor carga de aerosoles en la atmosfera, generada por la contaminación o por erupciones volcánicas (Stanhill y Cohen, 2001; Farquhar y Roderick, 2003). Stanhill y Cohen (2001) resaltan una reducción de la transmisividad de la atmosfera, debido principalmente al aumento de aerosoles y gases contaminantes. Estos autores han observado una reducción anual de la radiación solar de $-1,7 \text{ J m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (-1,2 % anual) en una zona de Israel (35 °N) con alto nivel de radiación, contaminación atmosférica y densidad de población. Otros estudios señalan niveles más bajos de reducción anual ($-0,51 \pm 0,05 \text{ J m}^{-2} \text{ s}^{-1}$).

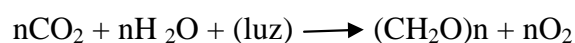
2.3.2. RADIACIÓN SOLAR, FOTOSÍNTESIS Y PRODUCCIÓN DE BIOMASA.

La respuesta de las plantas a la radiación recibida depende de su intensidad, duración y longitud de onda. La radiación solar influye en procesos fisiológicos como son:

- la absorción de agua y elementos minerales por las raíces.
- la transpiración por las hojas.
- la fotosíntesis. Además, influye en otros procesos como la fotomorfogénesis (Jones, 1992; Casal, 2000; Castilla, 2004).

2.3.2.1. PRODUCCIÓN DE ASIMILADOS. FOTOSÍNTESIS.

La fotosíntesis es el proceso por el cual los vegetales convierten el dióxido de carbono y el agua (sustancias inorgánicas) en azúcares y oxígeno:



Los compuestos primarios (asimilados), producidos por la fotosíntesis, son transportados a las partes en crecimiento (sumideros), donde van a formar los eslabones

de carbono que componen las células y la materia seca del cultivo en desarrollo (Gijzen, 1995). El proceso de oxidación de carbohidratos, sintetizados durante la fotosíntesis, tiene lugar en células vivas con formación de CO_2 y de H_2O y se conoce como respiración. Cabe distinguir dos procesos de respiración de plantas (la respiración oscura o mitocondrial y la fotorespiración).

A través de la respiración oscura, los carbohidratos sintetizados en el curso de la fotosíntesis son transportados a los órganos en crecimiento donde experimentan un proceso de oxidación exotérmica. Los vegetales obtienen de este modo energía en forma de ATP (utilizado en los procesos de biosíntesis y de mantenimiento), además de los eslabones carbonados que van a servir de base a diversas síntesis orgánicas. Esto explica que, para formular la respiración, se considere generalmente que la respiración oscura integra dos componentes:

- La respiración de crecimiento que aporta la energía necesaria al proceso de crecimiento y a la síntesis de nuevos constituyentes. Esta componente es proporcional a los productos asimilados en la fotosíntesis y consume aproximadamente del 20% al 30% de los hidratos de carbono fotosintetizados.
- La respiración de mantenimiento, que es la componente utilizada para el mantenimiento de las estructuras existentes (los metabolitos que constituyen los tejidos de la planta). Es proporcional al peso seco (sin incluir reservas), y es muy sensible a la temperatura de modo que se duplica, aproximadamente, cuando la temperatura aumenta de 10°C ($Q_{10}=2$).

La fotorespiración concierne la oxidación, activada por la luz, de parte de los metabolitos generados durante la fotosíntesis con formación de CO_2 . En las plantas C_3 este proceso metabólico asociado a la fotosíntesis tiene lugar bajo la luz. Al igual que la respiración mitocondrial, consume oxígeno y produce CO_2 pero la fotorespiración cesa en la oscuridad. Esto implica que el oxígeno actúa como un competidor del CO_2 capaz de inhibir la fotosíntesis. Este comportamiento no se encuentra en las plantas C_4 en las que el CO_2 liberado es inmediatamente fijado por las células del mesófilo.

La eficiencia de absorción de la luz por las hojas depende principalmente de su estructura y del contenido en pigmentos en las membranas del tilacoide (las clorofilas y los carotenoides: carotenos y xantofilas). Cada uno de estos pigmentos tiene un espectro típico de absorción en la gama del visible. De este modo, la cantidad total de radiación absorbida es mayor que si de un solo pigmento se tratase. La absorción de un fotón por una molécula de pigmento genera la excitación de un electrón induciendo en la molécula un estado de excitación. Esta energía de excitación puede ser:

- Transferida hasta los pigmentos de colectores de energía o (centros de reacción) para ser utilizada en el proceso de fotosíntesis
- Disiparse en forma de calor.
- Emitirse por fluorescencia.

No todas las longitudes de onda tienen la misma eficiencia. En el rango de color verde (centrado en 0,55 μm) la radiación absorbida por la clorofila es baja, siendo principalmente reflejada, lo que da a las plantas el color verde característico (Langhans y Tibbitts, 1997; Anisimov y Fukshansky, 1997). Los intervalos de mayor eficiencia fotosintética del espectro son el rojo (máximo en 0,60 μm) y el azul (máximo en 0,44 μm) (Whatley y Whatley, 1984; Buschmann et al., 2000; Maleszawski et al., 2001).

La tasa fotosintética depende de factores medioambientales (nivel disponible de luz, concentración de CO_2 del aire y temperatura), de parámetros fisiológicos característicos de una especie (nivel de nitrógeno atribuido al aparato fotosintético, conductancia estomática y del mesófilo) (Jones, 1992) y de la relación fuente-sumidero (DeJong, 1986; Stitt, 1991).

Para un nivel dado de nitrógeno en la planta, la tasa fotosintética depende de la cantidad de nitrógeno atribuido al aparato fotosintético, y del reparto de nitrógeno entre dos procesos que potencialmente limitan la fotosíntesis (complejo de enzimas (Rubisco) y sistema colector de luz). El nivel de nitrógeno está ligado, en parte, al nivel de luz en el que se desarrolla el aparato foliar. Se ha observado que muchas especies desarrollan gradientes verticales de contenido en nitrógeno que dependen del gradiente de luz que se establece al interior de la vegetación en condiciones naturales (Field, 1983; Hirose y Werger, 1987) y en invernadero (González-Real y Baille, 2000; González-Real et al., 2007). Estos gradientes se han interpretado como un proceso de adaptación a través del cual la planta optimiza al interior de la vegetación la atribución de recursos de nitrógeno con respecto a la ganancia en asimilación neta (Hirose y Werfger, 1987).

En condiciones de baja radiación, o en vegetales con elevado índice foliar y alta densidad de plantación, las plantas pueden sufrir clorosis (decoloración producida por ausencia de clorofila) y ahilamiento. Esto puede ser debido a un nivel de radiación bajo en la franja azul (Bakker, 1995). También se conoce que un bajo ratio rojo-rojo lejano al interior de la vegetación induce una morfología típica de plantas de sombra (tallos finos y entrenudos más largos de lo normal) (Vandenbussche et al., 2005), que reduce el valor comercial de muchas especies, en particular, de plantas ornamentales.

El proceso de extinción de la radiación induce, al interior de la vegetación, hojas dispuestas al sol y a la sombra que difieren en su respuesta a la luz (Aikman, 1989; De Pury y Farquhar, 1997), lo que resulta en un nivel de saturación lumínica más elevado a escala del dosel vegetal. Los recursos de luz en la vegetación son uno de los factores

limitantes de la fotosíntesis y del crecimiento, especialmente en cultivos protegidos del norte de Europa en invierno (Gijzen, 1995; van de Sander, 1995). Sin embargo, en zonas semiáridas los niveles de luz en invernadero pueden alcanzar valores elevados en primavera-verano (máximo a media día $\approx 1.350 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) que, junto con niveles altos de temperatura y déficit de saturación del aire, inducen con frecuencia una regulación de la tasa fotosintética (Medina et al., 2002; Barber y Anderson, 1992).

2.3.2.2. PRODUCCIÓN DE BIOMASA. EFICIENCIA DEL USO DE LA RADIACIÓN.

La relación entre la producción de materia seca y la radiación interceptada por un cultivo se conoce como eficiencia de uso de la radiación (RUE, Radiation Use Efficiency). Este concepto, propuesto inicialmente por Monteith (1977), se puede formular como:

$$\int_{t_1}^{t_2} \frac{\partial ms}{\partial t} dt = \int_{t_1}^{t_2} RUE_{\text{abs}} f_{\text{PARabs}} \text{PAR}_0 dt$$

Donde; ms es la materia seca (MS, en Kg) y t es el tiempo; RUE_{abs} es la eficiencia en el uso de la radiación absorbida (KG MS, por MJ de radiación PAR absorbida); f_{PARabs} (adimensional) es la fracción de radiación PAR incidente que es absorbida por el cultivo y PAR_0 es la radiación incidente.

RUE se define como la cantidad de materia seca total aérea que se genera por unidad de radiación solar (global o PAR), recibida o absorbida por el cultivo en un determinado periodo (Russell et al., 1989; Baille, 1995; Baille, 1999; Medlyn et al., 2001). Muchos trabajos han puesto en relieve que cuando RUE se calcula a escala del ciclo de cultivo, alcanza valores conservativos para un gran número de especies C_3 . Sin embargo, varía con el metabolismo de la especie, siendo el valor potencial para plantas C_3 igual a $1,93 \text{ g}_{\text{MS}} \text{ MJ}^{-1}_{\text{PARabs}}$ (Gosse et al., 1986). Cuando el RUE se determina para periodos de tiempo más cortos (ej.; un determinado estado de desarrollo) se han observado variaciones importantes. Bajo condiciones de estrés también puede variar notablemente (Lecoeur y Ney, 2003).

Bajo invernadero, se observan valores de RUE superiores a los que alcanzan muchas especies C_4 . Esto puede explicarse por un mejor control del medio ambiente (clima, riego y fertilización), valores más bajos de radiación solar que al exterior y/o a niveles más elevados de radiación difusa. Estudios recientes han demostrado que un aumento de la fracción de difuso contribuye a aumentar la eficiencia de uso de la radiación en ecosistemas (Choudhury, 2000; Roderick et al., 2001) y en cultivos bajo invernadero (Gijzen, 1992; Hemming et al., 2006; Jongschaap et al., 2006). Es por eso que los invernaderos con materiales de cubierta que aumenten la fracción difusa (Pollet

et al., 2005) pueden ser más eficientes en lo que se refiere a la eficiencia de uso de la radiación global (Raveh et al., 2003) con respecto a un invernadero con material transparente (Castilla, 2004).

Los valores de RUE también se pueden expresar en porcentaje usando el equivalente energético de la materia seca que, para gran parte de los cultivos, se encuentra en el rango de $16 \text{ MJ Kg}^{-1}_{\text{MS}}$ (Baille, 1999) a $18 \text{ MJ Kg}^{-1}_{\text{MS}}$ (Gosse et al., 1986). Si no existen otros factores limitantes, el valor medio de RUE (expresado en $\text{MJ}_{\text{MS}} 100 \text{ MJ}^{-1}_{\text{PARabs}}$) para las especies hortícolas varía entre 4 y 10% (Baille, 1999). Aikman (1989) obtuvo, en un invernadero con control climático en el norte de Europa, un valor de RUE del 7,1 % frente al 10% obtenido por el Bailey (1988). En cultivo de rosas, los valores obtenidos por Stanhill et al., (1973), en Israel, fueron inferiores (3,9%). En invernaderos mediterráneos tipo “parral” sin calefacción Lorenzo (1996) obtuvo una eficiencia en el uso de la radiación en pepino de 6,9% mientras que Peil (2000) y Peil et al., (2002) para la misma especie con calefacción encontraron en el ciclo de otoño valores superiores (14,5%) a los de primavera (10,0%) lo que demuestra que, en periodos con baja radiación exterior (meses de otoño-invierno), el valor de RUE puede ser mayor.

2.3.3. INTERCEPTACIÓN DE LA RADIACIÓN POR LOS CULTIVOS.

La fotosíntesis de una planta depende de la cantidad de radiación PAR absorbida, que a su vez depende de la cantidad de radiación PAR interceptada por el dosel vegetal (Varlet-Grancher y Bonhomme, 1974; Hodge y Kanemasu, 1977; Varlet-Grancher et al., 1989; Gijzen, 1995). La cantidad total de radiación global solar interceptada por la vegetación, G_{int} , se define como sigue:

$$G_{\text{int}} = G_i - G_t - G_p$$

Siendo: G_i , la radiación solar global incidente en la cima de la vegetación; G_t , la radiación incidente a nivel del suelo; y G_p la radiación reflejada por la cubierta vegetal.

La radiación absorbida, G_{abs} , se define por:

$$G_{\text{abs}} = G_i - G_t - G_p + G_{t,p}$$

Siendo: $G_{t,p}$, la fracción reflejada en la radiación incidente en el suelo. Cuando este valor es despreciable se considera que $G_{\text{int}} = G_{\text{abs}}$

Debido a la complejidad que conlleva el medir los distintos flujos de radiación implicados en la radiación absorbida por los cultivos, se suele utilizar la radiación interceptada (Verheij y Verwer, 1971; Lorenzo, 1996; Papadopoulos y Pararajasingham, 1997), despreciando la radiación reflejada por el suelo (albedo del suelo). Esta

componente puede ser particularmente importante en invernaderos cuando el suelo está cubierto de una lamina de plástico blanco (acolchado), que refleja entre el 50% y el 80% de la radiación PAR que recibe (Gijzen, 1995).

La radiación pasa a través del cultivo por los espacios existentes entre las capas sucesivas de hojas. Monsi y Saeki (1953) propusieron una relación basada en la ley de Beer entre la radiación incidente en la encima del dosel vegetal, G_i , y la que llega a una profundidad determinada, x , en el interior de la vegetación, G_x , para una densidad foliar relativamente homogénea:

$$G_x = G_i e^{-K L_x}$$

Donde: K , es el coeficiente de extinción de la radiación y L_x es el índice de área foliar (IAP) acumulado a la profundidad x , en $m^2_{hoja} m^{-2}_{suelo}$.

K se define como el ratio entre la proyección de la superficie foliar sobre un plano horizontal de referencia y la superficie foliar real. Es función de la orientación de las hojas, de su distribución angular, del ángulo de incidencia de la radiación y de la fracción de radiación difusa en la radiación global solar incidente, por lo que depende de la geometría y estructura del dosel (Norman y Arkebauer, 1991; Gijzen, 1995). El coeficiente de extinción también varía con la ontogénica del cultivo, de modo que cambios en la orientación foliar producidos por el envejecimiento pueden causar una disminución de K (Cannel et al., 1987). Para la mayoría de los cultivos hortícolas bajo invernadero, el valor de K se encuentra entre 0,4 y 0,8 (Acock et al., 1978; Russell et al., 1989; Marcelis et al., 1998).

Los componentes directa y difusa de la radiación solar presentan distintos perfiles de extinción en el dosel vegetal (Boote y Loomis, 1991; Gijzen, 1995), siendo mayor el coeficiente de extinción para el directo, K_I , que para el difuso K_D , cuando la altura angular del sol es inferior a $\approx 40^\circ$ (ej. $K_D=0,75$ para una distribución esférica y cilíndrica de hojas) (Goudriaan, 1977; Spitters et al., 1986). Experimentalmente, se ha observado que K_D es de 0,42 para pepino (Warren-Wilson et al., 1992) y de 0,60 para tomate (Acock et al., 1978).

El valor de la radiación absorbida, G_{abs} , por una superficie de índice foliar L_x , situada en la vegetación a una profundidad x , es igual a:

$$G_{abs,x} = G_i - G_x = G_i [1 - e^{-K L_x}]$$

Siendo el coeficiente de absorción α :

$$\alpha = \frac{G_i - G_x}{G_i} = 1 - e^{-K L_x}$$

Los cultivos en estado adulto ($IAF > 3 \text{ m}^2_{\text{hoja}} \text{ m}^{-2}_{\text{suelo}}$) pueden absorber entre el 80%-85% de la radiación solar incidente (Gallagher y Biscoe, 1978; Lorenzo, 1996).

2.3.3.1. ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR.

A partir de la ley de Beer, se deduce que un aumento de la radiación solar induce un aumento equivalente del coeficiente de absorción en condiciones de bajo *IAF*. A medida que el cultivo se va desarrollando, las hojas de la cima tienen un papel preponderante en la absorción de la radiación, mientras en los estratos inferiores reciben niveles bajos de luz y participan menos en la absorción. Esto explica que para valores de $IAF > 3 \text{ m}^2_{\text{hoja}} \text{ m}^{-2}_{\text{suelo}}$, el coeficiente de absorción varíe poco, alcanzando un nivel de meseta (Nederhoff, 1984; Stanghellini et al., 1990; Gijzen, 1995). En estas condiciones, se alcanza el *IAF* crítico, o valor de *IAF* que no induce aumentos significativos de absorción y, en general, corresponde a una interceptación del 95% (Shibles y Weber, 1965). En la mayoría de los cultivos en líneas, en la fase de máximo desarrollo, el coeficiente de absorción varía entre un 70% y un 90% (Boote y Loomis, 1991; Gijzen, 1995; Marcelis et al., 1998; Baile, 1999; Cohen et al., 1999).

2.3.3.2. DISTRIBUCIÓN ANGULAR Y ORIENTACIÓN DE LAS HOJAS DEL CULTIVO.

Al atravesar las capas de hojas, la radiación solar experimenta un proceso complejo de difusión debido a las discontinuidades de índice de refracción de los elementos que atraviesa (las paredes celulares hidratadas, el agua de los espacios intercelulares y el aire del parénquima lagunar) (Guyot, 1997). Las características ópticas de la hoja varían a lo largo de su desarrollo y tienen gran influencia en la proporción de radiación absorbida y reflejada. Las hojas en estado juvenil suelen tener un mayor albedo, por lo que la radiación absorbida es menor que en el caso de hojas jóvenes con el aparato fotosintético desarrollado.

Gran parte de los modelos de absorción de la radiación consideran que las hojas presentan una orientación esférica (las hojas distribuyen como el área de una esfera) (Goudriaan, 1977; Spitters, 1986). Las especies cuyas hojas tienen una orientación predominantemente horizontal (doseses planófilos) interceptan la radiación esencialmente en los primeros estratos foliares, por lo que la distribución de la radiación en la vegetación es menos uniforme que en doseses con hojas orientadas verticalmente (doseses erectófilos) (Gijzen, 1995). Un dosel vegetal eficiente sería aquel con hojas en los estratos superiores orientadas y distribuidas para dejar pasar mayor proporción de

radiación al inferior de la vegetación (Lorenzo, 1996; Papadopoulos y Pararajasingham, 1997).

2.3.3.3. DISPOSICIÓN DEL DOSEL VEGETAL.

El dosel de la mayoría de los cultivos bajo invernadero está dispuesto en líneas separadas por pasillos (Boote y Loomis, 1991; Warren-Wilson et al., 1992). La orientación de las líneas y su distancia de plantación cambian la distribución de la radiación dentro del cultivo (Wagenmakers, 1990; Tchamitchian y Longuenesse, 1992; Li et al., 2000) respecto a un cultivo continuo. Las técnicas como el entutorado permiten orientar los tallos de las plantas, reduciendo el efecto de sombreado entre hojas, lo que puede mejorar el nivel de interceptación de la radiación (Papadopoulos y Pararajasingham, 1997; Soriano, 2002). Las líneas orientadas este-oeste interceptan un 10% menos de radiación que las orientadas norte-sur, debido al sombreado mutuo entre líneas que ejerce la orientación este-oeste, especialmente cuando la separación entre líneas es pequeña y la altura solar es baja. En cambio, cuando la separación entre líneas es grande no se observan diferencias significativas (Papadopoulos y Pararajasingham, 1997).

2.3.3.4. INFLUENCIA DE LA RADIACIÓN DIFUSA.

La cantidad de radiación interceptada y su penetración en el cultivo también varían con la proporción de radiación directa y radiación difusa (Normal y Arkebauer, 1991; Warren-Wilson et al., 1992). La radiación directa presenta una distribución vertical caracterizada por una fuerte atenuación en las capas altas, recibiendo menos radiación los estratos inferiores (Gijzen, 1995). En cambio, en condiciones de radiación difusa, la radiación proviene de todos los sectores de la bóveda celeste, lo que induce un menor efecto de sombreado al interior de la vegetación, un nivel de radiación más uniforme en cada estrato (Roderick et al., 2001) y, por lo tanto, contribuye a aumentar la radiación incidente en los estratos inferiores y su actividad fotosintética (Charles- Edwards, 1982; Hemming et al., 2006).

El interés por aumentar la proporción de difuso en invernadero (Kurata, 1983; Healy et al., 1998; revisión bibliográfica en Stanhill y Cohen, 2001) sigue siendo un tema de actualidad, debido a la importancia que tienen en cultivos protegidos los sistemas de sombreado (Medina et al., 2002; Raveh et al., 2003) y el blanqueo, que inducen condiciones de radiación difusa, y los materiales de cubierta difusores (Jongschaap et al., 2006; Hemming et al., 2006; Heuvelink y González- Real, 2008). Jongschaap et al. (2006) han estimado, a partir de modelos, la influencia que ejerce de

cubierta difusor en la producción. Los resultados de simulación muestran un aumento de la radiación PAR absorbida y de la tasa de fotosíntesis que redundan en un aumento de la producción en el cultivo de pepino (5%-6% en los meses de verano, Hemming et al., 2006).

También se puede incrementar la radiación difusa que incide en el cultivo ubicando a nivel del suelo, o en las paredes del norte del invernadero (en el hemisferio norte), superficies que reflejan la radiación (Day y Bailley, 1999). Como han observado diferentes autores (Stanhill et al., 1975; Thomas, 1978, Kurata, 1983; Critten, 1985; Cave y Cockshull, 1989; Li et al., 1998; Pucar, 2002; Gupta y Tiwari, 2005), esta práctica puede aumentar la radiación incidente sobre el dosel vegetal y la radiación absorbida hasta un 10%.

2.3.4. MATERIALES DE CUBIERTA: PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS.

Las propiedades ópticas de paredes de cubierta han sido ampliamente estudiadas para diferentes tipos de materiales (Deltour y Nisem, 1970; Nijskens et al., 1985; Papadopoulos y Grafiadellis, 1991; Deltour et al., 1992; Kittas y Baille, 1998; Cobos y López, 1998; Wang et al, 1999; Papadakis et al., 2000; Díaz et al., 2001; Montero et al., 2001; Foury, 2003; Cascone et al., 2004), en gran parte debido a la creciente importancia económica, a nivel mundial, de este sector de producción. Este tipo de estudios se han llevado a cabo en el laboratorio (Deltour y Nisen, 1970; Nijskens et al., 1985) y en invernadero (Kittas y Baille, 1998) con materiales de cubierta difusores (Deltour y Nisen, 1970; Pollet et al., 2005), transparentes, fotoselectivos y fluorescentes (Pearson et al., 1995), con materiales de cubierta secos y con condensación (Jaffrin y Makhlof, 1990; Pollet y Pieters, 1999b) y con deposito de polvo (Jaffrin y Morisot, 1994; Geoola et al., 1998).

La caracterización y estudio del poder difusor de materiales de cubierta han despertado bastante interés en las dos últimas décadas (Pearson et al., 1995; Wang et al., 1999; Montero et al., 2001; Pollet et al., 2005; Espi et al., 2006) desde los primeros trabajos llevados a cabo en Bélgica (Deltour y Nilsen, 1970; Nijskens et al., 1985). Montero et al. (2001) proponen, a partir de medidas en laboratorio, un coeficiente de transmisión para la radiación difusa de un 74% para un filme tricapa extruido, cuando el material es nuevo, y de un 66% al cabo de un año de uso. Burek et al. (1989), basándose en un dispositivo experimental, proponen un método para caracterizar la transmisión difusa de filmes de plástico considerando que la radiación transmitida sigue la ley de Lambert. Más tarde, los estudios de Pollet et al. (2005) han puesto en relieve el comportamiento no lamertiano de la radiación difusa a partir de medidas en laboratorio con varios materiales de cubierta.

Dado que la transmisión varía con el ratio directo/difuso exterior y con las propiedades difusoras del material de cubierta, es necesario distinguir entre transmisión a la radiación difusa de un filme y la cantidad de radiación directa que es convertida en difusa, debido a cambios en la trayectoria de propagación de la radiación al atravesar el filme (Papadakis et al., 2000; Pollet et al., 2005). La capacidad de un filme para transformar el directo en difuso se conoce como “turbidez” o “poder difusor” y se define como el porcentaje de luz transmitida a través de una muestra de filme, que se desvía respecto de la luz incidente en ángulos mayores de 2,5°.

Los materiales fotoselectivos también han despertado un gran interés (Raviv y Antignus, 2004) debido a que ejercen una influencia importante en la “calidad” de la radiación modificando su distribución espectral en el invernadero. Los tratamientos que se aplican para limitar el envejecimiento de los plásticos afectan a la transmisión de radiación UV (gama 0,28-0,40 μm) al igual que los filtros que se aplican a los plásticos para controlar enfermedades fúngicas (Raviv y Antignus, 2004) y virosis transmitidas por insectos cuya visión y comportamiento depende de la radiación UV (Antignus et al., 2001).

Dada la gran variedad de materiales de cubierta disponibles, la elección debe apoyarse en sus propiedades mecánicas, en sus propiedades ópticas (ej.: determinadas por los requerimientos del cultivo), en imperativos de control fitosanitarios (filmes antiplagas) y en la climatología de la zona (Nisen, 1966; Waaijbergen, 1984; Waaijbergen y Sonneveld, 2004). Este último aspecto explica el desarrollo de filmes que cortan, en parte, el próximo infrarrojo solar (“heat-barrier films”, Sonneveld et al., 2006) con el objeto de disminuir la carga solar en invernaderos de zonas semiáridas, y de filmes difusores (Espí et al., 2006) que, al reducir la cantidad de radiación directa, no provocan quemaduras foliares y de frutos y el enrollamiento de hojas. Es un hecho conocido que el material de cubierta debe: (i) transmitir el máximo de radiación solar, por lo que no debe de retener el polvo y este debe de eliminarse por lavado; (ii) evitar la formación de condensación, siendo deseable que tenga tendencia a formar una película continua en lugar de gotas (Jaffrin y Makhoulf, 1900; Pollet et al., 2005) y (iii) presentar una buena resistencia a la abrasión (Castilla, 2004), ya que el rallado del filme contribuye a incrementar las irregularidades en la superficie y, por lo tanto, las pérdidas por reflexión.

El material más utilizado como cubierta es el polietileno (PE) aunque existen cubiertas formadas por otras resinas como el cloruro de polivinilo (PVC), el poliéster, etc. Los materiales como el vidrio, los plásticos rígidos (policarbonatos, PC, polimetacrilato de metilo, PMMA) y los plásticos doble pared, presentan un coste elevado y sistemas de sujeción sofisticados (Baudoin et al., 2002).

Material	Transmisividad a la radiación de onda corta (%)	Transmisividad a la radiación de onda larga (%). Efecto térmico	K (W m ⁻² °K ⁻¹)
Cristal	87-90	0 > 2800 nm	5,8
Cristal de baja emisividad	78-80	0	3,7-3,9
Cristal doble	78-80	0	3,0-5,2
Polimetacrilato simple	92	0 > 2800 nm	
Polimetacrilato ondulado	91		
Polimetacrilato alveolar	81-91	0 > 2800 nm	1,9-2,9
Polycarbonato simple	70-88	0 > 5000 nm	3,0-5,6
Polycarbonato ondulado	89-90	0 > 5000 nm	5,8
Polycarbonato alveolar	71-83		1,6-3,9
Poliéster con fibra de vidrio (simple)	80-85		1,5
Poliéster con fibra de vidrio (ondulado)	75-85	4	5,0
Poliétileno baja densidad 0,15 mm	89	70	9,4-16,2
EVA 0,15 mm	90	25	9,1-11,9

Figura 2.4. Propiedades radiométricas de los materiales más utilizados como cerramiento de invernaderos. (Extractado de Papadakis y col., 2000). Las horquillas de valores se deben a la variabilidad entre formulaciones comerciales y a diferentes espesores.

Los materiales de cubierta simple pared presentan valores de transmisión a la radiación global solar que varían entre el 87% y el 92%. Las cubiertas dobles de plástico y los materiales especiales, como el vidrio de baja emisividad, presentan una transmisión más baja, del orden de 70% a 75%. Los plásticos con doble cubierta reducen la transmisión, aproximadamente, un 10% respecto a una simple pared, siendo la doble pared de PMMA, la que tiene una transmisión más elevada.

Un problema importante con los materiales de cubierta es la condensación del vapor de agua en la cara interna del filme ya que puede reducir la transmisividad a la radiación solar hasta un 20% dependiendo de la forma en la que se deposita la condensación (gotas, filme de agua) y el ángulo de incidencia de los rayos solares, tanto en periodos despejados como nublados (Pollet et al., 2002). La condensación en forma de gotas aumenta la radiación difusa, afectando más a la gama del PAR que al próximo infrarrojo (Pollet et al., 2005).

Otro factor limitante en zonas semiáridas es el depósito de polvo, debido a que reduce considerablemente la transmisión, especialmente en verano cuando la

pluviometría es escasa (Montero et al., 1985; Morales et al., 1998; Geoola et al., 1998). Además, el polvo afecta más a la transmisión PAR que a la del infrarrojo (Takakura, 1989).

2.3.5. TIPOS DE INVERNADERO Y RADIACIÓN SOLAR.

El diseño de una estructura óptima de invernadero para una zona determinada no es tarea fácil, debido al número importante de factores que determinan el coeficiente de transmisión de las paredes a la radiación solar. Este coeficiente es función de (Von Zabeltitz, 1999):

- La altura angular y acimut del sol, latitud del lugar, y día del año.
- La proporción de radiación difusa en la radiación global exterior (Harnett et al., 1979; Sherry y Goldsberry, 1980).
- Las propiedades ópticas del material de cubierta, que pueden ser transparentes o difusores.
- La orientación del invernadero y la pendiente de las paredes de cubierta.
- El efecto de sombreado debido a los elementos estructurales.
- La acumulación de polvo y la condensación sobre la cara interna de la pared.

La transmisividad de la radiación directa es función del ángulo de incidencia de los rayos solares sobre el material de cubierta, que a su vez depende de la altura angular del sol y de la pendiente de pared. Cuando se considera el invernadero en su conjunto, también se observa que las pendientes elevadas aumentan la transmisión cuando la altura solar es baja (Critten, 1993). En cambio, con altura solar elevada, los invernaderos de mayor pendiente son los que presentan mayor transmisión, independientemente de su orientación (Pieters, 1994). Obviamente, la pendiente de la pared es un parámetro muy importante a tener en cuenta en el diseño de invernaderos.

La transmisión a la radiación difusa depende del ángulo sólido con el que la pared recibe esta componente de la bóveda celeste con diferentes ángulos de incidencia (Dogniaux y Joukoff, 1986), que están circunscritos dentro del ángulo sólido que va a determinar el factor de forma o “view factor” (McAdam et al., 1971; Howel, 2005). El valor medio de los ángulos de incidencia con los que llega la radiación difusa a una pared suele ser inferior a 70°, aproximadamente, por lo que el coeficiente de transmisión para el difuso tiene menos variabilidad que para el directo.

La influencia de la orientación del invernadero y de la pendiente de las paredes en la transmisión ha sido estudiada por varios autores. Estos estudios han demostrado que una orientación este-oeste proporciona en invierno mayor transmisión de la radiación (Nisen, 1972; Pieters 1994; Wang y Boulard, 1999) que una orientación N-S,

aunque esta induce una mayor heterogeneidad especialmente en la sección transversal (Wang y Boulard, 1999). Esta heterogeneidad se debe en parte a la sombra que proyectan los elementos estructurales de la cubierta. Si se considera, que en ambos, las líneas de cultivo están en el eje N-S, una orientación E-O provocará desde la salida a la puesta del sol sombras estructurales que se proyectan sobre el cultivo, sobre todo en invernaderos de vidrio en los que los elementos estructurales ejercen mayor efecto de sombreado que en los invernaderos de plástico. Esto es debido a que la posición de las sombras varía menos a lo largo del día en una orientación E-O que en una orientación N-S, como han constatado varios autores (Jaffrin y Urban, 1990; Kurata, 1990; Giacomelli y Ting, 1999). Sin embargo, las diferencias entre ambas orientaciones (heterogeneidad espacial, transmisión global) también depende el número de módulos del invernadero. Además, las diferencias se atenúan cuando aumenta la altura de los invernaderos (Castilla, 2004) y el ratio directo/difuso interior (Kurata, 1983).

Los invernaderos con geometría de cubierta curva, presentan una mayor transmisión que los de cubierta a dos aguas con pendiente de 25° (Nisen, 1972; von Elsner et al., 2000a; 2000b). En invernaderos multimodulares tipo Venlo, el aumento de la pendiente por encima de 30° no incide en un aumento del coeficiente de transmisión, debido a que los módulos tienen poca anchura (3,20 m en invernaderos Venlo, 6 m en los de plástico) lo que induce pérdidas de radiación por efecto de borde (Bailey y Richardson, 1990). La influencia de la pendiente en invernaderos orientados N-S también es importante y resulta en un aumento de transmisión en invierno y verano (Nisen, 1972).

En invernaderos parral (con techo plano o pequeña pendiente), típicos de Almería, los niveles de transmisión son bastante bajos (57%, y un 63% para orientaciones N-S y E-O, respectivamente) (Morales et al., 1998; Morales et al., 2000) sobre todo en invierno, pero difieren poco en verano de los que se alcanzan con otras configuraciones (González-Real et al., 2001). En las condiciones de Almería, Castilla y López-Gálvez (1994) obtuvieron un aumento de la transmisión en un invernadero asimétrico E-O (pendiente 8°N-18°S), frente a otro con cubierta plana. Estudios recientes también demuestran que los invernaderos asimétricos este-oeste, con mayor pendiente al sur, contribuyen a aumentar la transmisión en los meses de invierno (Quesada et al., 1998; Catilla et al., 1999; Castilla et al., 2001; Montero y Antón, 2003; Soriano et al., 2004) e inducen a una mayor homogeneidad de la transmisión a lo largo del año que cuando se orienta la mayor pendiente al norte (González-Real et al., 2001).

La transmisión y su uniformidad espacial también dependen del ratio directo/difuso. Este ratio viene determinado, a su vez, por (i) el ratio exterior que varía a lo largo del día y con las condiciones de nebulosidad, (ii) las reflexiones múltiples de la radiación entre paredes internas y (iii) el proceso de difusión que puede experimentar la

radiación al atravesar el material de cubierta; siendo este proceso especialmente importante en materiales plásticos. En menor medida también depende de la reflexión de la radiación por el dosel vegetal y por el suelo, pero en el caso del suelo la reflexión es poco importante en doseles cerrados.

2.3.6. SISTEMAS DE SOMBREO.

El sombreado de las plantas tiene como finalidad principal el reducir la temperatura de la planta y con ello disminuir su evapotranspiración. Con una elevada radiación solar, la temperatura de la planta y por tanto la evapotranspiración de ésta puede ser tan alta que el suministro de agua que perciba a través de las raíces no sea suficiente para reponer la cantidad transpirada, es por ello, que la planta puede quemarse o marchitarse. Mediante algún sistema de sombreado, la intensidad de luz se reduce y la temperatura disminuye. El sombreado tiene mucha más influencia sobre el clima del invernadero si la ventilación es escasa (Montero, 1994 b).

2.3.6.1. ENCALADO DE LA CUBIERTA.

El blanqueo de la cubierta plástica a base de carbonato cálcico o de cal apagada es el sistema de sombreado más extendido en la horticultura protegida mediterránea. En zonas de poca lluvia se prefiere el carbonato cálcico o Blanco de España porque es más fácil de eliminar por lavado. En zonas más húmedas es preciso usar soluciones de cal apagada.

En Almería se han registrado descensos de 2 °C con el empleo de cal, en estructuras tipo parral de 22 m de anchura y ventilación lateral. Esta reducción térmica no es espectacular, pero tampoco es despreciable. Aunque el encalado no logra por sí sólo un clima óptimo de cultivo en zonas cálidas, su relativa efectividad y la economía de su uso explican la popularidad de esta labor (Montero, 1994).

En el área costera del este de Grecia, mes de julio y bajo invernadero de cristal y cultivo de rosas se registraron diferencias de temperaturas respecto al exterior de hasta 6°C con el empleo de 8 kg CaO por cada 100 kg de agua (50 % de reducción en radiación solar y neta sobre el cultivo). Además, se redujo el estrés hídrico (Baille et al., 2001).

Entre las posibles alternativas hoy disponibles se encuentra la utilización de sistemas de sombreado móviles automatizables cuya extensión puede decidirse a partir de un umbral bien de temperatura, bien de radiación, constituyendo así mismo una herramienta de prevención de estrés hídrico (Stangellini, 1994). Sin embargo, para el cultivo de hortalizas es poco empleada.

2.3.6.2. MALLAS O PANTALLAS DE SOMBREO.

Las mallas de sombreado fabricadas en España suelen ser de polietileno, aunque otros materiales como el polipropileno, el poliéster o derivados acrílicos se usan también para este propósito. La mayoría son de color negro o verde y el porcentaje de sombreado ofrecido por la malla depende de la densidad del tejido. A veces la pantalla aumenta la temperatura relativa durante el verano, el calor acumulado por la malla se traslada al aire circundante y la conclusión, es que numerosas mallas de sombreado no reducen la temperatura.

Existen también materiales aluminizados que presentan la ventaja de reflejar parte de la radiación solar. Las bandas de aluminio que van centralizadas en la malla reflejan la radiación solar en un 100% y el sombreado de esta pantalla es una consecuencia de la reflexión, no de una absorción de la radiación solar.

Como ya se comentó anteriormente, las mallas de sombreado aluminizadas son un método de sombreado muy eficaz ya que reflejan una parte importante de la radiación incidente, reduciendo no sólo la intensidad luminosa, sino además el caldeoamiento excesivo, tanto del ambiente como del suelo y las plantas, consiguiendo descensos de la temperatura de las plantas de 1-2 °C (Boulard et al., 1991). Las pantallas más eficientes son las aluminizadas (Montero y Antón, 1993). Para evitar reducciones indeseables de radiación deben ser móviles.

En los últimos años, la utilización de mallas en general, y pantallas reflectantes en general, ha ido aumentando en la horticultura de invernadero del sudeste de España, siendo frecuente encontrar estos sistemas de control climático en instalaciones dedicadas al cultivo de hortalizas y de ornamentales, en invernaderos de cubierta plástica e invernaderos de vidrio (Fernández-Rodríguez et al., 1999).

2.3.6.3. VENTAJAS E INCONVENIENTES DEL ENCALADO Y SISTEMAS MÓVILES DE SOMBREO.

En el sudeste de España, el encalado es comúnmente usado para lograr semejante control (a través de la aplicación de "Blanco España" a la cubierta). La reducción de la radiación al encalar puede proporcionar niveles de trasmisividad próximos al 30% sobre la radiación global exterior (Morale et al., 1998). Las ventajas de la utilización del encalado son básicamente:

El precio de coste de la materia prima "blanco de España" es bajo, así como el de los elementos necesarios para su aplicación (motor, bomba de fumigación, tubo de

plástico y pistola) debido a que son comunes para la aplicación de los productos fitosanitarios. Muy por el contrario, además del coste de las pantallas se requiere de otros elementos para su óptima utilización como disponibilidad de energía eléctrica, un equipo de control (ordenador) y equipos de registro y dispositivos para su activación, sensores climáticos (interiores y exteriores), que en la mayoría de los casos, no se encuentran en las explotaciones a priori.

La simplicidad de su aplicación es debida a que se trata de un método fácil de usar y extrapolable a cualquier estructura de invernadero y dimensiones. La energía reflejada por el encalado no se acumula en el interior del invernadero.

No obstante la realización del encalado, así como el control del flujo de luz y temperatura, presenta algunos problemas:

Flexibilidad de operación. No se puede introducir el sistema de apertura y cierre automático para beneficiarse de los periodos de condiciones climáticas exteriores favorables. Este periodo puede ser en los extremos del día (mañana y tarde), o días en la primavera y verano que están caracterizados por condiciones climáticas moderadas. Además, el carácter permanente del sistema que impide, tras su aplicación, la regulación de la intensidad del campo radiativo a favor del cultivo, y la cual en ciertas ocasiones ha mostrado un efecto negativo reduciendo el rendimiento potencial de los cultivos (Cockshull et al., 1992).

Homogeneidad de la aplicación. El encalado está caracterizado por la variabilidad del espesor según el tiempo de aplicación y viéndose afectada la uniformidad de su aplicación por el régimen de vientos, creando fuertes variaciones en las condiciones de densidad de flujo fotosintético y temperatura ambiente en el invernadero (Fernández-Rodríguez et al., 1998).

Duración de la aplicación. El encalado es lavable y por lo tanto necesita ser repuesto después de la lluvia, y en ciertas ocasiones debido a los efectos del rocío y condensación exterior. Existen por otro lado sustancias comercializadas que prolongan la duración del encalado.

Rapidez de aplicación. Las respuestas fisiológicas a unas mayores condiciones radiactivas tras el lavado de la cal como el asolanado de frutos o el Blossom-End Rot, son frecuentes de obtener en plantaciones de invernadero en las que se demoró la reposición del encalado tras la lluvia, cuando el déficit de presión de vapor es elevado durante los días posteriores, suponiendo importantes pérdidas de cosecha.

Deterioro del material de cobertura. La cubierta plástica se encuentra expuesta a la pérdida de transmisividad por la insuficiente eliminación de los restos del encalado previo, a los que se le añade la posible interacción del polvo depositado sobre la

cubierta (Montero et al., 1985; Garzoli, 1989), o de tintes y formulados químicos que actúan como “detergentes” ayudando al lavado y que de forma empírica son a veces empleados (Fernández-Rodríguez et al., 1999). Estas sustancias pueden dañar tanto las propiedades físicas de la cubierta como su comportamiento espectral.

La instalación de las mallas termorefectivas en el invernadero no es barata, pero supera algunos problemas que tiene el uso del encalado:

Flexibilidad de actuación. El sistema automático de mallas reflectantes introduce un sistema dinámico que puede usar el beneficio de condiciones climáticas exteriores favorables para el cultivo. El sistema identifica las condiciones climáticas exteriores favorables y pliega las mallas para incrementar el flujo de energía en el invernadero.

Homogeneidad de la aplicación. Las pantallas reflectantes son uniformes en espesor y en porcentaje de sombreado, y de este modo permiten obtener condiciones homogéneas de flujo de luz (Zami, 1992; Bakker y Van Holsteijn, 1995) y temperatura en el invernadero (Post y Maawinkel, 1984; Van Holsteijn, 1987).

Duración de la aplicación. Las mallas reflectantes son comúnmente instaladas en el interior del invernadero y por lo tanto no son afectadas por la lluvia, siendo su efecto más duradero, teniendo una respuesta rápida.

Aplicación inmediata. Una vez instaladas, las mallas termorefectivas pueden permanecer comercialmente durante 5-7 años (Bakker y Van Holsteijn, 1995) y son inmediatamente expandidas ante algún cambio de las condiciones climáticas exteriores.

2.3.6.4. INFLUENCIA DEL BLANQUEO EN LA RADIACIÓN SOLAR.

El blanqueo es una práctica común en los invernaderos mediterráneos. Su objetivo es disminuir la carga solar que penetra en el invernadero y, de esta forma: (i) evitar los efectos negativos de elevadas temperaturas sobre el cultivo; y/o (ii) limitar la radiación solar directa incidente sobre el cultivo; y/o (iii) modificar el microclima interior (Baille et al., 2001; Baille et al., 2006).

El blanqueo también se conoce como “encalado” debido a que principalmente se realiza a base de carbonato cálcico o cal apagada, aunque también se utilizan otros productos que presentan mayor resistencia al lavado. En zonas con baja pluviometría se prefiere el uso del “Blanco de España”, compuesto de carbonato cálcico de fácil lavado, mientras que en zonas con elevada pluviometría es necesario aplicar productos sustitutivos más persistentes. El blanqueo disminuye la cantidad de radiación solar global transmitida (Cockshull, 1992; Baille, 1997, Abreu y Meneses, 2000), principalmente su componente directa, y aumenta la proporción de radiación difusa. La

influencia que ejerce en estas dos componentes depende evidentemente de la dosis y de la uniformidad de la aplicación. En invernaderos de raspa y amagado, Fernández-Rodríguez et al. (1998 y 2000) han obtenido una disminución en la transmisión del PAR del 29%, al medio día solar, tras un encalado (30 g de producto por m⁻² de pared) en Agosto. La transmisión a la radiación global, al medio día de verano, en invernaderos tipo "parral" con las dosis que se suelen aplicar es de un 34% comparado con un 63% sin blanqueo (Morales et al., 1998).

