

UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA

ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR DE GANDIA

Licenciado en Ciencias Ambientales



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA



ESCUELA POLITECNICA
SUPERIOR DE GANDIA

**“Caracterización de la temperatura
del suelo en parcelas de pino
carrasco sometidas a tratamientos
selvícolas”**

**TRABAJO FINAL DE
CARRERA**

Autor/es:
Alberto Simó Vedreño

Director/es:
**D. Antonio Luis Lidón
Cerezuela
D. Josep Vicent Llinares
Palacios**

GANDIA, 2013

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 El monte mediterráneo y la gestión forestal.....	1
1.2 La temperatura del suelo como variable microclimática.....	2
1.2.1 La temperatura del suelo y el balance de radiación.....	2
1.2.2 Efecto de los tratamientos selvícolas sobre la temperatura del suelo.....	4
2. OBJETIVOS.....	7
3. MATERIAL Y MÉTODOS.....	8
3.1 Descripción de la zona de estudio.....	8
3.1.1 Localización.....	8
3.1.2 Clima.....	8
3.1.3 Geología y edafología.....	9
3.1.4 Vegetación.....	10
3.2 Diseño experimental.....	10
3.2.1 Tratamientos selvícolas.....	10
3.2.2 Instrumentación.....	12
3.3 Análisis de series temporales.....	13
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	16
4.1 Temperatura media del suelo.....	16
4.1.1 Valores anuales y del periodo 2007-2011.....	16
4.1.2 Análisis estadístico de la temperatura media.....	18
4.2 Temperatura máxima.....	24
4.2.1 Valores anuales y del periodo 2007-2011 de temperatura máxima.....	24
4.2.2 Análisis estadístico de la temperatura media.....	26
4.3 Temperatura mínima.....	33
4.2.1 Valores anuales y del periodo 2007-2011 de temperatura mínima.....	33

4.3.2 Análisis estadístico de la temperatura media.....	34
4.4 Amplitud térmica.....	41
4.4.1 Valores anuales y del periodo 2007-2011 de amplitud térmica.....	41
4.4.2 Análisis estadístico de la amplitud térmica.....	43
5. CONCLUSIONES.....	50
6. BIBLIOGRAFÍA.....	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1. Localización del área de estudio en la provincia de Valencia.....	7
Figura 3.2. Parcelas experimentales de los bloques Tuéjar Izquierda y Tuéjar Derecha	11
Figura 3.3. Datalogger EM50 (izquierda), sonda de humedad EC-20 (centro) y sonda de temperatura (derecha).....	12
Figura 4.1. T ^a media del suelo a 5 cm de profundidad en cada tratamiento y año.....	15
Figura 4.2. T ^a media del suelo a 10 cm de profundidad en cada tratamiento y año.....	16
Figura 4.3. T ^a media del suelo a 5 cm de profundidad en el período considerado.....	16
Figura 4.4. T ^a media del suelo a 10 cm de profundidad en el período considerado.....	17
Figura 4.5. T ^a media en cada tratamiento y año e intervalos LSD (95%).....	19
Figura 4.6. T ^a media según profundidad en cada uno de los años considerados (las barras representan los intervalos LSD al 95%).....	20
Figura 4.7. T ^a media para cada tratamiento y profundidad en cada uno de los años considerados (las barras representan los intervalos LSD al 95%).....	21
Figura 4.8. T ^a media para cada mes del año y profundidad en cada uno de los años considerados (las barras representan los intervalos LSD al 95%).....	21
Figura 4.9. T ^a media para cada mes del año y tratamiento en cada uno de los años considerados (las barras representan los intervalos LSD al 95%).....	22
Figura 4.10. T ^a máxima del suelo a 5 cm de profundidad en cada tratamiento y año...	23
Figura 4.11. T ^a máxima del suelo a 10 cm de profundidad en cada tratamiento y año...	23
Figura 4.12. T ^a máxima del suelo a 5 cm de profundidad en el período considerado...	24
Figura 4.13. T ^a máxima del suelo a 10 cm de profundidad en el período considerado...	24
Figura 4.14. T ^a máxima en cada tratamiento y año e intervalos LSD (95%).....	27
Figura 4.15. T ^a máxima según profundidad en cada uno de los años considerados (las barras representan los intervalos LSD al 95%).....	28
Figura 4.16. T ^a máxima para cada tratamiento y profundidad en cada uno de los años considerados (las barras representan los intervalos LSD al 95%).....	29

Figura 4.17. T ^a máxima para cada mes del año y profundidad en cada uno de los años considerados (las barras representan los intervalos LSD al 95%).....	30
Figura 4.18. T ^a máxima para cada mes del año y tratamiento en cada uno de los años considerados (las barras representan los intervalos LSD al 95%).....	31
Figura 4.19. T ^a mínima del suelo a 5 cm de profundidad en cada tratamiento y año.....	32
Figura 4.20. T ^a mínima del suelo a 10 cm de profundidad en cada tratamiento y año...	32
Figura 4.21. T ^a mínima del suelo a 5 cm de profundidad en el período considerado....	33
Figura 4.22. T ^a mínima del suelo a 10 cm de profundidad en el período considerado...	33
Figura 4.23. T ^a mínima en cada tratamiento y año e intervalos LSD (95%).....	36
Figura 4.24. T ^a mínima según profundidad en cada uno de los años considerados (las barras representan los intervalos LSD al 95%).....	37
Figura 4.25. T ^a mínima para cada tratamiento y profundidad en cada uno de los años considerados (las barras representan los intervalos LSD al 95%).....	37
Figura 4.26. T ^a mínima para cada mes del año y profundidad en cada uno de los años considerados (las barras representan los intervalos LSD al 95%).....	38
Figura 4.27. T ^a mínima para cada mes del año y tratamiento en cada uno de los años considerados (las barras representan los intervalos LSD al 95%).....	39
Figura 4.28. Amplitud térmica del suelo a 5 cm de profundidad en cada tratamiento y año.....	40
Figura 4.29. Amplitud térmica del suelo a 10 cm de profundidad en cada tratamiento y año.....	40
Figura 4.30. Amplitud térmica del suelo a 5 cm de profundidad en el período considerado.....	41
Figura 4.31. Amplitud térmica del suelo a 10 cm de profundidad en el período considerado.....	41
Figura 4.32. Amplitud térmica en cada tratamiento y año e intervalos LSD (95%).....	44
Figura 4.33. Amplitud térmica según profundidad en cada uno de los años considerados (las barras representan los intervalos LSD al 95%).....	45

Figura 4.34. Amplitud térmica para cada tratamiento y profundidad en cada uno de los años considerados (las barras representan los intervalos LSD al 95%).....	46
Figura 4.35. Amplitud térmica para cada mes del año y profundidad en cada uno de los años considerados (las barras representan los intervalos LSD al 95%).....	47
Figura 4.36. Amplitud térmica para cada mes del año y tratamiento en cada uno de los años considerados (las barras representan los intervalos LSD al 95%).....	48

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1. Precipitación media mensual (mm) de las estaciones de Tuéjar (Tu) y Chelva (Ch) para el periodo 1970-2003 y en las parcelas del alto de la Montalbana (Mn) en el periodo 2007-2009.....	8
Tabla 3.2. Datos mensuales de temperatura de las estaciones de Tuéjar y Chelva para el periodo 1982-2003 en Chelva y 1994-2003 en Tuéjar. t_m es la temperatura media mensual, T es la media de las máximas, t es la media de las mínimas, T^a es la máxima absoluta mensual y t^a es la mínima absoluta mensual.....	8
Tabla 3.3. Datos dasométricos de las parcelas de la réplica de Tuéjar Izquierda.....	11
Tabla 4.1. P-valor obtenido del análisis factorial de la varianza indicando la significación estadística (para un 95.0%) de los factores considerados sobre la T^a media en cada uno de los años de estudio.....	17
Tabla 4.2. Contraste múltiple de rango para la T^a media según tratamiento en cada uno de los años.....	18
Tabla 4.3. P-valor obtenido del análisis factorial de la varianza indicando la significación estadística (para un 95.0%) de los factores considerados sobre la T^a máxima en cada uno de los años de estudio.....	25
Tabla 4.4. Contraste múltiple de rango para la T^a máxima según tratamiento en cada uno de los años.....	26
Tabla 4.5. P-valor obtenido del análisis factorial de la varianza indicando la significación estadística (para un 95.0%) de los factores considerados sobre la T^a mínima en cada uno de los años de estudio.....	34
Tabla 4.6. Contraste múltiple de rango para la T^a mínima según tratamiento en cada uno de los años.....	35
Tabla 4.7. P-valor obtenido del análisis factorial de la varianza indicando la significación estadística (para un 95.0%) de los factores considerados sobre la amplitud térmica en cada uno de los años de estudio.....	42
Tabla 4.8. Contraste múltiple de rango para la Amplitud térmica según tratamiento en cada uno de los años.....	43

1. INTRODUCCIÓN

1.1. El monte mediterráneo y la gestión forestal

En la actualidad, tanto a nivel nacional como de la Comunidad Valenciana, la superficie forestal está aumentando, pudiéndose afirmar que el bosque se encuentra en un proceso de expansión. De acuerdo con los datos del tercer Inventario Forestal Nacional, la superficie de monte arbolado se incrementó en la Comunidad Valenciana un 20% respecto de la superficie arbolada reconocida en el segundo IFN, mientras que la biomasa arbórea aumentó, en el mismo período, aproximadamente un 53%. El abandono rural ha provocado que los campos agrícolas sean recolonizados por especies leñosas (arbóreas y arbustivas), propias del sur de Europa, mediante el proceso de sucesión vegetal (González, 2005), produciéndose un aumento tanto en la superficie total arbolada como en la de biomasa, siendo el pino carrasco (*Pinus halepensis* Mill) la especie más importante en este proceso de expansión, quizás por su capacidad de supervivencia ante condiciones adversas.

Este aumento de la superficie forestal tiene ventajas socioeconómicas y ambientales indudables, pero también existen varias contrapartidas debido a la inadecuada gestión de dicha masa, como por ejemplo, el aumento del número de incendios y de la intensidad de los mismos, o la reducción en la riqueza de especies y la mayor vulnerabilidad ante plagas (Valladares et al., 2004). Por otra parte, la gestión de los bosques de tipo mediterráneo está disminuyendo, puesto que no son muy productivos comparados con los de las latitudes propias del norte de Europa, y los productos secundarios (corcho, carbón vegetal, etc.) han perdido valor comercial. Las funciones ecológicas, recreacionales y paisajísticas son muy importantes pero es muy complicado dar valores monetarios a estas funciones por lo que se produce una disminución en el interés en la gestión del bosque.

El factor limitante que regula el funcionamiento de los ecosistemas mediterráneos es la disponibilidad de agua (Hoff et al., 2002). Por esta razón, es importante comprender los procesos fisiológicos que se producen con la gestión forestal, un incendio o cualquier otra perturbación, y como dichos procesos resultan afectados por la modificación de variables como la temperatura y humedad del suelo, ya que dicho conocimiento resulta básico para desarrollar una gestión que resulte adecuada

al ambiente mediterráneo. Trabajos de investigación ya realizados apuntan a que las medidas de gestión deberían seguir las siguientes líneas básicas (Zavala et al., 2004):

- Reducir el grado de fragmentación de los sistemas naturales, mediante el establecimiento de corredores que incrementen la conexión de los fragmentos remanentes.
- Incrementar la heterogeneidad de los sistemas haciéndolos más resistentes a plagas e invasiones. En este caso se plantea como esencial el manejo de las zonas ya reforestadas, que suelen mostrar masas monoespecíficas homogéneas.

En el marco de la segunda línea de gestión citada, los tratamientos selvícolas de mejora (p.e. claras, clareos) y de regeneración (p.e. aclareos sucesivos, entresacas) se presentan como herramientas importantes para el manejo del bosque mediterráneo, y en este contexto se encuadran los estudios del efecto de los tratamientos selvícolas sobre las variables microclimáticas, entre las que se encuentra la temperatura del suelo.

1.2. La temperatura del suelo como variable microclimática

La radiación solar, la temperatura del suelo, la temperatura del aire, la lluvia, la humedad del aire, la humedad del viento y la humedad del suelo son variables microclimáticas que pueden ser modificadas por la cubierta forestal, creando un microclima diferente al existente fuera de ésta (Weng et al. 2007, Chen et al., 1993). En este sentido, los tratamientos selvícolas afectan a las variables microclimáticas en mayor medida por las modificaciones en la cobertura de vegetación, en función de la reducción del Índice de área foliar (LAI) y la apertura de la masa (Aussenac, 2000). Ciertos tratamientos selvícolas pueden alterar también las propiedades físicas del suelo por el uso de maquinaria (Gondard et al., 2003).

El presente trabajo se centra de forma específica en el efecto que la cobertura de vegetación tiene sobre la temperatura del suelo superficial. Dicha variable se puede considerar como una variable integradora del balance de energía que tiene a su vez una influencia decisiva en los ciclos biogeoquímicos de los elementos nutrientes en el suelo.

1.2.1. La temperatura del suelo y el balance de radiación

La temperatura del suelo afecta a los procesos químicos, físicos y biológicos que ocurren en su seno, y a las plantas que crecen en él (Brady y Weil, 2002). Así, la descomposición microbiológica depende en gran medida de la temperatura del suelo,

limitando la tasa a la que los nutrientes están disponibles. Temperaturas muy bajas inhiben la absorción y transporte de agua y nutrientes de las plantas superiores, y temperaturas muy elevadas inhiben procesos microbianos y vegetales. La temperatura del suelo también es importante por su papel regulador en la germinación de las semillas de las plantas.

En los ecosistemas terrestres la temperatura de un objeto está determinada por su balance de energía (Geiger et al., 1995), es decir, el balance entre la cantidad de energía que llega al cuerpo (desde fuentes terrestres, atmosféricas o solares), y la cantidad de energía que libera el propio cuerpo mediante la radiación de onda larga por el hecho de tener una temperatura superior a -273.15°C , de acuerdo con la ley de Stefan-Boltzmann.

La radiación que llega a la superficie terrestre es un porcentaje muy pequeño respecto a la que llega a la atmósfera, esto es debido a factores como la nubosidad o el albedo de la superficie entre otros. De acuerdo con Jury et al. (1991), el balance energético en superficie la superficie se puede describir como:

$$R_N = S + J_H + H_v ET \quad (1)$$

En esta expresión el término R_N se refiere a la radiación neta que incluye la radiación directa de onda corta que incide sobre la superficie, la difusa proveniente de la atmósfera y la radiación de onda larga que emite la atmósfera en función de su temperatura. El término S es el flujo de calor sensible o convectivo, el cual representa el transporte de aire caliente desde la superficie hacia la atmósfera, incluyendo difusión molecular de calor desde la superficie y el intercambio de masa (Geiger et al., 1995). El término J_H es el flujo de calor del suelo, cuya dirección puede ir desde la superficie hacia las zonas profundas del suelo o viceversa. En una noche fría, la energía fluirá hacia la superficie y J_H será positivo, mientras que cuando recibe radiación solar el transporte es a la inversa. Este flujo depende en gran medida de las propiedades físicas del suelo. Por último, el término de calor latente $H_v ET$, es la conversión de calor por evaporación y el transporte de vapor de agua desde la superficie a la atmósfera. Está ligado a la evapotranspiración (ET) y al calor latente de vaporización (H_v).

Existen varios factores que afectan a la radiación solar que recibe la superficie y por tanto a la temperatura del suelo (Brady y Weil, 2002):

- El albedo, o fracción de la radiación incidente que es reflejada por la superficie. Cuanto más oscura es la superficie menor es el valor del albedo; es el caso de los suelos que presentan elevado contenido de materia orgánica.
- La exposición solar, ya que el ángulo con el que los rayos del sol inciden sobre la superficie determina la superficie sobre la que se reparte el flujo de radiación. El ángulo de incidencia depende de la latitud, la declinación solar, la hora del día, la pendiente y la orientación de la misma.
- La precipitación, que puede tener un notable efecto sobre la temperatura del suelo. La llegada de precipitación en verano suele enfriar el suelo, mientras que en primavera puede calentarlo.
- La cobertura del suelo, ya sea de nieve o vegetación afectan a la cantidad de radiación recibida por el suelo. Los suelos desnudos se calientan y enfrían rápidamente. La penetración del hielo en invierno es mayor en suelos desnudos.

1.2.2. Efecto de los tratamientos selvícolas sobre la temperatura del suelo

Los tratamientos selvícolas al afectar directamente a la cobertura de la vegetación arbórea, e indirectamente a la de la arbustiva, afectan el balance energético y por ello algunas de las variables microclimáticas se ven modificadas. No todos los tipos de vegetación alteran de igual forma el balance energético. En el caso de los bosques, la estructura vertical de la masa tiene un importante efecto sobre dicho balance. La estructura de un bosque se diferencia entre la parte superior, que es donde se realiza el mayor intercambio de radiación (zona de copas densas llamado dosel) y la parte inferior, más concretamente la zona del tronco que está libre de hojas, (excepto cuando hay matorrales o múltiples capas). (Oke, 1987).

La radiación de onda corta que llega puede ser reflejada, absorbida o transmitida a través del dosel hasta el suelo. En general los bosques de coníferas absorben mayor radiación que los bosques de hoja caduca, praderas o cultivos. La cantidad de radiación de onda corta que llega al suelo depende de la altura y densidad del dosel y el ángulo de incidencia de la radiación, pero en general menos del 20% de la radiación de la onda corta que llega al dosel alcanza el suelo (Oke, 1987). Parte de la radiación de onda corta que alcanza el suelo es reflejada en función de su propio albedo. De esta radiación, parte es reflejada por debajo del dosel, parte es transmitida por el dosel hasta la atmósfera y parte es absorbida por el dosel.

El balance de la radiación de onda larga del suelo incluye la parte de radiación originaria de la atmósfera que atraviesa el dosel, la radiación emitida por el dosel y también la emitida por el suelo, dependiendo dicha emisión de la temperatura (dosel y suelo) y del coeficiente de emisividad respectivo.

La edad de la masa, el tipo de árbol, la productividad o la estructura espacial hace que el balance de radiación no sea el mismo para todos los suelos (Geiger et al., 1995). Además, la ausencia o presencia de árboles en forma de claros puede alterar el efecto de los vientos sobre la temperatura del aire y del suelo. A medida que el tamaño del claro aumenta, los vientos aumentan su importancia relativa frente al calentamiento por radiación en el transporte del calor (Bonan, 2002). En general, los suelos bajo cubierta son más cálidos en el invierno y más fríos en el verano que las áreas aclaradas, con diferencias que pueden llegar a ser de 4 a 5°C y llegando a detectarse diferencias a 80-100 cm de profundidad (Aussenac, 2000).