La pérdida de radiación que produce el blanqueo reduce la tasa de transpiración (Boular et al., 1991; Baille et al., 2006) y de fotosíntesis que pueden ser o no compensadas con valores más elevados de conductancia estomática como se ha observado en condiciones de sombreado (Raveh et al.2003; González-Real y Baille, 2006). Esto explica que el problema que se plantea más a menudo con esta técnica es cuando blanquear, cuánto tiempo y con qué dosis, con el objeto de no reducir de manera drástica los flujos fisiológicos en los estratos inferiores del dosel vegetal (Gonzalez-Real y Baille, 2006).

El blanqueo puede inducir cierta heterogeneidad en la distribución espacial de la radiación cuando la aplicación del producto no es uniforme. Otro inconveniente es la labor suplementaria que requiere el lavado de la pared de cubierta. Cuando ocurre un fuerte lavado por lluvia, es necesario aplicar de nuevo el blanqueo. Además, la eliminación definitiva del blanqueo debe realizarse de forma gradual para favorecer la adaptación del cultivo a niveles crecientes de radiación (Fernández-Rodríguez et al., 2003).

2.3.7. OPTIMIZACIÓN DE LA RADIACIÓN EN INVERNADERO.

Como se ha visto, la radiación es el factor principal de la productividad por lo que es de vital importancia maximizar la proporción que alcanza al cultivo de invernadero, fundamentalmente en las épocas y/o condiciones en que es particularmente limitante, así como conseguir el mayor grado de uniformidad en su distribución sobre toda la superficie del mismo, y favorecer su llegada en la forma más aprovechable para la planta en función de su arquitectura y distribución espacial.

Para conseguir estos objetivos se puede actuar sobre una gran cantidad de elementos. El alto valor de los productos de los cultivos de invernaderos permite la manipulación de la estructura del dosel vegetal a través del espaciamiento, la orientación de las líneas de cultivo, el entutorado, la poda, el desojado, etc. Por otro lado, también se puede actuar sobre los elementos constituyentes del propio invernadero.

2.3.7.1. DISPOSICIÓN DE LAS LÍNEAS DE CULTIVO.

Las continuas labores de cultivo en el invernadero hacen necesario el ordenamiento de las plantas y el establecimiento de las mismas en líneas de cultivo que permitan un acceso fácil a todas ellas. La orientación de las líneas, el espaciado interlineal y la distancia entre plantas van a determinar la radiación que llega al cultivo. Los cultivos dispuestos en líneas orientadas este-oeste cuando se trabaja con una baja densidad de plantas; si la densidad es alta, no hay efecto diferencial (Papadopoulus y Pararajasingham, 1997). Palmer (1977, citado por Critten, 1993) cuantificó las diferencias de interceptación de radiación en función de la orientación de las líneas de cultivo en un 10% más para las líneas orientadas norte-sur frente a las orientadas este-oeste.

Resulta evidente que en la orientación este-oeste se produce un sombreado de cada línea sobre la adyacente, sobre todo para ángulos solares bajos durante la época invernal. Este efecto se acentúa al cultivar en líneas pareadas.

También se producen diferencias en el movimiento de las sombras producidas por cumbreras y canalones sobre el cultivo, lo que afectara a la uniformidad de su desarrollo. Para una misma orientación de la cumbrera del invernadero este-oeste, las franjas sombreadas afectaran siempre a las mismas líneas de cultivo si estas presentan también una orientación este-oeste, mientras que si la orientación de los surcos es norte-sur, las sombras de los elementos estructurales longitudinales afectaran a las mismas plantas dentro de cada línea, pero a todas las líneas de forma similar. Si por el contrario la orientación de la cumbrera del invernadero es norte-sur, las bandas de sombreado se irán moviendo de oeste a este cruzando todo el invernadero a lo largo del día por lo que la orientación de las líneas de cultivo será indiferente.

2.3.7.2. ESPACIAMIENTO.

Los espaciamientos grandes permiten una mejor penetración de la radiación y, por tanto, mayor interceptación y mayor eficiencia en la conservación a fotosintatos. Sin embargo, al ser la producción una función multiplicativa del peso de un fruto por el número de frutos por planta y por número de plantas por metro cuadrado, los marcos amplios se reducen, al disminuir el número de plantas por unidad de superficie. Por ejemplo, los rendimientos en cultivo de tomate aumentaron para espaciados pequeños (Papadopoulus y Pararajasingham, 1997). Estos mismos autores también concluyen que dado un tiempo suficiente para el desarrollo del área foliar, el cultivo interceptara toda la radiación disponible independientemente del espaciado inicial. Así, aunque los espaciados menores aseguran mas interceptación por unidad de superficie en la primera parte del cultivo, el crecimiento de las plantas con el tiempo hace que sombreen en

mayor medida una a otras que si el espaciado fuera mayor. En este caso, aunque inicialmente se tuviera una interceptación por superficie menor, la interceptación por planta conseguida al desarrollarse el cultivo llegaría a compensar el menor número de plantas inicial.

En los invernaderos los sistemas de cultivo utilizados y el número de labores a realizar obligan al establecimiento de pasillos y espacios no productivos donde la luz no es utilizada. Wilson y col. (1992) estimaron en un 35% las pérdidas de luz en un cultivo (radiación no interceptada en los pasillos) en invernaderos, debido a los pasillos y cabeceras, mientras que en un cultivo hortícola al aire libre con un dosel cerrado las pérdidas de radiación fueron del 20%. En la costa andaluza la interceptación de radiación por un cultivo de judía en invernadero llega al 90%.

2.3.7.3. ARQUITECTURA DEL CULTIVO.

En los cultivos hortícolas de invernadero habituales en la costa sureste andaluza (tomate, pepino, judía...) es una práctica común el entutorado, que permite que la planta intercepte más energía mediante la estratificación de los diversos pisos foliares situando los más eficientes (jóvenes) en la parte superior del dosel. Además el entutorado sirve para ordenar el cultivo y evitar que las plantas ocupen toda la superficie. La altura máxima de entutorado debe permitir realizar las labores de cultivo de forma cómoda por lo que suele establecerse entre 2 o 3 m como máximo. Con ello, se incrementa de forma efectiva la superficie potencial fotosintética (hay más hojas con luz) y, por tanto, la producción total de asimilados.

La poda de formación y atado de los ramos tiene como objeto asegurar la estructura de la planta más adecuada. Esta poda se complementa con frecuentes podas de elementos no deseados (aclareo de frutos y deshojado) para conseguir una carga de frutos idónea y un aparato fotosintético que asegure el suministro necesario de asimilados a los mismos, es decir, un balance óptimo entre los órganos cosechables y el resto de la planta (Marcelis, 1994).

2.3.7.4. ELECCIÓN DE LA ORIENTACIÓN Y GEOMETRÍA DE CUBIERTA QUE MAXIMICE LA RADIACIÓN.

Los aspectos estructurales básicos a considerar a la hora de optimizar la transmisividad de un invernadero van a ser la geometría de la cubierta y la orientación del mismo. Al ser la transmisividad función del ángulo de incidencia de la radiación solar sobre la cubierta de la estructura van a existir variaciones entre latitudes y fechas del año. Así, un invernadero de alta eficiencia en captación de radiación en invierno, no sería el ideal para el verano. Del mismo modo, una estructura para invernadero presentará valores distintos de transmisividad para distintas latitudes.

La utilización de modelos de simulación permite recrear multitud de escenarios donde comparar distintas geometrías de cubierta, con diversas orientaciones en varios momentos del año y en cualquier latitud. El modelo Tradinmed, desarrollado para simular la transmisividad de invernaderos de bajo coste, que ha sido validado en maquetas a escala y en invernaderos reales (Soriano, 2003) nos puede servir de herramienta para la elección de la geometría y orientación adecuada para nuestra latitud. En las figuras 2.5., 2.6, 2.7, se puede observar la transmisividad de diversas geometrías y orientaciones de cumbreira en 3 momentos del año. El momento más desfavorable del año, por recibirse menos radiación global es el solsticio de invierno 2.5. En el solsticio de verano 2.6. la mayor perpendicularidad de los rayos solares hace que la radiación sea menos limitante. En la figura nº 3 se dan los valores obtenidos para los equinoccios (primavera y/u otoño). Si tenemos en cuenta nuestros calendarios de cultivo (mayoritariamente entre otoño y primavera) lo lógico sería adoptar una estructura que optimice la radiación en los meses en que se centra nuestra producción, que es además, cuando ésta es más limitante.

En el solsticio de invierno (figura 2.5) la orientación este-oeste es la que alcanza una mayor transmisividad. La diferencia con la norte-sur es notable, mejorando hasta en 14 puntos porcentuales la transmisividad. En orientaciones este-oeste la transmisividad aumenta conforme lo hace el ángulo de cubierta, siendo la geometría más transmisiva la 40°-30° (S-N) con un 75% de transmisividad media. El invernadero simétrico de 30° presenta una transmisividad media muy similar, del 73%. Los valores extremos simulados muestran diferencias de hasta 20 puntos porcentuales de transmisividad (entre el caso más favorable y el más desfavorable). Aunque ambas variables son importantes (geometría y orientación), las diferencias debidas a la orientación (con incrementos de hasta 18 puntos porcentuales) son mayores que las debidas a la geometría de la cubierta (máximo de 13 puntos porcentuales).

En el solsticio de verano (figura 2.6) la variación es mucho menor tanto con la pendiente como con la orientación. La pendiente óptima se encuentra en la simulación 30-40 (S-N) con la orientación este-oeste. A excepción de este caso y de la orientación desviada 30° respecto a la dirección este-oeste, son más adecuadas las pendientes bajas, aunque las diferencias entre todas las simulaciones son escasas. Independientemente de la pendiente, la orientación óptima sigue siendo la este-oeste

En primavera y otoño (figura 2.7) la situación es intermedia con escasa influencia de la orientación para bajas pendientes. Para pendientes elevadas la orientación este-oeste aumenta la transmisividad a la radiación solar de forma importante (cerca del 12% en comparación con la norte-sur), siendo óptimas las pendientes 20-30 y 40-30 (S-N).

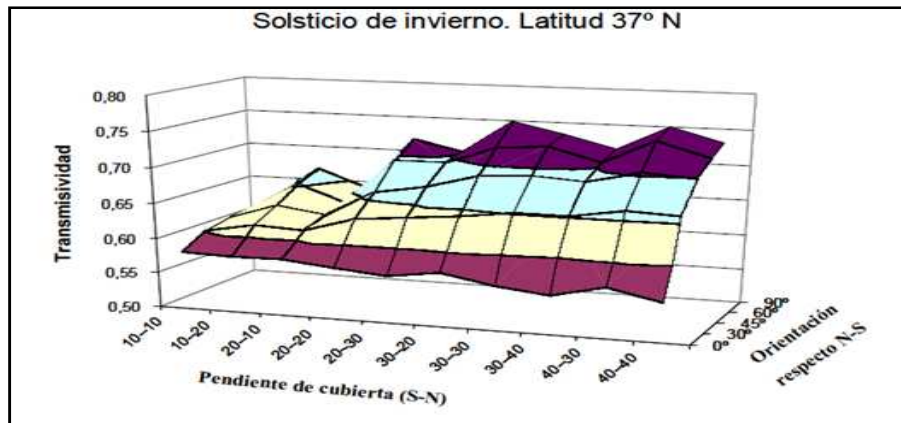


Figura 2.5. Simulación de transmisividad para el solsticio de invierno en la latitud 37°N según modelo Tradinmed.

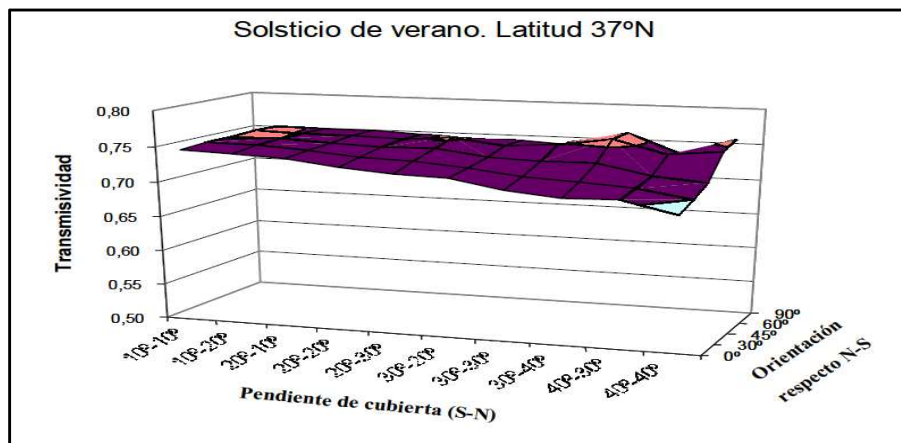


Figura 2.6. Simulación de transmisividad para el solsticio de verano en la latitud 37°N según modelo Tradinmed.

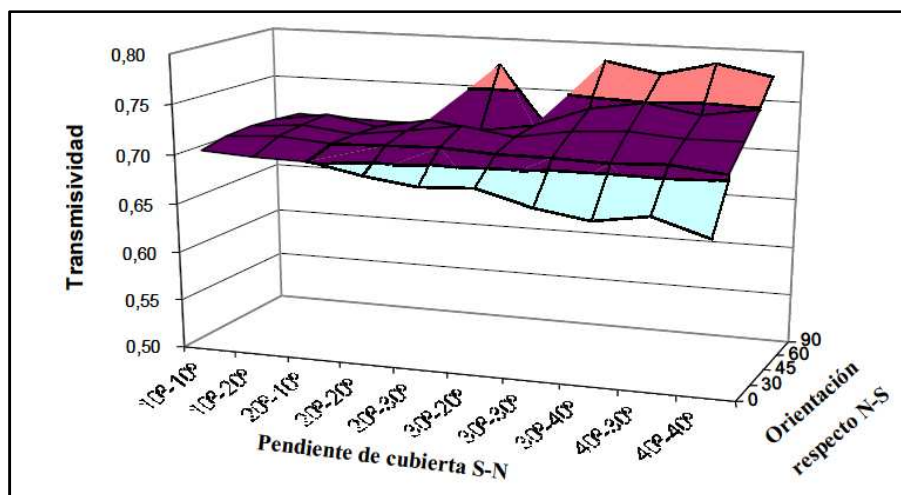


Figura 2.7. Simulación de transmisividad para los equinoccios en la latitud 37°N según modelo Tradinmed.

2.3.8. MODELOS DE TRANSMISIÓN DE LA RADIACIÓN EN INVERNADERO.

Los modelos son una herramienta útil para describir el funcionamiento de un sistema, en nuestro caso, el agrosistema invernadero. Un sistema es una parte limitada del mundo real con elementos que interactúan, y el modelo de un sistema es una representación simplificada de su funcionamiento (de Wit et al., 1970). Dentro de un sistema se distinguen las variables influyentes (controlables e incontrolables), las salidas del sistema, la estructura del sistema.

Los modelos de estimación de la radiación bajo invernadero tienen aplicaciones importantes como variable de entrada de modelos de absorción de la radiación por los cultivos (Gijzen y Goudriaan, 1989), de transpiración (Monteith, 1963; Jolliet y Bailley, 1992; Stanghellini y van Meurs, 1992; Bailley et al., 1993; Bailley et al., 1994), de fotosíntesis (Farquhar et al., 1980; Goudriaan et al., 1985; Tchamitchian y Longuenesse, 1992; Thornley et al., 1992; Gonzalez-Real y Baille, 2000; Cavazzoni et al., 2003) y de reparto de materia seca (Marcellis et al., 1998; Marcelis y Heuvelink, 2007).

Debido a la dificultad práctica que supone la medida de la radiación solar en invernaderos, se han desarrollado métodos de estimación de la transmisión, que una vez validados con datos, evitan los costes inherentes al dispositivo experimental y el tiempo invertido en el tratamiento de datos. Generalmente, el objetivo de estos modelos es estimar los efectos de la geometría, forma y orientación del invernadero sobre la transmisión de la radiación. Los modelos existentes tienen diferentes niveles de complejidad. Algunos utilizan métodos de resolución analítica o numérica (Smith y Kingham, 1971; Kozai et al., 1973; Bot, 1983; Critten, 1983a; y 1983b) o que no tienen en cuenta este proceso (Kozai, 1977; Kozai y Kimura, 1977; Kozai et al., 1978). En otros casos, se calcula la radiación interior a partir de técnicas de modelos a escala (Schulze, 1954; Papadakis et al., 1998) y herramientas de CAD (Computer Aided Design o diseño asistido por ordenador) (Bienvenido et al., 1997). Más recientemente Vougioukas y Sapounas (2005) han desarrollado un modelo de transferencia de radiación en invernadero basado en técnicas de radiosidad.

En muchos modelos se considera constante el coeficiente de transmisión para la radiación difusa (Smith y Kingham, 1971), independientemente de la orientación del invernadero (van de Kieboom y Stoffers, 1985a; 1985b). Sin embargo, Stoffers (1967 y 1971) a partir de simulaciones de la reflexión de la radiación directa por las paredes de invernaderos multimodulares, concluye que la transmisión de esta componente aumenta con la pendiente, con una transmisión superior en los invernaderos orientados E-0 respecto a los N-S. La hipótesis de una transmisión difusa constante, o variable pero con un ratio directo/difuso igual al ratio exterior, no es válida para materiales de plástico difusores que transforman parte de la radiación directa en difusa (Pollet et al., 2005). El

interés por caracterizar el poder difusor de un material de cubierta no es nuevo (Bonhomme, 1969; Bowman 1970; Deltour y Nisen, 1970; a nuestro conocimiento modelos de transmisión en invernaderos que tengan en cuenta los cambios que induce un plástico difusor en el reparto directo/difuso. Además, existe poca información acerca de la cantidad de radiación difusa que se recibe en invernadero y de su importancia relativa respecto a la radiación directa (Baille y Tchamitchian, 1993; Baille et al., 2003; Cabrera et al., 2009). En un invernadero tipo túnel ubicado en Brasil (latitud 22,5°S), con cubierta de polietileno difusora en periodos nublados del 52% mientras que en periodos despejados fue del 113%, debido a la conversión del directo en difuso al atravesar el filme (Ricieri, 1995, Ricieri y Escobedo, 1996^a, Ricieri y Escobedo, 1996b).

La influencia que ejercen en la radiación difusa interior superficies reflectoras ha sido tratada (Thomas, 1978; Critten, 1985; Pucar, 2002; Gupta y Tiwari, 2005). Thomas (1978), utilizando este tipo de superficies en el lado norte del invernadero (en el hemisferio norte) obtuvo una transmisión máxima del 160% con cielo despejado y del 123% con cielo cubierto, lo que demuestra su impacto en la transmisión. El modelo desarrollado por Critten (1983a; 1983b;1983c) para invernaderos de vidrio, con diferente orientación, pendiente de cubierta y altura de las bandas, tiene en cuenta la polarización y reflexión de la radiación por las paredes basándose en la ley de Fresnel.

También se ha prestado atención a la simulación del efecto de sombreado que provocan los elementos estructurales (Bot, 1983; Critten, 1987b; Kurata et al., 1991) y otros obstáculos (tuberías de calefacción, Nilsson, 1988). La simulación de este efecto varía con el tipo de modelo. En muchos, se considera que representan un porcentaje fijo de la superficie de la pared y en otros se simula la interacción entre la posición de los rayos y la geometría de los elementos estructurales (ej.: considerados como cilindros por Critten (1983a;1983b;1983c) y como trapecios por Bot (1983)). Amsen (1985), propone un método interesante de proyección de obstáculos en la base de un hemisferio para simular el efecto de sombreado de elementos estructurales sobre la vegetación en condiciones de radiación difusa. Kurata (1990) puso de manifiesto la importancia que tiene, en condiciones de radiación difusa, la interceptación y absorción de la radiación por parte de la estructura.

Sin embargo, son pocos los modelos que tienen en cuenta la distribución espacial de la radiación (Kurata et al., 1991; Wang y Boulard, 2000; Gonzalez-Real et al., 2003; Vougioukas y Sapounas, 2004) y aun menos los que han sido validados (Wang y Boulard, 2000; Gonzalez-Real et al., 2003). Este aspecto es de especial relevancia en el diseño de invernaderos, dado que la homogeneidad de la distribución de la radiación determina la homogeneidad de la cosecha (Adams et al., 2000). Además, las simulaciones que dan un valor integrado de la radiación para todo el invernadero no son de fácil validación a partir de una sola medida (Heuvelink et al., 1995), a no ser que

se disponga de un conjunto de sensores distribuido por todo el invernadero. Tampoco se dispone de muchos modelos de estimación de la radiación solar en invernaderos equipados con pantallas de sombre (Miguel et al., 1994). En general, el coeficiente de transmisión de la pantalla es un dato de entrada del modelo, a partir del cual se considera un porcentaje fijo de reducción de la transmisión del invernadero sin pantalla.

Entre los métodos utilizados para estimar la radiación en invernadero cabe resaltar el de la proyección de paredes en función de la altura y acimut solar (Takakura et al., 1971), que se ha aplicado en invernaderos mono y multimodulares (Baille et al., 1990) y en invernaderos tipo túnel (Wang y Boulard, 2000) con diferente orientación, geometría y pendiente de las paredes. En el modelo de Bialle et al. (1990), la radiación que recibe de cada pared una fracción de la superficie horizontal de referencia se determina calculando la transmisión de la pared y proyectándola sobre la superficie.

También se han validado otros modelos de transmisión para las condiciones de Almería, basados en el modelo de Bot (1983) que tienen en cuenta solamente la radiación directa (Soriano, 2002), y modelos basados en el modelo de Baille et al. (1990) que utilizan herramientas de CAD (Computer Aided Design o diseño asistido por ordenador) para calcular la proyección de las sombras de los elementos estructurales (Bienvenido et al., 1997).

Finalmente, se han validado para la zona de Almería modelos de estimación de la radiación solar exterior que pueden utilizarse como entrada de modelo de transmisión. Cabe mencionar, entre otros, el modelo de radiación difusa exterior de Batlles (1995) y los modelos de radiación directa exterior desarrollados por Lopez et al. (1999); Batlles et al., (2000) y Rubio (2002). Los modelos propuestos por Alados et al. (1996) y Alados y Alados-Arboleas (1999^a y 1999^b) permiten estimar las componentes directa y difusa de la radiación PAR.

2.3.9. INTEGRACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES EN LA AGRICULTURA.

El escenario de los cultivos protegidos está experimentando unos cambios que no se podían imaginar hace unos pocos años. Aparte del uso de nuevas tecnologías cada vez más sofisticadas, la globalización de los mercados y la producción ha generado una fuerte competencia que se ha agravado debido a la crisis económica. Para seguir siendo competitivos en esta nueva situación, el productor debe ser capaz de reaccionar con rapidez tanto en aspectos cuantitativos como cualitativos respecto a las necesidades del mercado. Para ello, la empresa debe ser flexible y versátil; sin embargo la naturaleza biológica de las materias primas y la naturaleza del propio proceso productivo hacen que sea difícil alcanzar este objetivo. (Tognoni et al., 1998).

El cultivo de frutas y hortalizas en invernadero es el más productivo y rentable de los sistemas de cultivo debido al uso intensivo de la tierra, el agua y los recursos energéticos. Sin embargo en zonas de alta concentración de invernaderos, como ocurre en la provincia de Almería el impacto ambiental que se produce hace necesario el empleo de medidas que garanticen a sostenibilidad de la actividad.

El uso de la energía solar fotovoltaica es una buena solución para el sector agrícola donde el suministro de electricidad por medios convencionales no es posible debido a la distancia a las redes de distribución o a la orografía, siendo para el propio autoconsumo.

Sin embargo, la situación que se nos presente habitualmente en la provincia de Almería es distinta. En esta se parte de una situación altamente tecnificada donde la demanda de energía eléctrica está satisfecha por la red ya existente por lo que el objetivo pasa a ser reducir el consumo global de electricidad y la inyección a la red, si esto es posible, de la electricidad proveniente de los módulos solares (Salas y Olías, 2009). Por lo tanto, no se necesita almacenamiento de energía para los periodos nocturnos o nublados por su acceso a la red eléctrica a la vez que este mismo acceso a la red permite verter energía producida cuando la producción sea mayor que el propio consumo. Por lo tanto se puede considerar al invernadero como una planta de generación de energía aprovechando de esta forma las primas para la producción de energías renovables, si estas se mantienen.

Las cubiertas de los invernaderos se presentan como idóneas para la instalación de módulos solares flexibles. Estos módulos fotovoltaicos presentan entre sus ventajas precisamente su flexibilidad, permitiéndolos integrarlos en cubiertas con curvatura, y la de su reducido peso, lo que la hace posible situarlos en la cubierta de invernaderos tipo Almería, además de ser cada vez más rentables en términos de coste/productividad, aun trabajando en situaciones de suciedad o de partículas suspendidas en el aire. La provincia de Almería es una de las áreas europeas con mayor nivel de radiación solar por superficie y año lo que unido a la gran superficie de invernaderos existente, la hace potencialmente idónea para la integración de la tecnología fotovoltaica sobre las cubiertas, con capacidad para producir autoconsumo y verter a la red energía eléctrica.

Por el contrario es posible que el montaje de elementos opacos en la cubierta de invernaderos pueda ocasionar pérdidas en la producción del cultivo o alteraciones en las propiedades de la fruta ya que parte de la radiación PAR (radiación fotosintéticamente activa, photosynthetically active radiation) queda bloqueada debido al efecto de sombreado sobre las plantas)

En la agricultura al aire libre no es posible modificar el régimen lumínico recibido por el cultivo. Sin embargo, en cultivo protegido la radiación es un parámetro

que se puede modificar. Las condiciones climáticas locales son determinantes del microclima generado dentro de un invernadero y de su manejo futuro, por lo que su conocimiento previo es necesario al construir el invernadero. El clima de un lugar está condicionado por los intercambios radiactivos entre el sol y la tierra. Los elementos más importantes del clima para los invernaderos son la radiación solar, las temperaturas, la humedad, el viento y las precipitaciones (Castilla, 2005).

3. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. DISEÑO EXPERIMENTAL.

Se ha diseñado un procedimiento experimental en un invernadero tipo “raspa y amagado” (ver epígrafe 3.1.1.) de 1024 m² situado en la Finca Experimental UAL-ANECOOP de la Universidad de Almería (36°52’ N, 2°17’ W, 98 m MSL). En las figuras 3.1., 3.2. y 3.3. se muestra la situación, una panorámica y un plano de la situación del invernadero donde se ha realizado el estudio.



Figura 3.1. Situación de la finca experimental “Fundación UAL-ANECOOP”. EP.



Figura 3.2. Panorámica general de la finca experimental “Fundación UAL-ANECOOP”. EP.



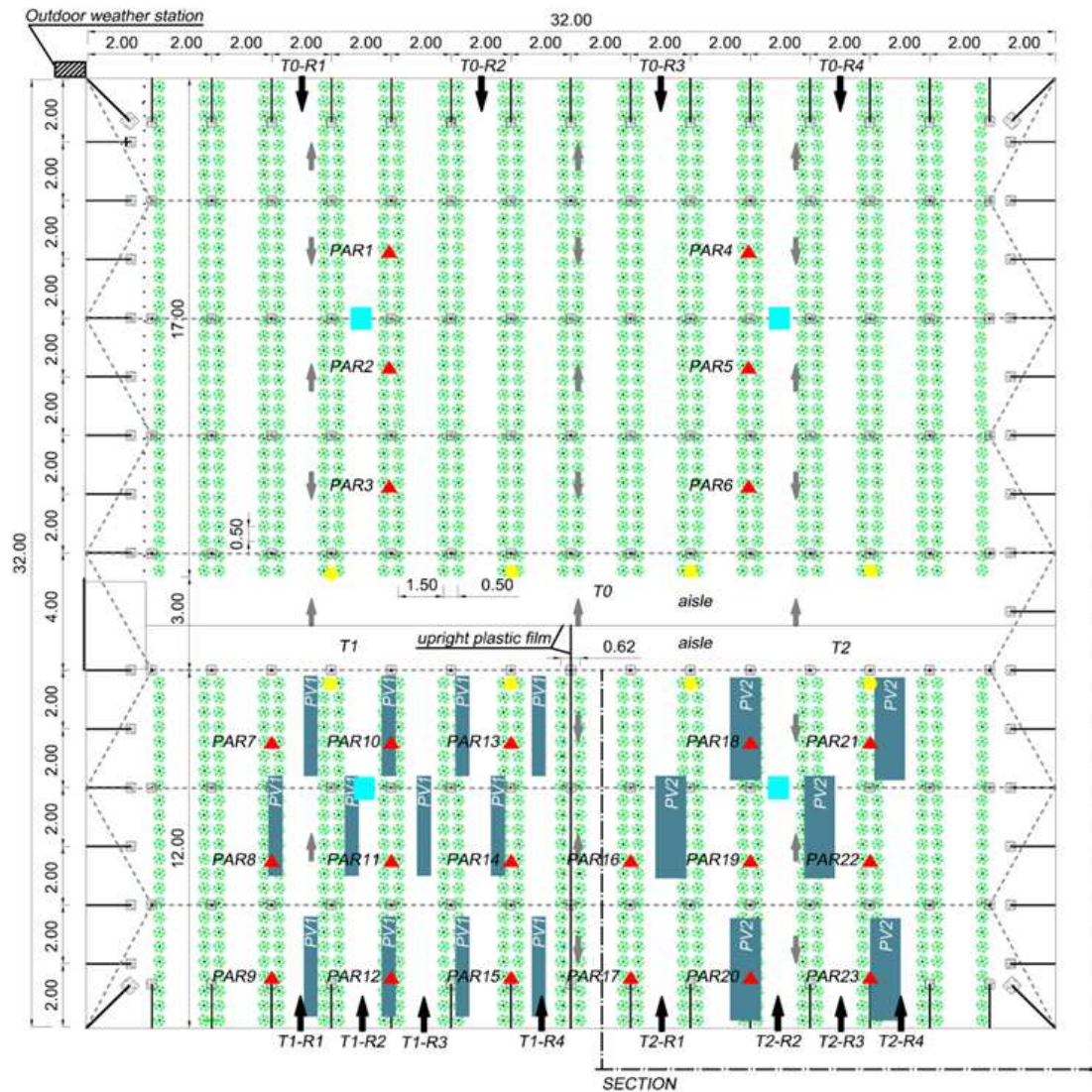
Figura 3.3. Plano de la finca experimental "Fundación UAL-ANECOOP". EP.

Durante la campaña agrícola 2010-11 en el invernadero se cultivó tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Daniela de septiembre a junio, con un marco de plantación de 1,5 x 0,5 m, con el objetivo de analizar si se producían diferencias significativas en parámetros de producción y de calidad, así como de la distribución espacial de la radiación PAR debido al sombreado selectivo exterior inducido por la instalación en la cubierta del invernadero de paneles fotovoltaicos, dispuestos en dos formas geométricas distintas (Figura 3.4). Sin embargo, de acuerdo al objetivo general del presente proyecto, nos centraremos en este proyecto exclusivamente a analizar la distribución en el invernadero de la radiación PAR.

El diseño experimental ha sido de bloques al azar con tres tratamientos (T0, T1 y T2) y cuatro repeticiones. En cuanto a los tratamientos se han estudiado dos tipos de sombreado, T1 y T2, con una superficie de 192 m² en cada tratamiento, mientras que el testigo T0, ha ocupando el resto del invernadero (Figura 3.4).

Para alcanzar el objetivo planteado, se registraron datos medioambientales: Radiación, temperatura, humedad relativa, velocidad del viento y radiación PAR en el exterior del invernadero mediante una estación meteorológica, y en el interior del invernadero, temperatura y humedad relativa, para los distintos tratamientos. La temperatura y humedad relativa en el interior se han registrado mediante 4 psicómetros provistos con sensor de Humedad relativa y Temperatura Nutricontrol (Nutricontrol

S.L., Cartagena, Murcia, España), que se colocaron protegidos de la luz solar directa, ventilado y situado a una altura de 1,85 m sobre el suelo.



T0-R1	treatment T0 replicate R1
T0-R2	treatment T0 replicate R2
T0-R3	treatment T0 replicate R3
T0-R4	treatment T0 replicate R4
T1-R1	treatment T1 replicate R1
T1-R2	treatment T1 replicate R2
T1-R3	treatment T1 replicate R3
T1-R4	treatment T1 replicate R4
T2-R1	treatment T2 replicate R1
T2-R2	treatment T2 replicate R2
T2-R3	treatment T2 replicate R3
T2-R4	treatment T2 replicate R4

Figura 3.4. Distribución en planta del invernadero, con ubicación de sensores medioambientales, paneles fotovoltaicos y líneas de cultivo.

3.1.1. INVERNADERO EXPERIMENTAL.

Como ya se ha indicado, el invernadero experimental de tipo “raspa y amagado” de 1024 m² se ha ubicado en la Finca Experimental UAL-ANECOOP de la Universidad de Almería (36°52’ N, 2°17’ W, 98 m MSL). En la Figura 3.4. se muestra la distribución en planta del invernadero con la ubicación de los paneles solares en ambas distribuciones al tresbolillo de los tratamientos T1 y T2, así como la ubicación de cada una de las sondas PAR y los 4 psicómetros y de la estación climática exterior en la esquina noroeste del invernadero.

El material de cubierta del invernadero fue polietileno termoaislante de 200 micras de espesor y como se puede observar en las Figuras 3.5. y 3.6. el invernadero dispone de ventilación mediante ventanas laterales extensibles automáticas, ventilación cenital abatible (automáticas), con una superficie de ventilación 12,50 %. Todas las superficies de ventilación están provistas de mallas antiinsectos.



Figura 3.5. Fotografía del invernadero donde se muestra la ventilación lateral automática en la zona sur.



Figura 3.6. Fotografía del invernadero donde se muestra la ventilación cenital automática.

El invernadero experimental dispone de un sistema de riego por goteo para el fertiriego del cultivo y un suelo de tipo enarenado como se puede observar en la Figura 3.7. En ella se pueden observar los ramales portagoteros de una línea de cultivo.



Figura 3.7. Fotografía donde se muestra el enarenado y la plantación de tomate en el invernadero.

3.1.2. INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA EXPERIMENTAL.

En la cubierta del invernadero correspondiente a los tratamientos T1 y T2 se han colocado 12 módulos fotovoltaicos flexibles modelo FUJI FPV 1092, con una superficie por módulo de $1,54 \text{ m}^2$, lo que supone $18,48 \text{ m}^2$ en cada tratamiento, con un total de $36,96 \text{ m}^2$. La disposición de los módulos en la cubierta es diferente para T1 y T2, como se muestra en la Figura 3.4. Ambos tratamientos presentan un factor de superficie de sombreado de $9,8 \%$.

La zona T0 del invernadero se corresponde con 500 m^2 del mismo que se utilizan como testigo, en la que no se instala ningún módulo fotovoltaico, y las zonas T1 y T2 de 192 m^2 cada una, se corresponden con 2 tratamientos del ensayo, en el que se han dispuesto los paneles fotovoltaicos al tresbolillo. En la sección T1 se han instalado 12 módulos FUJI FPV 1092 (Fuji Electric Systems Co., Ltd., Japón) de silicio amorfo de capa delgada de $3,339 \times 0,460 \text{ m}^2$, y una potencia máxima de 96 W en una distribución espacial al tresbolillo y en T2 se han instalado 12 módulos idénticos, pero en este caso apareados para constituir también una distribución dispersa al tres bolillo de 6 unidades. Dichos módulos se han instalado sobre una malla de alambre dispuesta sobre la cubierta del invernadero para fijar los módulos de forma independiente de la malla de cubierta del invernadero (Figura 3.8). El objetivo en este caso es contar con dos niveles distintos de uniformidad de sombreado provocados por la instalación de los módulos junto a una zona patrón sin bloqueos en cubierta. Los módulos se conectaron en paralelo al inversor SB2500 (SMA Solar Technology AG, Alemania), y en la Tabla 3.1. se muestran las características de la instalación fotovoltaica.

Módulos PV		Inversor	
Nombre	FUJI TPV 1096	Nombre	SMA SB 2500
Tipo	a-Si Thin film	Potencia (máx) AC	2300 W
Tensión en circuito abierto	429 V	Tensión AC	220-240 VAC
Intensidad de cortocircuito	0.390 A	Frecuencia	50-60 Hz
Tensión nominal*	319 V	Sistema	
Intensidad nominal	0,288 A	Módulos	24
Potencia nominal	92 W	Conexión	20p
Superficie	1,56 m ²	Potencia nominal PV	1840 W
Peso	1,4 kg		

Tabla 3.1. Características de la instalación fotovoltaica.

En las Fotografías de la Figura 3.8. se puede observar parte de la instalación de los paneles fotovoltaicos sobre la cubierta lateral de la zona sur del invernadero en zona de ensayo T1.



Figura 3.8. Fotografías que muestran el sistema de instalación de los paneles fotovoltaicos sobre la cubierta.

Para evaluar la producción energética captada con los paneles instalados se dispuso un acumulador-batería dotado de contador e inversor a corriente alterna. Así mismo, se ha instalado una red de cableado con protección antihumedad para la interconexión de los paneles a la red que transporta la energía a los elementos de registro.

En la Fotografía de la Figura 3.9.A se puede observar la caseta emplazada en el exterior del invernadero donde se ha instalado un ordenador para registrar todos los parámetros climáticos, tanto de la estación climática como de los psicómetros y piranómetros instalados en el interior del invernadero; así mismo, se puede observar en color azul en la parte inferior derecha, y detrás al ordenador, la unidad Sunny Boy Control+, que registra (mediante monitorización continua) la producción eléctrica recibida de los paneles fotovoltaicos. En la Figura 3.9.B se observa sobre una pequeña caseta donde se emplazan los elementos de corte de la instalación, el inversor SB2500 (SMA Solar Technology AG, Alemania).de color azul.

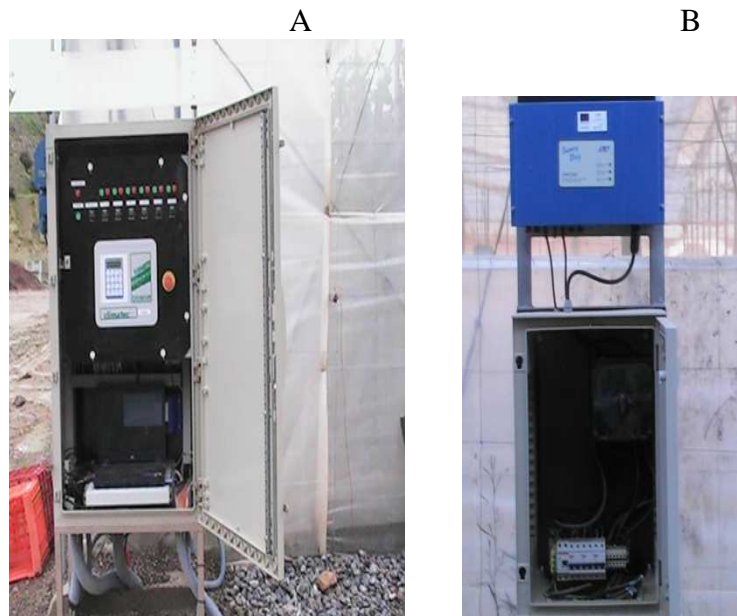


Figura 3.9. Fotografías de las casetas exteriores donde se emplazan equipos de medida y protección de la instalación fotovoltaica.

3.1.3. EQUIPAMIENTO DE MEDIDA DE PARAMETROS MEDIOAMBIENTALES.

En la esquina noroeste del invernadero se instaló en el exterior del invernadero una estación climatológica que permite medir los parámetros ambientales de temperatura, humedad relativa, velocidad, radiación solar y radiación PAR, registrándose dichos datos en el ordenador instalado en la caseta exterior indicada en el epígrafe anterior (Figura 3.9 A). En la Figura 3.10. se muestra una fotografía de la estación climática.



Figura 3.10. Fotografía en la que se observa la estación climática.

Asimismo, también se instalaron en el interior del invernadero, estaciones medidoras en cajas ventiladas y sombreadas (psicómetros), con sondas de temperatura y humedad relativa en la zona testigo y en la zona de ensayo. Se puede observar la posición de los psicómetros en el interior del invernadero en el plano de la Figura 3.4. En la Fotografía de la Figura 3.11. se puede observar la caja con las sondas de temperatura y humedad instalada en la zona testigo T0.



Figura 3.11. Fotografía en la que se observa un psicómetro instalado en la zona testigo.

Finalmente, para registro de la radiación PAR en el interior del invernadero, se instaló un equipo de piranómetros junto con sus correspondientes elementos de instalación, tanto en la zona testigo T0 (6 sensores) como la de ensayo T1 (9 sensores) y T2 (8 sensores) que permiten evaluar la energía solar que llega a una superficie horizontal, incluyendo la radiación directa y la difusa, y en concreto permiten evaluar la radiación PAR entre 400 y 700 nm. La posición de cada uno de estos sensores de radiación PAR se pueden observar en el plano de la Figura 3.4. En la Figura 3.12. se

puede observar en la zona T1 un piranómetro instalado sobre un soporte de un perfil cuadrado hueco. Asimismo, se instaló otro sensor de radiación PAR en la estación climática exterior emplazada en la esquina Noroeste del invernadero como ya se ha indicado anteriormente.



Figura 3.12. Fotografía en la que se observa un piranómetro de radiación PAR.

Las características de los sensores de la estación climática, de los psicómetros y de los piranómetros PAR se muestran en la Tabla 3.2.

	Parámetros	Características sondas
Estación climática	T (°C) HR (%)	Bulbo model temperature/relative humidity probe, resolution 0,1 °C, error of ±0,3 °C for temperature and ±2 % for relative humidity over a 0-100 % range (Nutricontrol S.L., Cartagena, Murcia, Spain)
	SR (W·m ⁻²)	Fotodiodo linear radiation sensors, with a range 0-2000 W m ⁻² and error of 2 % (Nutricontrol S.L., Cartagena, Murcia, Spain)
	PAR (μmol m ⁻² s ⁻¹)	Pyranometers LI-190SA (LI-COR Corporate, LINCOLN, NEBRASKA, USA).
	U (m·s ⁻¹)	Wind velocity probe, measurement field: velocity 0÷ 50 m s ⁻¹ , resolution 0.1 m·s ⁻¹ , working temperature -25÷ 70°C (Nutricontrol S.L., Cartagena, Murcia, Spain)
Interior del invernadero	T (°C) HR (%)	Psychrometers, temperature -5÷ 55 °C range, resolution 0,1 °C, error ±0,3 °C, relative humidity, 0-100 % range, error ±2 % (Nutricontrol S.L., Cartagena, Murcia, Spain)
	PAR (μmol m ⁻² s ⁻¹)	Pyranometers LI-190SA (LI-COR Corporate, LINCOLN, NEBRASKA, USA).

Tabla 3.2. Características de las sondas instaladas en la estación climática y en el interior del invernadero.

3.2. DATOS EXPERIMENTALES

Para el periodo de octubre de 2010 a junio de 2011, se registraron para todos los días de cada mes, cada 5 minutos, el valor de cada uno de los parámetros experimentales indicados en el epígrafe anterior, en el ordenador instalado en la caseta exterior ubicada en el noroeste del invernadero.

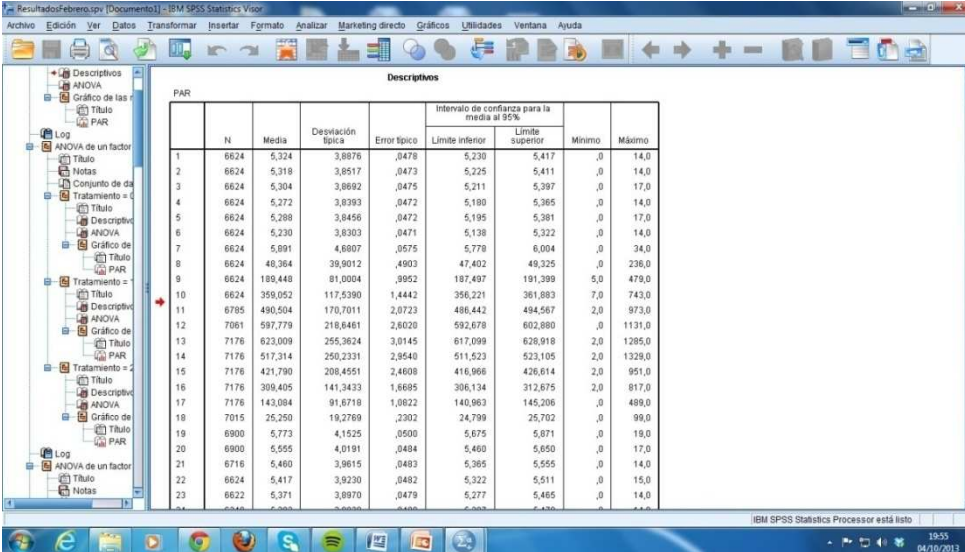
En concreto los parámetros registrados con sus unidades de medida fueron:

Interior del invernadero: T (°C), temperatura, HR (%), Humedad relativa, PAR ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) Radiación fotosintéticamente activa.

Exterior del invernadero (estación climática): T (°C), temperatura, HR (%), Humedad relativa, SR (W m^{-2}), radiación solar, PAR ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) Radiación fotosintéticamente activa y U (m s^{-1}), velocidad del viento.

3.3. ANÁLISIS DE DATOS

Primero, a los datos experimentales correspondientes a los sensores de la estación climática, así como de los psicómetros del interior del invernadero se les ha calculado las medias mensuales para cada hora del día y se han representado en forma de gráficas, para conocer la distribución horaria a lo largo del día de cada parámetro. Posteriormente, se ha determinado si existen diferencias significativas de las medias para la radiación PAR para cada uno de los tres tratamientos y para cada mes, mediante análisis de la varianza simple ($p < 0,05$) utilizando como Test de rango múltiple el de Bonferroni.



	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%			
					Límite inferior	Límite superior	Mínimo	Máximo
1	6624	5,324	3,8876	,0478	5,230	5,417	,0	14,0
2	6624	5,319	3,8517	,0473	5,225	5,411	,0	14,0
3	6624	5,304	3,8692	,0475	5,211	5,397	,0	17,0
4	6624	5,272	3,8393	,0472	5,180	5,365	,0	14,0
5	6624	5,288	3,8456	,0472	5,195	5,381	,0	17,0
6	6624	5,230	3,8303	,0471	5,138	5,322	,0	14,0
7	6624	5,991	4,6807	,0575	5,779	6,004	,0	34,0
8	6624	40,384	39,9012	,4903	47,402	49,325	,0	236,0
9	6624	180,448	81,0004	,9952	187,407	191,399	5,0	479,0
10	6624	350,052	117,5390	1,4442	356,221	361,893	7,0	743,0
11	6785	480,504	170,7011	2,0723	486,442	494,567	2,0	973,0
12	7081	597,779	218,6461	2,6020	592,678	602,890	,0	1131,0
13	7176	623,009	255,3624	3,0145	617,099	628,919	2,0	1285,0
14	7176	517,314	250,2331	2,9540	511,523	523,105	2,0	1329,0
15	7176	421,790	208,4551	2,4608	416,966	426,614	2,0	951,0
16	7176	309,405	141,3433	1,6685	306,134	312,675	2,0	817,0
17	7176	143,094	91,6718	1,0822	140,963	145,206	,0	489,0
18	7015	25,250	10,2769	,2302	24,799	25,702	,0	99,0
19	6900	5,773	4,1525	,0500	5,675	5,871	,0	19,0
20	6900	5,555	4,0191	,0484	5,460	5,650	,0	17,0
21	6716	5,460	3,9615	,0483	5,365	5,555	,0	14,0
22	6624	5,417	3,9230	,0482	5,322	5,511	,0	15,0
23	6622	5,371	3,8970	,0479	5,277	5,465	,0	14,0

Figura 3.13. Tabla para el cálculo de las medias mensuales para cada hora del día.

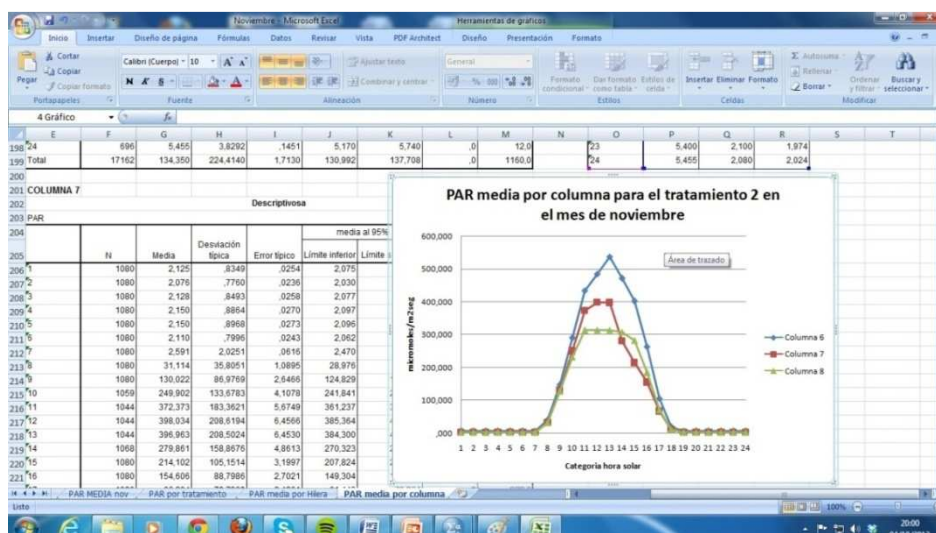


Figura 3.14. Procedimiento para el cálculo y representación gráfica de las medias mensuales por hora para cada día.

En la Tabla 3.3. se muestra cuales son las sondas que se emplazan en cada uno de los tres tratamientos (ver Figura 3.4). De igual forma, y para conocer como se distribuye a lo largo y ancho del invernadero la radiación PAR, se ha determinado si existen diferencias significativas de las medias para la radiación PAR para cada una de las columnas de sensores o hileras de sensores PAR descritas en la tabla 3.3. Con ello se pretende observar como varía la radiación PAR de Oeste a Este y de Norte a Sur en el invernadero, así como conocer cuáles de las sondas que presentan mayor PAR, si las dispuestas bajo faldón orientado al Sur o al Norte, para cada tratamiento.

Tratamiento	Orien	Sondas	O. Hilera	O.Tratamiento	O. Faldón	Sondas	Columna
T0	Sur	1-4	1	1	1	1,2,3	1
		3-6	3			4,5,6	2
T1	Norte	2-5	2	2	2		
		7-10-13	4			3	1
T2	Sur	9-12-15	6	5	1	10,11,12	4
		8-11-14	5			4	2
T2	Norte	18-21	7	6	2	16,17	6
		17-20-23	9			18,19,20	7
		16-19-22	8			21,22,23	8

Tabla 3.3. Distribución y orientación de las sondas, hileras, tratamientos, faldón y columnas para cada tratamiento.

Finalmente, indicar que todos los datos experimentales previamente fueron validados mediante los estudios de normalidad y homocedasticidad. Todos los tratamientos estadísticos se han realizado con el programa SPSS statistics versión 19.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE LAS VARIABLES AMBIENTALES.

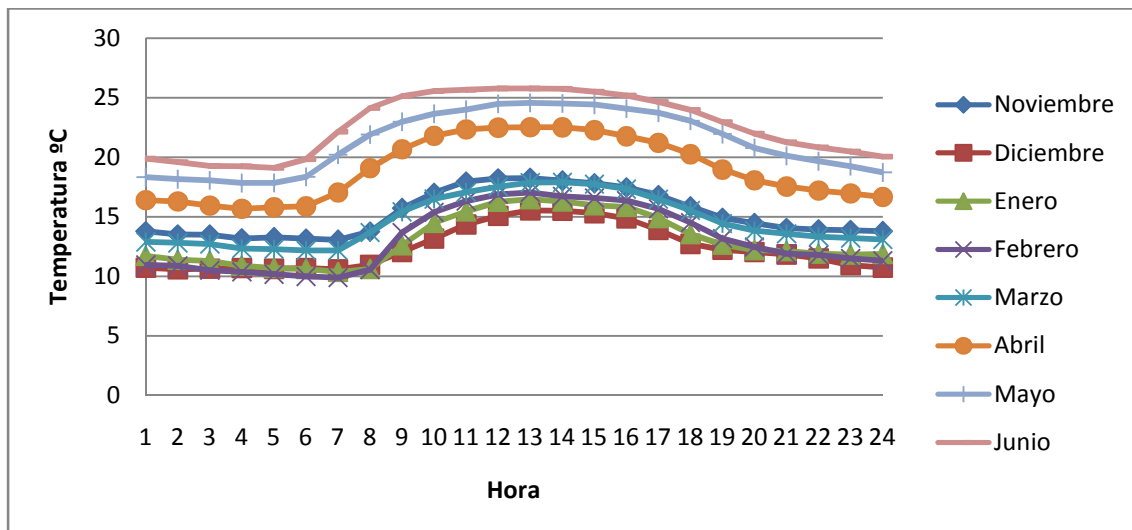
4.1.1. ESTACIÓN CLIMÁTICA EXTERIOR.

En el siguiente apartado se muestran las medias mensuales de los parámetros climáticos medidos en la estación climática exterior: Temperatura, humedad, radiación solar, radiación PAR y velocidad del viento.

4.1.1.1. TEMPERATURA.

En el siguiente gráfico se muestran las medias mensuales de la temperatura exterior a lo largo del día por hora oficial, donde se puede observar como el mes más frío ha sido diciembre, mientras que el mes más cálido ha sido Junio. También se puede observar un incremento de las temperaturas más regular en los meses de primavera (abril, mayo y junio) que durante los meses de otoño e invierno donde las temperaturas han sido más regulares en dichos meses.

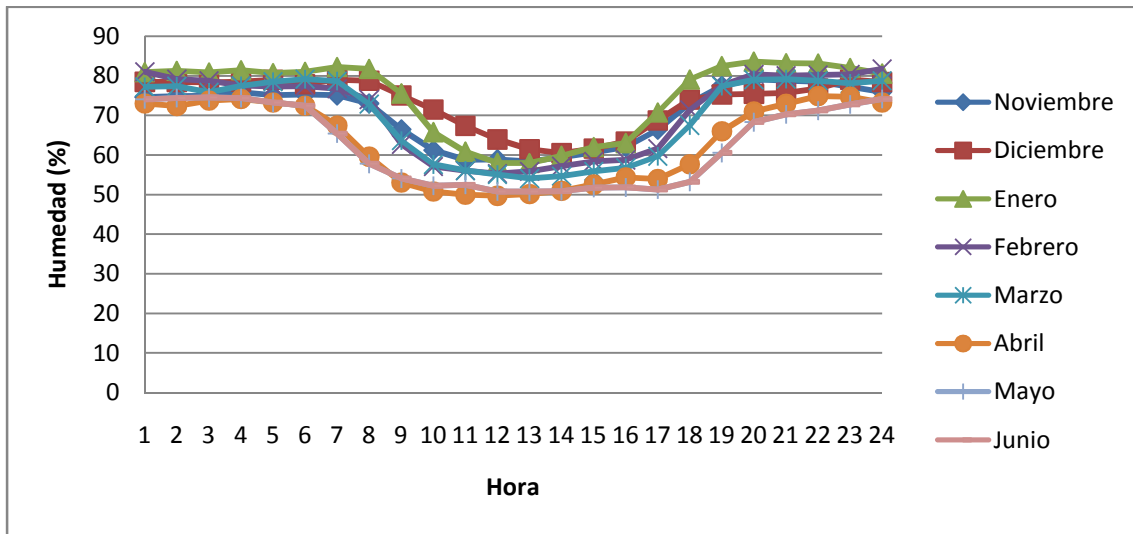
Gráfica 4.1. Valores de la media mensual de la temperatura a lo largo del día por cada mes.



4.1.1.2. HUMEDAD.

En el siguiente gráfico se muestran los valores de humedad registrados durante los meses de noviembre a junio a lo largo del día por hora oficial. Como se puede observar los valores registrados más elevados están entre el 80% y el 85% aproximadamente, mientras que los mínimos están en torno al 50%.

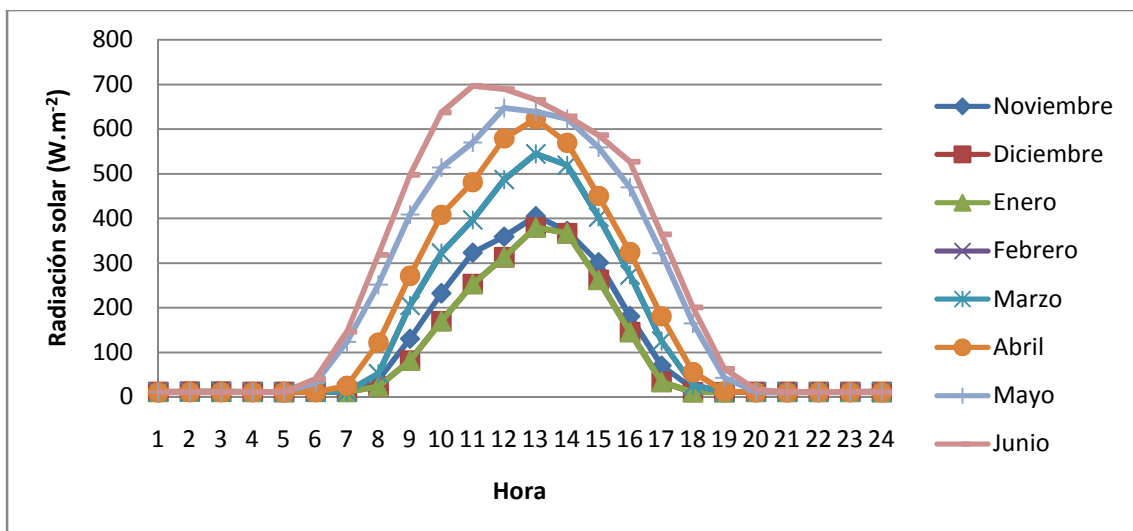
Gráfica 4.2. Valores de la media mensual de la humedad a lo largo del día por cada mes.



4.1.1.3. RADIACIÓN SOLAR.

En el gráfico 4.3. se muestran los valores de la radiación solar en cada uno de los meses estudiados. Como se puede apreciar la distribución de la radiación solar de todos los meses ha sido muy similar, alcanzando valores de 0 durante la noche, y alcanzando los valores más altos de radiación durante el medio día, sin embargo, se puede observar como en los meses de abril, mayo y junio (meses de primavera), los valores máximos de radiación se han ido alcanzando a horas más tempranas de la mañana y manteniéndose más constantes en las siguientes horas, mientras que durante los meses de invierno la distribución ha sido muy similar, observándose pocas diferencias entre ellos. Este hecho provocara cambios en la distribución de la radiación en las diferentes hileras y columnas.

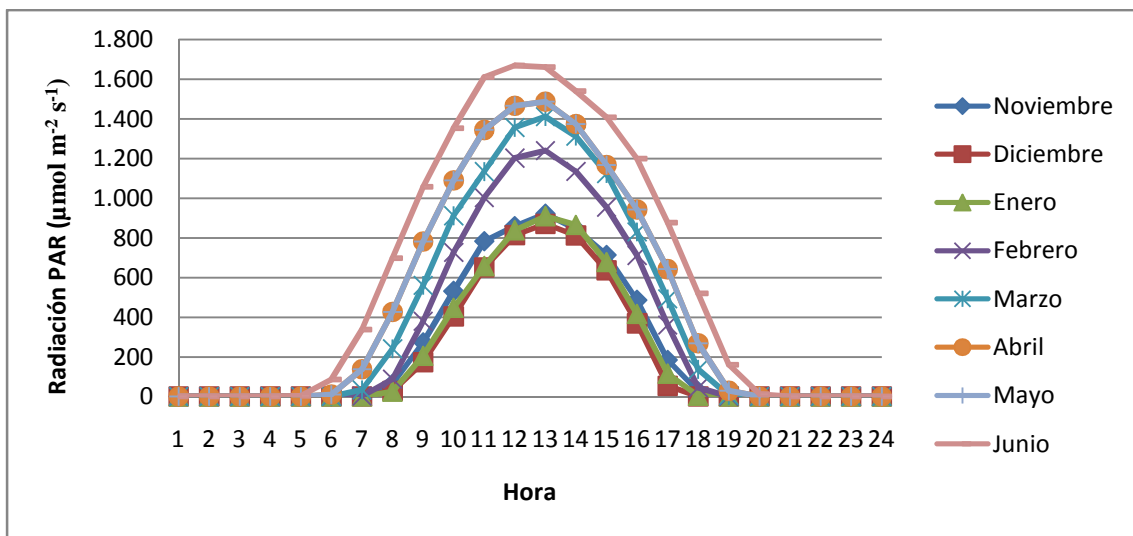
Gráfica 4.3. Valores de la media mensual de la radiación solar a lo largo del día por cada mes.



4.1.1.4. RADIACIÓN PAR.

Para la medida de la radiación PAR, se ha colocado una sonda exterior, sonda PAR 24 (véase apartado 3 referente a la metodología), a partir de la cual se ha obtenido la media de la radiación PAR exterior. Se puede volver a apreciar como el mes en el cual la radiación PAR ha alcanzado valores más altos ha sido durante el mes de junio, mientras que el mes de diciembre ha alcanzado los valores más bajos.

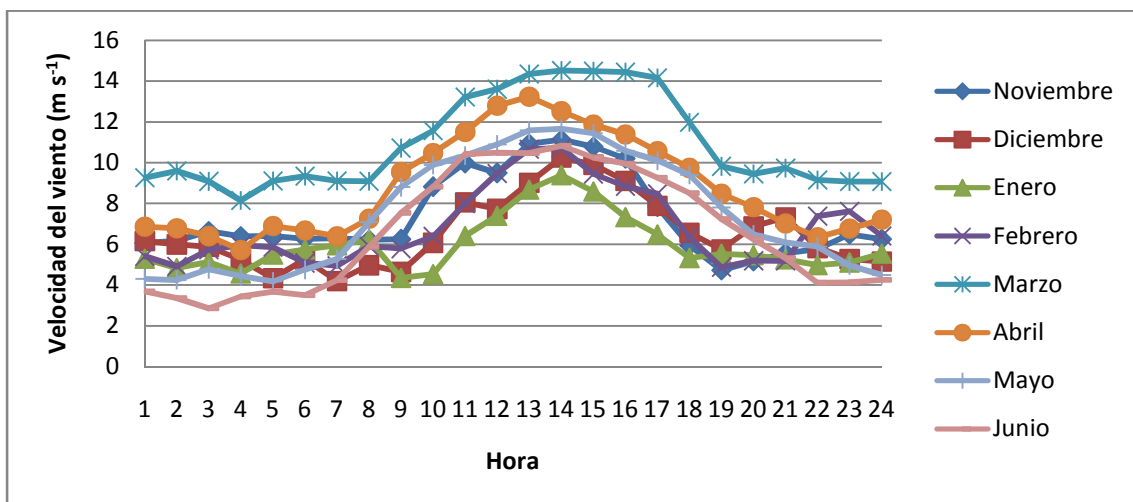
Gráfica 4.4. Valores de la media de la radiación PAR a lo largo del día por cada mes.



4.1.1.5. VELOCIDAD DEL VIENTO.

En el siguiente gráfico se muestran los valores medios experimentados por la velocidad del viento para cada uno de los meses a lo largo del día.

Gráfica 4.5. Valores de la media mensual de la velocidad del viento por cada mes.

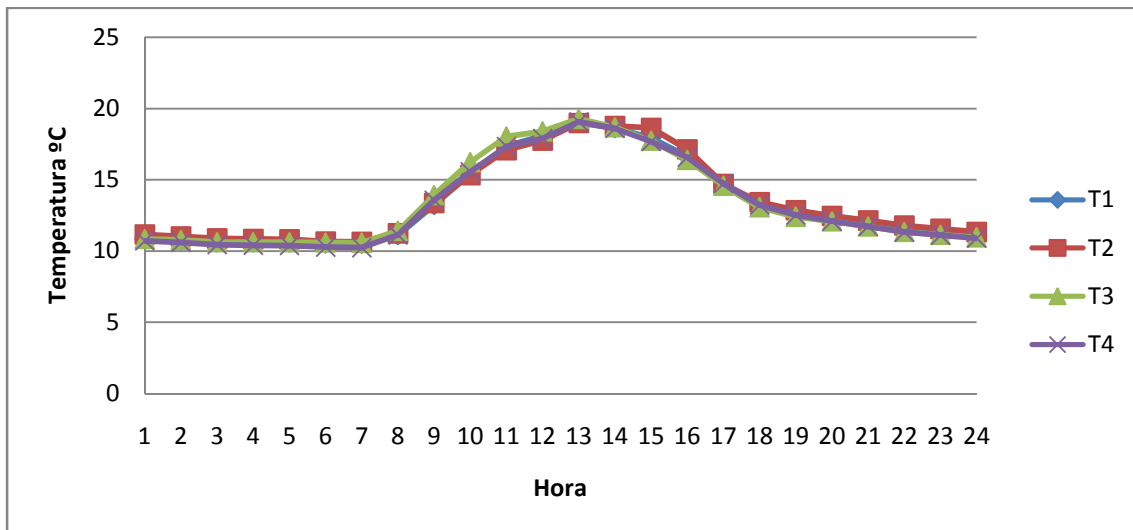


4.1.2. TEMPERATURA EN EL INTERIOR DEL INVERNADERO.

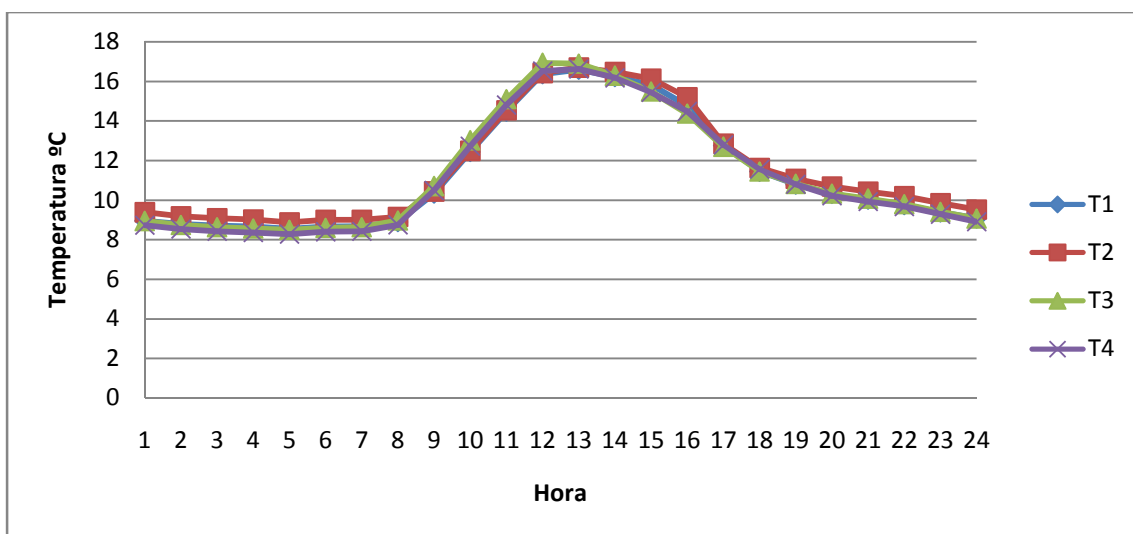
En este apartado se muestran las gráficas correspondientes a los valores registrados en cada uno de los 4 psicómetros colocados en las diferentes zonas del invernadero, en este caso estudiando cada mes por separado.

Como se puede observar en todos los meses (ver gráficas 4.6. a 4.13.), los valores registrados en los 4 psicómetros han sido muy similares para cada uno de los meses, evidentemente los valores de la temperatura si han sido distintos para cada mes, lo cual indica que en general la temperatura en el interior del invernadero ha sido similar en cada una de las zonas para cada uno de los meses analizados.

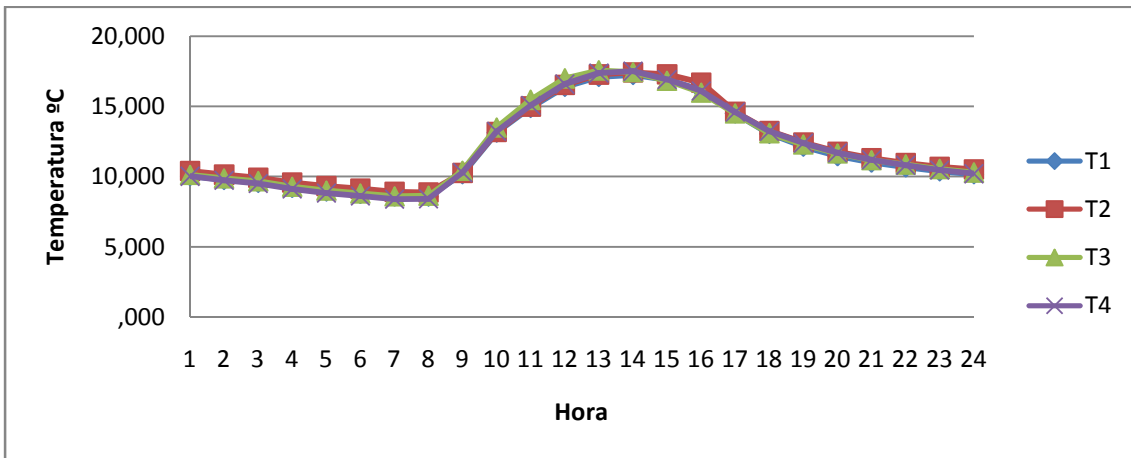
Gráfica 4.6. Valores medios mensuales de la temperatura interior durante el mes de noviembre.



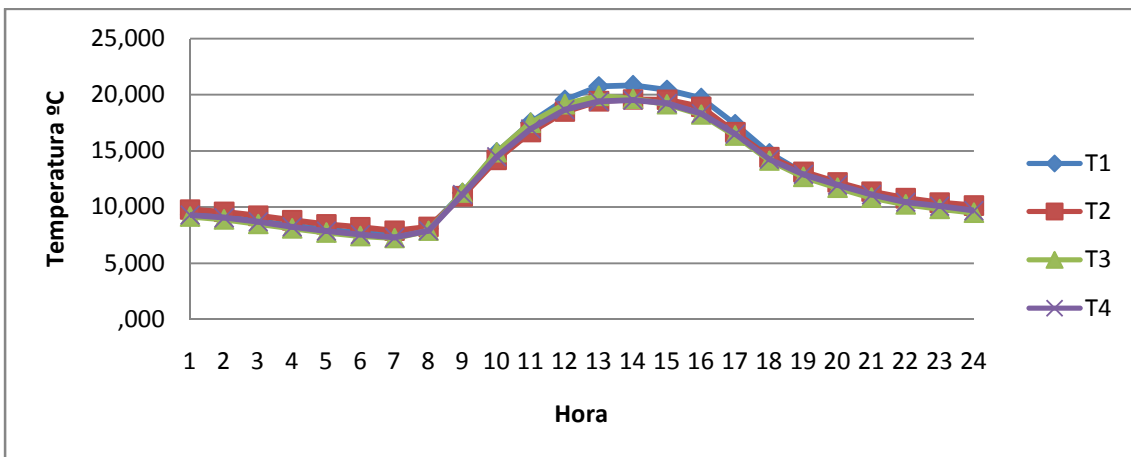
Gráfica 4.7. Valores medios mensuales de la temperatura interior durante el mes de diciembre.



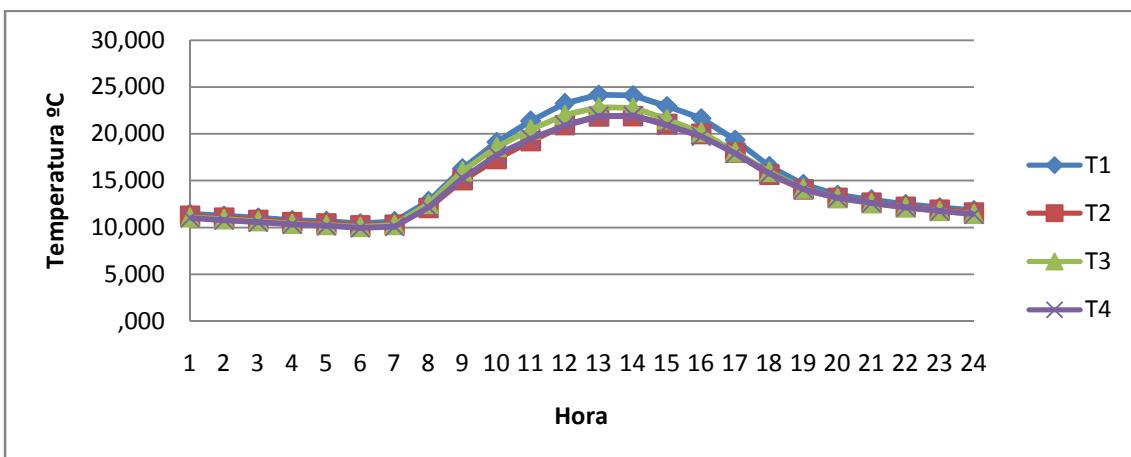
Gráfica 4.8. Valores medios mensuales de la temperatura interior durante el mes de Enero.



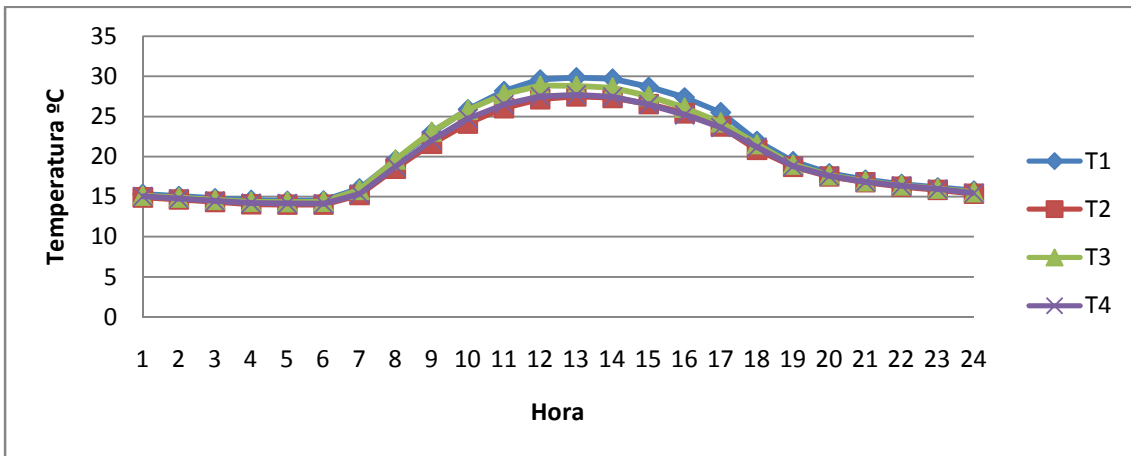
Gráfica 4.9. Valores medios mensuales de la temperatura interior durante el mes de Febrero.



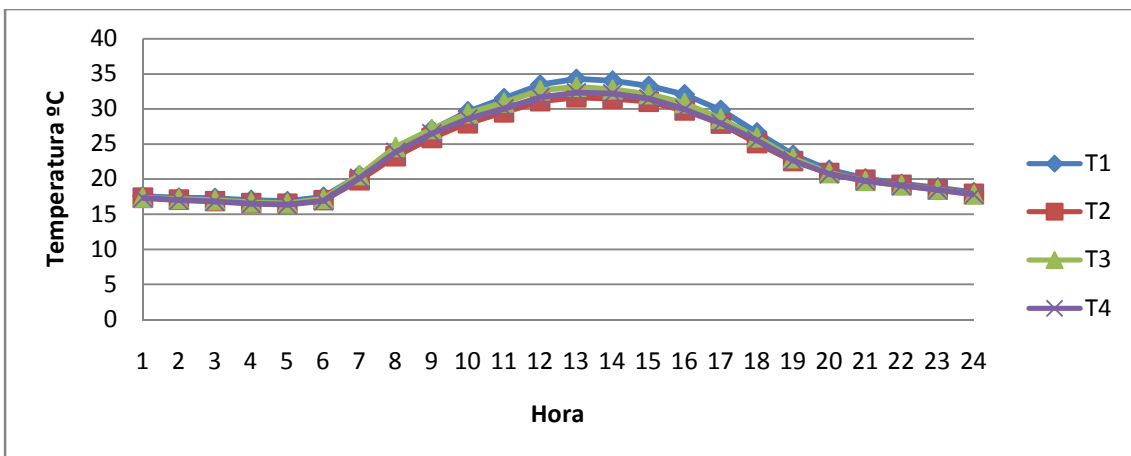
Gráfica 4.10. Valores medios mensuales de la temperatura interior durante el mes de Marzo.



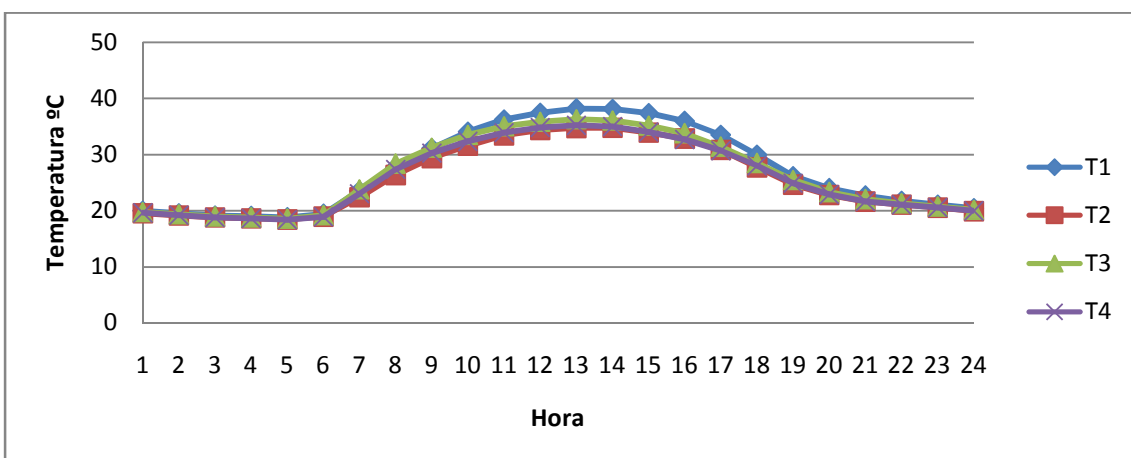
Gráfica 4.11. Valores medios mensuales de la temperatura interior durante el mes de Abril.



Gráfica 4.12. Valores medios mensuales de la temperatura interior durante el mes de Mayo.



Gráfica 4.13. Valores medios mensuales de la temperatura interior durante el mes de Junio.



4.2. ANÁLISIS MENSUAL DE LA DISTRIBUCIÓN DE LA RADIACIÓN PAR EN EL INVERNADERO TIPO RASPA Y AMAGADO.

En este apartado se presentan los resultados obtenidos en los ensayos durante los meses de noviembre a junio, relativos al sombreado que las placas fotovoltaicas flexibles situadas en la cubierta del invernadero produjeron sobre este y como la radiación PAR se ha distribuido a lo largo de estos meses en los diferentes tratamientos por hileras y por columnas.

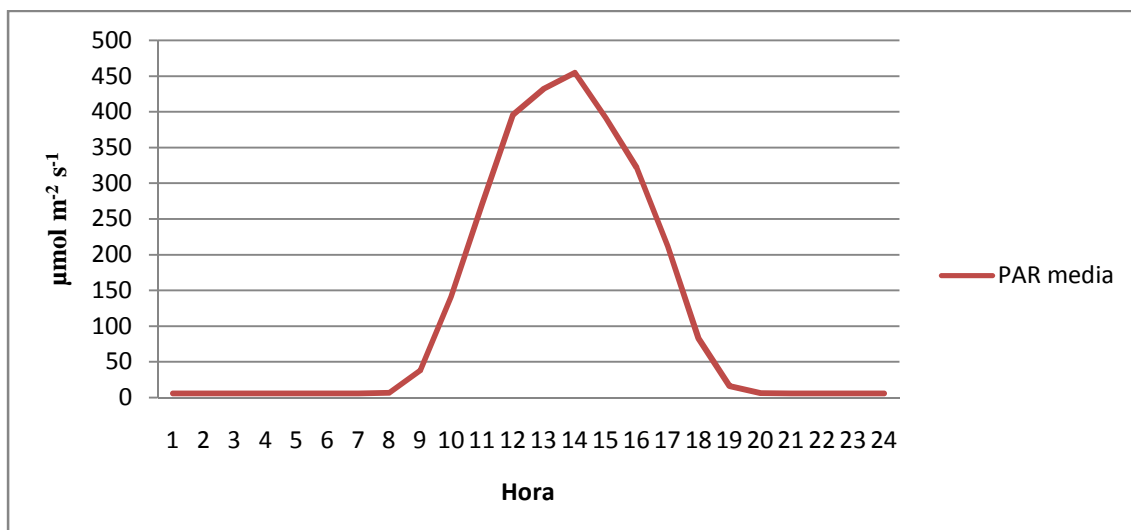
Como se ha comentado en apartados anteriores, el invernadero está dividido en tres tratamientos T0 (testigo), T1 y T2 (de 192 m² cada uno), estos dos últimos sometidos a sombreado, por lo tanto se ha analizado la distribución de la radiación en cada uno de los tres tratamientos por separado, y estudiando cada mes por separado, ya que en cada mes la radiación solar es distinta y no sería comparativo hacerlo de forma conjunta. A continuación se procede al análisis de la radiación PAR para cada mes y como ha sido distribuida por hileras y columnas

4.2.1. MES DE NOVIEMBRE.

4.2.1.1. DISTRIBUCIÓN HORARIA DE LA RADIACIÓN PAR.

En el gráfico 4.14. se muestra la media de la radiación PAR por hora oficial a lo largo del mes de noviembre, que como se puede ver sigue una distribución similar a la de una campana de Gauss, alcanzando su máximo sobre las 14 (hora oficial) y alcanzando valores 0 a lo largo de la noche.

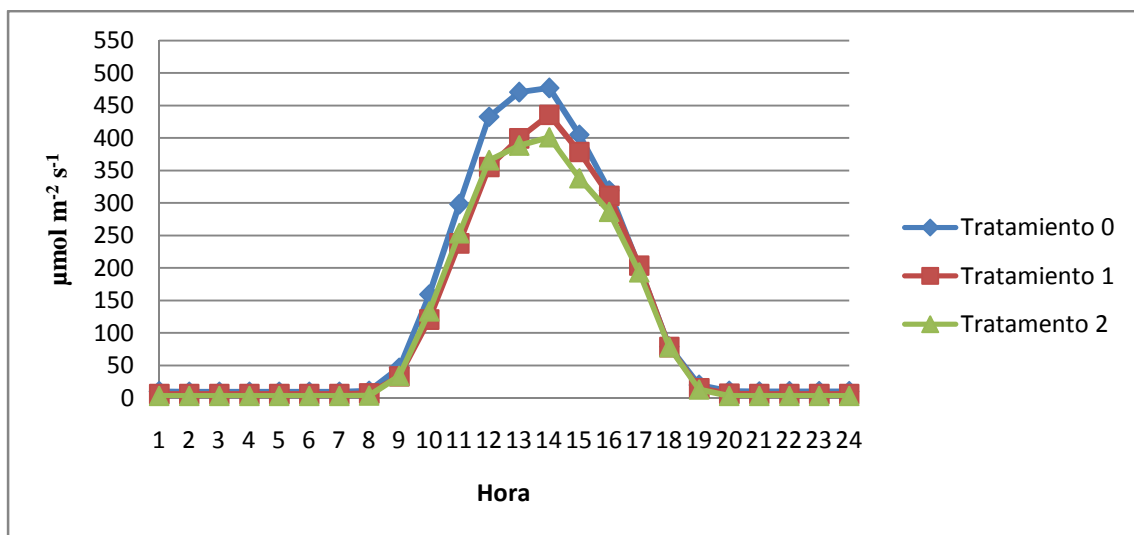
Gráfica 4.14. Radiación PAR media recibida en el mes de noviembre por categoría de hora solar.



4.2.1.2. DISTRIBUCIÓN POR TRATAMIENTO DE LA RADIACIÓN PAR.

En la gráfica 4.15. se muestran los valores de la radiación PAR en cada uno de los tratamientos a lo largo del mes de noviembre. Se puede observar que el tratamiento que ha obtenido valores más altos de radiación PAR es el tratamiento 0 (testigo), ya que como se ha comentado en apartados anteriores no está sometido a ningún tipo de sombreado, que no sea el de los propios elementos estructurales del invernadero. El tratamiento 1 alcanza valores más altos de radiación entre las 12 y las 16 horas que el tratamiento 2, estando prácticamente igualado el resto de horas.

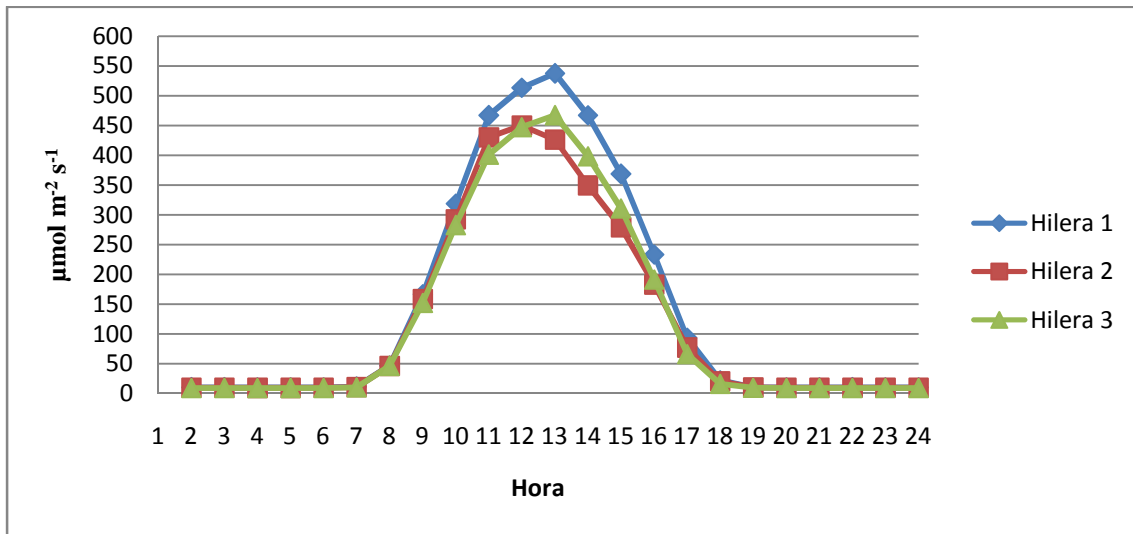
Gráfica 4.15. Radiación PAR media recibida en cada tratamiento durante el mes de noviembre.



4.2.1.3. DISTRIBUCIÓN POR HILERAS DE LA RADIACIÓN PAR DE LAS SONDAS DE T₀.

En el mes de noviembre se observa que la hilera que mas radiación PAR ha recibido ha sido la hilera 1 (hilera situada más al norte del tratamiento) y con orientación sur. Las hileras 2 y 3 han recibido menor cantidad de radiación que la hilera 1. En este caso se puede ver como la hilera 2 (situada en el centro del tratamiento 0) entre las 10 y las 12 horas ha recibido más radiación que la hilera 3, y entre las 12 y las 16 horas, la hilera 3 (situada más al sur del tratamiento) y con orientación sur, ha recibido mayor cantidad de radiación que la hilera 2. Por lo general las hileras situadas con orientación sur (hileras 1 y 3) han recibido valores de radiación más altos que la hilera con orientación norte, en este caso la hilera 2.

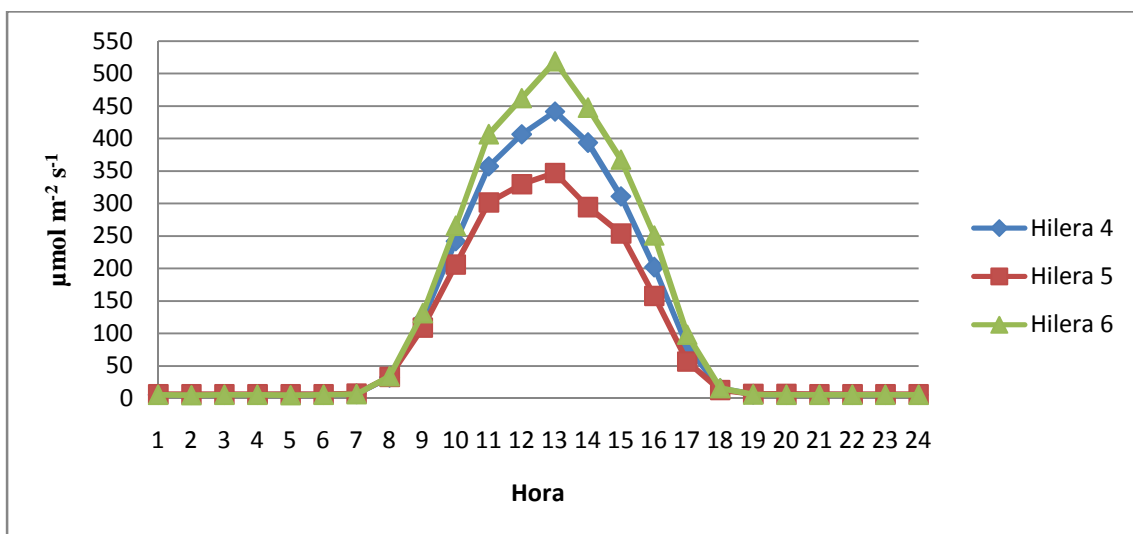
Gráfica 4.16. Radiación PAR media recibida por hilera en el tratamiento 0 durante el mes de noviembre.