De todos los tratamientos selvícolas, la corta total es la que tiene el mayor efecto sobre la temperatura del suelo, debido a la alteración del balance de radiación (Kimmins, 2004). En el claro, la radiación neta absorbida por el suelo es mayor y más calor es transmitido en profundidad por conducción. Aproximadamente el 30% de la radiación neta de un bosque con adecuado suministro hídrico se disipa como calor sensible. Por contra, el calor sensible en un suelo seco y desnudo puede significar el 70% de la radiación neta (Kimmins, 2004).

Los efectos del grado de cobertura del dosel sobre la dinámica de la temperatura del suelo a escala diaria se han intentado modelar desde un punto de vista empírico/físico teniendo en cuenta la densidad de la masa mediante la introducción del LAI como variable de entrada (Paul et al., 2004; Bond-Lamberty et al., 2005), siendo dichos modelos de utilidad para ser incorporados en otros modelos más amplios sobre descomposición de la materia orgánica y crecimiento de la vegetación.

Segun Guan *et al.* (2006) analizar los datos microclimáticos en un experimento de aclareo tiene dos objetivos:

- Comparar los efectos de diferentes tipos de aclareo (intensidades) en el microclima.
- Identificar tendencias temporales en las variables microclimáticas importantes. Este aspecto requiere una aproximación de series temporales y/o de regresión.

La mayor parte de estudios realizados sobre el efecto en el microclima de la densidad de la cobertura vegetal se han centrado en el primer objetivo, proporcionando medias aritméticas y errores estándar de las variables microclimáticas medidas a diferentes escalas. Este trabajo se encuadra en esta aproximación.

2. OBJETIVOS

El objetivo principal del presente trabajo es comparar la influencia de tratamientos selvícolas de regeneración de diferente intensidad sobre la temperatura superficial de un suelo con elevada pedregosidad en un bosque de pino carrasco (*Pinus halepensis* Mill.) representativo de la cobertura forestal de la Comunidad Valenciana.

Para ello se caracterizarán los valores mensuales y anuales de la Tª media, máxima, mínima y la amplitud térmica de una serie de cinco años de datos de temperatura del suelo registrados con una frecuencia horaria a dos profundidades en parcelas de pinar tratadas en el año 1998.

3. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. Descripción del área de estudio

3.1.1. Localización

El área de estudio se localiza en el noroeste de la provincia de Valencia, en los términos municipales de Tuéjar y Chelva (figura 3.1), en las inmediaciones del alto de la Montalbana ($39^{\circ}49'26.00''N$; $1^{\circ}05'47.01''O$), de 960 m de altitud. Los montes de Tuéjar y Chelva forman parte de las estribaciones secundarias de la cordillera Ibérica, que penetra en la provincia de Valencia a través de las de Cuenca y Teruel.

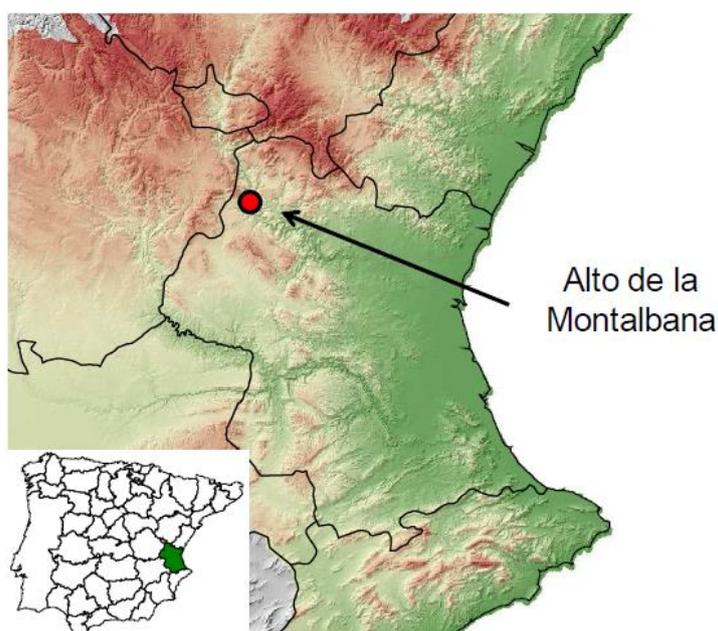


Figura 3.1. Localización del área de estudio en la provincia de Valencia.

3.1.2. Clima

Los datos climáticos del área de estudio se han obtenido a partir de las estaciones termopluviométricas de Tuéjar y Chelva, proporcionados por la Agencia Estatal de Meteorología. Según los criterios de delimitación de los pisos bioclimáticos de Rivas Martínez (1987), la zona se encuentra en la región mediterránea, piso mesomediterráneo, horizonte medio-superior con un ombroclima seco. Según la clasificación FAO-UNESCO, el clima es monoxérico mesomediterráneo atenuado.

La precipitación media anual para las estaciones meteorológicas más cercanas es de 441 mm en el caso del observatorio de Tuéjar y 426 mm la del observatorio de

Chelva. El valor promedio de precipitación anual del periodo 2007-2009 registrado en las parcelas del alto de la Montalbana es de 574 mm. Los meses más lluviosos suelen ser Septiembre-Octubre y Abril-Mayo, con precipitaciones medias que pueden superar los 50 mm (tabla 3.1). Los meses más secos son Julio y Enero.

Tabla1. Precipitación media mensual (mm) de las estaciones de Tuéjar (Tu) y Chelva (Ch) para el periodo 1970-2003 y en las parcelas del alto de la Montalbana (Mn) en el periodo 2007-2009.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Año
Tu	25.5	27.7	24.8	44.1	46	32.9	13.7	28.2	40.9	50.2	38	36.1	441
Ch	25.7	23.4	24.8	42.1	48	37.3	15.2	24.6	48.3	50.1	46	41.2	426
Mn	23	28.7	39	95	72.3	33	0.3	41.7	65	78.3	23	75.3	574

El régimen térmico de la zona muestra una tendencia continental, con una temperatura media anual de 15.3 °C en Tuéjar y 15.9 °C en Chelva. La temperatura media de los meses cálidos (Julio y Agosto) ronda los 24°C, mientras que en los meses fríos (Diciembre y Enero) se sitúa en torno a los 8°C (tabla 3.2). Tanto la distribución de las precipitaciones como el patrón de las temperaturas definen el periodo de sequía estival característico del clima Mediterráneo.

Tabla 3.2. Datos mensuales de temperatura de las estaciones de Tuéjar y Chelva para el periodo 1982-2003 en Chelva y 1994-2003 en Tuéjar. *t_m* es la temperatura media mensual, *T* es la media de las máximas, *t* es la media de las mínimas, *T'a* es la máxima absoluta mensual y *t'a* es la mínima absoluta mensual.

		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Tuéjar	<i>t_m</i>	7.5	9.4	12.0	13.3	16.7	21.8	24.0	24.2	20.0	16.0	10.9	8.0
	<i>T</i>	12.5	15.7	18.6	19.9	23.3	29.3	31.7	31.7	26.3	21.7	16.1	13.2
	<i>t</i>	2.5	3.0	5.4	6.6	10.1	14.2	16.3	16.8	13.7	10.2	5.7	2.9
	<i>T'a</i>	16.2	18.0	21.4	22.4	26.5	28.8	30.4	29.8	26.6	23.6	19.4	16.8
	<i>t'a</i>	-2.1	-1.8	0.2	1.2	4.2	8.0	10.1	10.8	7.4	4.6	0.0	-1.9
Chelva	<i>t_m</i>	8.6	9.8	12.2	13.6	17.0	21.9	24.9	24.8	21.1	16.4	11.9	8.9
	<i>T</i>	12.5	15.0	17.9	19.5	23.0	28.5	31.8	31.5	27.3	21.9	16.4	13.6
	<i>t</i>	3.8	4.7	6.4	7.8	11.0	15.2	17.9	18.1	15.3	11.6	7.8	5.1
	<i>T'a</i>	20.1	22.6	25.9	27.4	30.1	34.7	37.8	37.2	32.0	26.8	23.5	20.6
	<i>t'a</i>	-1.5	-1.0	1.3	2.6	5.8	10.8	14.1	14.4	10.5	6.1	1.7	-0.3

3.1.3. Geología y edafología

Las parcelas se encuentran situadas en la parte sudoriental de la Cordillera Ibérica, cuyas direcciones NO-SE predominan en los elementos estructurales de la zona. Los materiales geológicos que cubren el área del monte de Tuéjar corresponden en su mayoría al jurásico, aunque también aparecen sedimentos triásicos y relieves cretácicos.

La dispersión tectónica de las formaciones existentes en la zona de estudio resulta extraordinariamente compleja por la presencia de una estructuración violenta de las directrices ibéricas (NO-SE) con pliegues volcados y fallas cabalgantes

convergencia al SO, modificados por fenómenos orogénicos más recientes que han producido pliegues y accidentes de dirección NE. La zona donde se ubican las parcelas se articula mediante una falla cabalgante con una nueva estructura regional, el sinclinal de la Atalaya, muy agudo y con el flanco norte subvertical volcado. El gran sinclinal, de extensión regional, se torna muy agudo al penetrar en esta Hoja y la cruza en dirección SE-NO.

Los suelos que predominan en la zona son Regosoles, Cambisoles, Calcisoles y Kastanozems. Las parcelas experimentales se encuentran sobre Regosoles (suelos poco desarrollados que proceden de materiales no consolidados) situados sobre rocas calcáreas y margas. La profundidad del suelo se sitúa en el entorno de 30-40 cm con porcentajes de elementos gruesos del 50-60% (incluyendo material vegetal). El pH del suelo tiene un valor aproximado de 7.8, y las texturas varían en función de la réplica, siendo entre franco arcillosas y franco arcillo limosas para la zona de Tuéjar, y franco-arenosa para Chelva. La materia orgánica se encuentra entre el 3.1 y 5.4%. Los carbonatos tienen un valor del 25% y la CIC se encuentra entre 25 – 50 $\text{cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$.