4.2.1.4. DISTRIBUCIÓN POR HILERAS DE LA RADIACIÓN PAR DE LAS SONDAS DE T₁.

En el tratamiento 1 las hileras que más radiación han recibido han sido las hileras 4 y 6, ambas hileras con orientación sur, aunque se puede observar que la hilera 6 (hilera situada más al sur del tratamiento) ha recibido más radiación que la hilera 4, situada en el norte del tratamiento. La hilera 5, con orientación norte, ha sido la que menos radiación ha recibido, debido a la disposición de las placas fotovoltaicas.

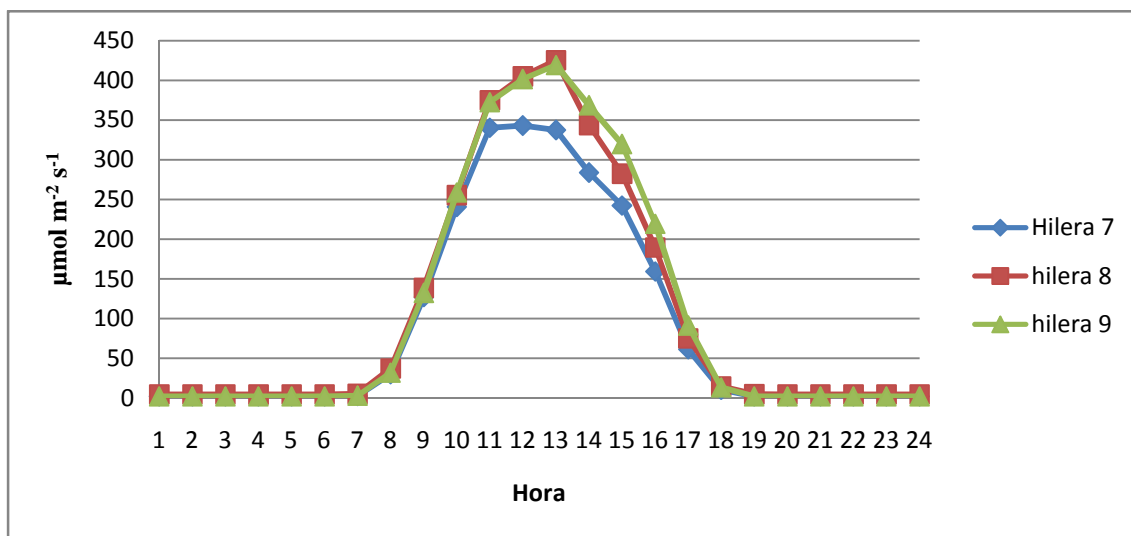
Gráfica 4.17. Radiación PAR media recibida por hilera en el tratamiento 1 durante el mes de noviembre.



4.2.1.5. DISTRIBUCIÓN POR HILERAS DE LA RADIACIÓN PAR DE LAS SONDAS DE T₂.

En el tratamiento 2, la hilera que menor radiación ha recibido es la hilera 7, situada más al norte del tratamiento y con orientación sur, las hileras 8 y 9, situadas en el centro y en el sur del tratamiento 2 respectivamente han sido las que mayor radiación han recibido, superando la hilera 9 (orientación sur) ligeramente a la hilera 8 (orientación norte) y situada en el centro del tratamiento entre las 14 y las 16 horas.

Gráfica 4.18. Radiación PAR media recibida por hilera en el tratamiento 2 durante el mes de noviembre.



4.2.1.6. ANALISIS DE LA VARIANZA DE LA RADIACIÓN PAR POR HILERAS DE SONDAS PARA CADA TRATAMIENTO.

En la tabla 4.1. se muestran los valores descriptivos de la radiación PAR, como se puede observar en apartados anteriores, las hileras que más radiación han recibido son la hilera 1 (tratamiento 0), hilera 6 (tratamiento 1) y la hilera 9 (tratamiento 2), esta última con valores muy próximos a la hilera 8. Las hileras que menor radiación han recibido son la hilera 2 (tratamiento 0), hilera 5 (tratamiento 1) y la hilera 7 (tratamiento 2). Se puede observar que las hileras que más radiación han recibido tienen orientación sur, y las hileras que menor radiación han recibido tienen orientación norte a excepción de la hilera 7 (tratamiento 2) que tiene orientación sur.

Como se puede observar en el análisis múltiple (tabla 4.2.) para cada tratamiento existen diferencias significativas entre todas las hileras, excepto entre las hileras 2 y 3 (tratamiento 0) con orientación norte y sur respectivamente, y entre las hileras 8 y 9 (tratamiento 2).

Tabla 4.1. Parámetros descriptivos de la radiación PAR para cada hilera durante el mes de noviembre.

Hilera	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
				Límite inferior	Límite superior		
1	138,60	220,00	1,68	135,31	141,89	4,00	1043,00
2	116,84	181,80	1,39	114,12	119,56	5,00	1021,00
3	119,32	207,63	1,58	116,21	122,42	4,00	1026,00
4	110,19	182,10	1,13	107,96	112,41	0,00	1042,00
5	90,06	150,62	0,94	88,22	91,90	0,00	789,00
6	126,22	212,08	1,32	123,63	128,81	0,00	1106,00
7	90,60	153,55	1,17	88,31	92,90	0,00	853,00
8	106,96	173,82	1,08	104,83	109,08	0,00	868,00
9	109,27	194,92	1,21	106,89	111,65	0,00	1160,00

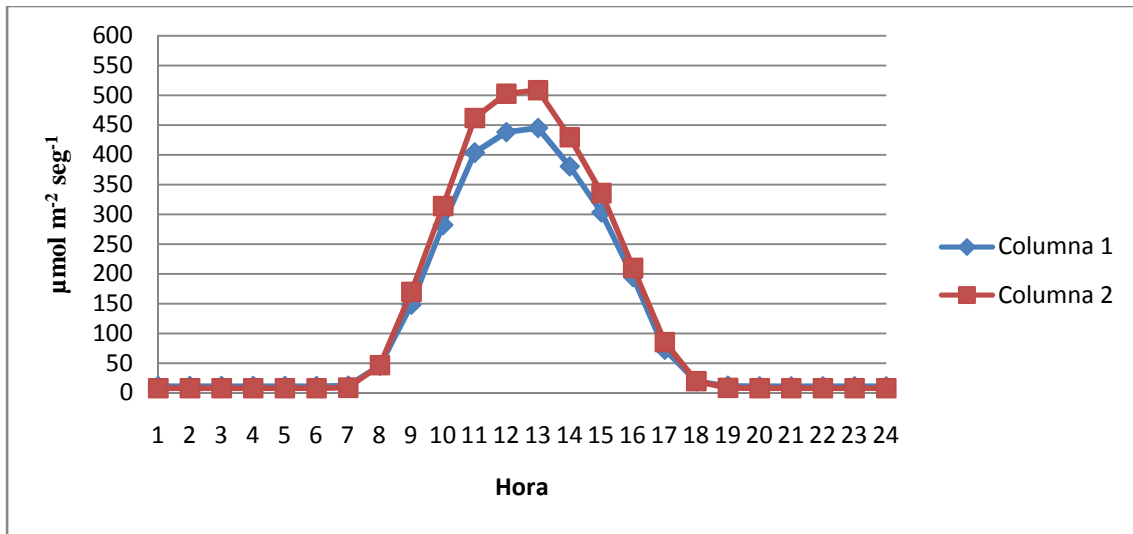
Tabla 4.2. Análisis múltiple de la radiación PAR durante el mes de noviembre (*. La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05.)

(I) OrientHilera	(J) OrientHilera	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
1	2	21,7671*	2,1997	,000	16,501	27,033
	3	19,2857*	2,1997	,000	14,019	24,552
2	1	-21,7671*	2,1997	,000	-27,033	-16,501
	3	-2,4814	2,1997	,778	-7,748	2,785
3	1	-19,2857*	2,1997	,000	-24,552	-14,019
	2	2,4814	2,1997	,778	-2,785	7,748
4	5	20,1289*	1,6159	,000	16,260	23,997
	6	-16,0322*	1,6159	,000	-19,901	-12,164
5	4	-20,1289*	1,6159	,000	-23,997	-16,260
	6	-36,1611*	1,6159	,000	-40,030	-32,293
6	4	16,0322*	1,6159	,000	12,164	19,901
	5	36,1611*	1,6159	,000	32,293	40,030
7	8	-16,3546*	1,7483	,000	-20,540	-12,169
	9	-18,6696*	1,7483	,000	-22,855	-14,484
8	7	16,3546*	1,7483	,000	12,169	20,540
	9	-2,3150	1,5637	,416	-6,059	1,428
9	7	18,6696*	1,7483	,000	14,484	22,855
	8	2,3150	1,5637	,416	-1,428	6,059

4.2.1.7. DISTRIBUCIÓN POR COLUMNAS DE LA RADIACIÓN PAR DE LAS SONDAS DE T₀.

En cuanto a la radiación recibida en las columnas 1 y 2 pertenecientes al tratamiento 0, se puede observar que la columna que mayor radiación ha recibido es la columna 2, situada más al este que la columna 1, este hecho probablemente sea debido a la posición del sol a diferentes horas del día.

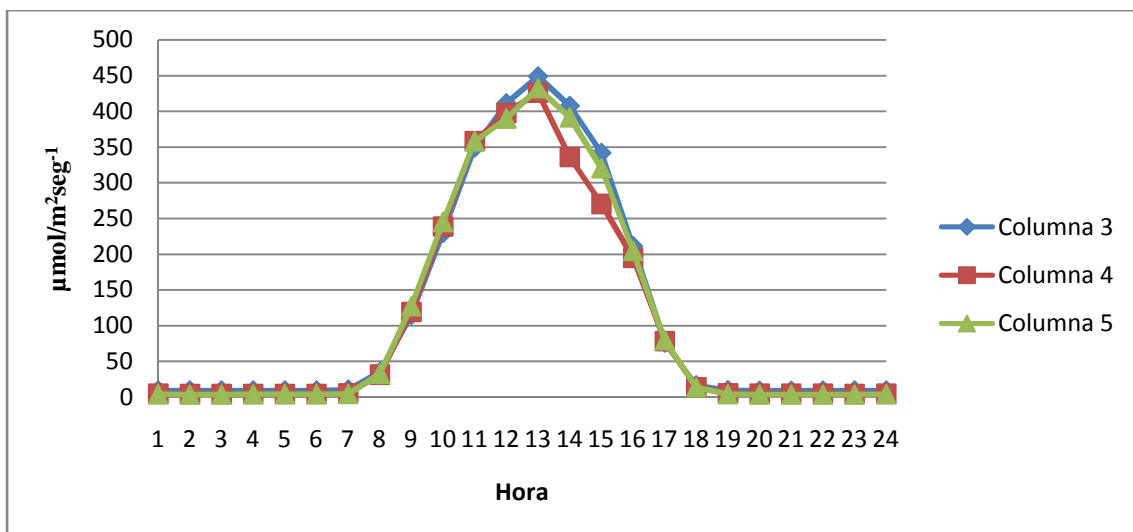
Gráfica 4.19. Radiación PAR media recibida por columna en el tratamiento 0 durante el mes de noviembre.



4.2.1.8. DISTRIBUCIÓN POR COLUMNAS DE LA RADIACIÓN PAR DE LAS SONDAS DE T₁.

En el tratamiento 1, se puede observar como las columnas que mayor radiación han recibido son las columnas 3 y 5, recibiendo algo más de radiación la columna 3, situada más al oeste que la 5, mientras que la columna 4, situada en el centro del tratamiento ha experimentado un descenso significativo entre las 13 y las 16 horas, en este caso se puede observar como la disposición de las sondas 10 y 12, pertenecientes a dicha columna, coinciden con la disposición de 2 placas en la cubierta.

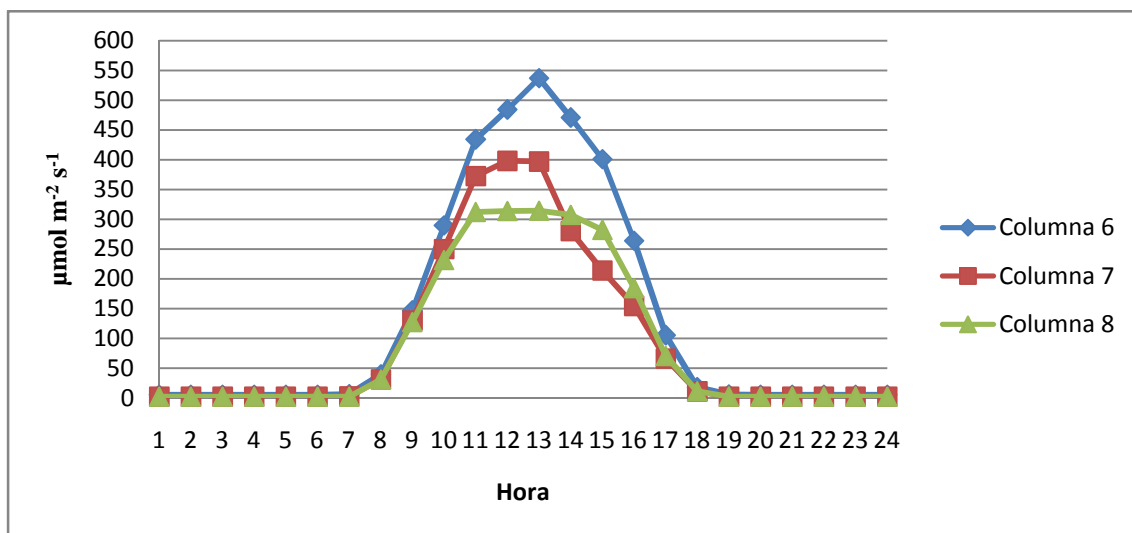
Gráfica 4.20. Radiación PAR media recibida por columna en el tratamiento 1 durante el mes de noviembre.



4.2.1.9. DISTRIBUCIÓN POR COLUMNAS DE LA RADIACION PAR DE LAS SONDAS DE T₂.

En el tratamiento 2, se aprecia claramente que la columna 6, situada más al oeste en el tratamiento, ha recibido valores muy superiores con respecto a las columnas 7 y 8, situadas en el centro y más al este respectivamente en el tratamiento 2, este hecho probablemente sea debido a que las sondas pertenecientes a la columna 6 (sondas 16 y 17) no coinciden con ninguna placa fotovoltaica que pueda producir sombreado (ver figura 3.4. del apartado 3), también se puede observar como la columna 7 (situada en el centro del tratamiento) ha recibido valores superiores a la columna 8 entre las 10 y las 14 horas aproximadamente, en cambio de las 14 a las 17 horas la columna 8 ha recibido valores superiores de radiación, estos cambios puede ser debidos a la posición del sol en estas horas.

Gráfica 4.21. Radiación PAR media recibida por columna en el tratamiento 2 durante el mes de noviembre.



4.2.1.10. ANALISIS DE LA VARIANZA DE LA RADIACIÓN PAR POR COLUMNA DE SONDAS PARA CADA TRATAMIENTO.

Como se puede ver en la tabla 4.3 y como ya se ha comentado, las columnas que mayor radiación han recibido son la columna 2 (en el tratamiento 0), la columna 3 en el tratamiento 1, aunque con valores muy similares a las columnas 4 y 5, y en el tratamiento 2, la columna 6, con una clara diferencia con las columnas 7 y 8, por el motivo ya explicado en el apartado 4.2.1.9.

En cuanto al análisis múltiple, en la tabla 4.4. se observa que para un intervalo de confianza del 95% existen diferencias significativas de la radiación PAR recibida entre todas las columnas.

Tabla 4.3. Parámetros descriptivos de la radiación PAR para cada columna durante el mes de noviembre.

Columnas	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
				Límite inferior	Límite superior		
1	118,58	195,19	1,22	116,20	120,97	4,00	1026,00
2	131,26	212,25	1,32	128,66	133,85	4,00	1043,00
3	113,63	196,85	1,23	111,22	116,03	2,00	1106,00
4	103,98	171,51	1,07	101,88	106,07	0,00	900,00
5	108,86	182,39	1,14	106,63	111,08	0,00	933,00
6	134,35	224,41	1,71	130,99	137,71	0,00	1160,00
7	95,87	164,49	1,03	93,86	97,88	0,00	861,00
8	91,19	150,36	0,94	89,36	93,03	0,00	842,00

Tabla 4.4. Análisis múltiple de la radiación PAR por columna durante el mes de noviembre (*. La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05.)

(I) OrientColumna	(J) OrientColumna	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
3	4	9,6491*	1,62	0,00	5,77	13,53
	5	4,7695*	1,62	0,01	0,89	8,65
4	3	-9,6491*	1,62	0,00	-13,53	-5,77
	5	-4,8795*	1,62	0,01	-8,76	-1,00
5	3	-4,7695*	1,62	0,01	-8,65	-0,89
	4	4,8795*	1,62	0,01	1,00	8,76
6	7	38,4767*	1,74	0,00	34,31	42,64
	8	43,1552*	1,74	0,00	38,99	47,32
7	6	-38,4767*	1,74	0,00	-42,64	-34,31
	8	4,6786*	1,56	0,01	0,95	8,41
8	6	-43,1552*	1,74	0,00	-47,32	-38,99
	7	-4,6786*	1,56	0,01	-8,41	-0,95

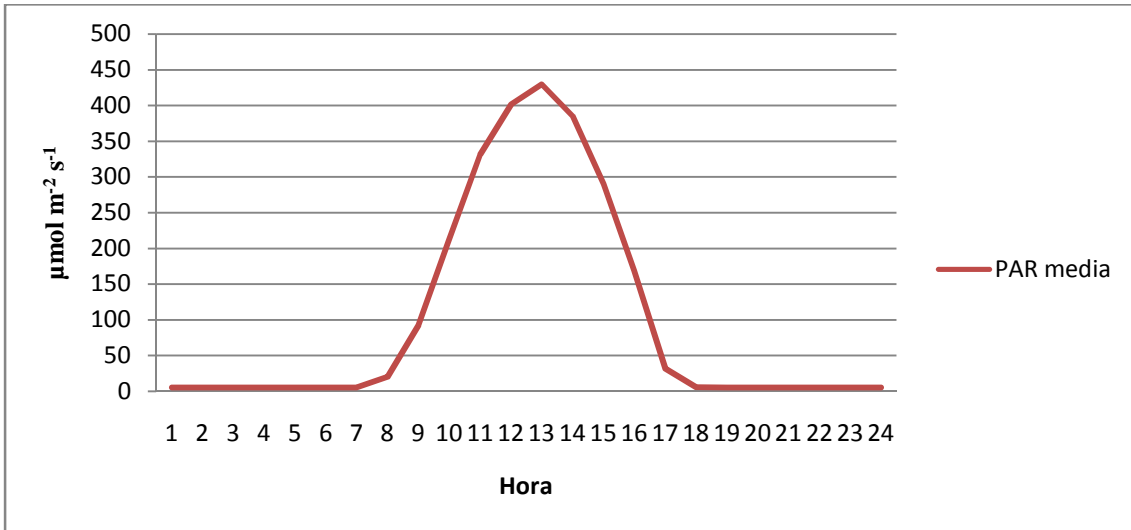
4.2.2. MES DE DICIEMBRE.

4.2.2.1. DISTRIBUCIÓN HORARIA DE LA RADIACIÓN PAR.

En el gráfico que se muestra a continuación perteneciente al mes de diciembre, se vuelve a observar nuevamente que la distribución de la radiación PAR a lo largo del

mes por hora oficial sigue una distribución similar a la de una campana de Gauss, mostrando nuevamente los valores más altos de radiación en torno a las 13 horas.

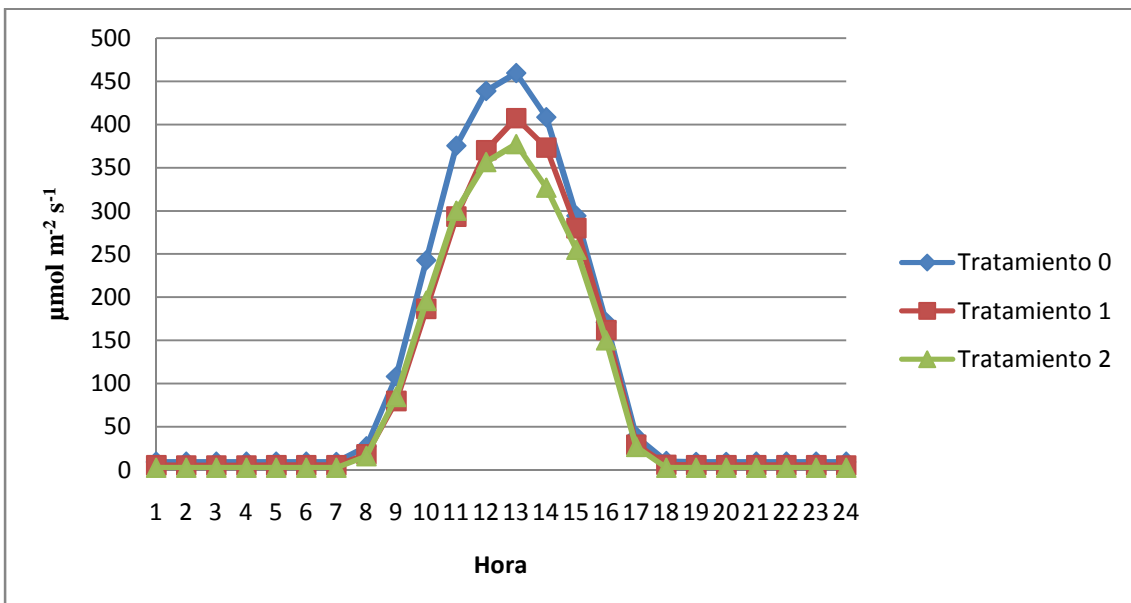
Gráfica 4.22. Radiación PAR media recibida en el mes de diciembre por categoría de hora solar.



4.2.2.2. DISTRIBUCIÓN POR TRATAMIENTO DE LA RADIACIÓN PAR.

En el mes de diciembre se puede apreciar nuevamente que el tratamiento que mayor radiación ha recibido es el tratamiento 0, seguido del tratamiento 1, que entre las 12 y las 16 horas, presenta valores más altos de radiación que el tratamiento 2, situado más al este.

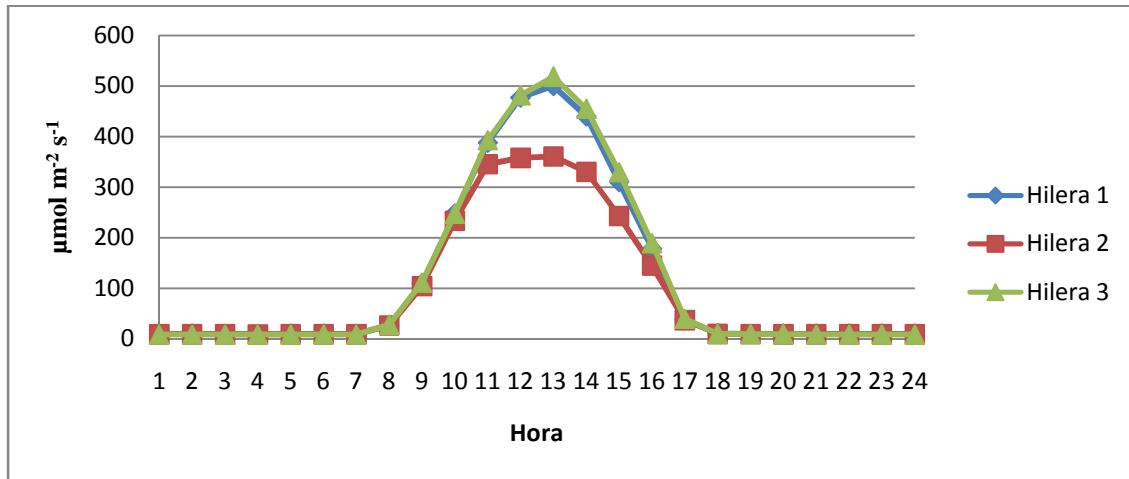
Gráfica 4.23. Radiación PAR media recibida en cada tratamiento durante el mes de diciembre.



4.2.2.3. DISTRIBUCIÓN POR HILERAS DE LA RADIACIÓN PAR DE LAS SONDAS DE T₀.

En el tratamiento 0 las hileras 1 y 3, ambas con orientación sur han recibido valores de radiación muy similares, se puede apreciar ligeramente algo más de radiación en la hilera 3 (hilera situada más al sur del tratamiento).

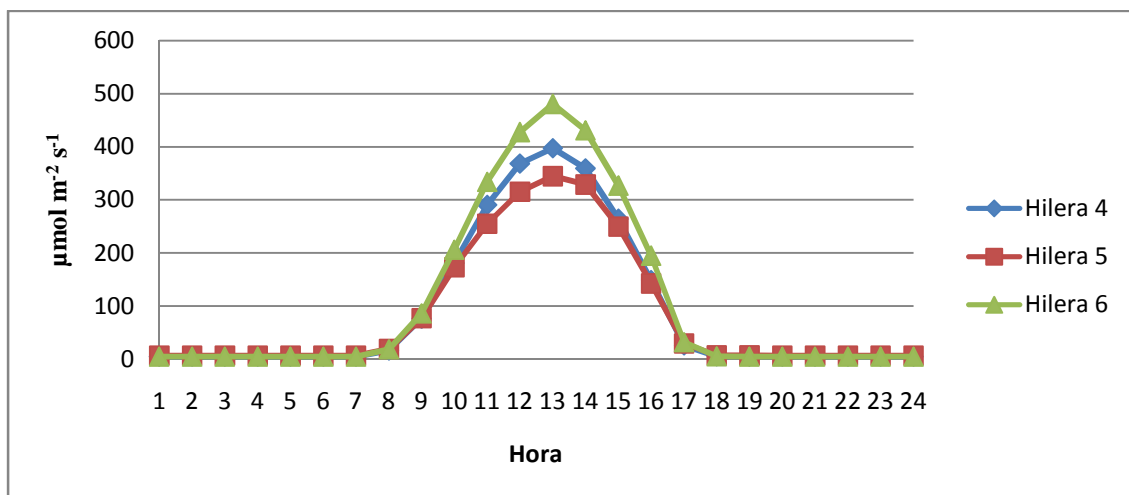
Gráfica 4.24. Radiación PAR media recibida por hilera en el tratamiento 0 durante el mes de diciembre.



4.2.2.4. DISTRIBUCIÓN POR HILERAS DE LA RADIACIÓN PAR DE LAS SONDAS DE T₁.

En la gráfica 4.25. se observa como en el tratamiento 1, las hileras con orientación sur vuelven a ser las hileras que alcanzan valores máximos de radiación, en este caso la hilera 6, situada al sur del tratamiento y con orientación sur, mientras que la hilera con orientación norte (hilera 5) es la hilera que ha obtenido valores más bajos de radiación.

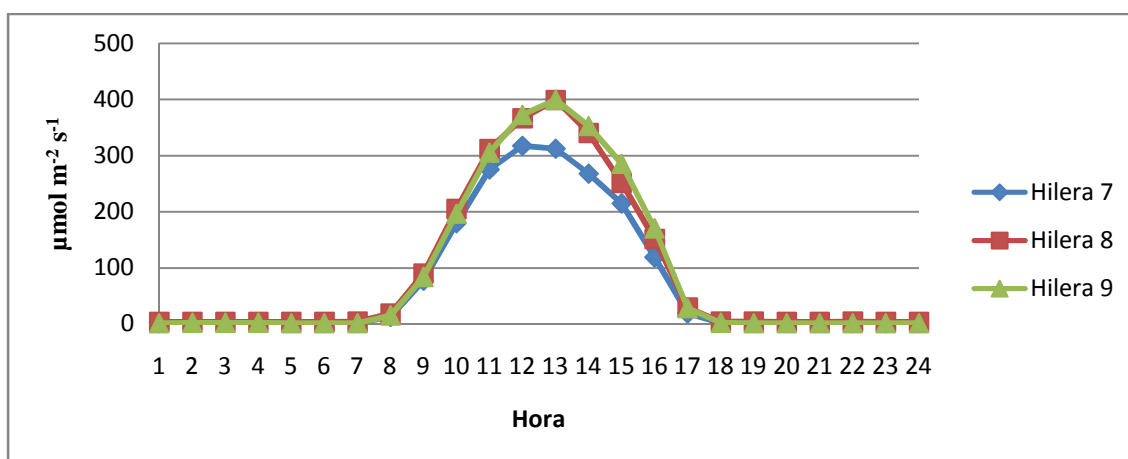
Gráfica 4.25. Radiación PAR media recibida por hilera en el tratamiento 1 durante el mes de diciembre.



4.2.2.5. DISTRIBUCIÓN POR HILERAS DE LA RADIACIÓN PAR DE LAS SONDAS DE T₂.

Para el tratamiento 2, se observa que la hilera que menos radiación ha recibido es la hilera 7, situada al norte del tratamiento y con orientación sur.

Gráfica 4.26. Radiación PAR media recibida por hilera en el tratamiento 2 durante el mes de diciembre.



4.2.2.6. ANALISIS DE LA VARIANZA DE LA RADIACIÓN PAR POR HILERA DE SONDAS PARA CADA TRATAMIENTO.

Como se puede ver en la tabla 4.5. y ya se ha comentado anteriormente, en el tratamiento 0, las hileras 1 y 3, han recibido valores de radiación muy similares. En el tratamiento 1, la hilera 6 ha sido la que mayor radiación ha recibido y en el tratamiento 2 se puede observar de nuevo unos valores de radiación muy similares entre las hileras 8 y 9.

Tabla 4.5. Parámetros descriptivos de radiación PAR para cada hilera durante el mes de diciembre.

Hileras	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
				Límite inferior	Límite superior		
1	119,29	188,25	1,80	115,76	122,82	4,00	1078,00
2	96,65	144,03	1,38	93,95	99,35	5,00	909,00
3	121,88	193,92	1,85	118,24	125,51	4,00	1075,00
4	91,87	150,97	1,18	89,56	94,18	0,00	827,00
5	84,84	131,24	1,03	82,83	86,85	0,00	712,00
6	108,94	182,09	1,42	106,15	111,73	0,00	938,00
7	76,21	129,28	1,24	73,79	78,64	0,00	739,00
8	92,92	150,57	1,18	90,61	95,22	0,00	838,00
9	93,48	168,38	1,32	90,90	96,06	0,00	1038,00

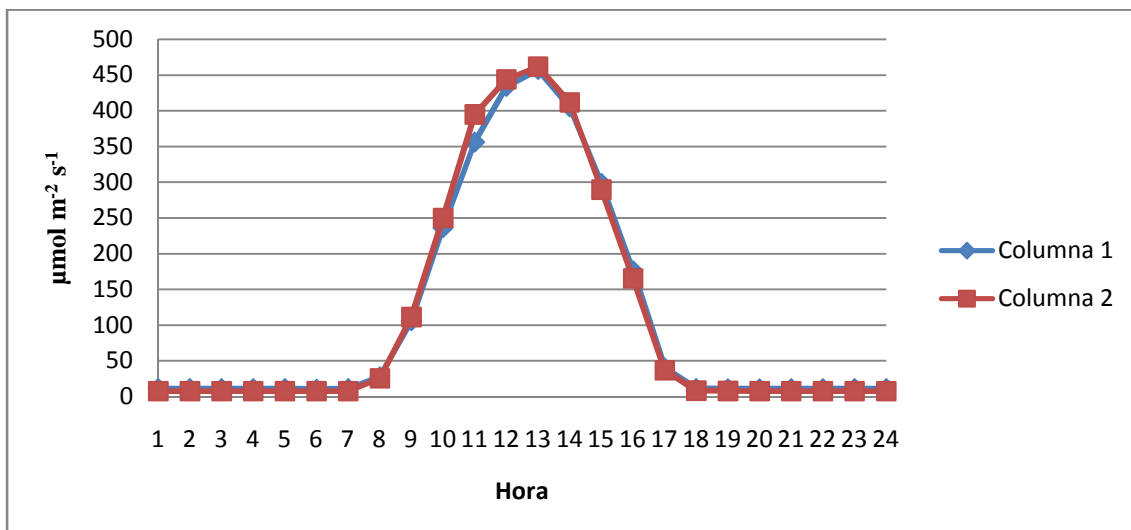
Tabla 4.6. Análisis múltiple de la radiación PAR por hilera durante el mes de diciembre. (*. La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05.)

(I) OrientHilera	(J) OrientHilera	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
1	2	22,6465*	2,39	0,00	16,92	28,37
	3	-2,58	2,39	0,84	-8,31	3,14
2	1	-22,6465*	2,39	0,00	-28,37	-16,92
	3	-25,2306*	2,39	0,00	-30,96	-19,50
3	1	2,58	2,39	0,84	-3,14	8,31
	2	25,2306*	2,39	0,00	19,50	30,96
4	5	7,0321*	1,73	0,00	2,90	11,16
	6	-17,0667*	1,73	0,00	-21,20	-12,94
5	4	-7,0321*	1,73	0,00	-11,16	-2,90
	6	-24,0989*	1,73	0,00	-28,23	-19,97
6	4	17,0667*	1,73	0,00	12,94	21,20
	5	24,0989*	1,73	0,00	19,97	28,23
7	8	-16,7044*	1,89	0,00	-21,22	-12,19
	9	-17,2630*	1,89	0,00	-21,78	-12,75
8	7	16,7044*	1,89	0,00	12,19	21,22
	9	-0,56	1,69	1,00	-4,60	3,48
9	7	17,2630*	1,89	0,00	12,75	21,78
	8	0,56	1,69	1,00	-3,48	4,60

4.2.2.7. DISTRIBUCIÓN POR COLUMNAS DE LA RADIACIÓN PAR DE LAS SONDAS DE T₀.

En este nuevo caso, la cantidad de radiación recibida en las columnas 1 y 2, ha sido muy similar, observándose una ligera diferencia entre las 10 y las 13 horas.

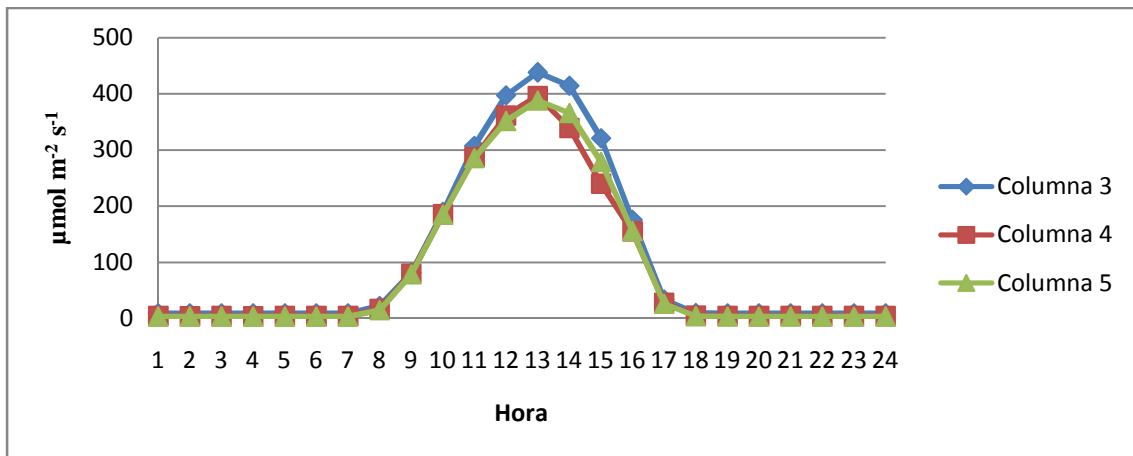
Gráfica 4.27. Radiación PAR media recibida por columna en el tratamiento 0 durante el mes de diciembre.



4.2.2.8. DISTRIBUCIÓN POR COLUMNAS DE LA RADIACIÓN PAR DE LAS SONDAS DE T₁.

En el tratamiento 1 la columna que mayor radiación ha recibido ha sido la situada más al oeste del tratamiento, es decir, la columna 3.

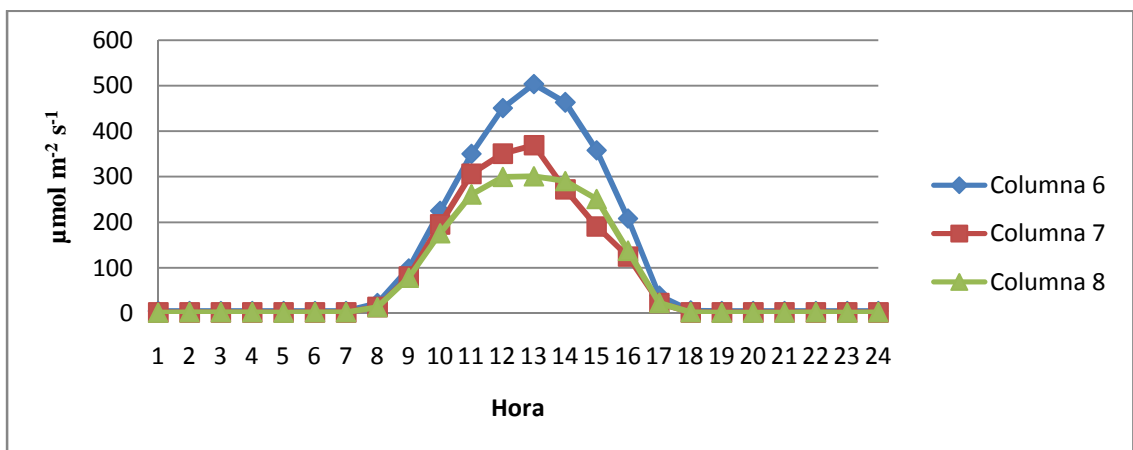
Gráfica 4.28. Radiación PAR media recibida por columna en el tratamiento 1 durante el mes de diciembre.



4.2.2.9. DISTRIBUCIÓN POR COLUMNAS DE LA RADIACIÓN PAR DE LAS SONDAS DE T₂.

En el tratamiento 2, se observa de nuevo un cambio en la cantidad de radiación recibida entre las columnas 7 y 8, siendo la 6, la columna que mayor radiación recibe en cada momento.

Gráfica 4.29. Radiación PAR media recibida por columna en el tratamiento 2 durante el mes de diciembre.



4.2.2.10. ANÁLISIS DE LA VARIANZA DE LA RADIACIÓN PAR POR COLUMNA DE SONDAS PARA CADA TRATAMIENTO.

En la tabla 4.7 se observa que los valores de radiación entre las columnas 1 y 2 son prácticamente iguales en el tratamiento 0. Se puede observar como los tratamientos sombreados, es decir, los tratamientos 1 y 2, se comportan de manera similar, siendo las columnas situadas en el centro de cada tratamiento, las columnas 4 y 7, las que menos radiación reciben, seguramente debido al efecto de sombreado producido por la placa fotovoltaica situada en esa zona.

Tabla 4.7. Parámetros descriptivos de la radiación PAR para cada columna durante el mes de diciembre.

Columna	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
				Límite inferior	Límite superior		
1	112,47	173,28	1,35	109,82	115,12	7,00	1075,00
2	112,74	180,97	1,41	109,97	115,51	4,00	1078,00
3	104,83	168,42	1,32	102,25	107,41	2,00	938,00
4	89,89	147,22	1,15	87,63	92,14	0,00	797,00
5	90,93	152,64	1,19	88,60	93,27	0,00	848,00
6	116,65	195,06	1,87	112,99	120,31	0,00	1038,00
7	81,75	139,79	1,09	79,61	83,89	0,00	739,00
8	77,69	129,28	1,01	75,71	79,67	0,00	807,00

Tabla 4.8. Análisis múltiple de la radiación PAR durante el mes de diciembre. (*. La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05.)

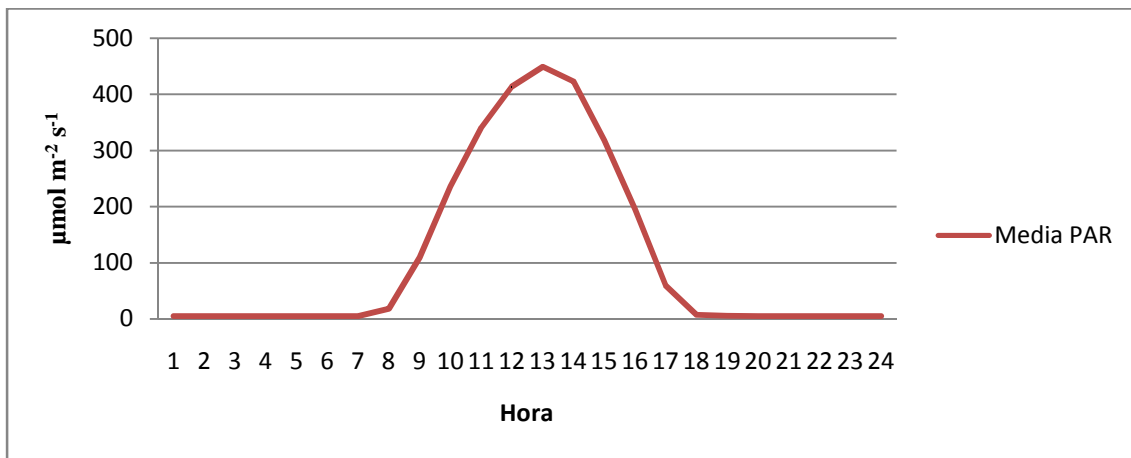
(I) OrientColumnas	(J) OrientColumnas	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
3	4	14,9417*	1,73	0,00	10,81	19,08
	5	13,8921*	1,73	0,00	9,76	18,03
4	3	-14,9417*	1,73	0,00	-19,08	-10,81
	5	-1,05	1,73	1,00	-5,18	3,08
5	3	-13,8921*	1,73	0,00	-18,03	-9,76
	4	1,05	1,73	1,00	-3,08	5,18
6	7	34,8950*	1,88	0,00	30,40	39,39
	8	38,9631*	1,88	0,00	34,47	43,46
7	6	-34,8950*	1,88	0,00	-39,39	-30,40
	8	4,0681*	1,68	0,05	0,05	8,09
8	6	-38,9631*	1,88	0,00	-43,46	-34,47
	7	-4,0681*	1,68	0,05	-8,09	-0,05

4.2.3. MES DE ENERO.

4.2.3.1. DISTRIBUCIÓN HORARIA DE LA RADIACIÓN PAR.

Para el mes de enero se vuelve a mostrar cómo se ha distribuido la radiación PAR a lo largo del mes por hora oficial, observando la misma distribución que en meses anteriores y alcanzando su máximo alrededor de las 13 horas.

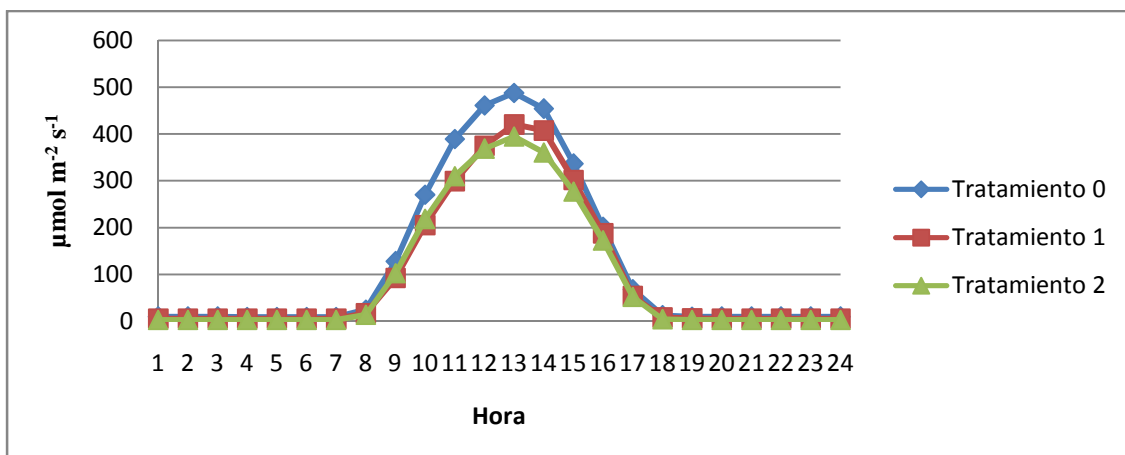
Gráfica 4.30. Radiación PAR media recibida en el mes de enero por categoría de hora solar.



4.2.3.2. DISTRIBUCIÓN POR TRATAMIENTO DE LA RADIACIÓN PAR.

Para el mes enero, el tratamiento 0, como ya ha ocurrido en meses anteriores es el tratamiento que mayor radiación ha recibido, seguido del tratamiento 1 que ha recibido valores próximos al tratamiento 2, observándose diferencias entre las 12 y las 15 horas.

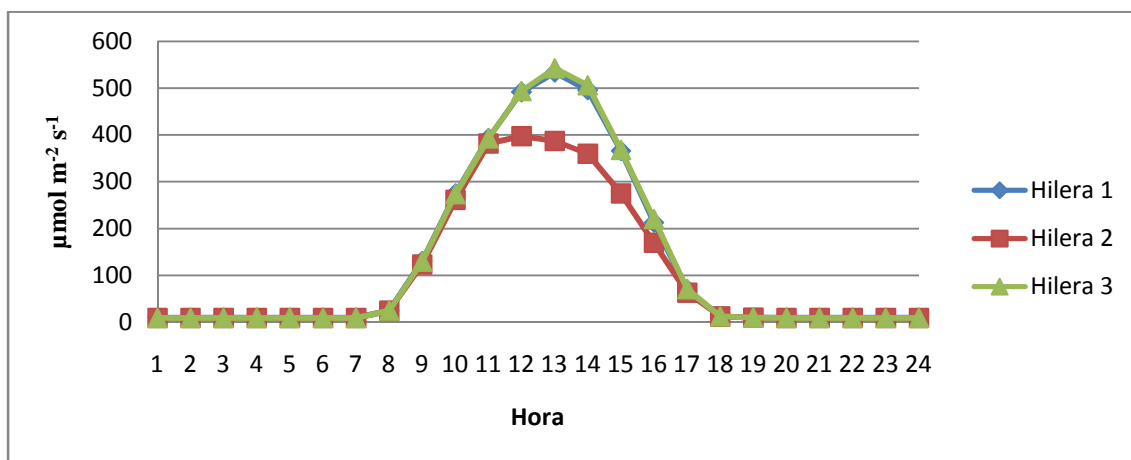
Gráfica 4.31. Radiación PAR media recibida en cada tratamiento durante el mes de enero.



4.2.3.3. DISTRIBUCIÓN POR HILERAS DE LA RADIACIÓN PAR DE LAS SONDAS DE T₀.

En el mes de enero se puede observar como en el tratamiento 0, las hileras 1 y 3, ambas con orientación sur, han recibido valores muy similares de radiación, siendo la hilera 2, con orientación norte la que menos radiación recibe.

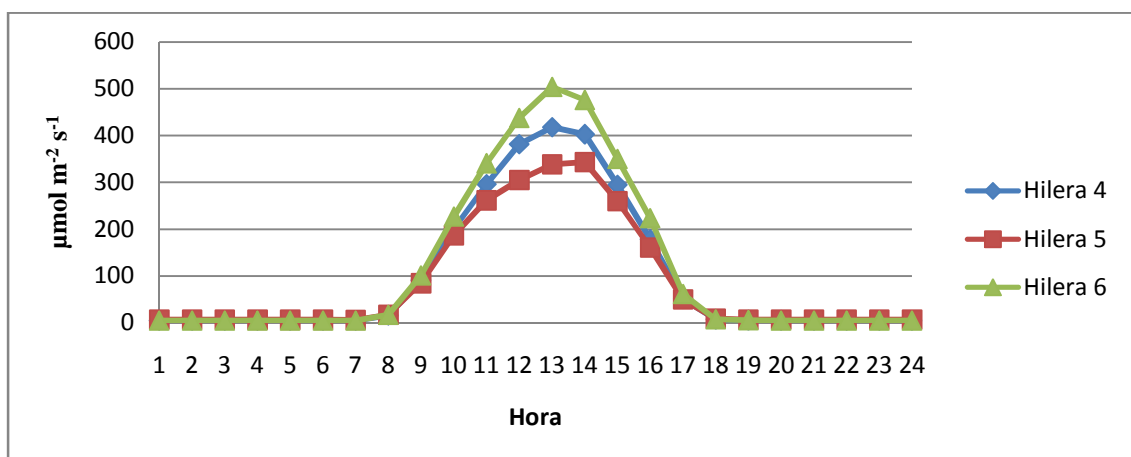
Gráfica 4.32. Radiación PAR media recibida por hilera en el tratamiento 0 durante el mes de enero.



4.2.3.4. DISTRIBUCIÓN POR HILERAS DE LA RADIACIÓN PAR DE LAS SONDAS DE T₁.

En el tratamiento 1, la hilera que mayor radiación ha recibido es la hilera 6, seguida de la hilera 4, ambas con orientación sur, mientras que la hilera 5, situada en el centro del tratamiento y con orientación norte ha sido la que menor cantidad de radiación ha recibido.

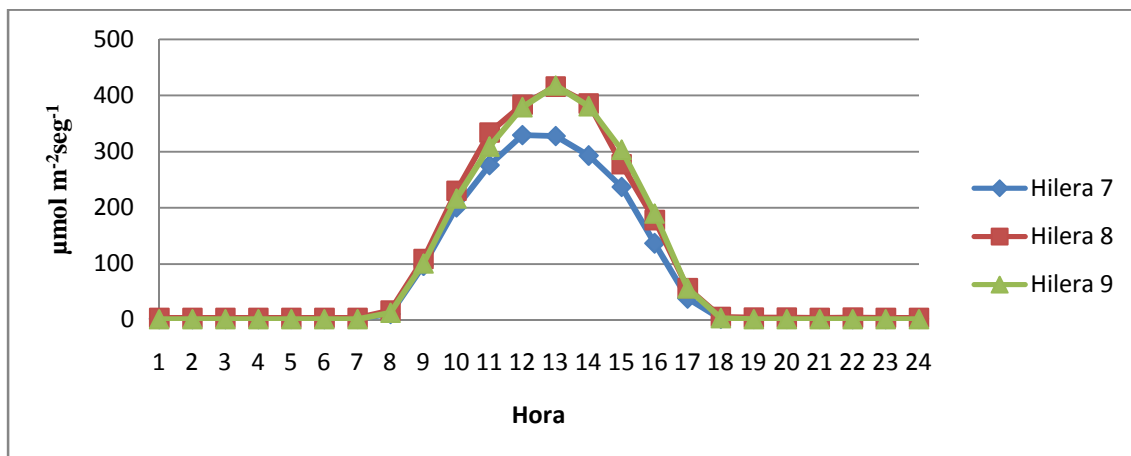
Gráfica 4.33. Radiación PAR media recibida por hilera en el tratamiento 1 durante el mes de enero.



4.2.3.5. DISTRIBUCIÓN POR HILERAS DE LA RADIACIÓN PAR DE LAS SONDAS DE T₂.

En el tratamiento 2 se puede observar como las hileras 8 y 9 vuelven a tener valores muy similares de radiación, mientras que la hilera 7 situada más al norte del tratamiento ha sido la hilera que ha recibido menor radiación.

Gráfica 4.34. Radiación PAR media recibida por hilera en el tratamiento 2 durante el mes de enero.



4.2.3.6. ANÁLISIS DE LA VARIANZA DE LA RADIACIÓN PAR POR HILERAS DE SONDAS PARA CADA TRATAMIENTO.

En la tabla 4.9, se puede volver a observar, como en el tratamiento 0 (testigo), las hileras 1 y 3, ambas con orientación sur, han sido las hileras que mayor cantidad de radiación han recibido, mientras que la hilera 2, con orientación norte ha sido la hilera que menos radiación PAR ha recibido. En el tratamiento 1, las hileras 4 y 6, ambas con orientación sur, han sido las que mayor radiación PAR han recibido, en concreto la hilera 6, situada en el sur de dicho tratamiento, mientras que la hilera 5, situada en el centro del tratamiento y con orientación norte, ha sido la que menor radiación ha recibido, seguramente al coincidir, como ya se ha mencionado antes, con la placa fotovoltaica. Para el tratamiento 2 la hilera 7 de nuevo ha sido la que menor radiación ha recibido.

En cuanto a las diferencias significativas, como se puede observar en la tabla 4.10, existen diferencias significativas entre todas las hileras, exceptuando las hileras 1 y 3, situadas en el tratamiento 0, ambas con orientación sur, y las hileras 8 y 9, situadas en el tratamiento 2, en este caso con distinta orientación, la hilera 8 con orientación norte, mientras que la hilera 9, tiene orientación sur.

Tabla 4.9. Parámetros descriptivos de radiación PAR para cada hilera durante el mes de enero.

Hilera	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
				Límite inferior	Límite superior		
1	131,86	200,16	1,72	128,50	135,23	4,00	1022,00
2	108,35	156,43	1,34	105,72	110,98	5,00	743,00
3	132,67	202,91	1,74	129,27	136,08	4,00	1011,00
4	101,20	159,54	1,12	99,01	103,39	0,00	894,00
5	88,63	134,34	0,94	86,79	90,48	0,00	676,00
6	118,40	191,45	1,34	115,77	121,02	0,00	962,00
7	83,25	134,37	1,15	80,99	85,51	0,00	731,00
8	103,17	159,25	1,11	100,99	105,36	0,00	793,00
9	100,85	175,14	1,23	98,45	103,26	0,00	1080,00

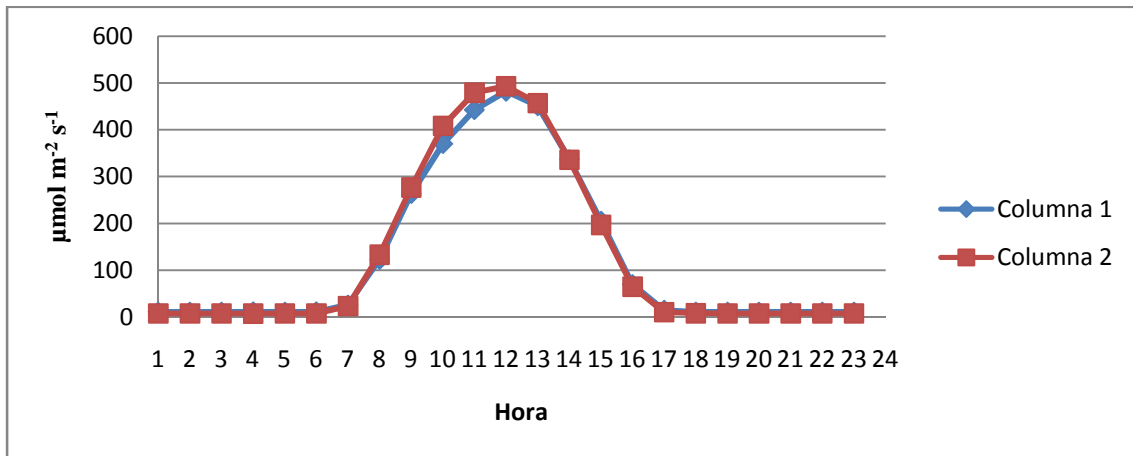
Tabla 4.10. Análisis múltiple de la radiación PAR por hilera durante el mes de enero.(*. La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05.)

(I) OrientHilera	(J) OrientHilera	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
1	2	23,5126*	2,28	0,00	18,06	28,96
	3	-0,81	2,28	1,00	-6,26	4,64
2	1	-23,5126*	2,28	0,00	-28,96	-18,06
	3	-24,3229*	2,28	0,00	-29,77	-18,87
3	1	0,81	2,28	1,00	-4,64	6,26
	2	24,3229*	2,28	0,00	18,87	29,77
4	5	12,5641*	1,62	0,00	8,69	16,44
	6	-17,1988*	1,62	0,00	-21,07	-13,33
5	4	-12,5641*	1,62	0,00	-16,44	-8,69
	6	-29,7629*	1,62	0,00	-33,64	-25,89
6	4	17,1988*	1,62	0,00	13,33	21,07
	5	29,7629*	1,62	0,00	25,89	33,64
7	8	-19,9206*	1,77	0,00	-24,15	-15,69
	9	-17,6018*	1,77	0,00	-21,84	-13,37
8	7	19,9206*	1,77	0,00	15,69	24,15
	9	2,32	1,58	0,43	-1,47	6,11
9	7	17,6018*	1,77	0,00	13,37	21,84
	8	-2,32	1,58	0,43	-6,11	1,47

4.2.3.7. DISTRIBUCIÓN POR COLUMNAS DE LA RADIACIÓN PAR DE LAS SONDAS DE T₀.

En el tratamiento 0, los valores de radiación para las columnas 1 y 2 vuelven a ser similares, observándose alguna diferencia entre las 9 y las 12 horas.

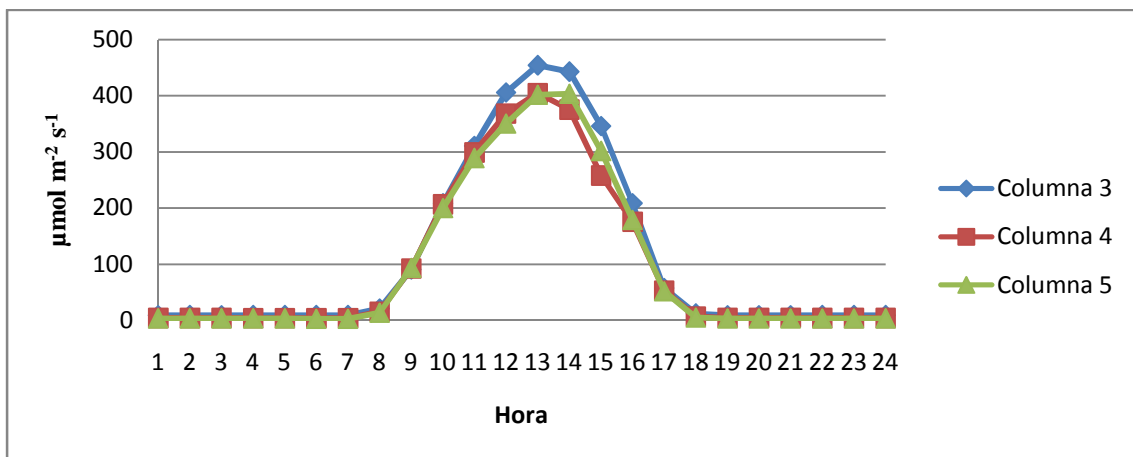
Gráfica 4.35. Radiación PAR media recibida por columna en el tratamiento 0 durante el mes de enero.



4.2.3.8. DISTRIBUCIÓN POR COLUMNAS DE LA RADIACIÓN PAR DE LAS SONDAS DE T₁.

En el tratamiento 1, la columna que recibe niveles más altos de radiación es la columna 3, habiendo un intercambio a las 13 horas aproximadamente entre las columnas 4 y 5.

Gráfica 4.36. Radiación PAR media recibida por columna en el tratamiento 1 durante el mes de enero.

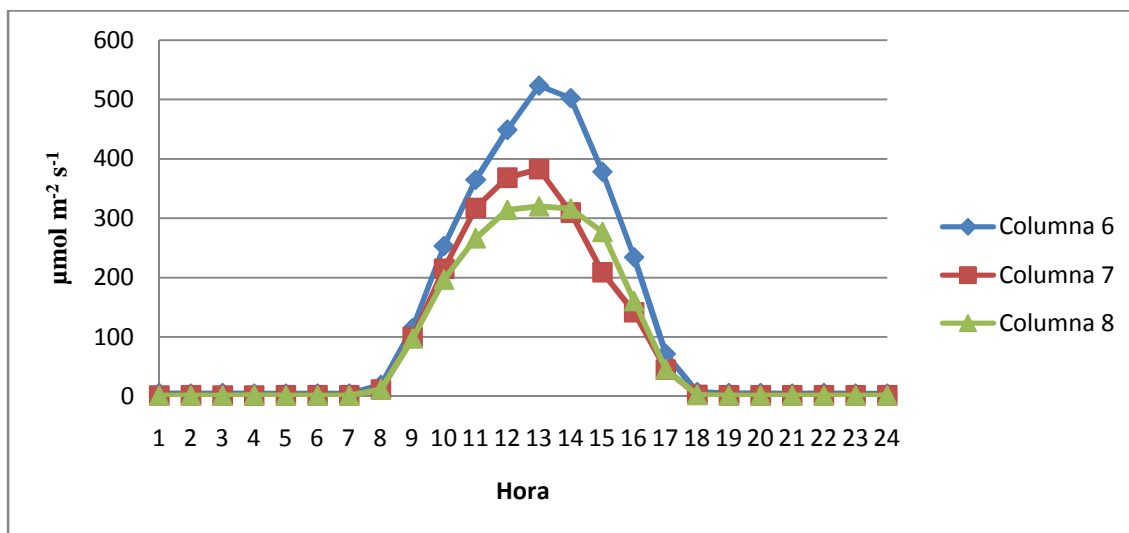


4.2.3.9. DISTRIBUCIÓN POR COLUMNAS DE LA RADIACIÓN PAR DE LAS SONDAS DE T₂.

En el tratamiento 2, como se observa en el gráfico 4.37., la columna 6 ha recibido mayor cantidad de radiación que las columnas 7 y 8. Con las columnas 7 y 8,

vuelve a ocurrir una situación similar a la del tratamiento 1, entre las 10 y las 14 horas la columna 7 ha recibido mayor radiación que la columna 8, mientras que a partir de las 14, hasta las 16 horas, la columna 8 ha recibido mayor radiación, este hecho es debido seguramente a la posición del sol a distintas horas del día.

Gráfica 4.37. Radiación PAR media recibida por columna en el tratamiento 2 durante el mes de enero.



4.2.3.10. ANÁLISIS DE LA VARIANZA DE LA RADIACIÓN PAR POR COLUMNA DE SONDAS PARA CADA TRATAMIENTO.

En la tabla 4.11., se puede observar como las columnas 1 y 2 han recibido valores de radiación muy similares. En el tratamiento 1 se observa como las columnas 4 y 5, vuelven a obtener valores muy similares de radiación, y observando la tabla de comparaciones múltiples, 4.12., se puede observar por lo tanto, que no existen diferencias significativas entre ambas columnas. En el tratamiento 2 se observa como la columna 6 ha recibido de nuevo valores de radiación más altos que las columnas 7 y 8.

Tabla 4.11. Parámetros descriptivos de la radiación PAR para cada columna durante el mes de enero.

Columna	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
				Límite inferior	Límite superior		
1	123,17	182,55	1,28	120,67	125,68	7,00	1011,00
2	125,42	193,38	1,35	122,77	128,07	4,00	1022,00
3	112,61	174,99	1,22	110,21	115,01	2,00	962,00
4	97,37	152,83	1,07	95,27	99,46	0,00	710,00
5	98,25	162,71	1,14	96,02	100,48	0,00	919,00
6	125,90	202,79	1,74	122,49	129,31	0,00	1080,00
7	89,86	146,38	1,02	87,85	91,87	0,00	731,00
8	85,74	136,65	0,96	83,86	87,61	0,00	764,00

Tabla 4.12. Análisis múltiple de la radiación PAR por columna durante el mes de enero. (*. La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05.)

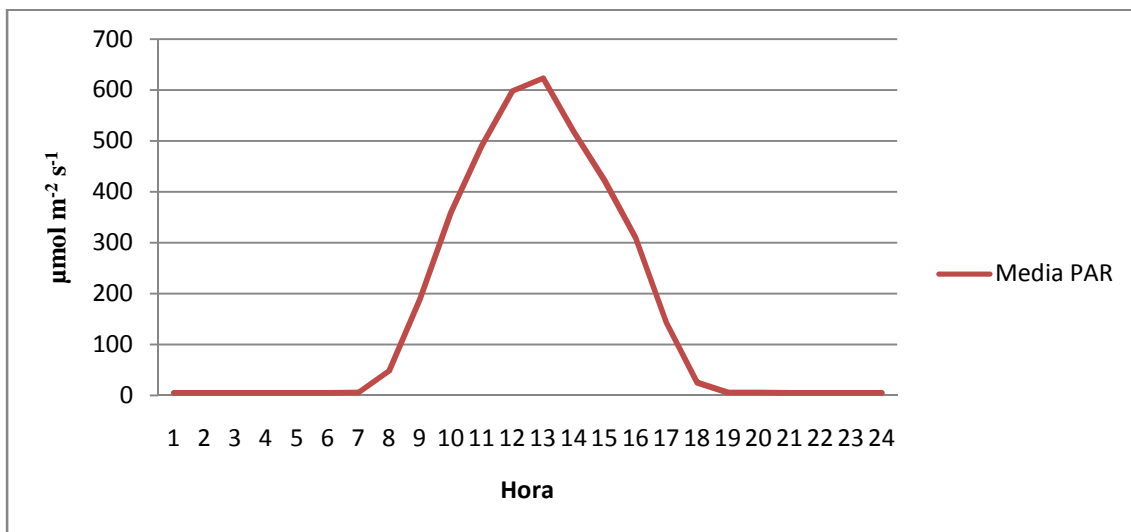
(I) OrientColumnas	(J) OrientColumnas	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
3	4	15,2389*	1,62	0,00	11,36	19,12
	5	14,3594*	1,62	0,00	10,48	18,24
4	3	-15,2389*	1,62	0,00	-19,12	-11,36
	5	-0,88	1,62	1,00	-4,76	3,00
5	3	-14,3594*	1,62	0,00	-18,24	-10,48
	4	0,88	1,62	1,00	-3,00	4,76
6	7	36,0368*	1,76	0,00	31,82	40,25
	8	40,1595*	1,76	0,00	35,94	44,38
7	6	-36,0368*	1,76	0,00	-40,25	-31,82
	8	4,1227*	1,58	0,03	0,35	7,89
8	6	-40,1595*	1,76	0,00	-44,38	-35,94
	7	-4,1227*	1,58	0,03	-7,89	-0,35

4.2.4. MES DE FEBRERO.

4.2.4.1. DISTRIBUCIÓN HORARIA DE LA RADIACIÓN PAR.

En la gráfica 4.38., se vuelve a mostrar la distribución de la radiación PAR por hora durante el mes de febrero y de nuevo, como se puede apreciar alcanza su máximo valor en torno a las 13 horas.

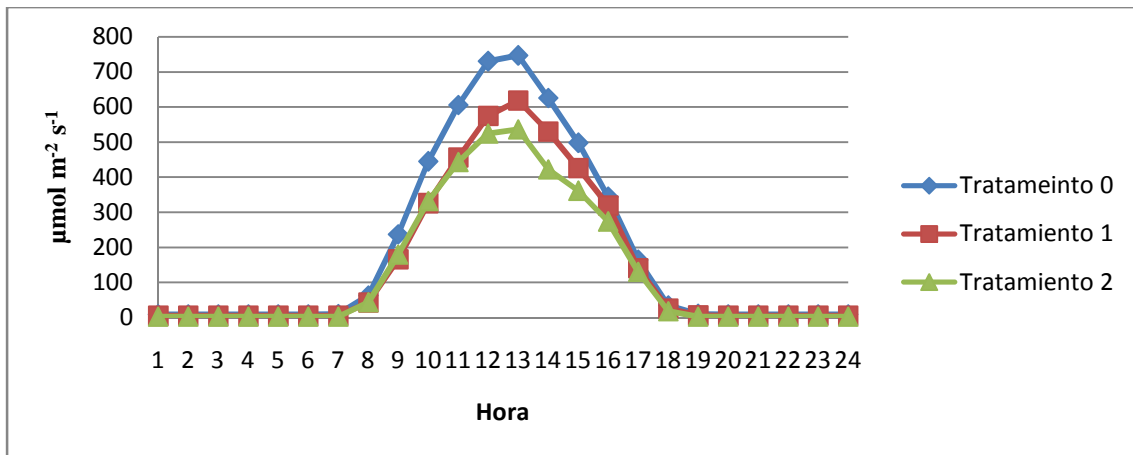
Gráfica 4.38. Radiación PAR media recibida en el mes de febrero por categoría de hora solar.



4.2.4.2. DISTRIBUCIÓN POR TRATAMIENTO DE LA RADIACIÓN PAR.

Como se observa en la tabla 4.39., el tratamiento 0 vuelve a ser el tratamiento que mayor radiación PAR ha recibido durante este mes, seguido del tratamiento 1, que entre las 11 y las 16 horas también ha recibido una mayor cantidad de radiación que el tratamiento 2 situado más al este.

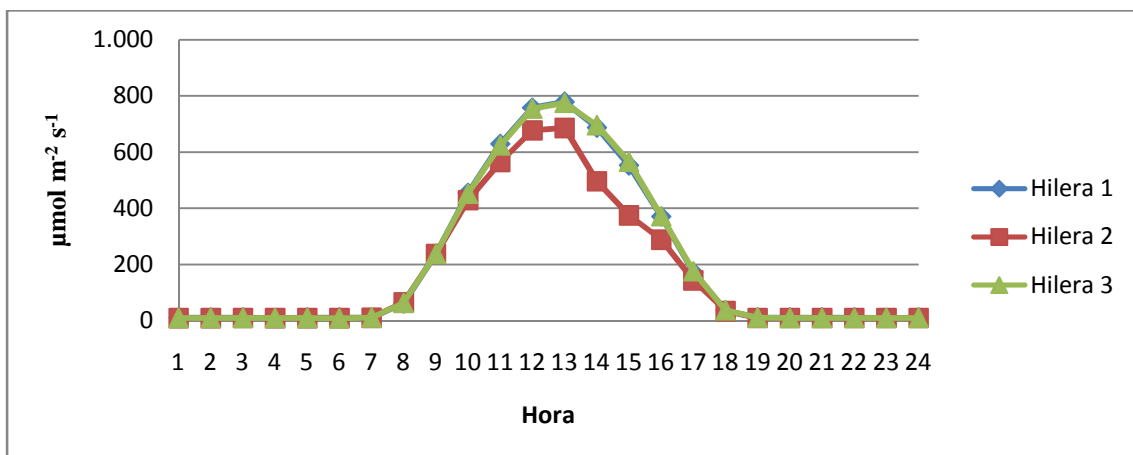
Gráfica 4.39. Radiación PAR media recibida en cada tratamiento durante el mes de febrero.



4.2.4.3. DISTRIBUCIÓN POR HILERAS DE LA RADIACIÓN PAR DE LAS SONDAS DE T₀.

En el tratamiento 0, se vuelve a observar lo sucedido en casos anteriores, las hileras 1 y 3, ambas con orientación sur vuelven a ser las hileras que mayor radiación PAR reciben.

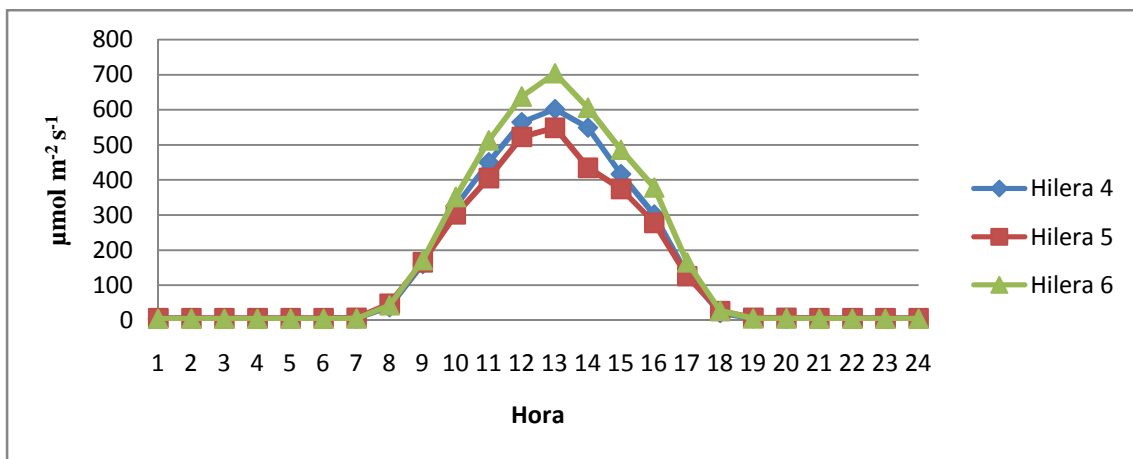
Gráfica 4.40. Radiación PAR media recibida por hilera en el tratamiento 0 durante el mes de febrero.



4.2.4.4. DISTRIBUCIÓN POR HILERAS DE LA RADIACIÓN PAR DE LAS SONDAS DE T₁.

En el caso del tratamiento 1, la gráfica 4.41., muestra como la hilera que mayor radiación ha recibido es la hilera 6, con orientación sur, seguida de la hilera 4, también con orientación sur, mientras que la que menos radiación ha recibido es la hilera 5, experimentando un mayor descenso entre las 13 y las 16 horas aproximadamente.

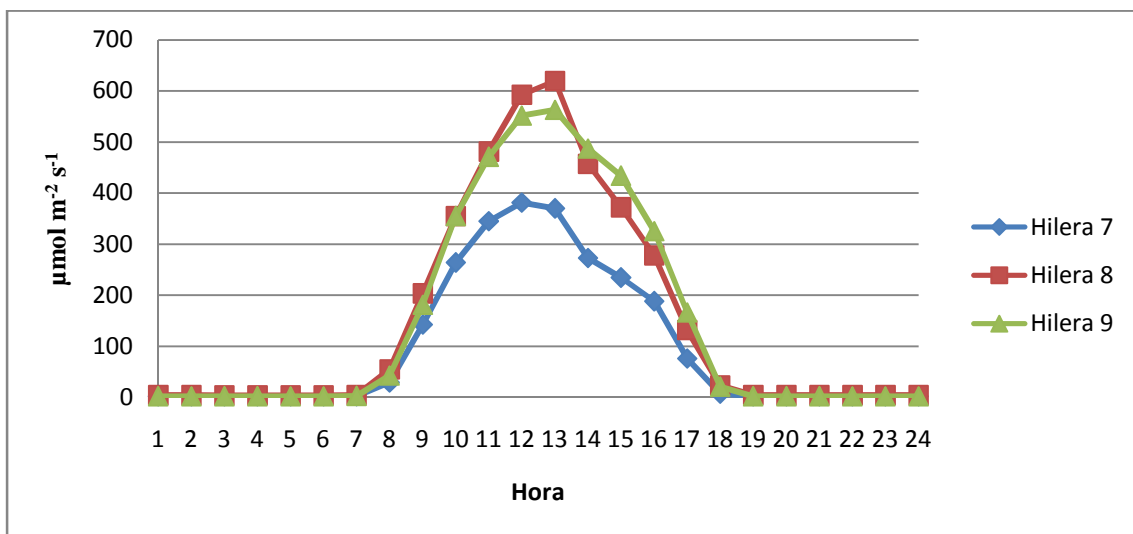
Gráfica 4.41. Radiación PAR media recibida por hilera en el tratamiento 1 durante el mes de febrero.



4.2.4.5. DISTRIBUCIÓN POR HILERAS DE LA RADIACIÓN PAR DE LAS SONDAS DE T₂.

En el tratamiento 2 vuelve a haber un cambio en el comportamiento de las hileras 8 y 9.

Gráfica 4.42. Radiación PAR media recibida por hilera en el tratamiento 2 durante el mes de febrero.



4.2.4.6. ANÁLISIS DE LA VARIANZA DE LA RADIACIÓN PAR POR HILERAS DE SONDAS PARA CADA TRATAMIENTO.

En las tablas 4.13. y 4.14., vuelven a mostrarse los valores de radiación para cada hilera y las diferencias significativas entre ellas para cada tratamiento.

Tabla 4.13. Parámetros descriptivos de radiación PAR para cada hilera durante el mes de febrero.

Hilera	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
				Límite inferior	Límite superior		
1	208,86	297,49	2,50	203,96	213,75	4,00	1264,00
2	176,17	252,18	2,12	172,02	180,32	5,00	1329,00
3	209,01	298,24	2,50	204,10	213,91	4,00	1285,00
4	155,85	230,80	1,58	152,75	158,95	0,00	1139,00
5	142,51	208,22	1,43	139,71	145,31	0,00	1124,00
6	178,52	265,10	1,82	174,96	182,08	0,00	1250,00
7	99,92	168,15	1,41	97,15	102,69	0,00	926,00
8	155,50	226,47	1,55	152,45	158,54	0,00	1160,00
9	155,71	243,98	1,67	152,43	158,99	0,00	1294,00

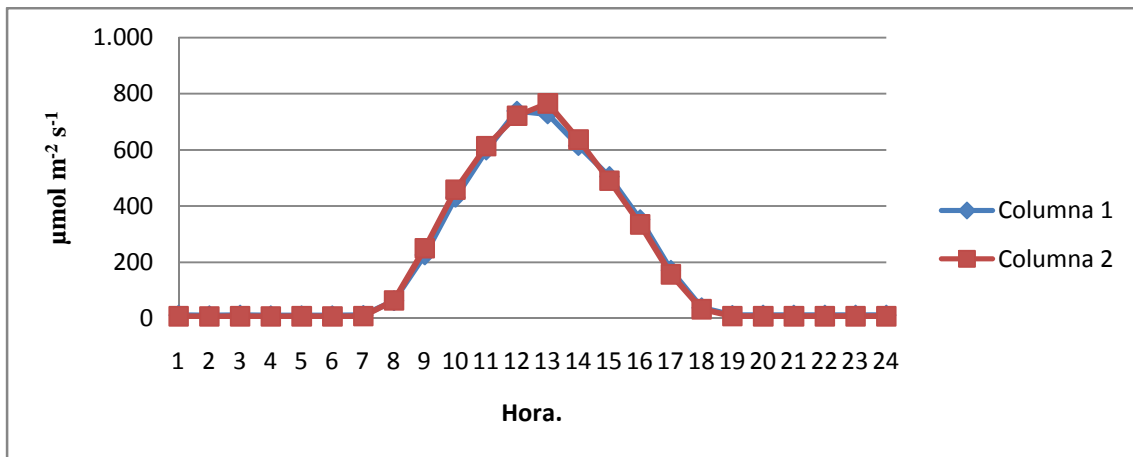
Tabla 4.14. Análisis múltiple de la radiación PAR por hilera durante el mes de febrero. (*. La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05.)

(I) OrientHilera	(J) OrientHilera	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
1	2	32,6833*	3,37	0,00	24,62	40,74
	3	-0,15	3,37	1,00	-8,21	7,91
2	1	-32,6833*	3,37	0,00	-40,74	-24,62
	3	-32,8327*	3,37	0,00	-40,89	-24,77
3	1	0,15	3,37	1,00	-7,91	8,21
	2	32,8327*	3,37	0,00	24,77	40,89
4	5	13,3344*	2,29	0,00	7,86	18,81
	6	-22,6741*	2,29	0,00	-28,15	-17,20
5	4	-13,3344*	2,29	0,00	-18,81	-7,86
	6	-36,0085*	2,29	0,00	-41,48	-30,53
6	4	22,6741*	2,29	0,00	17,20	28,15
	5	36,0085*	2,29	0,00	30,53	41,48
7	8	-55,5779*	2,39	0,00	-61,30	-49,85
	9	-55,7880*	2,39	0,00	-61,51	-50,07
8	7	55,5779*	2,39	0,00	49,85	61,30
	9	-0,21	2,14	1,00	-5,33	4,91
9	7	55,7880*	2,39	0,00	50,07	61,51
	8	0,21	2,14	1,00	-4,91	5,33

4.2.4.7. DISTRIBUCIÓN POR COLUMNAS DE LA RADIACIÓN PAR DE LAS SONDAS DE T₀.

La distribución por columnas de la radiación PAR en el tratamiento 0, como ya se ha observado en apartados anteriores, es muy similar, mostrando la columna 2 ligeros niveles de radiación superiores entre las 12 y las 15 horas, que la columna 1, situada más al este del tratamiento.

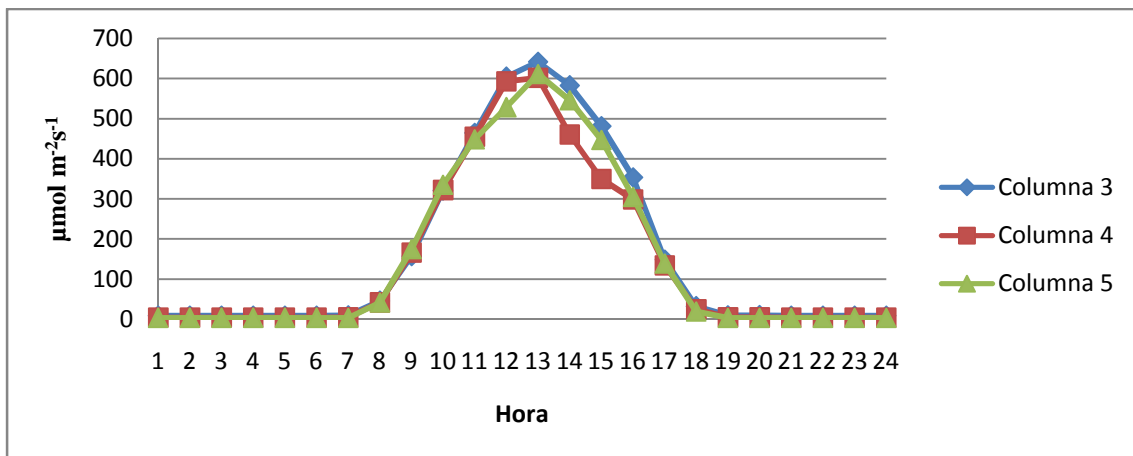
Gráfica 4.43. Radiación PAR media recibida por columna en el tratamiento 0 durante el mes de febrero.



4.2.4.8. DISTRIBUCIÓN POR COLUMNAS DE LA RADIACIÓN PAR DE LAS SONDAS DE T₁.

En el tratamiento 1, la columna 3, ha recibido niveles superiores de radiación en todas las horas del día que las columnas 4 y 5. La Columna 4 situada en el centro del tratamiento, ha recibido valores superiores de radiación que la columna 5, hasta las 13 horas aproximadamente, a partir de la cual, experimenta un descenso significativo de la radiación.

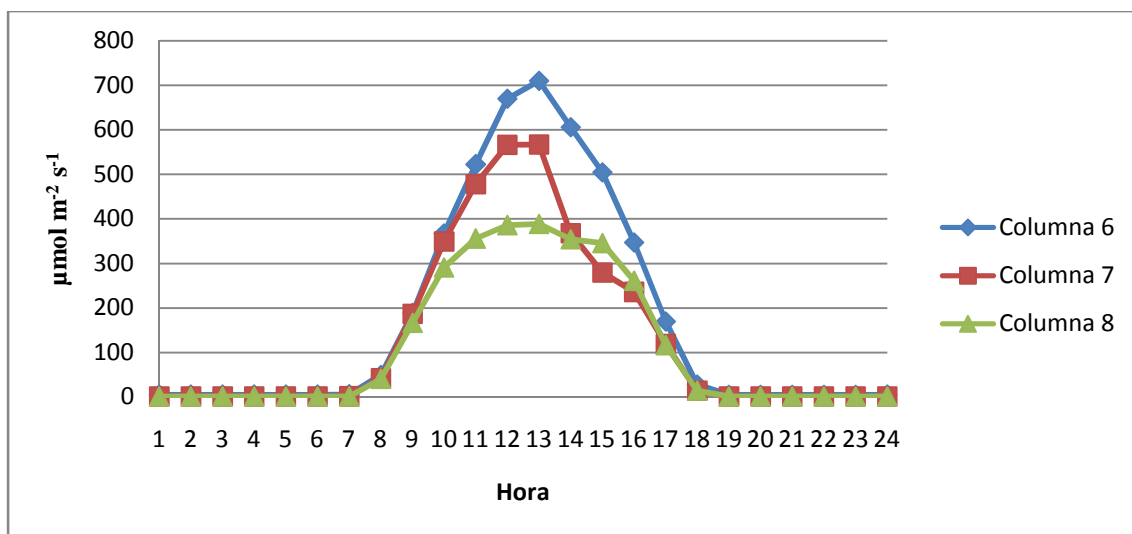
Gráfica 4.44. Radiación PAR media recibida por columna en el tratamiento 1 durante el mes de febrero.



4.2.4.9. DISTRIBUCIÓN POR COLUMNAS DE LA RADIACIÓN PAR DE LAS SONDAS DE T₂.

En el tratamiento 2, y tal y como indica la gráfica 4.45., la columna 6, ha recibido mayor cantidad de radiación que las columnas 7 y 8. La columna 7 ha recibido mayor cantidad de radiación que la columna 8, entre las 9 y las 14 horas, pasando a recibir menor radiación entre las 14 y las 17 horas, aunque con menor diferencia de radiación que en el intervalo anterior como se puede observar en la gráfica.

Gráfica 4.45. Radiación PAR media recibida por columna en el tratamiento 2 durante el mes de febrero.



4.2.4.10. ANALISIS DE LA VARIANZA DE LA RADIACIÓN PAR POR COLUMNA DE SONDAS PARA CADA TRATAMIENTO.

En la tabla 4.15., se muestra como los valores para las columnas 1 y 2 son prácticamente iguales, mientras que en el tratamiento 1, la columna que mayor radiación ha recibido es la 3, la situada más al oeste del tratamiento, mientras que, la que menor radiación ha recibido es la columna situada en el centro del tratamiento, la columna 4. En el tratamiento 2 se observa como la columna 6, situada más al oeste del tratamiento, ha recibido una radiación bastante superior a las columnas 7 y 8, siendo esta última la que menos radiación ha recibido en el tratamiento 2. Se observa como a medida que nos vamos desplazando hacia el este del tratamiento 2, la radiación PAR va disminuyendo.

En cuanto al análisis múltiple (tabla 4.16), se puede observar como existen diferencias significativas para todas las columnas.

Tabla 4.15. Parámetros descriptivos de radiación PAR para cada columna durante el mes de febrero.

Columna	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
				Límite inferior	Límite superior		
1	197,64	281,04	1,93	193,86	201,42	7,00	1285,00
2	198,38	286,68	1,97	194,53	202,23	4,00	1329,00
3	169,89	247,87	1,70	166,56	173,22	2,00	1189,00
4	150,55	220,91	1,51	147,58	153,52	0,00	1124,00
5	156,45	239,02	1,64	153,23	159,66	0,00	1250,00
6	182,08	275,17	2,31	177,55	186,61	0,00	1294,00
7	138,61	209,25	1,43	135,80	141,42	0,00	1160,00
8	117,82	187,83	1,29	115,30	120,35	0,00	1039,00

Tabla 4.16. Análisis múltiple de la radiación PAR por columna durante el mes de enero. (*. La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05.)

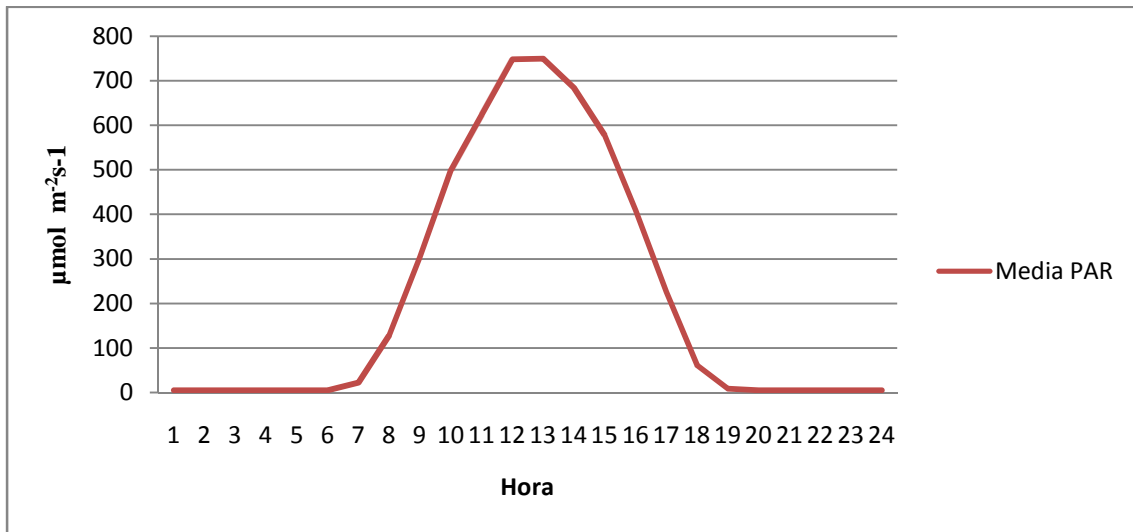
(I) OrientColumnas	(J) OrientColumnas	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
3	4	19,3399*	2	0	14	25
	5	13,4414*	2	0	8	19
4	3	-19,3399*	2	0	-25	-14
	5	-5,8985*	2	0	-11	0
5	3	-13,4414*	2	0	-19	-8
	4	5,8985*	2	0	0	11
6	7	43,4693*	2	0	38	49
	8	64,2536*	2	0	59	70
7	6	-43,4693*	2	0	-49	-38
	8	20,7843*	2	0	16	26
8	6	-64,2536*	2	0	-70	-59
	7	-20,7843*	2	0	-26	-16

4.2.5. MES DE MARZO

4.2.5.1. DISTRIBUCIÓN HORARIA DE LA RADIACIÓN PAR.

En la gráfica 4.45., se vuelve a mostrar la distribución horaria de la radiación PAR durante el mes de marzo. Como ya se ha podido ver en meses anteriores, la radiación vuelve a alcanzar su máximo entre las 12 y las 13 horas.