3.1.4. Vegetación

Según los criterios de la tipología biogeográfica elaborada para la Península Ibérica por Rivas-Martínez (1987), la zona de estudio se encuadra biogeográficamente en el sector Maestracense de la provincia Castellano-Maestrazgo-Manchega.

La zona está ocupada por una masa densa de *Pinus halepensis*, predominando en el sotobosque los grandes arbustos (*Quercus coccifera*, *Juniperus oxycedrus*, *Juniperus phoenicea*). Todos ellos son indicadores de la asociación *Rhamno lycioidis-Quercetum cocciferae*. Esta asociación, comunidad potencial en zonas semiáridas, también corresponde a la primera etapa de regresión de la serie *Bupleuro rigidi-Querceto rotundifoliae sigmetum*. Hay abundante presencia de indicadores de suelos calcáreos, tales como *Cistus clusii* o *Erinacea anthyllis*.

3.2. Diseño experimental

3.2.1. Tratamientos selvícolas

En el año 1998 bajo el *Programa de I+D en relación con la Restauración de la Cubierta Vegetal y otros aspectos de la Investigación Forestal* (segunda fase; CEAM, 1998), con el objeto de monitorizar la regeneración de un pinar de carrasco y la

evolución de algunas encinas que permanecían latentes bajo su cubierta, se diseñó un experimento de tratamientos selvícolas en el monte de Tuéjar y Chelva. Las condiciones del proyecto supusieron establecer los ensayos sobre una masa en espesura que impidiera el desarrollo del estrato arbustivo, en tramos no alterados desde la ordenación del monte. Los tratamientos selvícolas se aplicaron en 1998 sobre un pinar adulto cercano al final del turno con espesura completa, con Fracción de Cobertura (FCC) > 80% y densidad de 900 pies ha⁻¹. Se buscaron zonas de baja pendiente (<5%) y de orientación similar.

El diseño incluye tratamientos con *criterio de aclareo sucesivo uniforme* (ASU) en dos intensidades que se prescriben para dejar una FCC del 20% en la fuerte (ASUF) y del 40% en la débil (ASUD). No se realizaron cortas preparatorias en estas parcelas, efectuándose directamente las cortas diseminatorias. Los otros tratamientos son cortas limitadas de todos los árboles que semejan un tratamiento *de entresaca por bosquetes*, en el que se varía el tamaño para reproducir diferentes grados de sombra según un gradiente N-S.

Las parcelas son de diferentes tamaños según el tratamiento empleado y de forma cuadrada, lo que facilita su replanteo y la toma de datos, así como el establecimiento de una orientación N-S clara. Las parcelas se organizan en tres replicas distintas con siete parcelas cada una. Las replicas se han denominado Chelva (CH), Tuéjar Izquierda (TI) y Tuéjar Derecha (TD). Como se observa en la figura 3.2, las replicas TD y TI se encuentran a ambos lados de un cortafuegos. La réplica CHELVA se localiza a una distancia aproximada de 3 Km de los otros dos bloques.

El presente trabajo se realiza en la réplica TI (Tuéjar Izquierda), exceptuando las parcelas de entresaca por bosquetes de 15m X 15m y de 30m X 30m. De esta forma, el estudio se limita a las siguientes cuatro parcelas:

- Parcela control de 30m x 30m (CONTROL)
- Parcela sometida a aclareo sucesivo uniforme de intensidad débil de 45m x 45m (ASUD)
- Parcela sometida a aclareo sucesivo uniforme de intensidad fuerte de 45m x 45m (ASUF)
- Parcela sometida a entresaca por bosquete de 45m x 45 m (BOSQUETE)

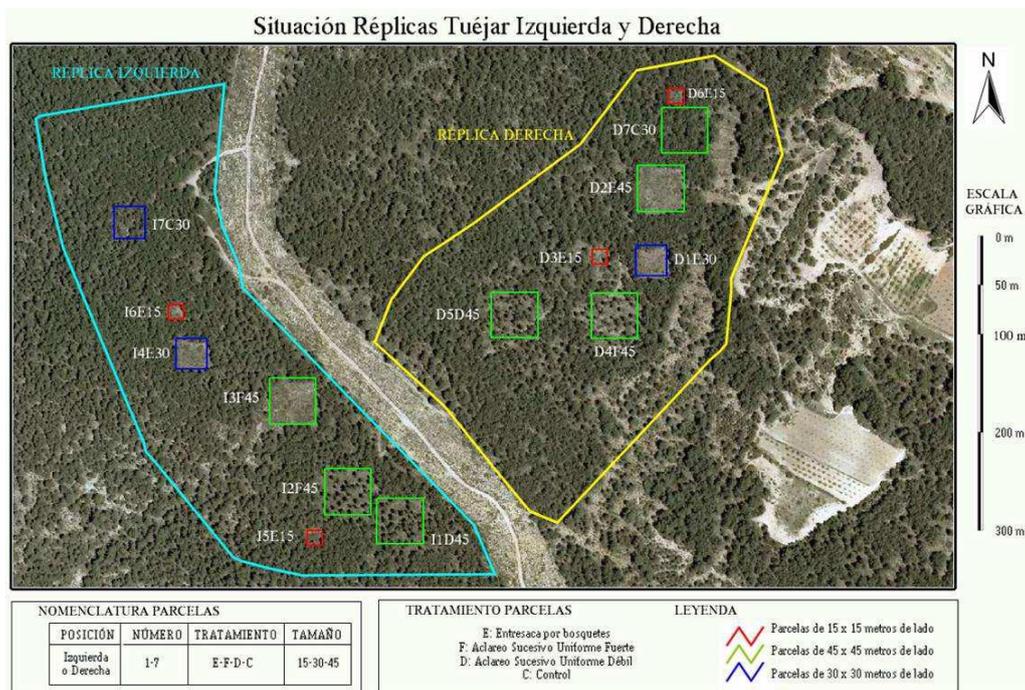


Figura 3.2. Parcelas experimentales de los bloques Tuéjar Izquierda y Tuéjar Derecha.

Desde la realización de los tratamientos en 1998 se ha producido una considerable regeneración de la vegetación en las parcelas tratadas. Los datos dasométricos disponibles más recientes en las parcelas de este trabajo se muestran en la tabla 3.3.

Tabla 3.3. Datos dasométricos de las parcelas de la réplica de Tuéjar Izquierda (modificado de González et al., 2005).

	ASUF	ASUD	CONTROL
Densidad (pies·ha ⁻¹)	207	286	833
Relación de espaciamento de Hart-Becking (%)	58.7	47.7	28.1
Indice de Czarnowski (cm)	3	4	7
Área basimétrica (m ² ·ha ⁻¹)	12.0	15.2	30.4
Árbol de área basimétrica media (m ²)	0.058	0.053	0.037
Diámetro del árbol de área basimétrica media (cm)	27.2	26.0	21.6
Altura media (m)	12.1	12.2	9.1
Altura dominante (m)	12.7	13.3	13.3

3.2.2. Instrumentación

Con el objeto de estudiar el efecto de los tratamientos selvícolas sobre las tasas de descomposición de la hojarasca (un importante proceso del ciclo biogeoquímico del

bosque), en el verano del año 2006 se instalaron sondas de temperatura y humedad de suelo en las parcelas mencionadas previamente.

En cada una de las cuatro parcelas se seleccionaron tres puntos representativos (P1, P2 y P3), y en cada uno de ellos se instalaron dos sondas de humedad de suelo, a 5 y a 10 cm, y dos sondas de temperatura de suelo a las mismas profundidades. La elección de las profundidades se fundamenta en que la descomposición de la hojarasca se realiza en el horizonte más superficial del suelo. Además de estas sondas, se dispone de un punto por parcela de medidas de precipitación y de temperatura del aire a 1,5 m sobre la superficie.

Los datos de las sondas se registran con intervalo horario en un datalogger EM50 (uno por punto), que dispone de 5 canales de conexión y 1 Mb de memoria. Las sondas de temperatura son termistores con un rango de medida de -40 °C a 60 °C. El modelo de sondas de humedad empleado es ECH₂O-EC20 (Decagon Devices, Pullman, WA) (figura 3.3).



Figura 3.3. Datalogger EM50 (izquierda), sonda de humedad EC-20 (centro) y sonda de temperatura (derecha).

3.3. Tratamiento de datos

El periodo de datos empleado en este trabajo es el comprendido entre el 01/01/2007 y el 31/12/2011, un total de 5 años. Los datos dados registrados con una

frecuencia horaria. Los datos horarios se convierten en diarios tras su depuración en una hoja de cálculo Excel programada para identificar lagunas de datos o fallos de las sondas o de los registradores.

El proceso de depuración de datos se hace por comparación gráfica de los tres puntos de una misma parcela y en cada una de las profundidades existentes. Los datos claramente erróneos, por mal funcionamiento de las sondas o por desenterrado de las mismas por animales de paso en las parcelas, se eliminan, rellenando los datos posteriormente si es posible.

Las series obtenidas puede ser que tengan lagunas, cosa muy frecuente, por lo que se obliga a un proceso de relleno de las mismas (Fernández, 1996). En este caso se utilizará el *método de correlación*. Este método consiste en el cálculo de los valores inexistentes por el ajuste a una recta de regresión entre dos estaciones: una incompleta, cuya serie es la variable dependiente, y otra completa que proporciona la variable independiente de la cual depende la anterior. La base teórica del cálculo admite como hipótesis de partida que entre las dos series a comparar existe una correlación, de tal modo que las variaciones que se producen en ambas son similares.

La expresión más simple de la regresión lineal es $y=a+bx$, en la que y es la variable cuyo valor se desconoce, x la variable conocida y b la pendiente de la curva de regresión. Para que el ajuste sea correcto se han de cumplir una serie de requisitos como son (Fernández García y Galán, 1994):

- a) La existencia de un número mínimo de años comunes en ambas series. El número mínimo oscila entre 5 y 15 años. En el caso estudiado es de 5 años.
- b) La proximidad geográfica de los observatorios es necesaria, pero no suficiente, pero en este caso por la proximidad de los puntos de recogida de datos sí que será suficiente.
- c) Comprobación de que la nueva serie resultante de la correlación aporta un incremento a la información original.

Puesto que el objetivo del proyecto es estudiar el efecto de la cobertura vegetal sobre la temperatura a distintas profundidades las variables consideradas serán: temperatura mínima, temperatura máxima, temperatura media y amplitud térmica.

La utilización de series mensuales como series temporales es debido a que lo que se pretende estudiar es la variabilidad dentro de cada parcela y la comparación de las

distintas parcelas tratadas entre si a través del análisis de la varianza, por ello la frecuencia de datos utilizada es mensual. Los datos mensuales de temperatura son los utilizados para caracterizar en este caso el régimen térmico del suelo en las cuatro parcelas mencionadas. La existencia de tres puntos instrumentados por parcela permite el análisis estadístico de los tratamientos mediante ANOVA, utilizando el software Statgraphics. Finalmente se obtienen los valores anuales y los del período estudiado 2007-2011 a través del promedio de los tres puntos de cada parcela a 5 cm y a 10 cm.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Temperatura media

4.1.1. Valores anuales y del período 2007-2011

La temperatura media del suelo a 5 cm de profundidad para cada uno de los tratamientos y años considerados se muestra en la figura 4.1. El valor más alto de temperatura media correspondió al Bosquete en el año 2011, con 17.4 °C, mientras que el valor más bajo se produjo en el tratamiento de aclareo ASUF en 2010, con 9.5°C. Se puede observar como en el tratamiento Bosquete siempre se registraron valores más altos de temperatura media a 5 cm que en el resto de tratamientos. Por otra parte, los tratamientos de aclareo ASUD y ASUF presentaron valores más bajos de temperatura media que el tratamiento Control. Las diferencias entre tratamientos parecen aumentar con el paso del tiempo debido principalmente al aumento de temperatura que se produce en el tratamiento Bosquete (figura 4.1).

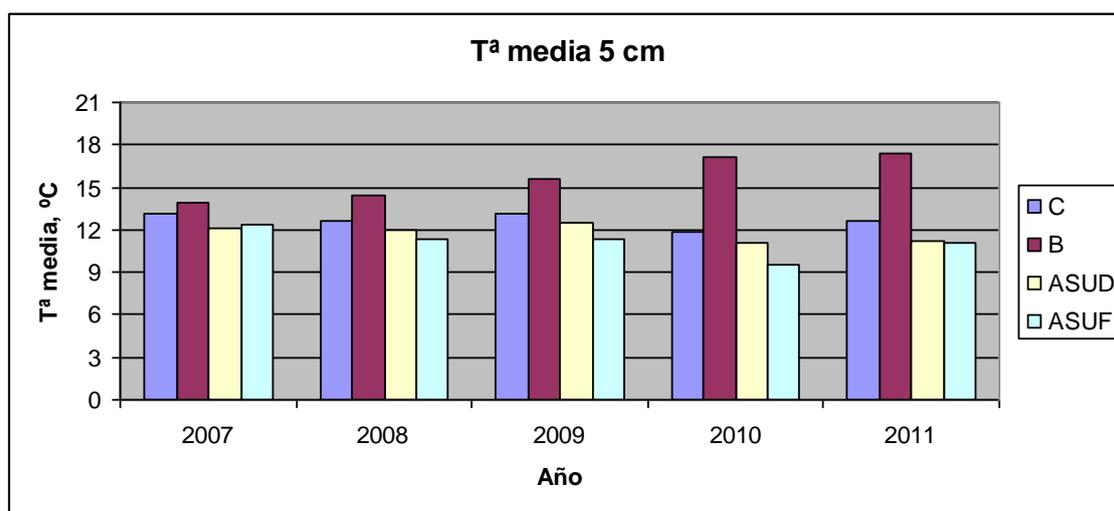


Figura 4.1. T^a media del suelo a 5 cm de profundidad en cada tratamiento y año.

A 10 cm de profundidad las diferencias entre tratamientos se atenúan, tal y como se observa en la figura 4.2, en la que se muestra la temperatura media del suelo a 10 cm para cada tratamiento y año. El valor más alto corresponde en este caso al año 2009 en el Bosquete, con 13.5°C, mientras que el valor más bajo se produjo en el año 2010 en el tratamiento Control, registrándose una media anual de 10.9°C. No se aprecia una tendencia clara en cuanto a diferencias entre tratamientos como ocurría a la profundidad de 5 cm.

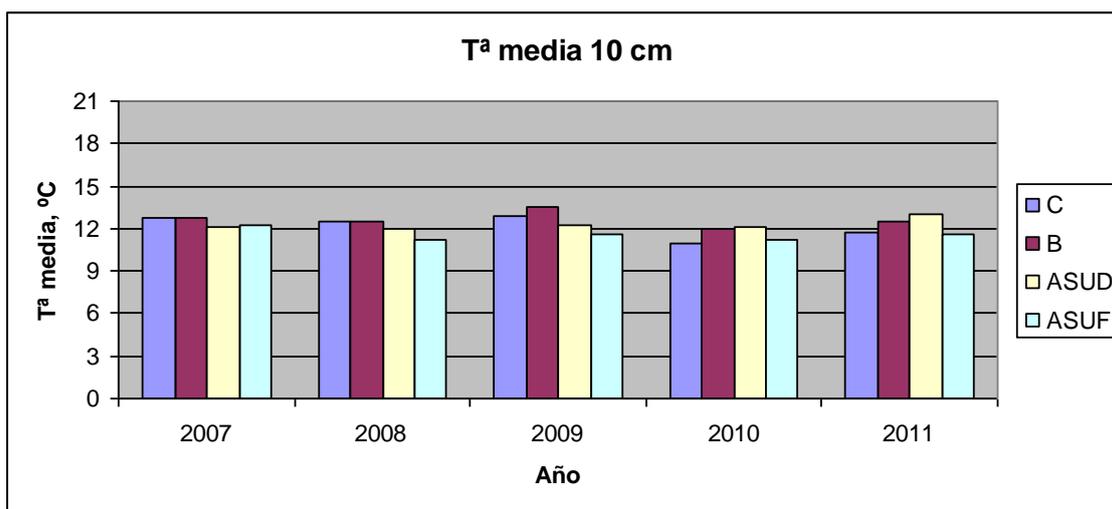


Figura 4.2. Tª media del suelo a 10 cm de profundidad en cada tratamiento y año.

En cuanto a los valores obtenidos en el conjunto del período evaluado (2007-2011), la temperatura media a 5 cm osciló entre 15.7°C en el tratamiento Bosquete, y 11.1°C en el tratamiento ASUF (figura 4.3). Las diferencias entre los tratamientos de aclareo fueron pequeñas (unos 0.6°C), pero con respecto al Control estos tratamientos tuvieron 1.2°C menos de temperatura media a 5cm, y con respecto al Bosquete tuvieron 4.2°C menos de Tª media a dicha profundidad. Por su parte, el Bosquete registró una Tª media superior al Control en 3°C. Estas diferencias entre tratamientos son lo suficientemente importantes para suponer que pueden afectar a la velocidad de algunos de los procesos relacionados con la transformación de la materia orgánica del suelo y que afectaría entre otros a los ciclos biogeoquímicos de elementos como el carbono o el nitrógeno.

En el caso de la mayor profundidad (10 cm), los valores de temperatura media para el conjunto del período evaluado oscilan entre 11.6°C en el tratamiento ASUF y 12.7°C en el Bosquete, observándose una reducción considerable de las diferencias entre tratamientos que en ningún caso superan 1°C (figura 4.4). En cualquier caso se mantiene la misma secuencia que a 5 cm en el orden de los tratamientos: Bosquete > Control > ASU.

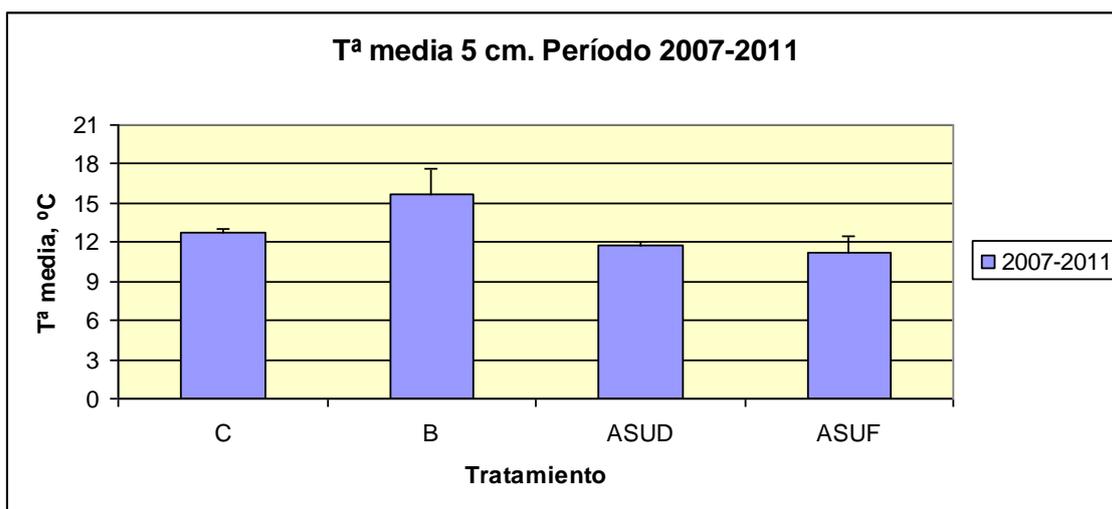


Figura 4.3. Tª media del suelo a 5 cm de profundidad en el período considerado.