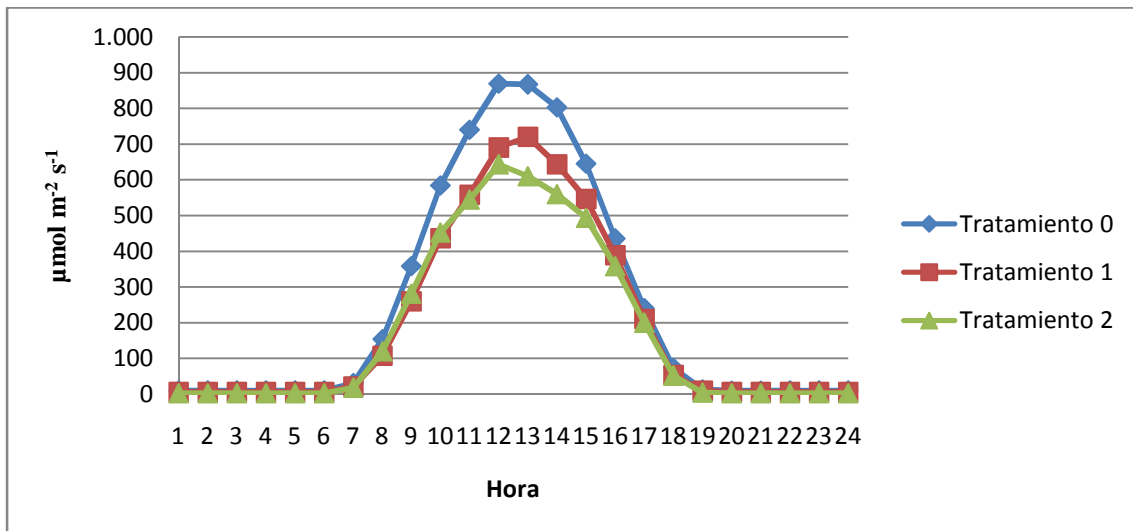
Gráfica 4.46. Radiación PAR media recibida en el mes de marzo por categoría de hora solar.



4.2.5.2. DISTRIBUCIÓN POR TRATAMIENTO DE LA RADIACIÓN PAR.

Para el mes de marzo el tratamiento 0, vuelve a ser el que mayor cantidad de radiación PAR recibe. El tratamiento 1, situado más al oeste recibe más radiación que el tratamiento 2, situado más al este.

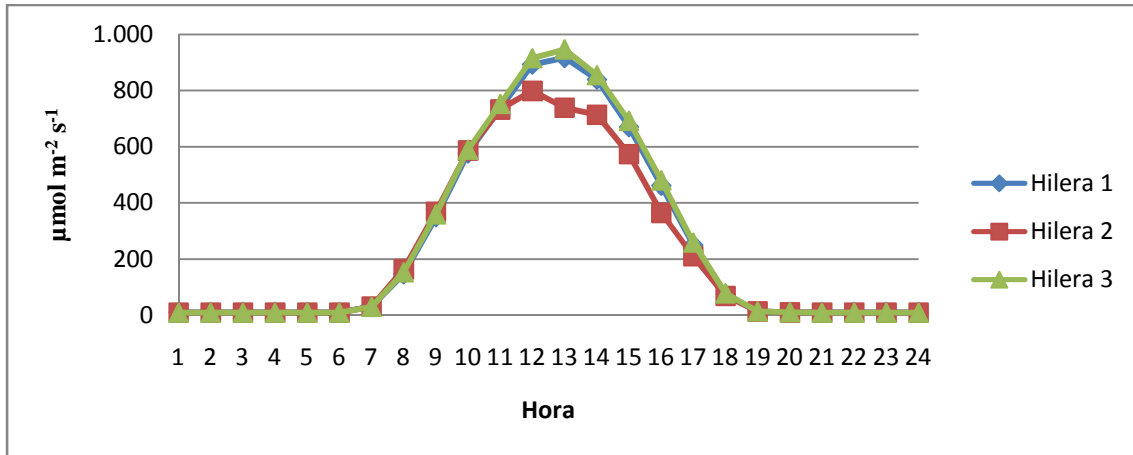
Gráfica 4.47. Radiación PAR media recibida en cada tratamiento durante el mes de Marzo.



4.2.5.3. DISTRIBUCIÓN POR HILERAS DE LA RADIACIÓN PAR DE LAS SONDAS DE T₀.

En el tratamiento 0, las hileras 1 y 3, con orientación sur, vuelven a recibir valores de radiación muy próximos. La hilera 2 situada en el centro del tratamiento, ha sido la que menor radiación ha recibido.

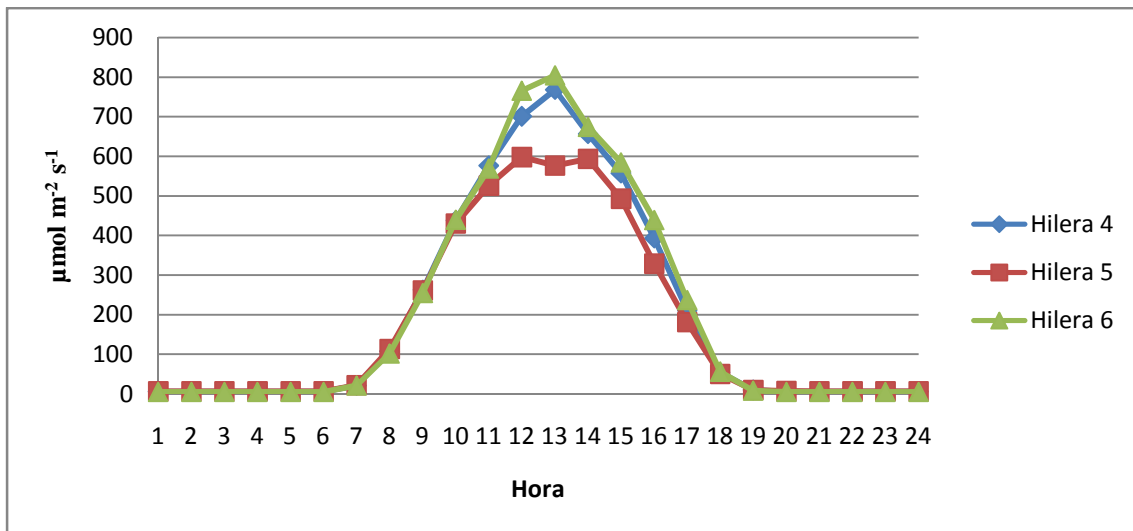
Gráfica 4.48. Radiación PAR media recibida por hilera en el tratamiento 0 durante el mes de marzo.



4.2.5.4. DISTRIBUCIÓN POR HILERAS DE LA RADIACIÓN PAR DE LAS SONDAS DE T₁.

En el tratamiento 1, las hileras 4 y 6, ambas con orientación sur, muestran valores de radiación muy similares, salvo entre las 11 y las 13 horas, que la hilera más situada al sur del tratamiento, es decir, la hilera 6 presenta niveles de radiación superiores. La hilera 5, situada en el centro del tratamiento es la hilera que menor radiación ha recibido prácticamente a lo largo de todas las horas.

Gráfica 4.49. Radiación PAR media recibida por hilera en el tratamiento 1 durante el mes de marzo.

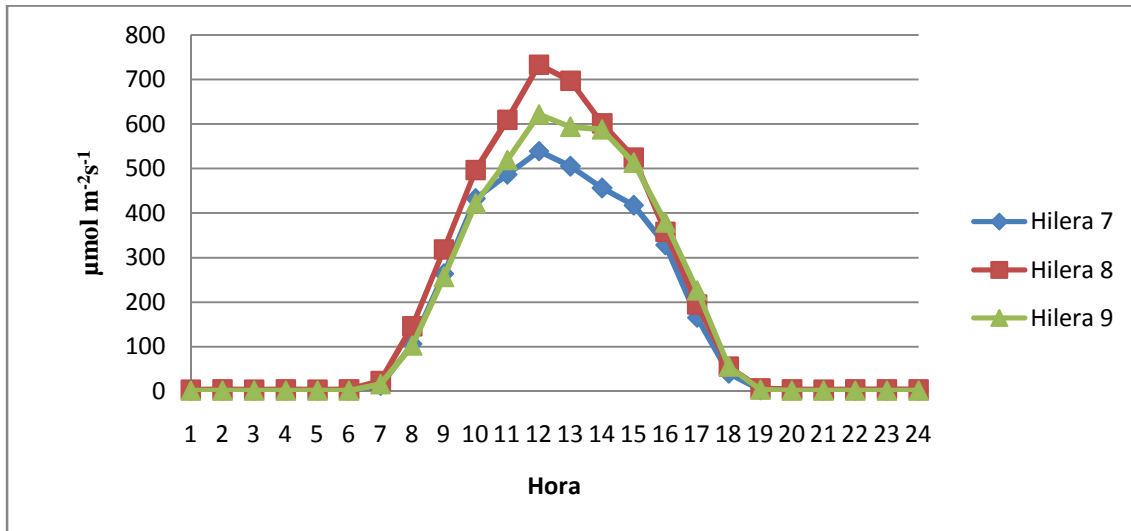


4.2.5.5. DISTRIBUCIÓN POR HILERAS DE LA RADIACIÓN PAR DE LAS SONDAS DE T₂.

En el tratamiento 2, la hilera que mayor radiación recibe es la hilera 8, situada en el centro del tratamiento y con orientación norte, seguida de la 9, que junto a la hilera 7, reciben menos radiación desde prácticamente primera hora de la mañana. La hilera 7,

situada más al norte del tratamiento vuelve a ser la hilera que recibe menos radiación. Se puede decir que en este mes se presenta por primera vez este caso, en el que la hilera 8 del tratamiento, orientada al norte, es la hilera que mayor radiación recibe.

Gráfica 4.50. Radiación PAR media recibida por hilera en el tratamiento 2 durante el mes de marzo.



4.2.5.6. ANÁLISIS DE LA VARIANZA DE LA RADIACIÓN PAR POR HILERA DE SONDAS PARA CADA TRATAMIENTO.

En la tabla 4.17 observamos como en el tratamiento 0, las hileras 1 y 3, reciben valores muy similares de radiación por encima de la hilera 2, situada en el centro del tratamiento. En el tratamiento 1, las hileras 4 y 6, también reciben valores más próximos de radiación, por encima de la hilera 5, situada en el centro del tratamiento, como ocurría en el tratamiento 0. En el tratamiento 2, se puede apreciar una diferencia más escalonada, recibiendo mayor radiación la hilera 8, situada en el centro del tratamiento y con orientación norte.

Tabla 4.17. Parámetros descriptivos de radiación PAR para cada hilera durante el mes de marzo.

Hilera	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
				Límite inferior	Límite superior		
1	253,88	354,27	2,69	248,62	259,14	4,00	1442,00
2	228,73	313,40	2,38	224,08	233,39	5,00	1382,00
3	260,61	363,87	2,76	255,20	266,01	4,00	1497,00
4	201,97	289,40	1,79	198,46	205,48	0,00	1283,00
5	178,58	245,49	1,59	175,47	181,68	0,00	1196,00
6	210,06	306,21	1,89	206,34	213,77	0,00	1340,00
7	158,08	229,87	1,74	154,67	161,50	0,00	1145,00
8	201,39	282,09	1,75	197,97	204,81	0,00	1393,00
9	180,91	276,70	1,71	177,56	184,27	0,00	1430,00

En la tabla 4.18, referente a las diferencias significativas, las únicas hileras que no han presentado diferencias significativas para un intervalo de confianza del 95%, son las hileras 1 y 3, situadas en el tratamiento 0.

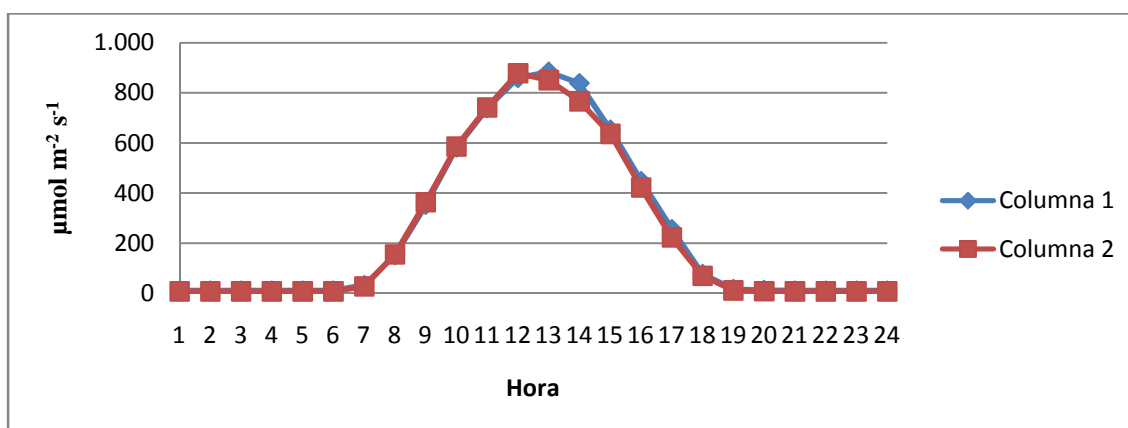
Tabla 4.18. Análisis múltiple de la radiación PAR por hilera durante el mes de marzo. (*. La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05.)

(I) OrientHilera	(J) OrientHilera	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
1	2	25,1461*	3,69	0,00	16,30	33,99
	3	-6,73	3,69	0,21	-15,57	2,11
2	1	-25,1461*	3,69	0,00	-33,99	-16,30
	3	-31,8729*	3,69	0,00	-40,71	-23,03
3	1	6,73	3,69	0,21	-2,11	15,57
	2	31,8729*	3,69	0,00	23,03	40,71
4	5	23,3891*	2,53	0,00	17,34	29,44
	6	-8,0918*	2,47	0,00	-14,01	-2,17
5	4	-23,3891*	2,53	0,00	-29,44	-17,34
	6	-31,4809*	2,53	0,00	-37,53	-25,43
6	4	8,0918*	2,47	0,00	2,17	14,01
	5	31,4809*	2,53	0,00	25,43	37,53
7	8	-43,3074*	2,62	0,00	-49,58	-37,03
	9	-22,8293*	2,62	0,00	-29,10	-16,55
8	7	43,3074*	2,62	0,00	37,03	49,58
	9	20,4781*	2,34	0,00	14,87	26,09
9	7	22,8293*	2,62	0,00	16,55	29,10
	8	-20,4781*	2,34	0,00	-26,09	-14,87

4.2.5.7. DISTRIBUCIÓN POR COLUMNAS DE LA RADIACIÓN PAR DE LAS SONDAS DE T₀.

En este gráfico se observa que la radiación en ambas columnas es prácticamente igual.

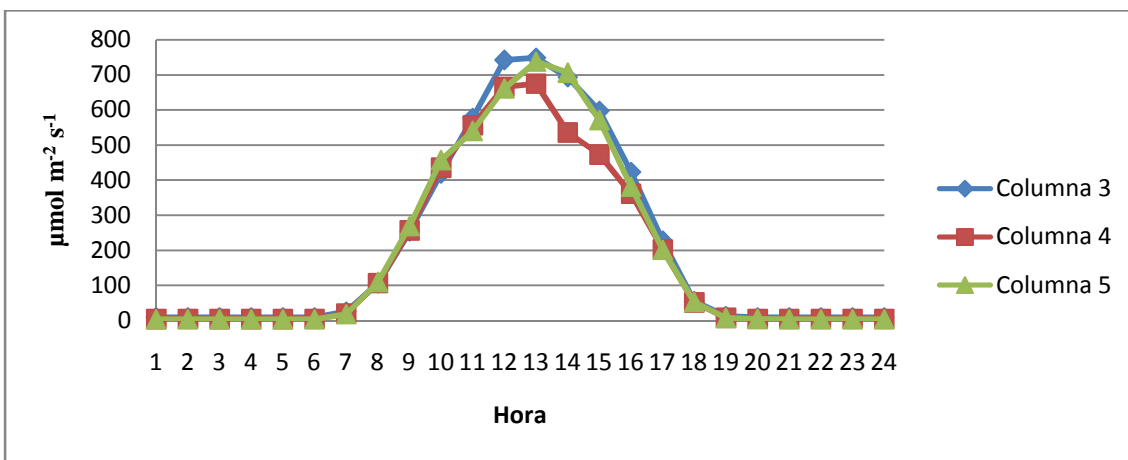
Gráfica 4.51. Radiación PAR media recibida por columna en el tratamiento 0 durante el mes de marzo.



4.2.5.8. DISTRIBUCIÓN POR COLUMNAS DE LA RADIACIÓN PAR DE LAS SONDAS DE T₁.

En el tratamiento 1, se observa cómo entre las 10 y las 13 horas, la columna que mayor radiación recibe es la columna 3, situada más al oeste del tratamiento, mientras que la columna 4 y 5, reciben la misma radiación, a partir de las 13 horas, la radiación recibida por las columnas 3 y 5, es prácticamente la misma, mientras la columna 4, situada en el centro del tratamiento experimenta un descenso significativo entre las 13 y las 15 horas.

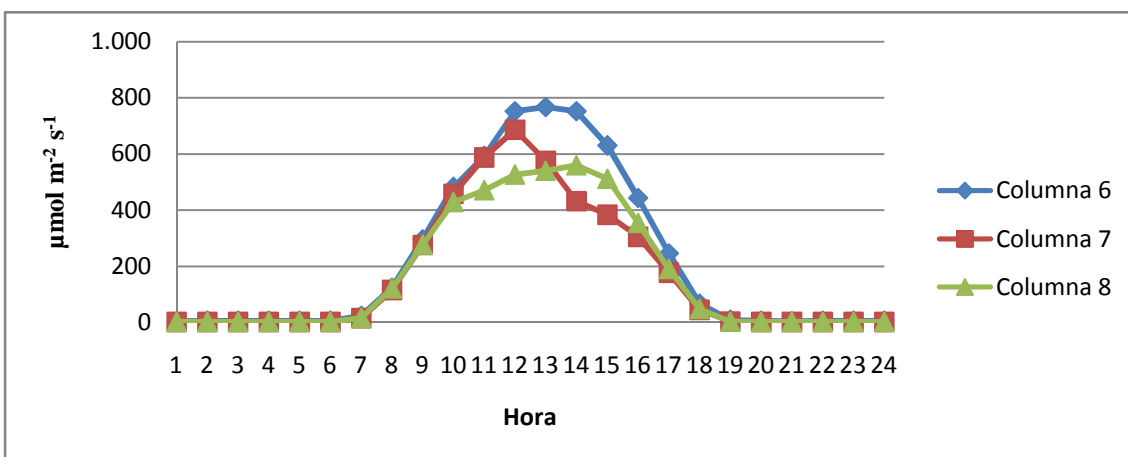
Gráfica 4.52. Radiación PAR media recibida por columna en el tratamiento 1 durante el mes de marzo.



4.2.5.9. DISTRIBUCIÓN POR COLUMNAS DE LA RADIACIÓN PAR DE LAS SONDAS DE T₂.

En el tratamiento 2, la columna 6, es la columna que mas radiación recibe en todo el día, entre las columnas 7 y 8 se va a producir una inversión en cuanto a la radiación recibida, recibiendo la columna 7 mayor radiación entre las 10 y las 13 horas, para a partir de esa hora pasar a recibir menor radiación que la columna 8.

Gráfica 4.53. Radiación PAR media recibida por columna en el tratamiento 1 durante el mes de marzo.



4.2.5.10. ANÁLISIS DE LA VARIANZA DE LA RADIACIÓN PAR POR COLUMNA DE SONDAS PARA CADA TRATAMIENTO.

En la tabla 4.19., se muestra como las columnas 1 y 2, reciben valores muy similares de radiación, en el tratamiento 1, la columna 3, es al columna que recibe mayor radiación, seguida de las columnas 5 y 4. En el tratamiento 2, destacar como las columnas 7 y 8, reciben valores muy parecidos de radiación, siendo superadas ambas columnas por la columna 6, que recibe bastante mayor radiación.

En cuanto a las diferencias significativas, las columnas 7 y 8, situadas en el tratamiento 2, son las únicas que no presentan diferencias significativas.

Tabla 4.19. Parámetros descriptivos de la radiación PAR para cada columna durante el mes de marzo.

Columna	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
				Límite inferior	Límite superior		
1	251,972	348,5865	2,1572	247,744	256,200	7,0	1497,0
2	243,507	340,9402	2,1099	239,372	247,643	4,0	1454,0
3	208,807	296,1717	1,8328	205,215	212,400	2,0	1288,0
4	184,140	260,6140	1,6128	180,979	187,302	,0	1196,0
5	199,350	290,3605	1,8752	195,675	203,026	,0	1340,0
6	219,783	315,6235	2,3922	215,094	224,472	,0	1430,0
7	170,705	249,2935	1,5427	167,681	173,729	,0	1266,0
8	170,462	249,7046	1,5453	167,434	173,491	,0	1393,0

Tabla 4.20. Análisis múltiple de la radiación PAR por columna durante el mes de marzo. (*. La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05.)

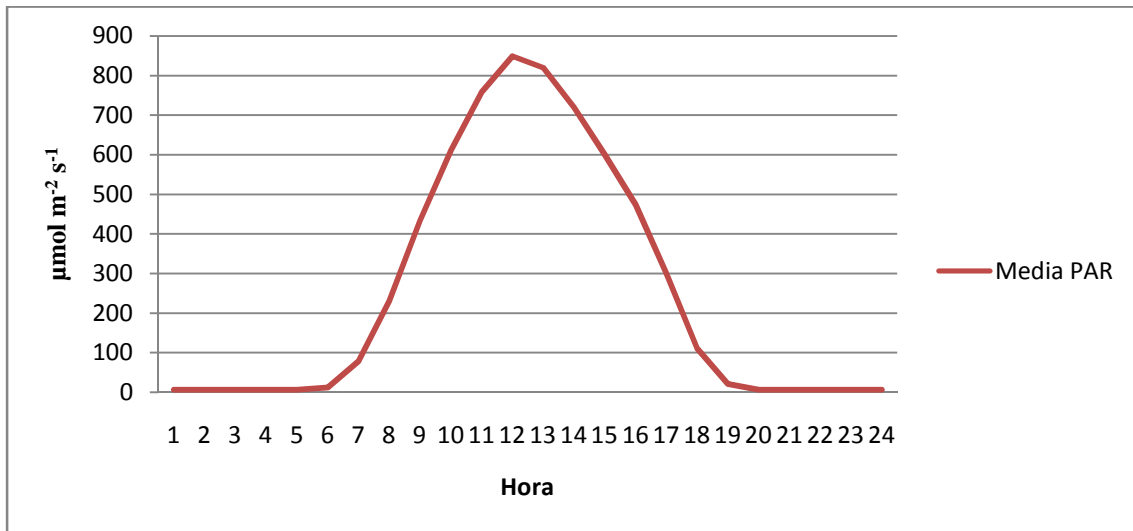
(I) OrientColumnas	(J) OrientColumnas	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
3	4	24,6669*	2,4732	,000	18,746	30,588
	5	9,4569*	2,5277	,001	3,405	15,508
4	3	-24,6669*	2,4732	,000	-30,588	-18,746
	5	-15,2100*	2,5277	,000	-21,261	-9,159
5	3	-9,4569*	2,5277	,001	-15,508	-3,405
	4	15,2100*	2,5277	,000	9,159	21,261
6	7	49,0783*	2,6181	,000	42,811	55,346
	8	49,3208*	2,6181	,000	43,053	55,589
7	6	-49,0783*	2,6181	,000	-55,346	-42,811
	8	,2424	2,3417	1,000	-5,364	5,849
8	6	-49,3208*	2,6181	,000	-55,589	-43,053
	7	-,2424	2,3417	1,000	-5,849	5,364

4.2.6. MES DE ABRIL

4.2.6.1. DISTRIBUCIÓN HORARIA DE LA RADIACIÓN PAR.

Para el mes de abril la gráfica 4.54., vuelve a mostrarnos la distribución de la radiación PAR por hora oficial a lo largo de todo el mes.

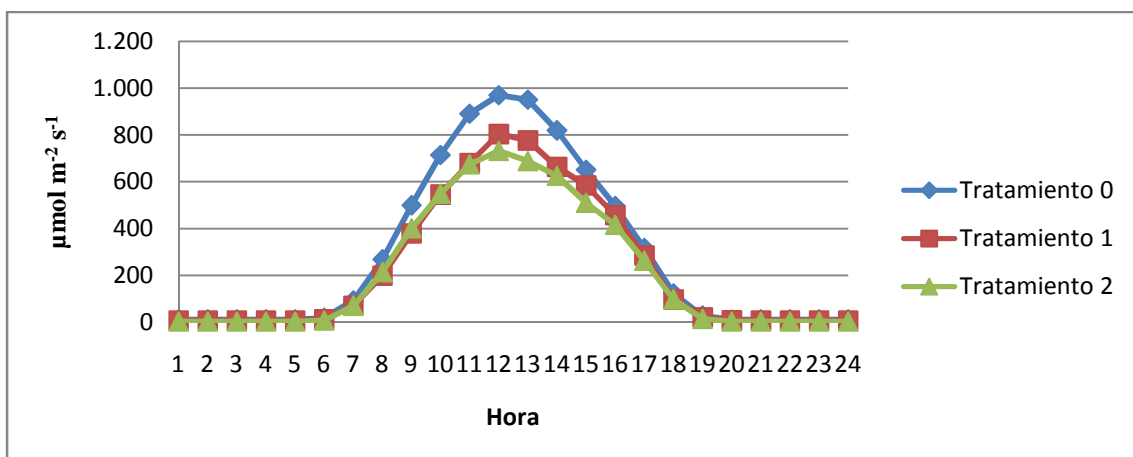
Gráfica 4.54. Radiación PAR media recibida en el mes de abril por categoría de hora solar.



4.2.6.2. DISTRIBUCIÓN POR TRATAMIENTO DE LA RADIACIÓN PAR.

Para el mes de abril, el tratamiento 0 vuelve a ser el tratamiento que mayor radiación recibe, seguido del tratamiento 1, que entre las 11 y las 16 horas supera ligeramente al tratamiento 2.

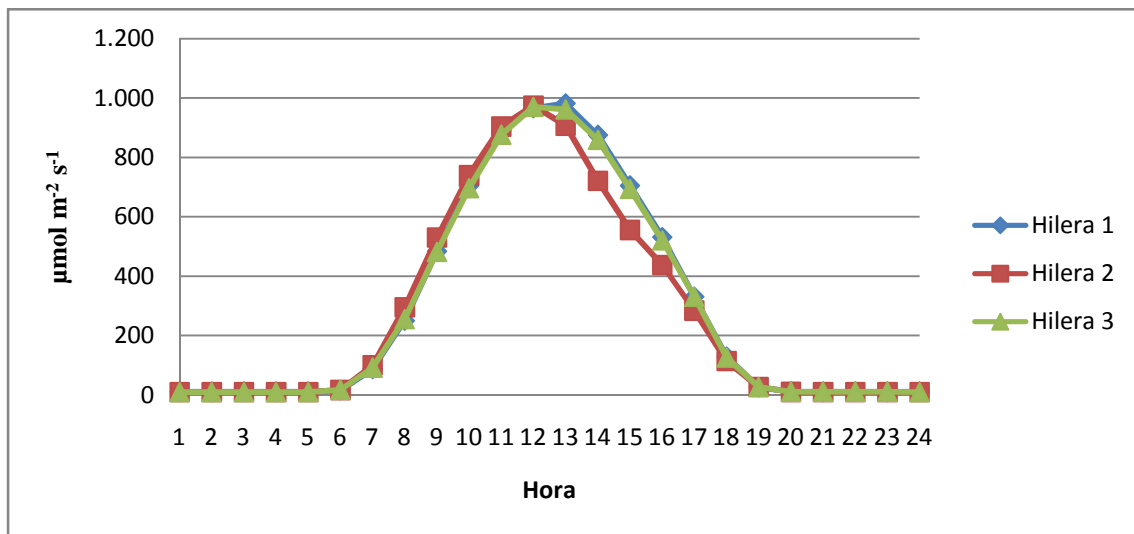
Gráfica 4.55. Radiación PAR media recibida en cada tratamiento durante el mes de abril.



4.2.6.3. DISTRIBUCIÓN POR HILERAS DE LA RADIACIÓN PAR DE LAS SONDAS DE T₀.

En el tratamiento 0, la radiación recibida en las 3 hileras ha sido muy similar. Como ocurría en meses anteriores las hileras 1 y 3, ambas con orientación sur, han recibido valores prácticamente iguales de radiación a lo largo de todo el día, sin embargo se observa como en este caso, la diferencia con la hilera 2, situada en el centro del tratamiento es mayor entre las 13 y las 16 horas aproximadamente.

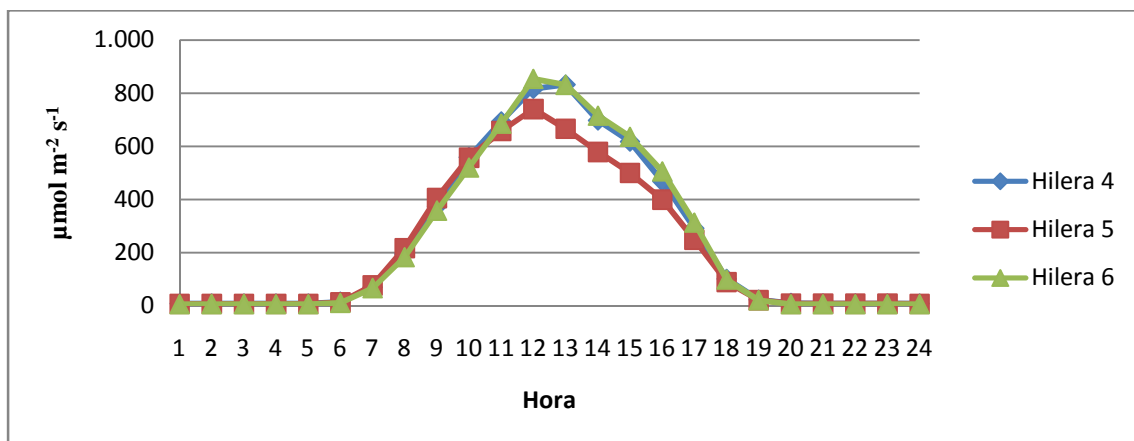
Gráfica 4.56. Radiación PAR media recibida por hilera en el tratamiento 0 durante el mes de abril.



4.2.6.4. DISTRIBUCIÓN POR HILERAS DE LA RADIACIÓN PAR DE LAS SONDAS DE T₁.

En el tratamiento 1, las hileras 4 y 6, ambas con orientación sur, reciben prácticamente la misma radiación, mientras que la hilera 5, situada en el centro del tratamiento vuelve a recibir menos radiación, presentando un descenso constante de esta, entre las 12 y las 18 horas.

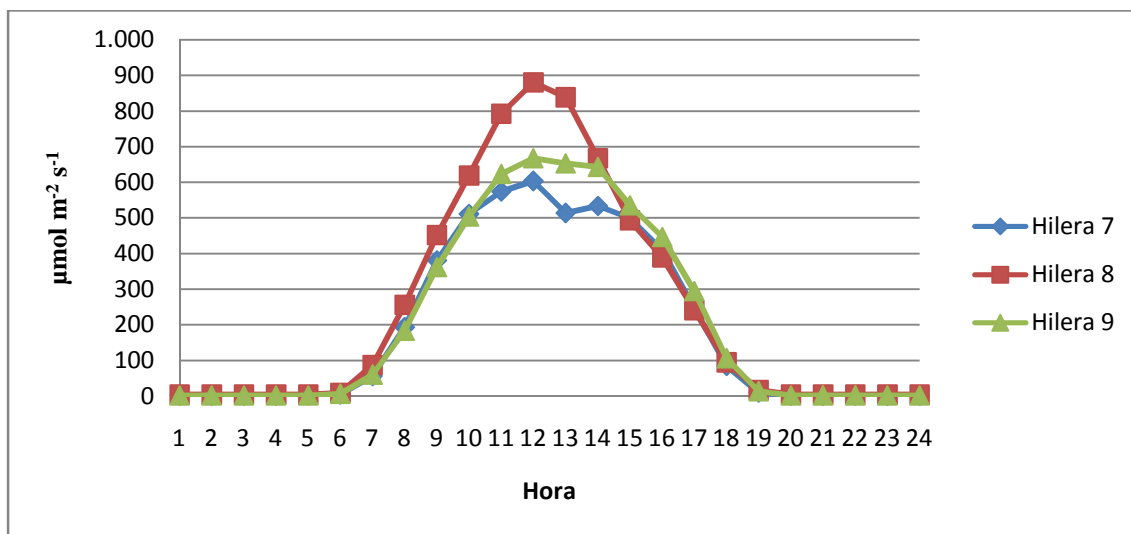
Gráfica 4.57. Radiación PAR media recibida por hilera en el tratamiento 1 durante el mes de abril.



4.2.6.5. DISTRIBUCIÓN POR HILERAS DE LA RADIACIÓN PAR DE LAS SONDAS DE T₂.

En el tratamiento 2, la hilera 8, situada en el centro del tratamiento y con orientación norte, recibe mayor cantidad de radiación que las hileras orientadas al sur, la 7 y la 9, que han recibido valores similares de radiación, observándose diferencias entre las 10 y las 15 horas. Se observa que de las 15 horas en adelante la hilera 9, situada más al sur del tratamiento y con orientación sur, recibe ligeramente una mayor radiación que las hileras 7 y 8.

Gráfica 4.58. Radiación PAR media recibida por hilera en el tratamiento 2 durante el mes de abril.



4.2.6.6. ANÁLISIS DE LA VARIANZA DE LA RADIACIÓN PAR POR HILERA DE SONDAS PARA CADA TRATAMIENTO.

En la tabla 4.21., se muestra como en el tratamiento 0, la hilera que mayor radiación ha recibido ha sido la hilera 1, con valores muy próximos a la hilera 3 (ambas con orientación sur) seguidas de la hilera 2, que ha sido la que menor radiación ha recibido nuevamente. En el tratamiento 1, las hileras 4 y 6, han recibido prácticamente la misma radiación, al igual que ocurre con las hileras 1 y 3 del tratamiento 0, ya mencionado. En el tratamiento 2, se observa como la hilera que mayor radiación ha presentado es la hilera 8, situada en el centro con orientación norte, siendo la hilera 7, nuevamente la hilera que menor radiación recibe.

En cuanto al análisis múltiple, la tabla 4.22 muestra como no existen diferencias significativas entre las hileras 1 y 3, ambas con orientación sur, pertenecientes al tratamiento 0. En el tratamiento 1, las hileras 4 y 6, de nuevo ambas con orientación sur

tampoco han presentado diferencias significativas para un intervalo de confianza del 95%.

Tabla 4.21. Parámetros descriptivos de radiación PAR para cada hilera durante el mes de Abril.

Hilera	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
				Límite inferior	Límite superior		
1	298,75	395,21	3,03	292,82	304,68	4,00	1633,00
2	282,92	371,26	2,84	277,35	288,49	5,00	1695,00
3	295,65	400,19	3,06	289,65	301,66	6,00	1773,00
4	245,86	330,69	2,07	241,81	249,91	0,00	1498,00
5	220,96	287,95	1,80	217,43	224,49	0,00	1355,00
6	246,60	340,26	2,13	242,43	250,77	0,00	1456,00
7	195,46	265,71	2,03	191,47	199,45	0,00	1283,00
8	247,97	336,93	2,11	243,84	252,10	0,00	1565,00
9	215,72	313,05	1,96	211,88	219,55	0,00	1603,00

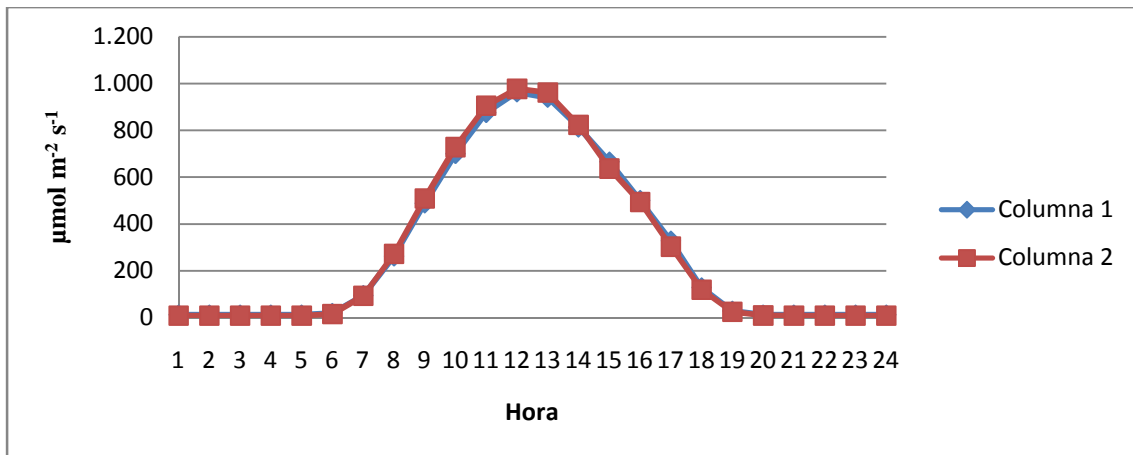
Tabla 4.22. Análisis múltiple de la radiación PAR por hilera durante el mes de abril. (*. La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05.)

(I) OrientHilera	(J) OrientHilera	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
1	2	15,8302*	4,2136	,001	5,743	25,918
	3	3,0956	4,2136	1,000	-6,992	13,183
2	1	-15,8302*	4,2136	,001	-25,918	-5,743
	3	-12,7345*	4,2136	,008	-22,822	-2,647
3	1	-3,0956	4,2136	1,000	-13,183	6,992
	2	12,7345*	4,2136	,008	2,647	22,822
4	5	24,8996*	2,8334	,000	18,116	31,683
	6	-,7373	2,8334	1,000	-7,521	6,046
5	4	-24,8996*	2,8334	,000	-31,683	-18,116
	6	-25,6369*	2,8334	,000	-32,420	-18,854
6	4	,7373	2,8334	1,000	-6,046	7,521
	5	25,6369*	2,8334	,000	18,854	32,420
7	8	-52,5070*	3,0783	,000	-59,876	-45,137
	9	-20,2551*	3,0783	,000	-27,625	-12,886
8	7	52,5070*	3,0783	,000	45,137	59,876
	9	32,2519*	2,7533	,000	25,660	38,843
9	7	20,2551*	3,0783	,000	12,886	27,625
	8	-32,2519*	2,7533	,000	-38,843	-25,660

4.2.6.7. DISTRIBUCIÓN POR COLUMNAS DE LA RADIACIÓN PAR DE LAS SONDAS DE T₀.

Para el tratamiento 0, como se muestra en la gráfica 4.59., la radiación recibida por las columnas 1 y 2 ha sido prácticamente la misma, entre las 10 y las 14 horas, la columna 2 ha recibido una ligera mayor cantidad de radiación.

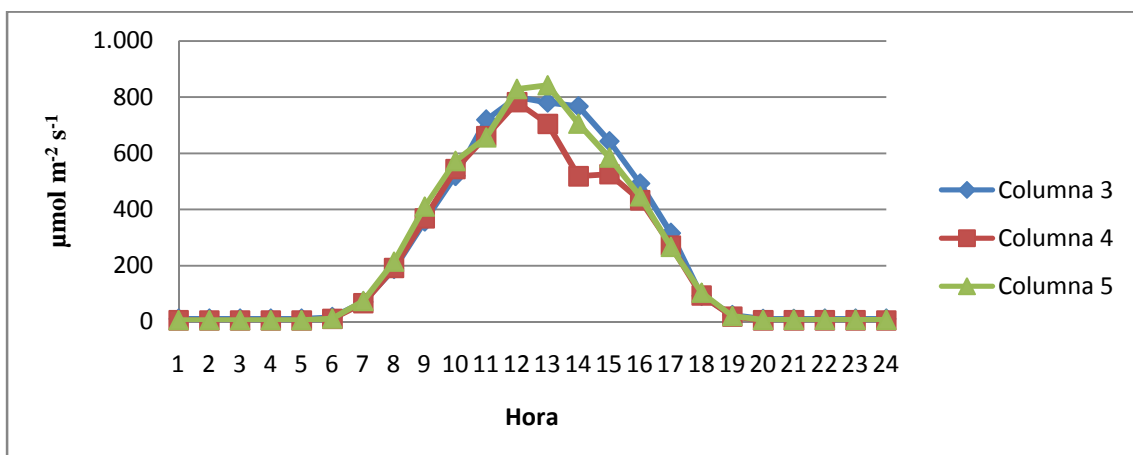
Gráfica 4.59. Radiación PAR media recibida por columna en el tratamiento 0 durante el mes de abril.



4.2.6.8. DISTRIBUCIÓN POR COLUMNAS DE LA RADIACIÓN PAR DE LAS SONDAS DE T₁.

Para el tratamiento 1, se observa como la columna 3, la situada más al oeste, ha recibido mayor cantidad de radiación, solo estando por debajo de la columna 5, la situada más al oeste entre las 12 y 14 horas aproximadamente. La columna 4, situada en el centro del tratamiento, ha sido la columna que menos radiación ha recibido a lo largo de todo el día.

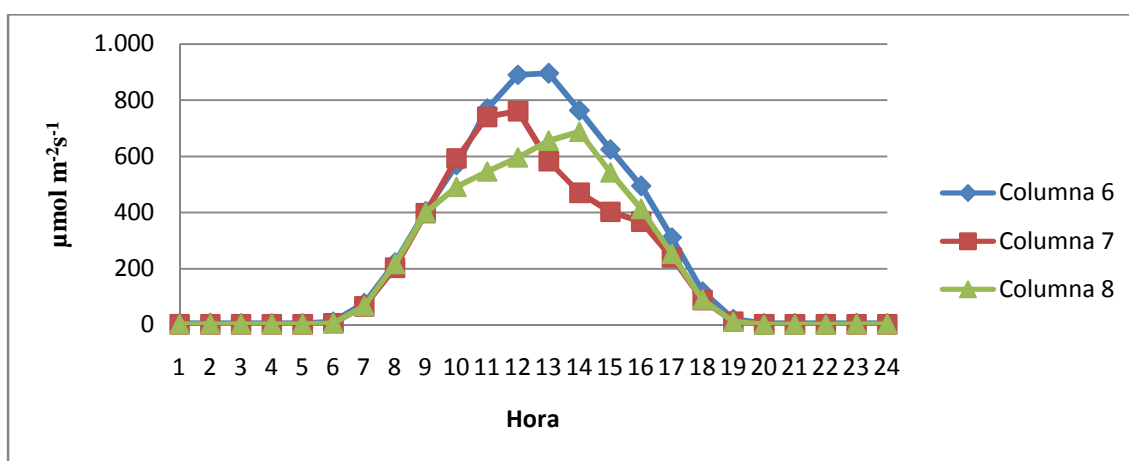
Gráfica 4.60. Radiación PAR media recibida por columna en el tratamiento 1 durante el mes de abril.



4.2.6.9. DISTRIBUCIÓN POR COLUMNAS DE LA RADIACIÓN PAR DE LAS SONDAS DE T₂.

Para el tratamiento 2, la columna 6, situada más al este del tratamiento, ha sido nuevamente la que mayor cantidad de radiación ha recibido. Entre las columnas 7 y 8, como se puede apreciar, ha habido un cambio alrededor de las 13 horas, siendo la columna 7, la columna del centro, la que mayor cantidad de radiación ha recibido, y a partir de dicha hora, la columna 8 ha superado a dicha columna en radiación recibida.

Gráfica 4.61. Radiación PAR media recibida por columna en el tratamiento 2 durante el mes de abril.



4.2.6.10. ANÁLISIS DE LA VARIANZA DE LA RADIACIÓN PAR POR COLUMNA DE SONDAS PARA CADA TRATAMIENTO.

Como ya se comentó anteriormente, y observando la tabla 4.23, los valores de radiación para ambas columnas durante este mes, han sido muy similares para el tratamiento 0. En el tratamiento 1 las columnas 3 y 5 han recibido mayor radiación que la situada en el centro, y donde se ha podido observar una mayor diferencia es en el tratamiento 2, donde la columna 6, ha sido con diferencia la más irradiada, y la columna 8, la que menor radiación ha recibido.

Tabla 4.23. Parámetros descriptivos de la radiación PAR para cada columna durante el mes de abril.