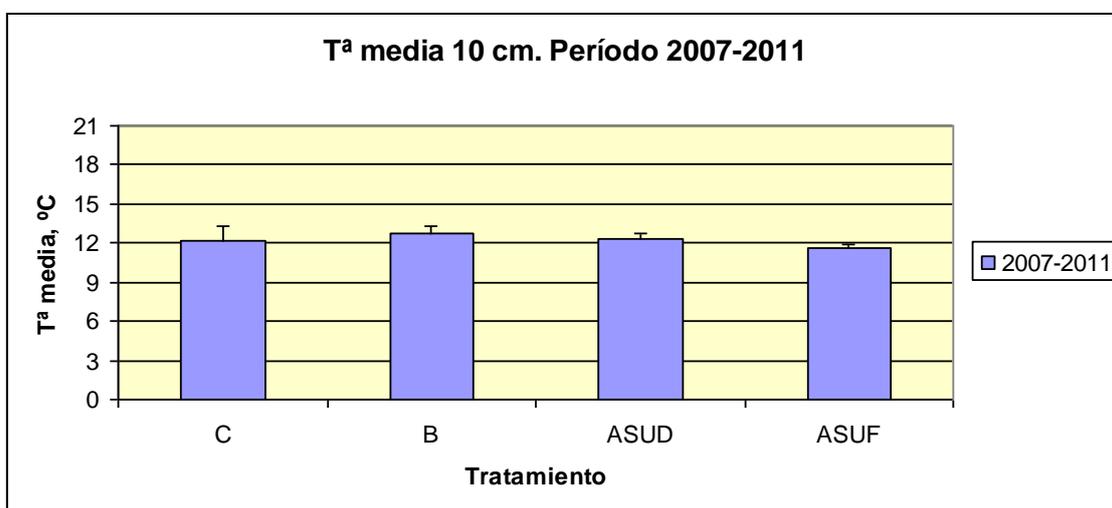


Figura 4.4. Tª media del suelo a 10 cm de profundidad en el período considerado.

4.1.2. Análisis estadístico de la temperatura media

El análisis factorial de la varianza indica que los factores tratamiento, profundidad y mes tienen un efecto estadísticamente significativo (para un 95.0%) sobre la Tª media en cada uno de los años considerados, tal y como se observa en la tabla 4.1. Así mismo las interacciones tratamiento x profundidad y tratamiento x mes resultan significativas.

Tabla 4.1. P-valor obtenido del análisis factorial de la varianza indicando la significación estadística (para un 95.0%) de los factores considerados sobre la T^a media en cada uno de los años de estudio.

	P-valor				
	2007	2008	2009	2010	2011
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Tratamiento	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
B:Profundidad	0.0055	0.0015	0.0026	0.0000	0.0000
C:Mes	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
INTERACCIONES					
AB	0.0533	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
AC	0.0000	0.0004	0.0000	0.0181	0.0000
BC	0.2451	0.9455	0.7059	0.4560	0.0288

La tabla de contraste múltiple de rango para la T^a media según tratamiento en los diferentes años de estudio (tabla 4.2), pone de manifiesto que la T^a media del Bosquete fue siempre superior a la de los tratamientos de aclareo ASUF y ASUD. El tratamiento Bosquete también presenta una T^a media mayor que la del Control en todos los años, excepto en 2007; considerando ambas profundidades, estas diferencias oscilaron entre 0.4 – 3.1°C, haciéndose mayores las diferencias conforme transcurre el tiempo.

Por otra parte, los tratamientos de aclareo sucesivo presentan generalmente menores valores de T^a media que el tratamiento control, siendo estas diferencias estadísticamente significativas en todo el periodo estudiado para el tratamiento ASUF, mientras que para el tratamiento ASUD, las diferencias se van atenuando con el tiempo, y los dos últimos años no presenta diferencias con el tratamiento Control. En promedio y para el período considerado, las diferencias del Control respecto al ASUF fueron de 1.1°C, y respecto al ASUD de 0.4°C. Los tratamientos de aclareo mostraron diferencias estadísticamente significativas entre ellos en todo el período estudiado, excepto el año 2007, siendo la T^a media más baja en el aclareo ASUF que en el ASUD, con una diferencia media de 0.7°C. Las diferencias en cada año se muestran en la figura 4.5.

Tabla 4.2. Contraste múltiple de rango para la T^a media según tratamiento en cada uno de los años.

Contraste Múltiple de Rangos para T media según Tratamiento Año 2007

Método: 95.0 porcentaje LSD

Tratamiento	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
ASUD	72	12.1151	0.143923	X
ASUF	72	12.3142	0.143923	X
C	72	12.9818	0.143923	X
B	72	13.3494	0.143923	X

Contraste Múltiple de Rangos para T media según Tratamiento Año 2008

Método: 95.0 porcentaje LSD

Tratamiento	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
ASUF	72	11.3357	0.161336	X
ASUD	72	11.9582	0.161336	X
C	72	12.5639	0.161336	X
B	72	13.5043	0.161336	X

Contraste Múltiple de Rangos para T media según Tratamiento Año 2009

Método: 95.0 porcentaje LSD

Tratamiento	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
ASUF	72	11.4313	0.172969	X
ASUD	72	12.3654	0.172969	X
C	72	13.0044	0.172969	X
B	72	14.5575	0.172969	X

Contraste Múltiple de Rangos para T media según Tratamiento Año 2010

Método: 95.0 porcentaje LSD

Tratamiento	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
ASUF	72	10.3514	0.207319	X
C	72	11.4239	0.207319	X
ASUD	72	11.5844	0.207319	X
B	72	14.5485	0.207319	X

Contraste Múltiple de Rangos para T media según Tratamiento Año 2011

Método: 95.0 porcentaje LSD

Tratamiento	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
ASUF	72	11.3193	0.181531	X
ASUD	72	12.0853	0.181531	X
C	72	12.2162	0.181531	X
B	72	14.9263	0.181531	X

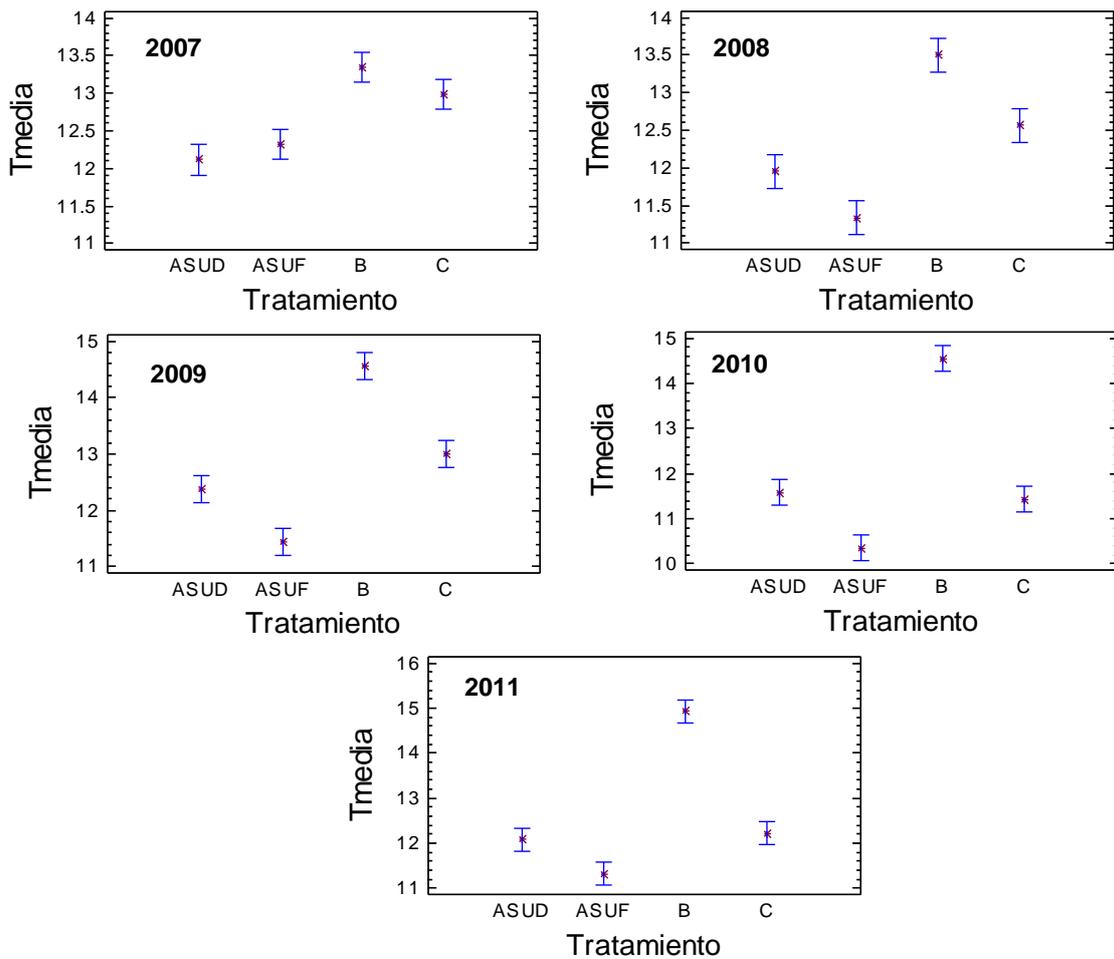


Figura 4.5. T^a media en cada tratamiento y año e intervalos LSD (95%).