Columna	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
				Límite inferior	Límite superior		
1	291,95	388,82	2,43	287,19	296,72	7,00	1650,00
2	292,93	389,47	2,44	288,16	297,70	4,00	1773,00
3	248,06	334,07	2,09	243,97	252,16	2,00	1498,00
4	220,80	294,76	1,84	217,19	224,41	0,00	1355,00
5	244,55	330,99	2,07	240,50	248,61	0,00	1436,00
6	262,52	359,25	2,75	257,13	267,92	0,00	1603,00
7	208,56	291,36	1,82	204,99	212,13	0,00	1430,00
8	210,41	295,69	1,85	206,79	214,04	0,00	1565,00

En cuanto al análisis múltiple, en el tratamiento 1 las columnas 3 y 5, y las columnas 7 y 8 en el tratamiento 2, no han experimentado diferencias significativas para un intervalo de confianza del 95%.

Tabla 4.24. Análisis múltiple de la radiación PAR por columna durante el mes de Abril. (*. La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05.)

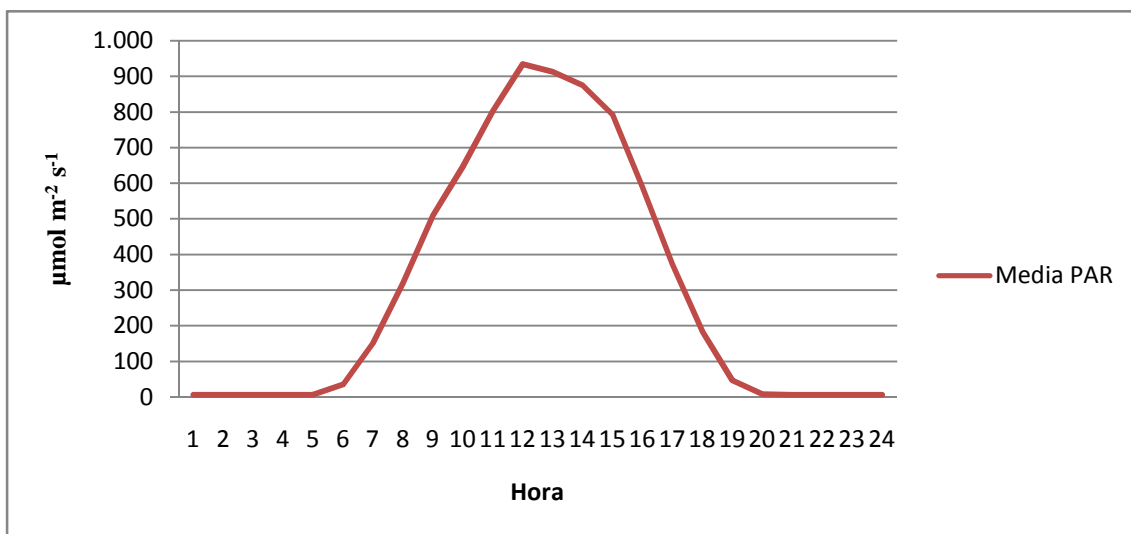
(I) OrientColumnas	(J) OrientColumnas	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
3	4	27,2602*	2,83	0,00	20,48	34,04
	5	3,51	2,83	0,65	-3,28	10,29
4	3	-27,2602*	2,83	0,00	-34,04	-20,48
	5	-23,7521*	2,83	0,00	-30,54	-16,97
5	3	-3,51	2,83	0,65	-10,29	3,28
	4	23,7521*	2,83	0,00	16,97	30,54
6	7	53,9603*	3,08	0,00	46,59	61,33
	8	52,1121*	3,08	0,00	44,75	59,48
7	6	-53,9603*	3,08	0,00	-61,33	-46,59
	8	-1,85	2,75	1,00	-8,44	4,74
8	6	-52,1121*	3,08	0,00	-59,48	-44,75
	7	1,85	2,75	1,00	-4,74	8,44

4.2.7. MES DE MAYO.

4.2.7.1. DISTRIBUCIÓN HORARIA DE LA RADIACIÓN PAR.

En la gráfica 4.62., se muestra la distribución de la radiación PAR media por hora a lo largo del mes de mayo.

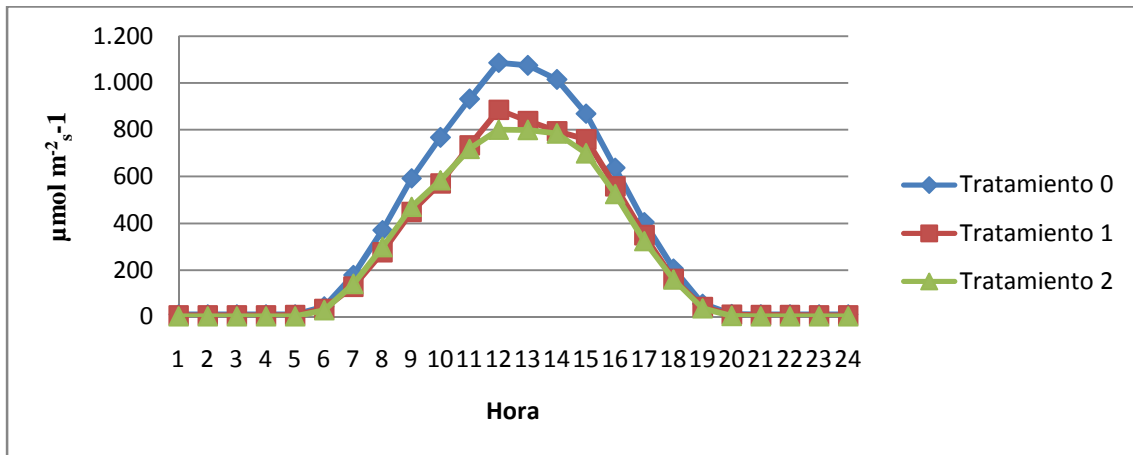
Gráfica 4.62. Radiación PAR media recibida en el mes de mayo por categoría de hora solar.



4.2.7.2. DISTRIBUCIÓN POR TRATAMIENTO DE LA RADIACIÓN PAR.

En cuanto a la radiación recibida en los 3 tratamientos para el mes de mayo, el tratamiento 0 vuelve a ser el más irradiado, seguido del tratamiento 1, que aunque no con mucha diferencia, como se puede apreciar, recibe más radiación que el tratamiento 2.

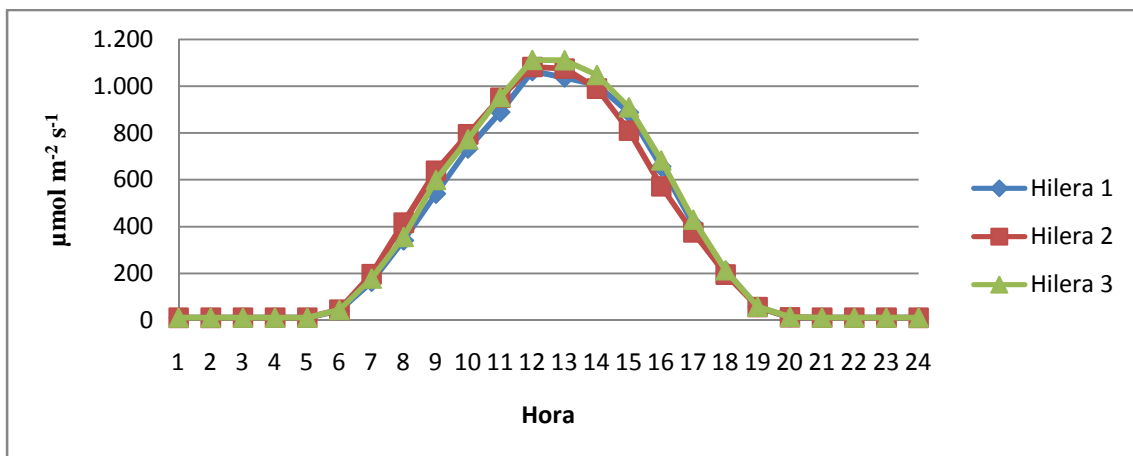
Gráfica 4.63. Radiación PAR media recibida en cada tratamiento durante el mes de mayo.



4.2.7.3. DISTRIBUCIÓN POR HILERAS DE LA RADIACIÓN PAR DE LAS SONDAS DE T₀.

Para el tratamiento 0, las 3 hileras, han recibido una radiación PAR muy similar a lo largo de todo el mes, observándose como la hilera 3, con orientación sur, se ha mantenido por encima a partir de las 12 horas, siendo ligeramente superada anteriormente por la hilera 2, situada en el centro del tratamiento y con orientación norte, y también se puede ver, como a partir de las 12 horas, dicha hilera ha pasado a ser la que menor radiación ha recibido.

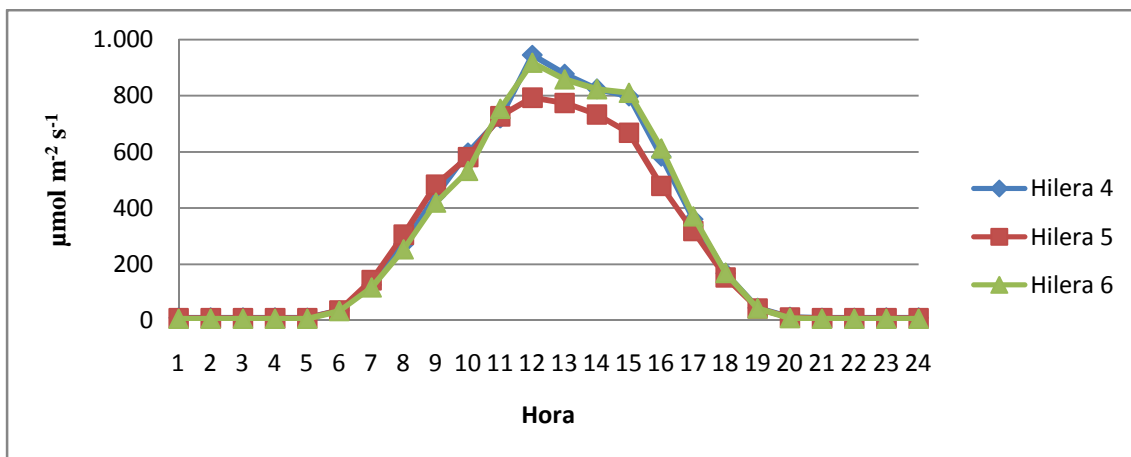
Gráfica 4.64. Radiación PAR media recibida por hilera en el tratamiento 0 durante el mes de mayo.



4.2.7.4. DISTRIBUCIÓN POR HILERAS DE LA RADIACIÓN PAR DE LAS SONDAS DE T₁.

En el tratamiento 1, las hileras 4 y 6, ambas con orientación sur, han sido las que mayor radiación PAR han recibido, con valores muy parecidos, se puede apreciar que ambas han sufrido los mismos cambios a las 12 y 16 horas. Por otro lado, la hilera 5, ha sido la que menor radiación ha recibido en este tratamiento.

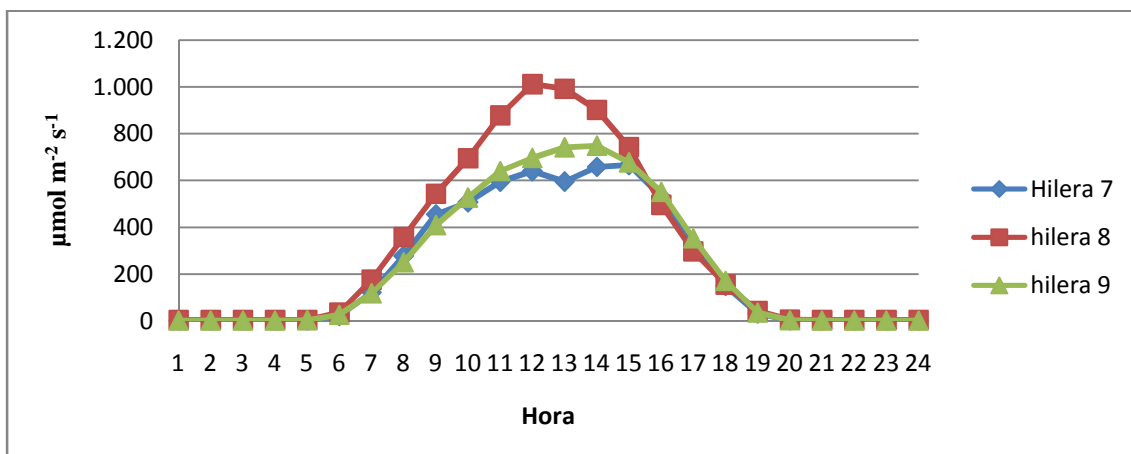
Gráfica 4.65. Radiación PAR media recibida por hilera en el tratamiento 1 durante el mes de mayo.



4.2.7.5. DISTRIBUCIÓN POR HILERAS DE LA RADIACIÓN PAR DE LAS SONDAS DE T₂.

En el tratamiento 2, la hilera 8, situada en el centro del tratamiento y con orientación norte, ha sido la que mayor radiación ha recibido, con bastante diferencia sobre las demás. Las hileras 7 y 9 y con orientación sur han sido las que menor radiación en recibido, concretamente la hilera 7, situada más al norte de dicho tratamiento.

Gráfica 4.66. Radiación PAR media recibida por hilera en el tratamiento 2 durante el mes de mayo.



4.2.7.6. ANÁLISIS DE LA VARIANZA DE LA RADIACIÓN PAR POR HILERA DE SONDAS PARA CADA TRATAMIENTO.

En las tablas 4.25. y 4.26. se muestran los resultados obtenidos en las hileras para cada uno de los tratamientos durante el mes de mayo.

Tabla 4.25. *Parámetros descriptivos de la radiación PAR para cada hilera durante el mes de Mayo.*

Hilera	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
				Límite inferior	Límite superior		
1	339,86	434,18	3,25	333,49	346,24	4,00	1836,00
2	346,40	440,02	3,30	339,95	352,86	5,00	1869,00
3	357,86	456,41	3,42	351,16	364,56	6,00	1901,00
4	287,15	374,44	2,29	282,66	291,63	0,00	1664,00
5	263,42	336,27	2,06	259,39	267,45	0,00	1565,00
6	282,42	377,03	2,31	277,90	286,94	0,00	1670,00
7	232,87	304,25	2,28	228,40	237,33	0,00	1369,00
8	307,55	405,34	2,48	302,69	312,40	0,00	1698,00
9	248,64	347,38	2,12	244,48	252,81	0,00	1830,00

En tabla 4.26, en el tratamiento 0, las hileras 1 y 2, con orientaciones sur y norte respectivamente, y en el tratamiento 1, las hileras 4 y 6, ambas con orientación sur, no han presentado diferencias significativas para un intervalo de confianza del 95%.

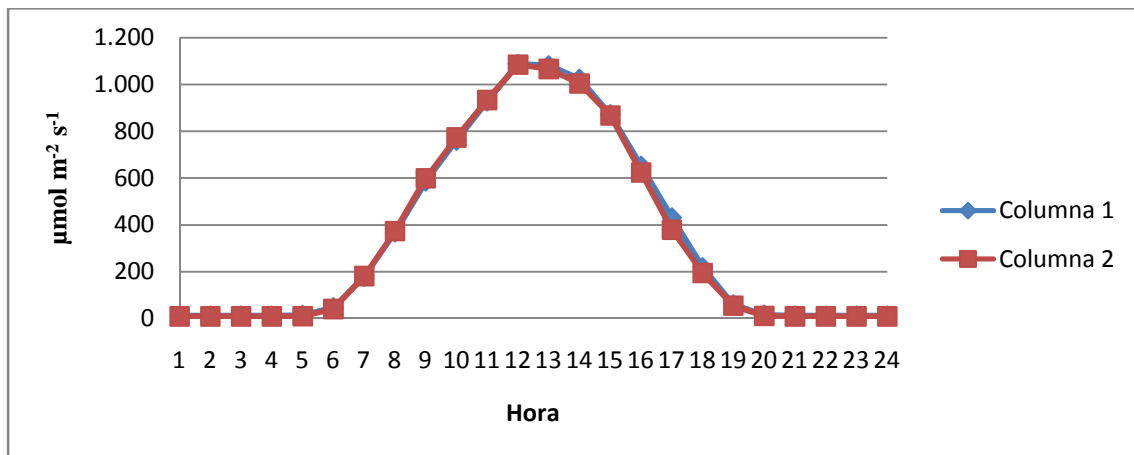
Tabla 4.26. *Análisis múltiple de la radiación PAR por hilera durante el mes de mayo. (*. La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05.)*

(I) OrientHilera	(J) OrientHilera	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
1	2	-6,5411	4,6983	,492	-17,789	4,707
	3	-17,9938*	4,70	0,00	-29,24	-6,75
2	1	6,54	4,70	0,49	-4,71	17,79
	3	-11,4527*	4,70	0,04	-22,70	-0,20
3	1	17,9938*	4,70	0,00	6,75	29,24
	2	11,4527*	4,70	0,04	0,20	22,70
4	5	23,7234*	3,14	0,00	16,21	31,24
	6	4,73	3,14	0,40	-2,79	12,24
5	4	-23,7234*	3,14	0,00	-31,24	-16,21
	6	-18,9950*	3,14	0,00	-26,51	-11,48
6	4	-4,73	3,14	0,40	-12,24	2,79
	5	18,9950*	3,14	0,00	11,48	26,51
7	8	-74,6771*	3,49	0,00	-83,02	-66,33
	9	-15,7764*	3,49	0,00	-24,12	-7,43
8	7	74,6771*	3,49	0,00	66,33	83,02
	9	58,9007*	3,12	0,00	51,44	66,36
9	7	15,7764*	3,49	0,00	7,43	24,12
	8	-58,9007*	3,12	0,00	-66,36	-51,44

4.2.7.7. DISTRIBUCIÓN POR COLUMNAS DE LA RADIACIÓN PAR DE LAS SONDAS DE T₀.

Para el tratamiento 0, la distribución de la radiación PAR por las columnas 1 y 2, vuelve a ser prácticamente igual.

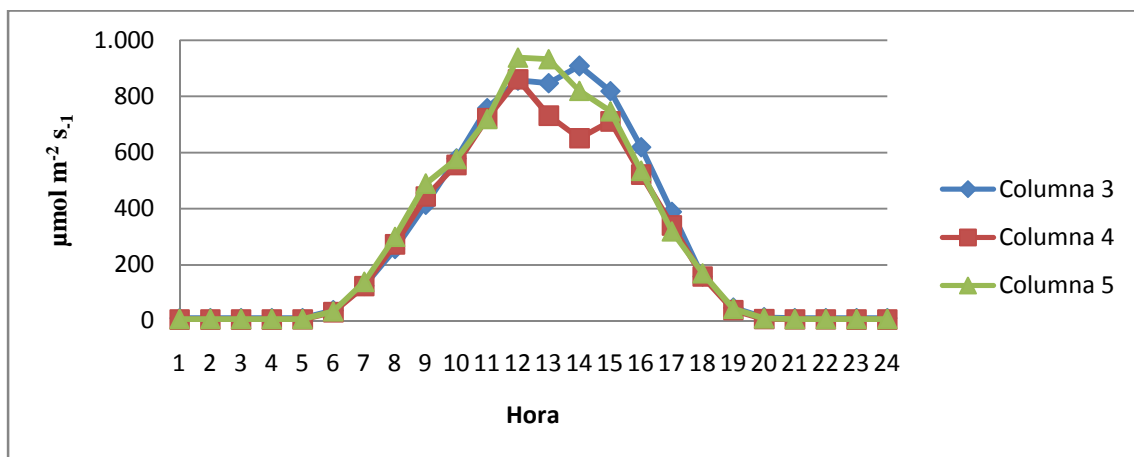
Gráfica 4.67. Radiación PAR media recibida por columna en el tratamiento 0 durante el mes de mayo.



4.2.7.8. DISTRIBUCIÓN POR COLUMNAS DE LA RADIACIÓN PAR DE LAS SONDAS DE T₁.

En el tratamiento 1, la columna que ha presentado valores más altos de radiación es la columna 3, situada más al este del tratamiento, seguida de la columna 5, que la supera en radiación entre las 11 y las 13 horas aproximadamente, la columna 4, situada en el centro del tratamiento, como se puede apreciar ha sido la que menor radiación PAR ha recibido a lo largo del mes.

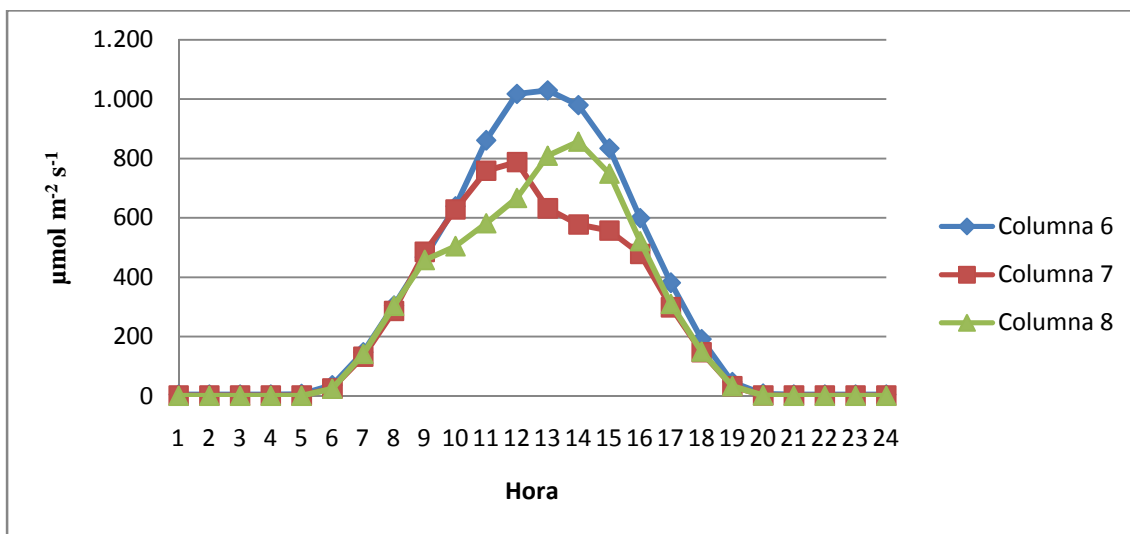
Gráfica 4.68. Radiación PAR media recibida por columna en el tratamiento 1 durante el mes de mayo.



4.2.7.9. DISTRIBUCIÓN POR COLUMNAS DE LA RADIACIÓN PAR DE LAS SONDAS DE T₂.

En el tratamiento 2, la columna 6, situada más al oeste del tratamiento ha sido con diferencia la que mayor radiación ha recibido, para las columnas 7 y 8 se vuelve a repetir el caso visto en meses anteriores, entre las 9 y las 13 horas aproximadamente la columna 7 ha recibido mayor radiación que la columna 8, a partir de las 13 y hasta las 17 horas, donde ambas se igualan, la columna 8 vuelve a recibir mayor radiación que la columna 7.

Gráfica 4.69. Radiación PAR media recibida por columna en el tratamiento 2 durante el mes de mayo.



4.2.7.10. ANÁLISIS DE LA VARIANZA DE LA RADIACIÓN PAR POR COLUMNA DE SONDAS PARA CADA TRATAMIENTO.

Como se puede apreciar en la tabla 4.27 las columnas 1 y 2, pertenecientes al tratamiento 0, han recibido valores de radiación muy similares, para el tratamiento 1, las columnas 3 y 5, han sido las más irradiadas, por encima de la columna 4, situada en el centro del tratamiento. En el tratamiento 2, la columna 6, situada más al oeste del tratamiento ha sido la que mayor radiación ha recibido, seguida de la columna 8, situada más al este del tratamiento, y de la columna 7, que ha sido la que menor radiación ha recibido en el tratamiento 2.

Para el análisis múltiple se observa que las columnas 3 y 5, pertenecientes al tratamiento 1, han sido las columnas que no han presentado diferencias significativas.

Tabla 4.27. *Parámetros descriptivos de la radiación PAR para cada columna durante el mes de Mayo.*

Columna	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
				Límite inferior	Límite superior		
1	351,13	444,34	2,72	345,81	356,46	7,00	1836,00
2	344,95	443,03	2,71	339,64	350,26	4,00	1901,00
3	288,62	377,03	2,31	284,10	293,14	2,00	1670,00
4	259,44	335,78	2,05	255,42	263,47	0,00	1565,00
5	284,92	374,62	2,29	280,43	289,41	0,00	1655,00
6	317,01	417,69	3,13	310,88	323,14	0,00	1830,00
7	244,24	329,61	2,02	240,29	248,19	0,00	1626,00
8	255,85	349,55	2,14	251,66	260,04	0,00	1656,00

Tabla 4.28. *Análisis múltiple de la radiación PAR durante el mes de mayo.* (*. La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05.)

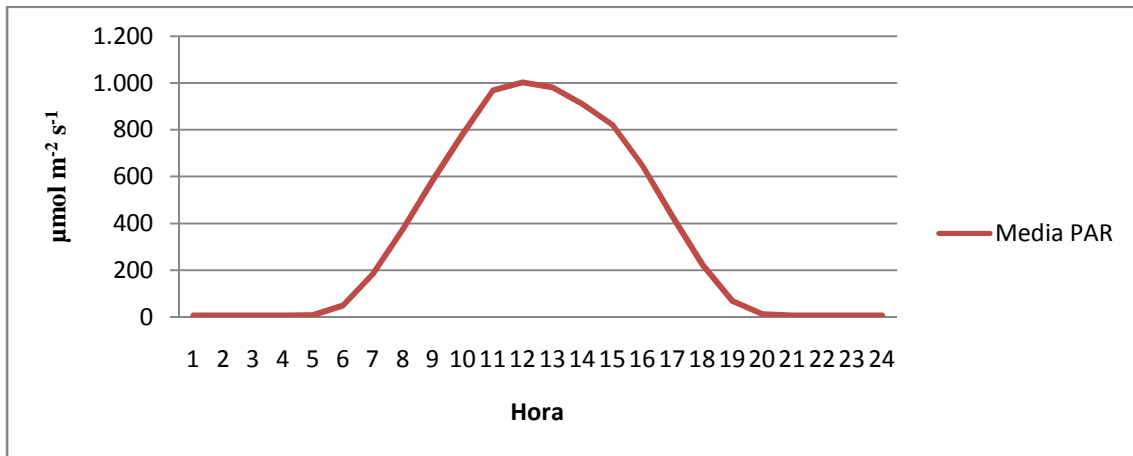
(I) OrientacionColumnas	(J) OrientacionColumnas	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
3	4	29,1786*	3,14	0,00	21,66	36,69
	5	3,70	3,14	0,72	-3,81	11,21
4	3	-29,1786*	3,14	0,00	-36,69	-21,66
	5	-25,4790*	3,14	0,00	-32,99	-17,97
5	3	-3,70	3,14	0,72	-11,21	3,81
	4	25,4790*	3,14	0,00	17,97	32,99
6	7	72,7668*	3,49	0,00	64,42	81,12
	8	61,1594*	3,49	0,00	52,81	69,51
7	6	-72,7668*	3,49	0,00	-81,12	-64,42
	8	-11,6074*	3,12	0,00	-19,08	-4,14
8	6	-61,1594*	3,49	0,00	-69,51	-52,81
	7	11,6074*	3,12	0,00	4,14	19,08

4.2.8. MES DE JUNIO.

4.2.8.1. DISTRIBUCIÓN HORARIA DE LA RADIACIÓN PAR.

En la gráfica 4.70., se vuelve a mostrar la distribución de la radiación PAR a lo largo del mes de junio.

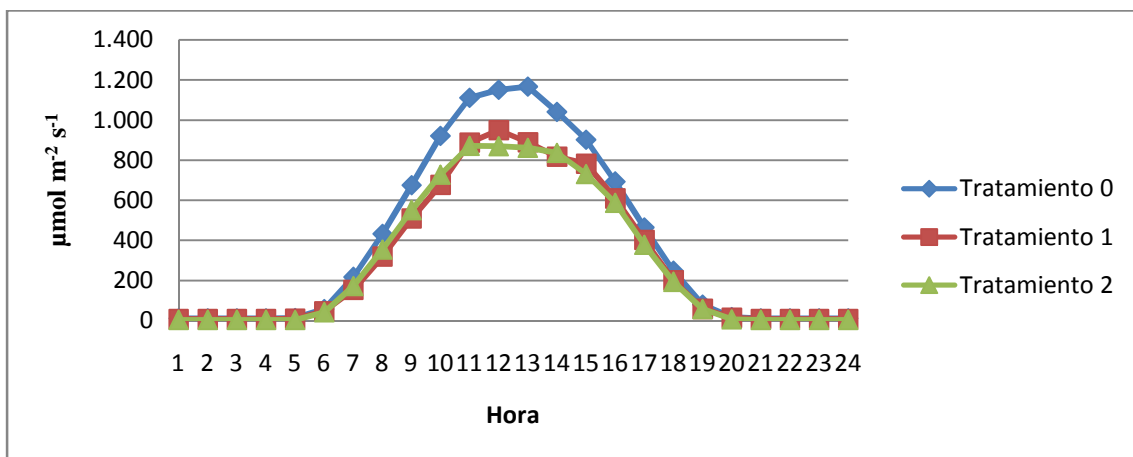
Gráfica 4.70. Radiación PAR media recibida en el mes de junio por categoría de hora solar.



4.2.8.2. DISTRIBUCIÓN POR TRATAMIENTO DE LA RADIACIÓN PAR.

En la gráfica 4.71. se muestra la radiación PAR recibida para cada tratamiento, en la que se vuelve a observar como nuevamente el tratamiento 0 es el tratamiento que mayor radiación ha recibido seguido del tratamiento 1 y del tratamiento 2, observándose en el tratamiento 1 y 2 una distribución similar en la radiación PAR.

Gráfica 4.71. Radiación PAR media recibida en cada tratamiento durante el mes de Junio.

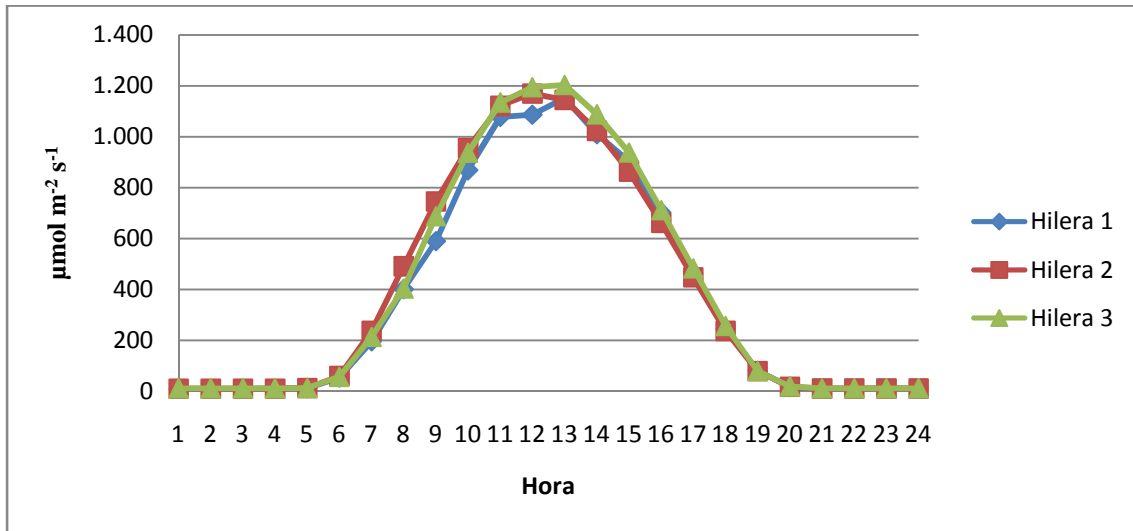


4.2.8.3. DISTRIBUCIÓN POR HILERAS DE LA RADIACIÓN PAR DE LAS SONDAS DE T₀.

En la gráfica 4.72., se muestra la distribución de la radiación PAR, como se puede observar los valores y la distribución de la radiación han sido similares a lo largo del mes de junio en el tratamiento 0. Se puede ver como la hilera 3, con orientación sur,

ha sido la hilera que mayor radiación ha recibido, y como la hilera 1, situada más al norte del tratamiento y con orientación sur, ha sido la que menor radiación ha recibido.

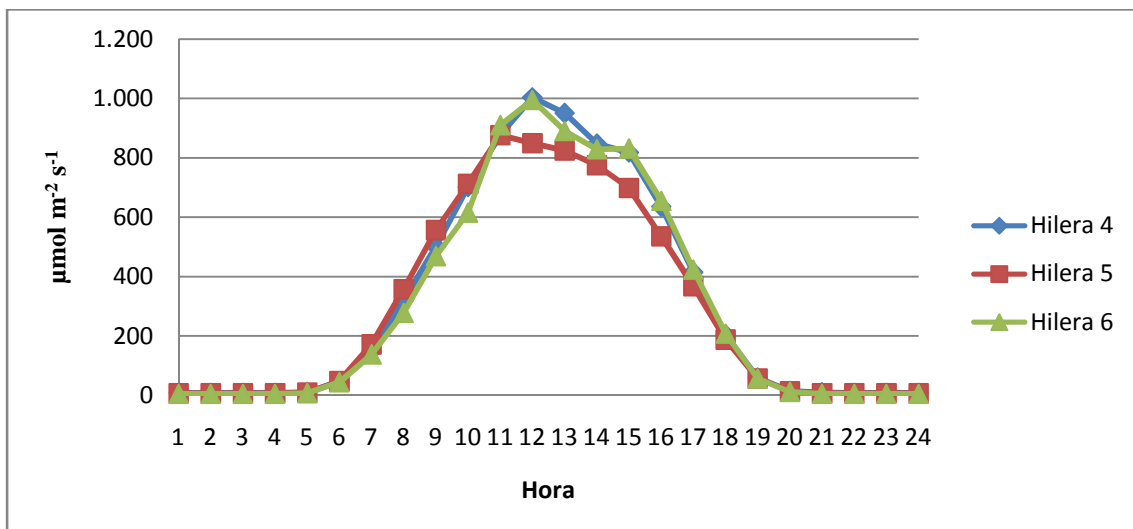
Gráfica 4.72. Radiación PAR media recibida por hilera en el tratamiento 0 durante el mes de Junio.



4.2.8.4. DISTRIBUCIÓN POR HILERA DE LA RADIACIÓN PAR DE LAS SONDAS DE T₁.

En el tratamiento 1, se puede observar, como ocurría en el tratamiento 0, que la distribución y los valores de la radiación PAR han vuelto a ser similares, siendo la hilera 4, la situada más al norte del tratamiento y con orientación sur, la que mayor radiación ha recibido, y siendo la hilera 5, situada en el centro del tratamiento la menos irradiada de las tres. Las hileras 4 y 6, ambas con orientación sur, han recibido valores muy similares de radiación.

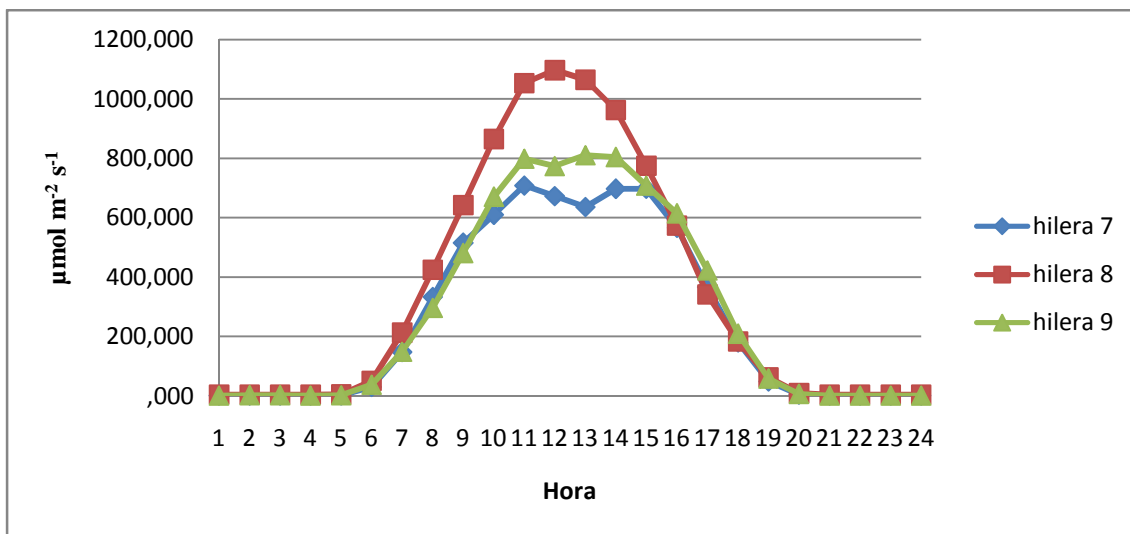
Gráfica 4.73. Radiación PAR media recibida por hilera en el tratamiento 1 durante el mes de Junio.



4.2.8.5. DISTRIBUCIÓN POR HILERAS DE LA RADIACIÓN PAR DE LAS SONDAS DE T₂.

En el tratamiento 2, la hilera 8 situada en el centro del tratamiento ha recibido mayor cantidad de radiación que las hileras 7 y 9, ambas con orientación sur, entre estas 2 hileras, la hilera 9, situada más al sur del tratamiento ha sido la hilera mas irradiada.

Gráfica 4.74. Radiación PAR media recibida por hilera en el tratamiento 2 durante el mes de Junio.



4.2.8.6. ANÁLISIS DE LA VARIANZA DE LA RADIACIÓN PAR POR HILERA DE SONDAS PARA CADA TRATAMIENTO.

En la tabla 4.29 se muestra como en el tratamiento 0, las hileras 2 y 3 han recibido una cantidad de radiación PAR muy parecida, por encima de la hilera 1. En el tratamiento 1, las hileras 4 y 6, con orientación sur han sido las hileras de mayor radiación, mientras que la hilera 5, situada en el centro del tratamiento y con orientación norte ha sido la menos irradiada. En el tratamiento 2 la hilera 8 ha recibido mayor cantidad de radiación que las hileras 7 y 9, estando estas muy por debajo, la hilera 7, situada más al norte del tratamiento.

En cuanto al análisis múltiple, las hileras 2 y 3 del tratamiento 0, con orientaciones norte y sur respectivamente no han presentado diferencias significativas, y en el tratamiento 1, las hileras 4 y 6, ambas con orientación sur, tampoco han presentado diferencias significativas.

Tabla 4.29. Parámetros descriptivos de radiación PAR para cada hilera durante el mes de Junio.

Hilera	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
				Límite inferior	Límite superior		
1	373,45	449,45	4,00	365,61	381,28	6,00	1577,00
2	390,70	463,11	4,12	382,62	398,77	5,00	1640,00
3	396,90	477,87	4,25	388,57	405,23	6,00	1736,00
4	318,52	391,92	2,85	312,95	324,10	2,00	1590,00
5	296,73	357,77	2,60	291,64	301,82	0,00	1436,00
6	309,28	390,49	2,84	303,72	314,84	0,00	1555,00
7	259,99	320,86	2,85	254,40	265,58	0,00	1253,00
8	349,03	432,50	3,14	342,87	355,18	0,00	1574,00
9	286,23	373,24	2,71	280,92	291,54	0,00	1647,00

Tabla 4.30. Análisis múltiple de la radiación PAR durante el mes de Junio. (*. La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05.)

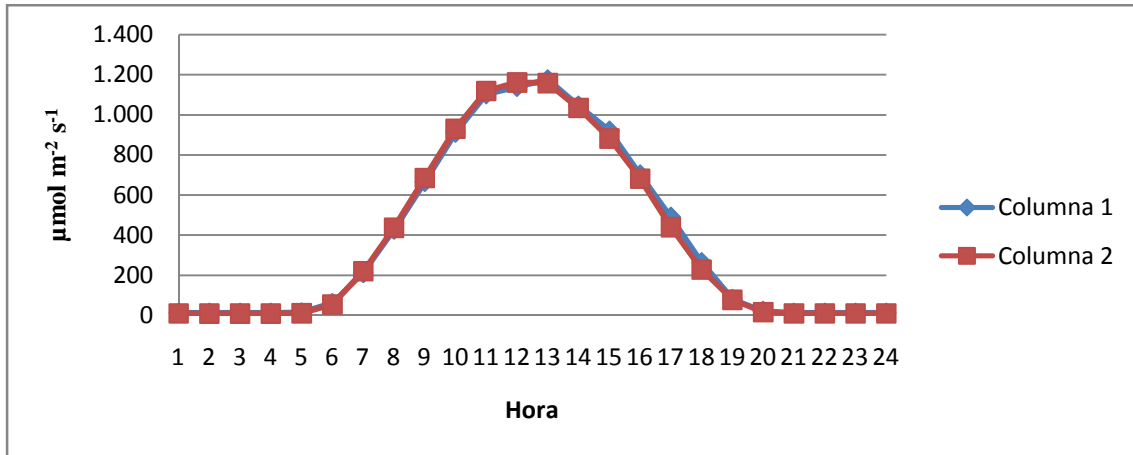
(I) OrientHilera	(J) OrientHilera	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
1	2	-17,2477*	5,8300	,009	-31,205	-3,290
	3	-23,4523*	5,8300	,000	-37,410	-9,495
2	1	17,2477*	5,8300	,009	3,290	31,205
	3	-6,2046	5,8300	,862	-20,162	7,753
3	1	23,4523*	5,8300	,000	9,495	37,410
	2	6,2046	5,8300	,862	-7,753	20,162
4	5	21,7939*	3,9056	,000	12,444	31,144
	6	9,2436	3,9056	,054	-,107	18,594
5	4	-21,7939*	3,9056	,000	-31,144	-12,444
	6	-12,5503*	3,9056	,004	-21,900	-3,200
6	4	-9,2436	3,9056	,054	-18,594	,107
	5	12,5503*	3,9056	,004	3,200	21,900
7	8	-89,0347*	4,4180	,000	-99,612	-78,458
	9	-26,2410*	4,4180	,000	-36,818	-15,664
8	7	89,0347*	4,4180	,000	78,458	99,612
	9	62,7937*	3,9516	,000	53,333	72,254
9	7	26,2410*	4,4180	,000	15,664	36,818
	8	-62,7937*	3,9516	,000	-72,254	-53,333

4.2.8.7. DISTRIBUCIÓN POR COLUMNAS DE LA RADIACIÓN PAR DE LAS SONDAS DE T₀.

En la gráfica 4.75., se muestra la distribución de la radiación PAR por columnas durante el mes de junio, como se puede observar en dicho gráfico la radiación recibida

ha sido prácticamente la misma, así como la distribución de la radiación, como ya ha ocurrido en meses anteriores.

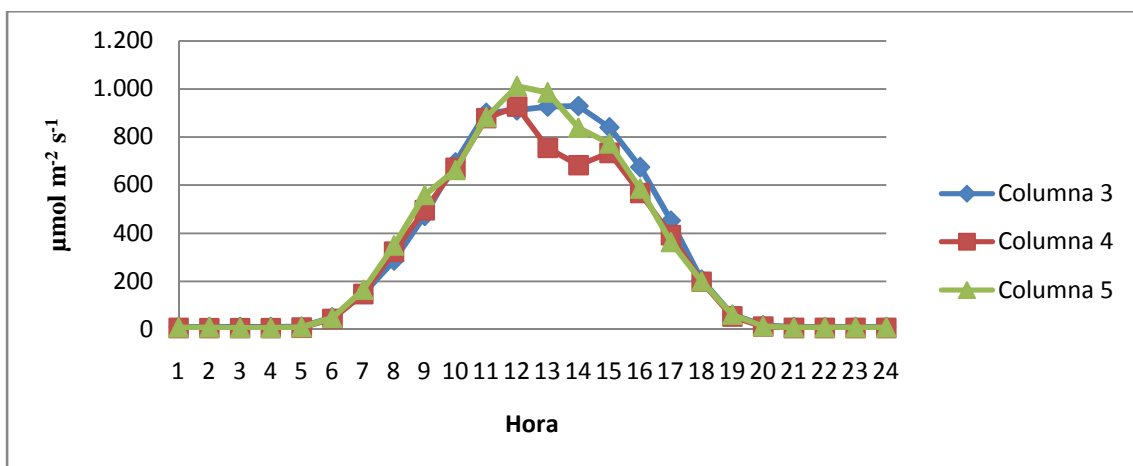
Gráfica 4.75. Radiación PAR media recibida por columna en el tratamiento 0 durante el mes de Junio.



4.2.8.8. DISTRIBUCIÓN POR COLUMNAS DE LA RADIACIÓN PAR DE LAS SONDAS DE T₁.

En el tratamiento 1, se puede observar como la columna que ha recibido mayores valores de radiación ha sido la columna 3, situada más al oeste del tratamiento, la columna 4 situada en el centro del tratamiento ha sido nuevamente la que menor valor de radiación ha recibido.