La T^a media a 5 cm de profundidad fue siempre más alta que la de 10 cm, con diferencias estadísticamente significativas que oscilaron entre 0.4°C y 0.9°C, según año considerado. El valor medio para todo el período fue de 12.8°C a 5 cm de profundidad y de 12.2°C a 10 cm. Los valores para cada año así como los intervalos LSD al 95% para cada profundidad se muestran en la figura 4.6.

La interacción tratamiento x profundidad pone de manifiesto que las diferencias de temperatura media entre profundidades se hacen más evidentes en el tratamiento Bosquete, donde se alcanzan siempre valores más altos de T^a media a 5 cm que a 10 cm, mientras que en el resto de tratamientos estas diferencias entre profundidades no son tan evidentes (figura 4.7). Las diferencias entre tratamientos señaladas anteriormente se deben fundamentalmente a las diferencias encontradas en la profundidad superficial, puesto que a 10 cm las diferencias entre tratamientos se mitigan (figura 4.7). Las diferencias entre profundidades se producen mayoritariamente en los meses de primavera y verano (figura 4.8).

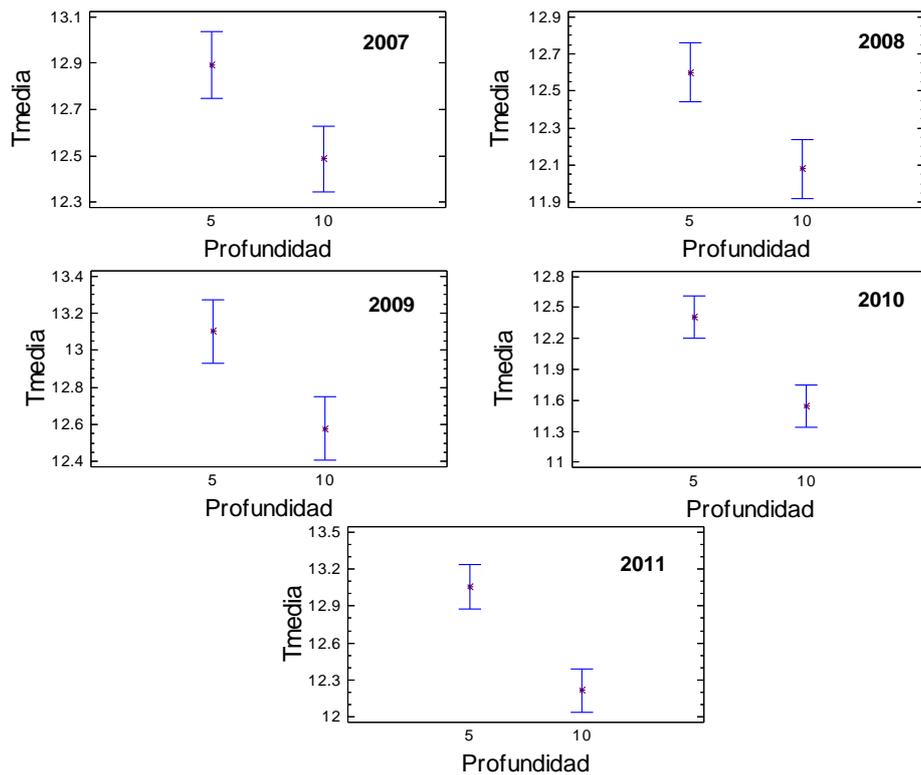


Figura 4.6. T^a media según profundidad en cada uno de los años considerados (las barras representan los intervalos LSD al 95%).

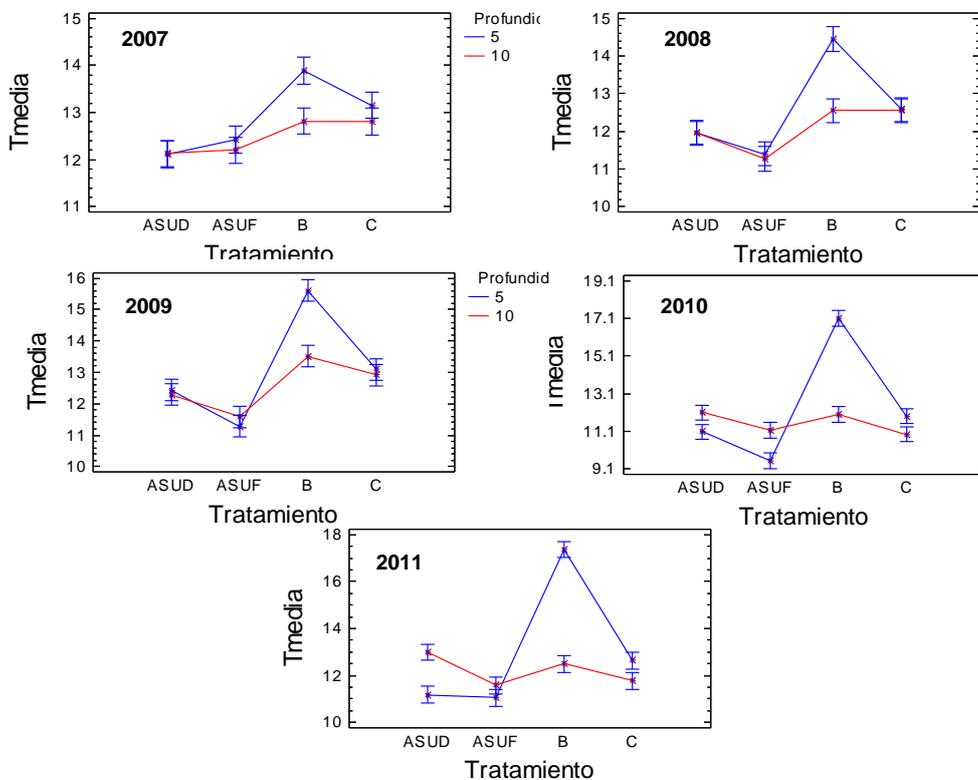


Figura 4.7. T^a media para cada tratamiento y profundidad en cada uno de los años considerados (las barras representan los intervalos LSD al 95%).

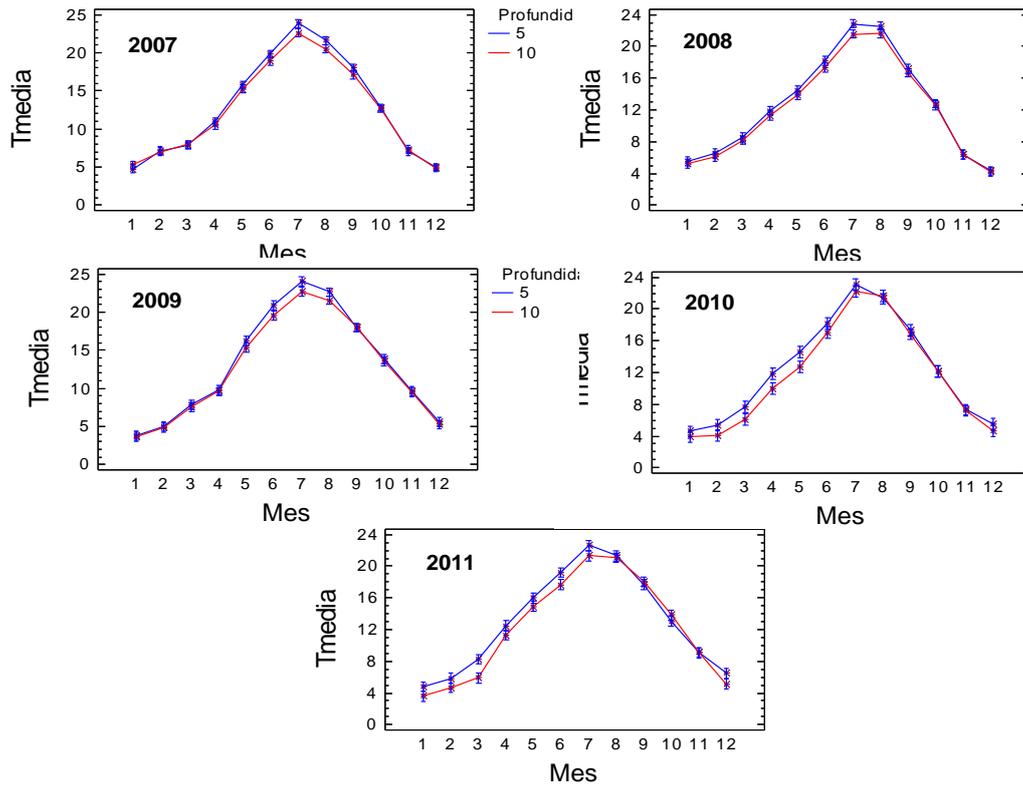


Figura 4.8. T^a media para cada mes del año y profundidad en cada uno de los años considerados (las barras representan los intervalos LSD al 95%).