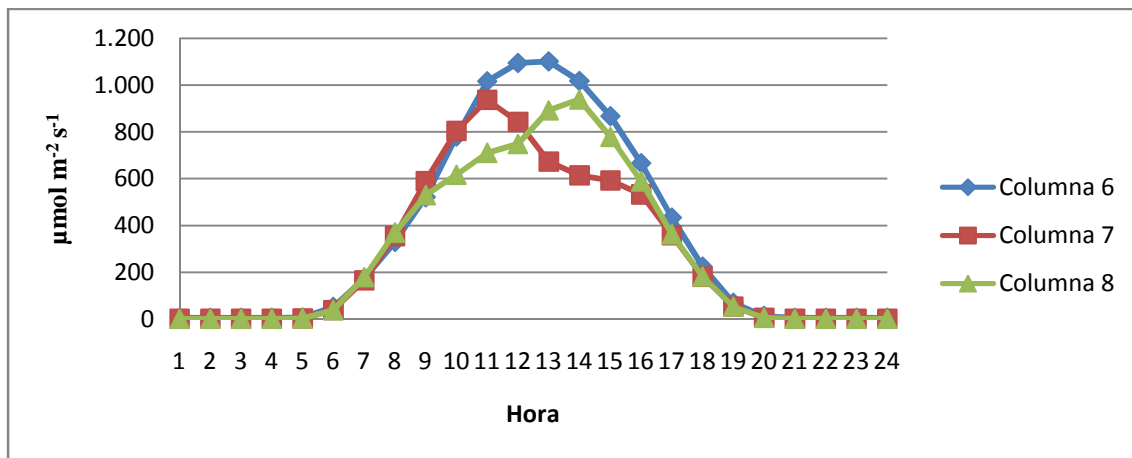
Gráfica 4.76. Radiación PAR media recibida por columna en el tratamiento 1 durante el mes de Junio.



4.2.8.9. DISTRIBUCIÓN POR COLUMNAS DE LA RADIACIÓN PAR DE LAS SONDAS DE T₂.

En el tratamiento 2, la columna 6, situada más al oeste del tratamiento ha sido la columna que mayor radiación ha recibido, observándose entre las columnas 7 y 8, un comportamiento casi simétrico, siendo la columna 7 la que mayor radiación recibe en el primer tramo, entre las 9 y las 13 horas aproximadamente, para a partir de esta hora ser la columna 8 la que recibe mayor radiación PAR.

Gráfica 4.78. Radiación PAR media recibida por columna en el tratamiento 2 durante el mes de Junio.



4.2.8.10. ANÁLISIS DE LA VARIANZA DE LA RADIACIÓN PAR POR COLUMNA DE SONDAS PARA CADA TRATAMIENTO.

La tabla 4.31 muestra como en el tratamiento 0, las columnas 1 y 2 han recibido valores de radiación muy similares, en el tratamiento 1, las columnas 3 y 5 también han recibido valores similares de radiación siendo la columna 4 la que menor radiación ha recibido. En el tratamiento 2 se ve claramente como la columna 6 ha sido la más irradiada con diferencia, presentando las columnas 7 y 8 valores similares de radiación.

Tabla 4.31. Valores medios de la radiación PAR por columna durante el mes de Junio.

Columna	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
				Límite inferior	Límite superior		
1	389,69	463,13	3,36	383,10	396,28	7,00	1687,00
2	384,34	464,30	3,37	377,73	390,95	5,00	1736,00
3	319,81	395,19	2,87	314,18	325,43	2,00	1590,00
4	289,23	353,22	2,56	284,21	294,26	0,00	1436,00
5	315,49	390,94	2,84	309,93	321,05	0,00	1499,00
6	351,05	436,80	3,88	343,44	358,66	0,00	1647,00
7	282,27	356,26	2,59	277,20	287,34	0,00	1449,00
8	292,29	377,40	2,74	286,92	297,66	0,00	1567,00

Tabla 4.32. Análisis múltiple de la radiación PAR por columna durante el mes de Junio. (*. La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05.)

(I) OrientColumnas	(J) OrientColumnas	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
3	4	30,5757*	3,90	0,00	21,23	39,92
	5	4,32	3,90	0,81	-5,03	13,67
4	3	-30,5757*	3,90	0,00	-39,92	-21,23
	5	-26,2575*	3,90	0,00	-35,60	-16,91
5	3	-4,32	3,90	0,81	-13,67	5,03
	4	26,2575*	3,90	0,00	16,91	35,60
6	7	68,7847*	4,43	0,00	58,19	79,38
	8	58,7620*	4,43	0,00	48,16	69,36
7	6	-68,7847*	4,43	0,00	-79,38	-58,19
	8	-10,0227*	3,96	0,03	-19,50	-0,54
8	6	-58,7620*	4,43	0,00	-69,36	-48,16
	7	10,0227*	3,96	0,03	0,54	19,50

5. CONCLUSIONES

5. CONCLUSIONES.

La radiación PAR recibida en el tratamiento T_0 (testigo) ha sido superior en todos los meses a la recibida en los tratamientos T_1 y T_2 , ya que este tratamiento no está sometido a sombreado.

La radiación PAR recibida en el tratamiento T_1 ha sido mayor que la radiación PAR recibida en el tratamiento T_2 durante todos los meses, siendo mayor la diferencia durante los meses de invierno (diciembre, enero y febrero), y disminuyendo la diferencia entre ambos tratamientos en los meses de primavera (abril, mayo y junio).

En cuanto a la distribución de la radiación PAR por hileras, en el tratamiento T_0 , las hileras que mayor radiación PAR han recibido han sido las hileras 1 y 3, ambas hileras con orientación sur, mientras que la hilera 2, con orientación norte, ha sido la hilera que menor radiación PAR ha recibido durante todos los meses, alcanzando valores más próximos a las hileras 1 y 3, durante los meses de primavera (abril, mayo y junio).

En el tratamiento T_1 las hileras que mayor radiación PAR han recibido han sido las hileras con orientación sur, las hileras 4 y 6, obteniendo la hilera 6 mayor diferencia en los meses de noviembre, diciembre, enero y febrero, en cambio durante los meses de marzo, abril la diferencia ha ido disminuyendo hasta llegar a los meses de mayo y junio, en los cuales la hilera 4, ha superado a la hilera 6 en cuanto a radiación PAR recibida. La hilera 5, situada en el centro del tratamiento T_1 y con orientación norte ha sido la hilera que menor radiación PAR ha recibido durante todos los meses estudiados.

En el tratamiento T_2 , la hilera 7, con orientación sur ha sido la hilera que menos radiación PAR ha recibido durante todos los meses. Las hileras 8 y 9, con orientación norte y sur respectivamente, han recibido valores próximos de radiación PAR hasta el mes de marzo, sin embargo a partir de dicho mes, la hilera 8, con orientación norte ha ido incrementando la diferencia de radiación con respecto a la hilera 9 alcanzando valores muy superiores, al contrario que sucedía en el tratamiento T_1 , en esta caso la hilera 8 situada en el centro y con orientación norte ha sido la hileras que mas radiación PAR ha recibido. Este hecho con toda seguridad se explica por la distribución de las placas en ambos tratamientos y la diferencia de dimensiones entre ambas placas en ambos tratamientos.

En cuanto a la distribución por columnas, en el tratamiento T_0 , la columna 2 ha recibido valores ligeramente superiores a la columna 1, durante los meses de invierno, estando ambas columnas prácticamente igualadas en cuanto a radiación PAR durante los meses de primavera, seguramente al ser los rayos solares mas perpendiculares sobre la cubierta durante estos meses.

En el tratamiento 1, la columna 3, situada al este y en la banda del invernadero, ha sido la que mayor radiación PAR ha recibido durante todos los meses, seguida de la columna 5, sin embargo, la columna 4, situada en el centro del tratamiento T_1 , ha sido la columna que menor radiación PAR ha recibido durante todos los meses.

En el tratamiento T₂, la columna que mayor radiación PAR ha recibido durante todos los meses ha sido la columna 6, seguida de la columna 7, que ha recibido mayor radiación PAR que la columna 8 durante todos los meses, hasta el mes de abril, donde esta ha recibido mayor cantidad de radiación que la columna 7.

En general la distribución de la radiación PAR ha sido más uniforme y regular en el tratamiento T₁ en cuanto a hileras y columnas que en el tratamiento T₂, donde la radiación PAR ha variado en cuanto a hileras y columnas durante todos los meses y donde la diferencia de valores de radiación PAR entre hileras y columnas ha sido más pronunciada en este tratamiento.

6. BIBLIOGRAFÍA

Acock, B., Charles-Edwards, D.A., Fifyer, D.J., Hand, D.W., Ludwig, J. y Warren-Wilson, J. 1978. The contribution from different levels within a tomato crop to canopy net photosynthesis: An experimental examination of two canopy models. *Journal of Experimental Botany*. 29: 815-827.

Adams, S.R., Valdés, V.M., Hamer, P.J.C. Y Bailey, B.J. 2000. Spatial variation and comparison of yields of tomatoes grown in small experimental compartments with those in large commercial units. *Acta Horticulturae*.534: 93- 100.

Aikman, D.P.1989. Potential increase in photosynthetic efficiency from the redistribution of solar radiation in a crop. *Journal of Experimental Botany*. 40(217): 855-864.

Alados, I. 1997. Estudio y modelización de la radiación fotosintéticamente activa. Tesis Doctoral. Universidad de Granada.

Al-karaghoulí A., Renne D., Kazmerski L.2010. Technical and economic assessment of photovoltaic-driven desalination systems. *Renewable Energy* 35(2), 323-328.

Anisimov, O. y Fukshansky, L. 1997. Optics of vegetation: Implications for the radiation balance and photosynthetic performance. *Agricultural and Forest Meteorology*. 85: 33-49.

Antignus, Y., Nestel, D., Cohen, S. y Lapidot, M. 2001. Ultraviolet deficient greenhouse environment affects whitefly attraction and flight behaviour. *Environmental Entomology*. 30: 394-339.

Bailey, B.J. y Hunter, A. 1988. Plant response and energy use in five high thermal resistance greenhouse. *Acta Horticulturae*. 229: 165-171.

Baille. A., González-Real, M.M., Gazquez, J.C. y López, J.C. 2006. Effects of different cooling strategies on the transpiration rate and conductance of greenhouse sweet pepper crops. *Acta Horticulturae*. 719: 463-470.

Baille A. And Tchamitchian M. 1993. Solar radiation in greenhouses. In: Crop structure and light microclimate. Varlet-Grancher, C. Bonhome, R. H. Sinoquet, Eds. INRA. Paris.93-106 pp.

Baille, A. 1995. Serres plastiques, climat et production. *PHM Revue Horticole*. 357: 15-29.

Baille, A.1997. Greenhouse structure and equipment for improving crop production in mild winter climates. *Acta Horticulturae*.

Baille, A. 1999. Energy cycle. En: *Ecosystems of the World 20. Greenhouse Ecosystems*. Ed. G. Stanhill y H.Z. Enoch. Elsevier Science B.V. Amsterdam. 265-286.

- Baille A., Kittas C. y Katsoulas N. 2001. Influence of whitening on greenhouse microclimate and crop energy partitioning. *Agricultural and Forest Meteorology*, 107: 293-306.
- Baille M. And Baille A. 1990. A simple model for the estimation of greenhouse transmission: influence of structures and internal equipment. *Acta Hort.* 281: 35-46.
- Bakker J.C. And Van Holsteijn G.P.A. 1995. Greenhouse construction and equipment: screens. In: *Greenhouse climatic control. An integrated approach.* Bakker, J.C., Bot, G.P.A., Challa, H., Van der Braak (Eds.) Wageningen Pers. 185-195. Bakker, J.C. 1995. Greenhouse climate control: constraints and limitations. *Acta Horticulturae* 399: 25-35.
- Barber, J. Anderson, B. 1992. Too much of good thing: light can be bad for photosynthetic. *Trends in Biochemical Sciences*. 17: 61-66.
- Batles, F.J., Olmo, F.J. y Alados-Arboleas, L. 1995. On shadowband correction methods for diffuse irradiance measurements. *Solar Energy*. 54 (2): 105-114.
- Baudoin, W., Grafiadellis, M., Jiménez, R., La Malfa, G., Martínez-García, P.F., Monteiro, A.A., Nisen, A., Verlodt, H., De Villele, O., Von Zabeltitz, C. y Garnaud, J.C. 2002. *El Cultivo Protegido en clima mediterráneo. Estudio FAO Producción y Protección Vegetal* 90. FAO. Roma. 323 pp.
- Boote, K.J. y Loomis, R.S. 1991. The prediction of canopy assimilation. En: *Modeling crop photosynthesis-from biochemistry to canopy.* CSSA Special Publication, 19. American Soc. Agronomy and crop Science Soc. America. 109-140.
- Bot, G.P.A. 1983. *Greenhouse climate: from physical processes to a dynamic model.* Tesis doctoral. 240 pp.
- Boulard T., Baille A., Lagier J. & Mermier M. 1989. Water vapour transfers and dehumidification in an inflatable plastic greenhouse. *Acta Horticulturae*, 245: 462-469.
- Burek, S.A.M., Norton, B. Y Probert, S.D. 1989. Transmission and forward scattering of insolation through plastic greenhouse cladding materials. *Acta Horticulturae*. 245: 498-504.
- Buschmann. C., Langsdorf, G. y Lichtenthaler, H.K. 2000. Imaging of the blue, green and red fluorescence emission of plants: An overview. *Photosynthetica*. 38(4): 483-491.
- Callejón-Ferre A.J., Manzano-Agugliaro F., Díaz-Pérez M., Carreño-Ortega A., Pérez-Alonso J., 2009. Effect of shading with aluminised screens on fruit production and quality in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) under greenhouses conditions. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 7(1),41-49.

- Cannel, G.R., Milne, R., Sheppard, L.J. y Unsworth, M.H. 1987. Radiation interception and productivity of willow. *J. App. Ecology*. 24: 261-278.
- Casal, J.J. 2000. Fotomorfogénesis: La luz como factor de regulación del crecimiento. En: *Fundamentos de fisiología vegetal*. Talón. 377-388.
- Cascone, G., Ardiacono, C., D'Emilio, A. y Mazzarella, R. 2004. Radiometric properties and field performances of different greenhouse plastic coverings. *Proceedings International Symposium GREENSYS 2004 – Sustainable Greenhouse Systems*. September 12-16. Leuven, Belgium.
- Castilla, N. 1998. Condiciones ambientales en invernaderos no climatizados. En “Tecnología de invernaderos: Curso superior de especialización”. Consejería de agricultura y pesca de la Junta de Andalucía. FIAPA. Caja rural de Almería: 163-177.
- Castilla, N. 2004. *Invernaderos de plástico. Tecnología y manejo*. Mundi-Prensa. Madrid. 462 pp.
- Castilla, N., Hernández, J., Quesada, F.M., Morales, M.I., Guillén, A., Soriano, T., Escobar, I., Antón, A. y Montero, J.I. 2001. Comparison of asymmetrical greenhouse types in the Mediterranean area of Spain. *Acta Horticulturae*. 559: 183-186.
- Castilla, N., Lorenzo, P., Montero, J.I., Fereres, E.; Bretones, F., López-Gálvez, J. 1990. New greenhouse structures for the south of Spain. *Acta Horticulturae* 281: 153-158.
- Castilla, N y López Gálvez, J. 1994. Vegetable crop responses in improved low cost plastic greenhouse. *Journal of Horticultural Science*. 69(5): 915-921.
- Chaibi M.T., Jilar T., 2005. Effects of a solar module integrated in a greenhouse roof on light transmission and crop growth. *Biosystems engineering*, 90(3), 319-330.
- Choudhury, B.J. 2000. A sensitivity analysis of the radiation use efficiency for gross photosynthesis and net carbon accumulation by wheat. *Agricultural and Forest Meteorology*. 101: 217-234.
- Cobos, J.J y López, J.C. 1998. Filmes plásticos como material de cubierta de invernadero. En: *Tecnología de invernaderos II. Curso superior de Especialización*. Ed. J. Perez Parra y I.M. Cuadrado Gómez. Dirección General de Investigación y Formación Agroalimentaria; F.I.A.P.A.; Caja Rural de Almería. Almería. 143-160.
- Cockshull K.E., Graves C.J., Cave C.R.J., 1992. The influence of shading on yield of glasshouse tomatoes. *Journal of Horticultural Science*, 67(1), 11-24.
- Cohen, S., Schaffer, A., Shen, S., Spiegelman, M.; Ben- Moshe, Z., Cohen, S. y Sagi, M. 1999. Light distribution and canopy structure in greenhouse muskmelon. *Acta Horticulturae*. 507: 17-24.

- Collares-Pereira, M., y Rabl A., 1979. The average distribution of solar radiation correlations between diffuse and hemispherical and between daily and hourly insolation values. *Solar energy*. 22 (2): 155-164
- Dalrymple, D.G. 1973. Controlled environment agriculture: A global review of greenhouse food production. *Econ. Res. Serv. USDA. Foreign Agr. Econ. Rpt.* 89.
- de Pury, D.G.G. y Farquhar, G.D. 1997. Simple scaling of photosynthetic from leaves to canopies without the errors of big-leaf models. *Plant, Cell and Environment*. 20: 537-557.
- DeJong, T.M. 1986. Fruit effect on photosynthesis in *Prunus persica*. *Physiology Plantarum*. 66: 149-153.
- Deltour, J. y Nisen, A. 1970. Les verres diffusants en couverture des serres. *Bulletin des recherches agronomiques. Gembox. Bélgica, Tomo V, nº 1-2.*
- Deltour, J., Pirard, G. y de Wergifosse, P.h. 1992. Covering materials for greenhouse. *Acta horticulturae*. 312: 55-62.
- Diaz, T., Espi, E., Fontecha, A., Jiménez, J.C., López, J.C. y Salmerón, A. 2001. Los filmes plásticos en la producción agrícola. *Repsol YPF. Mundi-Prensa. Madrid*. 320 pp.
- Enoch, H.Z., Enoch, Y. 1998. The history and geography of the greenhouse. Chapter 1 of *Ecosystems of the world 20*. Edith Cowan University, Joondalup, W.A. (Australia).
- Espi, E., Salmerón, A., Fontecha, A., García Alonso, Y. y Real, A.I. 2006. New ultrathermic films for greenhouse covers. *J. Plast. Film Sheet*. 22: 59-68.
- Farquhar, G.D. y Roderick, M.L. 2003. Pinatubo, diffuse light, and the carbón cycle. *Science*. 299: 1997-1998.
- Fernández-Rodríguez E.J., Vadillos J.F., López-bellido L., Castillo-garcia J.E., Martínez-Asenci E.J., López-Garrido F.J., Camacho-ferre F., Crespo-Melia J.B. 1997. Productividad y calidad del tomate cv Atlético: Respuesta a la fertilización potásica bajo la modalidad de corte en racimo bajo invernadero. *Phytoma* 93, 21-27.
- Fernández-Rodríguez E.J., Fernández J., Kenig A. & Camacho F. 1998. Uniformidad del campo radiativo bajo sistemas sombreado mediante pantallas aluminizadas en invernadero. *Actas de Horticultura*, 21: 37 – 44.
- Fernández-Rodríguez E.J., Fernández J., Camacho F., Vázquez J.J. & Kenig A. 1999. Radiative field uniformity under shading screens under greenhouse vs whitewash at Spain. *Int. Symp. Greenhouse Towards the 3rd Millenium*. Haifa. Israel.
- Fernández Sierra, C., Pérez-Parra, J., Cabrera Corral, F.J., Gil Pérez, R., de la Cruz Fernández, E., Aguera Camacho, T. y Cabrera Sánchez, A. 2004. Caracterización de los invernaderos de la provincia de Almería. *Cajamar. Almería*. 20 pp.

- Field, C. 1983. Allocating leaf nitrogen for the maximisation of carbon gain. Leaf age as a control on the allocation programme. *Oecologia*. 56: 357-367.
- Foury, C. 2003. Direct covers: actual status and prospects. *Acta Horticulturae*. 614: 335-339.
- Gallagher, J.N. y Biscoe, P.V. 1978. Radiation absorption, growth and yield of cereals. *J. Agric. Sci.* 91: 47-60.
- Garzoli K.V. 1989. Energy efficient greenhouses. *Acta Horticulturae*, 245: 53-62.
- Giacomelli, G.A. and Ting, K.C. 1999. Horticultural and engineering considerations for the design of integrated greenhouse plant production systems. *Acta Hort.* 481: 475-487.
- Gijzen, H. 1992. Simulation of photosynthesis and dry matter production of greenhouse crops. Simulation report CABO-TT. 28. CABO. Wageningen. 69 pp & 10 Anexes.
- Gijzen, H. 1995. Crop Growth. Short-term crop responses. CO₂ uptake by the crop. En: *Greenhouse climate control. An integrated approach*. Ed. J.C. Bakker; G.P.A. Bot; H.Challa y N.J. Van de Braak. Wageningen Pers. Wageningen. 16-35.
- González-Real, M.M y Baille A. 2000. Changes in leaf photosynthetic parameters with leaf position and nitrogen content within a rose plant canopy (*Rosa Hybrida*). *Plant, Cell and Environment*. 23: 351-363.
- González-Real, M.M. y Baille, A. 2005. *Física Ambiental de Invernaderos*. Universidad Politécnica de Cartagena.
- González-Real, M.M., Baille, A. y Gutiérrez Colomer, R.P. 2007. Leaf photosynthetic properties and radiation profiles in a rose canopy (*Rosa Hybrida* L.) with bent shoots. *Scientia Horticulturae*. 114: 177-187.. 6(1): 47-56.
- González-Real, M.M., López, J.C., Cabrera, F.J., Baille, A. y Pérez-Parra, J. 2001. Modelización de la transmisión solar de invernaderos "Parral". *Actas I Coongreso Nacional de Agroingenieria*. Vol. II: 41-44.
- González-Real, M.M.; Lopez, J.C., Cabrera, F.J., Baille, A. y Pérez-Parra, J. 2003. Variabilidad espacial de la radiación solar en invernaderos parral. *Medidas y modelo*. 2º Congreso Nacional de Agroingenieria. 239-240.
- Gosse, G., Varlet-Grancher, C., Bonhome, R., Chartier, M., Allirand, J.M. y Lemaire, G. 1986. Production maximale de matière sèche et rayonnement solaire intercepté par un couvert végétal. *Agronomie*
- Gosselin, A. & Dansereau, B. 2006. *Culture en serre. Notes de cours*, Université Laval, Québec. 592 pages.

- Goudriaan, J. 1977. Crop micrometeorology: a simulation study. Simulations Monographs. PUDOC, Wageningen. 98-115.
- Gupta, R. y Tiwari, G.N. 2005. Modeling of energy distribution inside greenhouse using concept of solar fraction with and without reflecting surface on north wall. Building and Environment. 40: 63-71.
- Guyot, G. 1997. Climatologie de l'environnement. De la plante aux ecosystems. Masson. Paris. 505 pp.
- Hanan, J.J. 1998. Greenhouse: Advanced Technology for Protected Horticulture. CRC Press, Boca Raton. Florida, USA. 684 pp.
- Hand, D.W. 1984. CO₂ enrichment, the benefits and problems. Science Horticulturae 33: 14-43.
- Hand, G., Clark, M.A., Thornley and Wilson, J.W. 1992. Measuring the canopy net photosynthesis of glasshouse crops. Journal of Experimental Botany, vol.43, n°248: 375-381.
- Healy, K.D., Rickert, K.G., Hammer, G.L. y Bange, M.P. 1998. Radiations use efficiency increases when the diffuse component of inside radiation is enhanced by shading. Australian Journal Of Agricultural. 49: 665-672.
- Hemming, S., Van der Braak, N., Dueck, T., Jongschaap, R. y Marissen, N. 2006. Filtering natural light by the greenhouse covering using model simulations – more production and better plant quality by diffuse light. Acta Horticulturae. 711: 105-110.
- Hernández, J., Escobar, I. y Castilla, N. 2001. La radiación solar en invernaderos mediterráneos. Finca experimental “La Nacla”. Ed. Cajamar Rural de Granada. Junta de Andalucía, 33 pp.
- Hernández, J.; Escobar, I. y Castilla, N. 2001. Nivel tecnológico de los invernaderos en la costa andaluza. Caja Rural de Granada. Granada. 21 pp.
- Heuvelink, E. y González-Real, M.M. 2008. Innovation in Plant-Greenhouse Interactions and Crop Management. Acta Horticulturae. 801: 63-74.
- Hirose, T. y Werger, M.J.A. 1987. Maximising daily canopy photosynthetic with respect to the leaf nitrogen allocation pattern in the canopy. Oecologia. 72: 520-526.
- Hodge, T. y Kanemasu, E.T. 1977. Modeling daily matter production of Winter wheat. Agronomy Journal. 69: 974-978.
- Howel, J.R. 2005. A Catalog of Radiation Heat Transfer Configuration Factors. 2 nd. Edition. URL. <http://www.me.utexas.edu/~howell/index.html>.

- Jaffrin, A. y Makhoulouf, S. 1990. Mechanism of light transmission through wet polymer films. *Acta Horticulturae*. 281. 11-24.
- Jaffrin, A. y Urban, L. 1990. Optimisation of light transmission in modern greenhouse. *Acta Horticulturae*. 281: 25-33,
- Jones, H.G. 1992. Plants and microclimate. A quantitative approach to environmental plant physiology. 2nd edition. Cambridge University Press. 428 pp.
- Jongschaap, R.E.E., Dueck, T.A., Marissen, N., Hemming, S. y Marcelis, L.F.M. 2006. Simulating seasonal patterns of increased greenhouse crop production by conversion of direct radiation into diffuse radiation. *Acta Horticulturae*. 718: 315-322.
- Kacira, M., Sase, S., Kacira, O., Okushima, L. Ishii, M., Kowara, H. & Moriyama, H. 2004. *Journal of Agriculture Meteorology* 69: 115-122.
- Kittas, C. y Baille, A. 1998. Determination of the spectral properties of several greenhouse cover material and evaluation of specific parameters related to plant responses. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 71: 193-202.
- Kittas C., Katsoulas N., Baille A., 2003. Influence of aluminized thermal screens on greenhouse microclimate and night transpiration. *Acta Horticulturae* (614), 387-392.
- Kurata, K. 1983. Studies on improvement of the light environment in greenhouse. II. Utilization of reflective blinds. *J. Agric. Meteorol. Jpn.* 39: 219-223.
- Kurata, K. Quann, Z. y Nunomura, O. 1991. Optimal shapes of parallel E-W oriented single span tunnels with respect to direct light transmissivity. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 48(2): 89-100.
- Kurata, K., Quan, Z. y Numomura, O. 1991. Optimal shapes of parallel E-W oriented single span tunnel with respect to direct light transmissivity. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 48 (2): 89-100.
- Langhans, R.W. y Tibbitts, T.W. 1997. *Plant growth chamber handbook*. Iowa State Univ. Press. 240 pp.
- Lecoœur, J. y Ney, B. 2003. Change with time in potential radiation-use efficiency in field pea. *European Journal of Agronomy*. 19: 91:105.
- Li, S.; Kurata, K. y Takakura, T. 2000. Direct solar radiation penetration into row crop canopies in a lean-to greenhouse. *Agricultural and Forest Meteorology*. 100 (2-3): 243-253.
- Liou, K.N. 2002. *An introduction to atmospheric radiation*. 2nd ed. Academic Press. Amsterdam. Xiv, 583 pp.

Liu B. Y. H. and R. C. Jordan. 1960. The interrelationship and characteristics distribution of direct, diffuse, and total solar radiation. *Solar Energy* 4: 1-19.

López-Bellido L., Castillo J.E., Fuentes M., Palomar F., Fernández-Rodríguez E.J., Viseras J. & López-Garrido J. 1994. Caracterización de los sistemas de producción hortícola de invernadero en la Provincia de Almería. Programa Nacional de Interés Comunitario. F.I.A.P.A. Almería. 131 pp.

Lorenzo, P.; Maroto, C., Castilla, N. 1990. CO₂ in plastic greenhouse in Almeria. *Acta Horticulturae* 268: 165-169.

Lorenzo, P. 1996. Intercepción de luz, bioproductividad e intercambio gaseoso durante la ontogenia de un cultivo invernal (*Cucumis sativus* L.) en Almería. Ed. Junta de Andalucía. Consejería de agricultura y pesca. D.G.I.A. Monografías 17/96, 355 pp.

Lorenzo P., Sanchez M.C., Medrano E, Escobar I. & García M. 1997. Horticultura intensiva en el sur mediterraneo: gestion del clima. *Horticultura*, 119: 80-83.

Lorenzo P., Garcia M.L., Sanchez-Guerrero M.C., Medrano E., Caparros I., Gimenez M., 2006. Influence of mobile shading on yield, crop transpiration and water use efficiency. *Acta Horticulturae (ISHS)* 719, 471-478.

Maleszewski, S., Niemyjska, E. y Kozłowska-Szerenos, N. 2001. Carbon dioxide assimilation, transpiration, and leaf conductance of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under blue and red radiation. *Photosynthetica*. 39(2): 233-237.

Marcelis, L.F.M., Heuvelink, E. y Goudriaan, J. 1998. Modelling biomass production and yield of horticultural crops: A review. *Sci. Hortic.* 74: 83-111.

Marcelis L.F.M., Broekhuijsen A.G.M., Meinen E., Nijss E.M.F.M., Raaphorst M.G.M., 2006. Quantification of the growth response to light quantity of greenhouse grown crops. *Acta Horticulturae*, (711), 97-103.

Meah K., Fletcher S., Ula S., 2008. Solar photovoltaic water pumping for remote locations. *Renewable & Sustainable Energy Reviews* 12(2), 472-487.

Medina, C.L., Souza,R.P., Machado, E.C., Ribeiro, R.V. y Silva, J.A.B. 2002. Photosynthetic response of citrus grown under reflective aluminised polypropylene shading nets. *Scientia Horticulturae*. 96: 115-125.

Medlyn, B., Barret, D., Carter, J., Keenan, R., Kirschbaum, M., Landsberg, J., Moore, A., Raupach, M., Sands, O., Simpson, R., y Wang, Y.P. 2001. Radiation Conversion. Proceedings of workshop Net Ecosystem Exchange. CRC for Greenhouse Accounting. Australia. 33-37.

- Medrano E., Lorenzo P., Sanchez-guerrero M.C., Garcia M.L., Caparros I., Coelho G., Gimenez M., 2005. Water and nutrient use efficiency of a tomato crop as affected by two refrigeration methods: external mobile shading and fog system . *Acta Horticulturae (ISHS)* 697, 463-467.
- Monsi, M. y Saeki, T. 1953. Ueber den Lichtfaktor in den Pflanzengesellschaften und seine Bedeutung fuer die Stoffproduktion. *Japanese Journal of Botany*. 14 (1): 22-52.
- Montero J.I. & Antón A. 1993. Tecnología del invernadero. I.N.T.A. Universidad de Buenos Aires. 129 pp.
- Montero, J.I. y Antón, A. 2003a. Greenhouse characteristics and microclimate conditions. *Acta Horticulturae*. 614: 323-333.
- Montero, J.I. y Antón, A. 2003b. Tomato response to a high light transmission film used as a covering material for greenhouse. *Acta Horticulturae*. 614: 401-405.
- Montero, J.I., Antón, A., Hernández, J., Castilla, N. 2001. Direct and diffuse light transmisión of insect Prof. Screens and plastic films for cladding greenhouse. *Acta Horticulturae* 559:203-210.
- Montero J.I., Castilla N., Gutiérrez E. & Bretones F. 1985. Climate under plastic in the Almería area. *Acta Horticulturae*, 170: 227-234.
- Montheit, J.L. 1977. Climate and the efficiency of crop production in Britain. *Philosophical Transactions of the Royal Society, London*. B281: 277-294.
- Morales, M.I., Hernández, J., Escobar, I., Berenguer, J.J., Castilla, N. 1998. Transmisividad de radiación solar en invernaderos de la costa mediterránea española. *Actas de Horticultura* 21: 33-36.
- Morales, M.I., Hernández, J., Soriano, T., Martínez, F.M., Escobar, I.; Berenguer, J.J. y Castilla, N. 2000. Optimización de la radiación en invernaderos mediterráneos para aumentar la calidad de las producciones. *Actas de Horticultura*. SECH. 28: 123-126.
- Nayak S., Tiwari G.M., 2009. Theoretical performance assessment of an integrated photovoltaic and earth air heat exchanger greenhouse using energy and exergy analysis methods. *Energy and Buildings* 41(8), 888-896.
- Nederhoff, E.M. 1984. Light interception of a cucumber crop at different stages of growth. *Acta Horticulturae* 148: 251-258.
- Nederhoff, E. & Houter, B. 2008. Greenhouse growers worldwide face despairingly high energy cost. *Growers* 63: 64-67.
- Nielsen, B., Madsen, H. 1998. Identification of a linear continuous time stochastic model of the heat dynamics of a greenhouse. *Journal Agricultural Engineering Research* 71(3): 249-256.

Nijskens, J., Deltour, J., Coutisse, S. y Nisen, A. 1985. Radiation transfer through covering materials, solar and thermal screens of greenhouse. *Agricultural and Forest Meteorology*. 35: 229-242.

Norman, J.M. y Arkebauer, T.J. 1991. Predicting canopy photosynthesis and light use efficiency from leaf characteristics. En: *Modeling crop photosynthesis from biochemistry to canopy*. CSSA Special Publication, 19. Madison. 75-94.

Pandopoulos, F. y Grafiadellis, M. 1991. A study of light transmissivity of different plastic materials used for covering greenhouse. *Acta Horticulturae*. 287: 99-108.

Papadakis, G., Manolakos, D. and Kyritsis, S. 1998. Solar radiation transmissivity of a single-span greenhouse through measurements on scale models. *J. Agricultural Engineering Research* 71: 331-338.

Papadakis, G., Briasoulis, D., Mugnozza, G.S., Vox, G., Feuilloley, P., Stoffers, J.A. 2000. Radiometric and thermal properties of and testing methods for, greenhouse covering materials. *Journal Agricultural Engineering Research* 71(1): 7-38.

Papadopoulos, A.P., Pararajasinghan, S. 1997. The influence of plant spacing on light interception and use in greenhouse tomato (*Lycopersicon esculentum*) mill.) A REVIEW. *Scientia Horticulturae* 69: 1-29.

Pearson, S., Wheldom, A.E. y Hadley, P. 1995. Radiation Transmission and Fluorescence of Nine Greenhouse Cladding Materials. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 62(1): 61-70.

Peil, R.M. 2000. Radiación solar interceptada y crecimiento del pepino cultivado en NFT. Tesis Doctoral. Universidad de Almería.

Peil, R.M., González-Real, M.M. y López-Gálvez, J. 2002. Light interception of a greenhouse cucumber crop: measurements and modeling results. *Acta Horticulturae*. 588: 81-87.

Pérez-Parra, J. 1998. Invernadero parral Almería y su evolución. En: *Tecnología de invernaderos II. Curso superior de especialización*. Ed. J. Pérez Parra y I.M. Cuadrado Gómez. Dirección General de Investigación y Formación Agroalimentaria; F.I.A.P.A.; Caja Rural de Almería. 179-191.

Pérez-Parra, J. y Céspedes López, A.J. 2001. Análisis de la demanda de inputs para la producción en el sector de cultivos protegidos de Almería. En: *Estudio de la demanda de inputs auxiliares: Producción y manipulación en el sistema productivo agrícola almeriense*. Ed. I.M. Cuadrado Gómez. FIAPA. IFA. Almería. 1-102.

- Pérez-Parra, J., López, J.C y Fernandez, M.D. 2002. Situación actual y tendencias de las estructuras de producción en la horticultura almeriense. En: La Agricultura Mediterránea en el siglo XXI. Ed. J.M.García Álvarez-Coque. Caja Rural de Almería. Almería. 262-282.
- Pieters., Jan, G., 1994. Condensation and PAR transmittance of greenhouses. *Plasticulture* nº 112: 23-31.
- Plaisier H.F. 1992. Energy saving and climate improvement with thermal screens. *Tuinderij*, 305: 63-64.
- Pollet, I.V., Pieters. J.G., Deltour, J. y Verschoore, R. 2005. Difussion of radiation transmitted throught dry and condensate covered transmitting materials. *Solar Cells*. 86(2): 177-196.
- Post M.L. & Maaswinkel R.H.M. 1984. Better horizontal temperature distribution with screens. *Tuinderij*, 64 (22): 24-27.
- Pucar, M. Dj. 2002. Enhancement of ground radiation in greenhouses by reflection of direct sunlight. *Renewable Energy*. 26: 561-586.
- Qoaider L., Steinbrech D., 2010. Photovoltaic systems: A cost competitive option to supply energy to off-grid agricultural communities in arid regions. *Applied Energy* 87(2), 427-435.
- Quesada, F.M., Hernández, J., Morales, M.I., Guillén, A.; y Castilla, N. 1998. Pendientes de cubierta en invernaderos asimétricos: respuesta de un cultivo de pepino. *Actas de Horticultura*. SECH.21:45-50.
- Raveh, E., Cohen, S., Raz, T., Grava, A. y Goldschmidt, E.E. 2003. Increased growth of Young citrus tres under reduced radiation load in a semi-arid climate. *Journal of Experimental Botany*. 54: 365-373.
- Raviv, M. y Antignus, Y. 2004. UV radiation effect on pathogens and insect pests of greenhouse-grown crops. *Photochemistry and Photobiology*. 79: 219-226.
- Roderick. M.L., Farquhar, G.D., Berry, S.L. y Noble, R.R. 2001. On the direct effect of clouds and atmospheric particles on the productivity and structure of vegetation. *Oecologia*. 129: 21-30.
- Rubio, M.A. 2002. Caracterización y modelización de la irradiancia directa. Tesis Doctoral. Universidad de Almería.
- Russel, G., Jarvis, P.G. y Monteith, J.L. 1989. Absorption of radiation by canopies and stand growth. En: *Plant canopies: Their growth form and function*. Ed. G.Russell; B.Marshall y P.G.Jarvis. Cambridge University Press. 21-39.

Sandri M.A., Andriolo J.L., Witter M., Dal-ross, T., 2003. Effect of shading on tomato plants grow under greenhouse. *Horticultura Brasileira* 21(4), 642-645. doi:10.1590/S0102-05362003000400013.

Sanjuan Estrada, J.F. 2004. Estudio multitemporal sobre la evolución de la superficie de la superficie invernada en la provincia de Almería por términos Municipales desde 1984 hasta 2004. Mediante teledetección de imágenes thematic mapper de los satélites Landsat V y VII. Ed. I.M.Cuadrado Gómez. FIAPA. Almería. 100 pp.

Schnitzler and Gruda. 2002. Hydroponic and product quality. In: D Savvas and H Passam (ed) 2002. *Hydroponic Production of vegetables and Ornamental*. Embryo Publications Athens, pp. 373-412.

Sonneveld, P.J.; Swinkels, G.L.A.M.; Kempkes, G.; van Campen, J. y Bot, G.P.A. 2006. Greenhouse with an integrated NIR filter and a solar cooling system. *Acta Horticulturae*. 719: 123-130.

Soriano, T. 2002. Validación de un modelo de cálculo de transmisividad a radiación solar directa en invernadero mediante maquetas a escala y determinación del prototipo óptimo para la costa mediterránea. Tesis Doctoral. Universidad de Almería.

Soriano, T., Hernandez, J., Morales, M.I., Escobar, I. and castilla, N. 2004. Radiation transmission differences in east-west oriented plastic greenhouses. *ISHS International Horticultural Congress. Symposium-16*. Toronto. Canadá. *Acta Hort.* (in press).

Soriano, T., Hernández, J., Morales, M.I., Escobar, I. and Castilla, N. 2004. Solar radiation variability in east-west oriented mediterranean greenhouses. *Acta Hort.* (ISHS) 659:121-125.

Spitters, C.J.T., Toussaint, H.A.J.M., Goudriaan, J., 1986. Separating the diffuse and direct component of global radiation and its implications for modelling canopy photosynthesis. Part I: Components of incoming radiation. *Agric. Forest Meteorol.* 38, 217-229.

Stanghellini, C., Bosma, A.H., Gabriels, P.C.J. y Werkhoven, C. 1990. The water consumption of agricultural crops: How crop coefficient are affected by crop geometry and microclimate. *Acta Horticulturae*. 278: 509-515.

Stangellini C. 1994. Balance hídrico y manejo del microclima en invernadero. In: *Tecnología de invernaderos. Curso superior de especialización*. F.I.A.P.A., Junta de Andalucía, 49-62.

Stanhill, G y Cohen, S. 2001. Global dimming: a review of the evidence for a widespread and significant reduction in global radiation with discussion of its probable causes and possible agricultural consequences. *Agricultural and Forest meteorology*. 107: 255-278.

- Stanhill, G.; Fuchs, M.; Bakker, J.C.; y Moreshet, S. 1973. The radiation balance of a glasshouse rose crop. *Agricultural meteorology*. 11: 385-404.
- Stitt, M. 1991. Rising CO₂ levels and their potential significance for carbon flow in photosynthetic cells. *Plant, Cell and Environment*. 14: 741-762.
- Urrestarazu, M. 2004. Tratado del cultivo sin suelo. Ed. Mundi-Prensa. 429, 432, 439 pp.
- Vandenbussche, F., Pierik, R., Millenaar, F.F., Voeselek, L.A y van der Straeten, D. 2005. Reaching out of the shade. *Current Opinion in Plant Biology*. 8: 464-458.
- Van Holsteijn, G.P.A. 1987. With energy screens towards smaller temperature differences. *Backblad voor de Bloemisterij*, 42 (49): 22-23.
- Varlet-Grancher, C. y Bonhomme R. 1974. Utilisation de l'énergie solaire par une culture de *Vigna sinensis*. III. Evolution du rendement énergétique pendant la phase végétative. *Annales Agronomiques*. 25: 811-819.
- Varlet-Grancher, C., Grosse, G., Chartier, M., Sinoquet, H., Bohomme, R. y Allirand, J.M. 1989. Mise au point: rayonnement solaire absorbé ou intercepté par un couvert végétal. *Agronomie*. 9: 419-439.
- Varun., Bhat I.K., Prakash R., 2009. LCA of renewable energy for electricity generation systems. A review. *Renewable & Sustainable Energy Reviews* 13(5), 1067-1073.
- Verheij, E.W.M. y Verwer, F.L.J.A.W. 1971. Light interception and yield of peppers grown under glass in relation to plant spacing. *Acta Horticulturae*. 32: 149-158.
- Von Elsner, B., Briassoulis, B., Waaijenberg, D., Mistriotis, A., Von Zabeltitz, C., Grataud, J., Russo, G. y Suay-Cortes, R. 2000a. Review of Structural and Functional Characteristics of Greenhouse in European Union Countries, Part I: Design Requirements. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 75(1): 1-16.
- Von Elsner, B., Briassoulis, B., Waaijenberg, D., Mistriotis, A., Von Zabeltitz, C., Grataud, J., Russo, G. y Suay-Cortes, R. 2000b. Review of Structural and Functional Characteristics of Greenhouse in European Union Countries, Part II: Typical Designs. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 75(2): 111-126.
- Von Zabeltitz, C. 1999. Greenhouse structures. En: *Ecosystems of the World 20. Greenhouse Ecosystems*. Ed. G.Stanhill y H.Z.Enoch. Elsevier Science B.V. Amsterdam. 17-69.
- Waaijenberg, D. y Sonneveld, P.J. 2004. Greenhouse design for the future with a cladding material combining high insulation capacity with high light transmittance. *Acta Horticulturae*. 276: 265.

- Warren-Wilson, J., Hand, D.W. y Hannah, M.A. 1992. Light interception and photosynthetic efficiency in some glasshouse crops. *Journal of experimental Botany*. 43(248): 363-373.
- Wang, S. y Boulard, T. 1999. Measurement and prediction of solar radiation distribution in full-scale greenhouse tunnels. *Agronomie*. 20: 41-50.
- Wang, S. y Boulard, T. 2000. Measurement and modeling of radiative heterogeneity in a greenhouse tunnel. *Agronomie*. 20: 41-50.
- Wehrli, C. 1985. Extraterrestrial Solar Spectrum. Publication n°. 615, Physikalisch-Meteorologisches Observatorium + World Radiation Center (PMO/WRC). Davos Dorf, Switzerland.
- Whatley, J.M. y Whatley, F.R. 1984. Luz y vida vegetal. Ediciones omega. Barcelona.
- Yano A., Tsuchiya K., Nishi K., Moriyama T., Ide O., 2007. Development of a greenhouse side-ventilation controller driven by photovoltaic energy. *Biosystems Engineering* 96(4), 633-641.
- Yano A., Furue A., Kadowaki M., Tanaka T., Hiraki E., Miyamoto M., Ishizu F., Noda s., 2009. Electrical energy generated by photovoltaic modules mounted inside the roof of a north-south oriented greenhouse. *Biosystems Engineering* 103(2), 228-238.
- Zami N. 1992. Introduction to Greenhouse Engineering. Ministry of Education and Art. Dep. of Rural Education Tel Aviv., 50 pp.
- Zhang, H. y Shi, G.-Y. 2000. An improved approach to diffuse radiation. *Journal of quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer*. 70: 367-372.