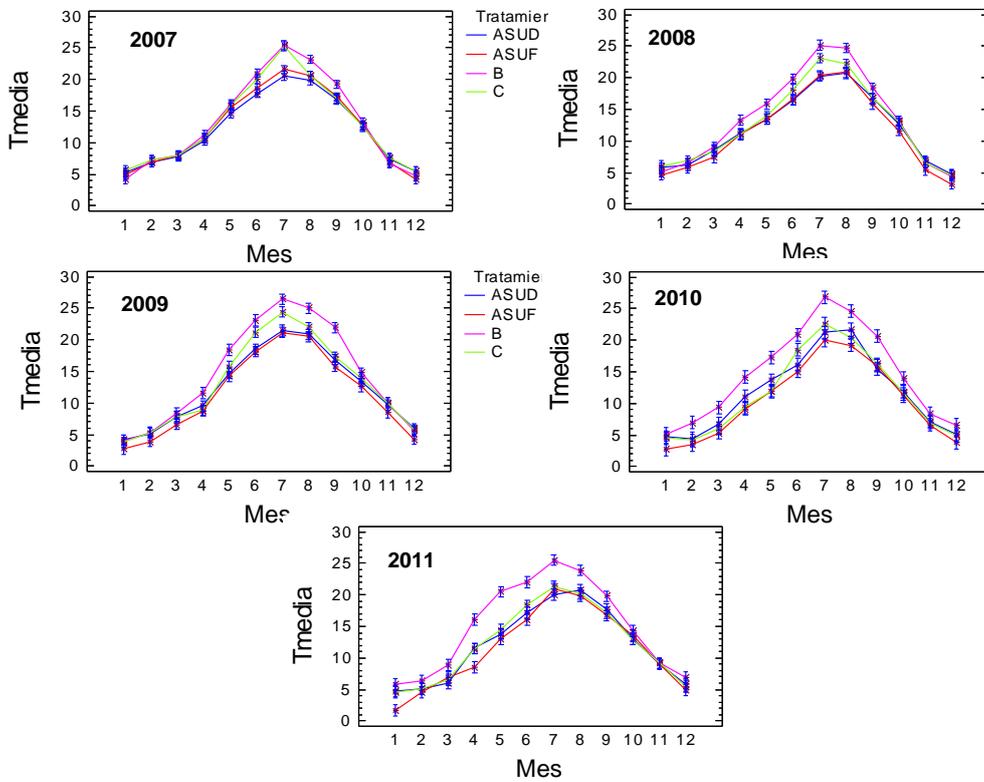


Figura 4.9. T^a media para cada mes del año y tratamiento en cada uno de los años considerados (las barras representan los intervalos LSD al 95%).

4.2. Temperatura máxima

4.2.1. Valores anuales y del período 2007-2011

La temperatura máxima del suelo a 5 cm de profundidad para cada uno de los tratamientos y años considerados se muestra en la figura 4.10. El valor más alto de temperatura máxima correspondió al Bosquete en el año 2011, con 21.7 °C, mientras que el valor más bajo se produjo en el tratamiento de aclareo ASUF en 2010, con 11.9°C. Se puede observar como en el tratamiento Bosquete siempre se registraron valores más altos de temperatura máxima a 5 cm que en el resto de tratamientos. Por otra parte, los tratamientos de aclareo ASUD y ASUF presentaron valores más bajos de temperatura máxima que el tratamiento Control. Las diferencias entre tratamientos parecen aumentar con el paso del tiempo debido principalmente al aumento de temperatura que se produce en el tratamiento Bosquete (figura 4.10).

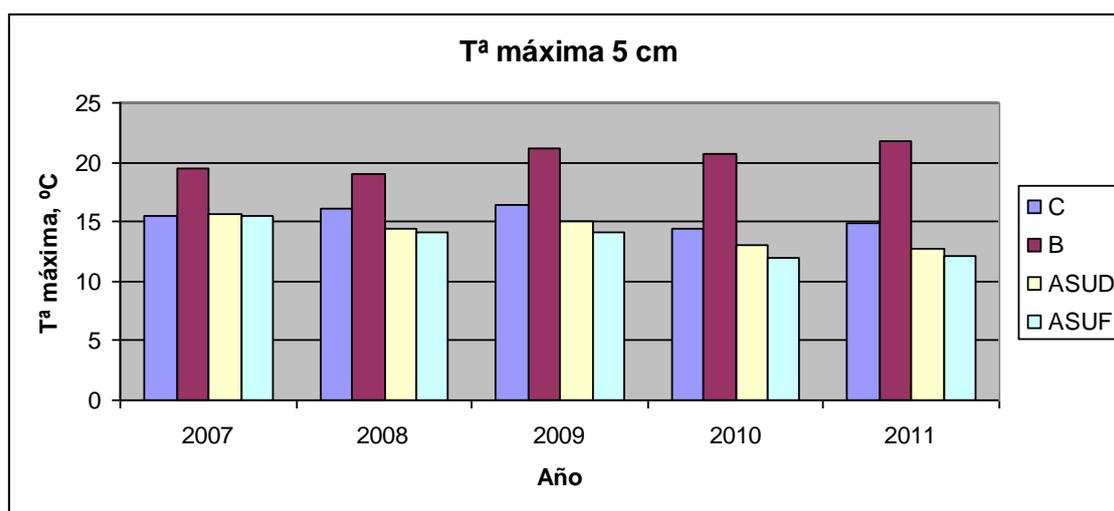


Figura 4.10. Tª máxima del suelo a 5 cm de profundidad en cada tratamiento y año.

A 10 cm de profundidad las diferencias entre tratamientos se atenúan, tal y como se observa en la figura 4.11, en la que se muestra la temperatura máxima del suelo a 10 cm para cada tratamiento y año. El valor más alto corresponde en este caso al año 2009 en el Bosquete, con 17.1°C, mientras que el valor más bajo se produjo en el año 2010 en el tratamiento ASUF, registrándose una media anual de 12.0°C. A pesar de la reducción de las diferencias, el tratamiento Bosquete presenta valores más altos que el resto de tratamientos también a esta profundidad; sin embargo no se aprecia una tendencia clara en cuanto a diferencias entre los tratamientos de aclareo y el control, como ocurría a la profundidad de 5 cm.

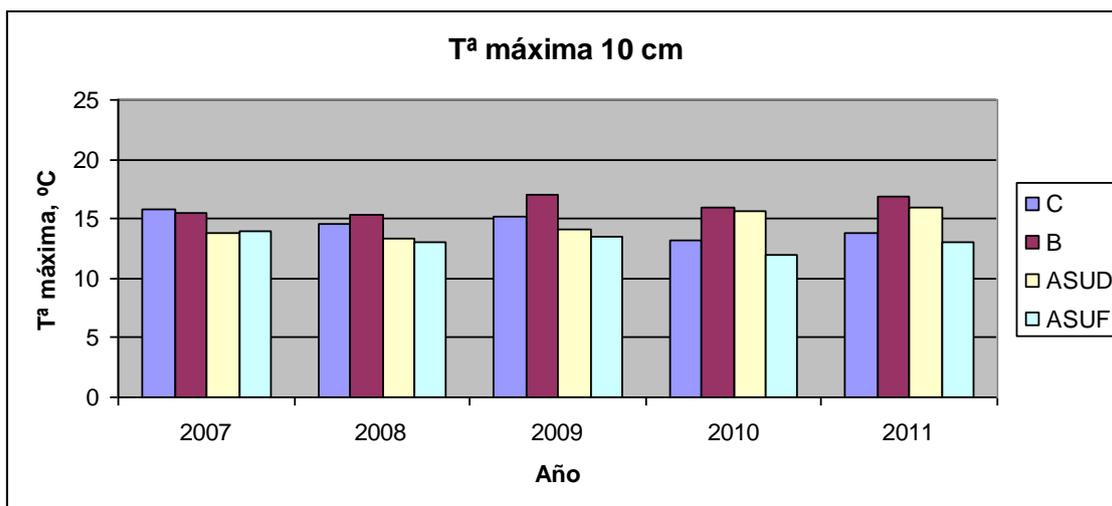


Figura 4.11. Tª máxima del suelo a 10 cm de profundidad en cada tratamiento y año.

En cuanto a los valores obtenidos en el conjunto del período evaluado (2007-2011), la temperatura máxima a 5 cm osciló entre 20.4°C en el tratamiento Bosquete, y 13.6°C en el tratamiento ASUF (figura 4.12). Las diferencias entre los tratamientos de aclareo fueron pequeñas (unos 0.6°C), pero con respecto al Control estos tratamientos tuvieron 1.6°C menos de temperatura máxima a 5cm, y con respecto al Bosquete tuvieron 6.5°C menos de Tª máxima a dicha profundidad. Por su parte, el Bosquete registró una Tª máxima superior al Control en 5.0°C. Estas diferencias entre tratamientos son mayores que las encontradas para la temperatura media a esa misma profundidad, por tanto, es probable que estos valores extremos sean los responsables de las diferencias térmicas entre tratamientos.

En el caso de la mayor profundidad (10 cm), los valores de temperatura máxima para el conjunto del período evaluado oscilan entre 13.1°C en el tratamiento ASUF y 16.1°C en el Bosquete, observándose una reducción considerable de las diferencias entre tratamientos y una disminución de los valores respecto a la profundidad más superficial (figura 4.13). Las diferencias de los tratamientos de aclareo con respecto al Control fue de 0.7°C, y respecto al Bosquete de 2.3°C. Se mantiene la misma secuencia que a 5 cm en el orden de los tratamientos (Bosquete > Control > ASU), y las diferencias encontradas entre tratamientos aumentan con respecto a la temperatura media a esta misma profundidad de 10 cm.

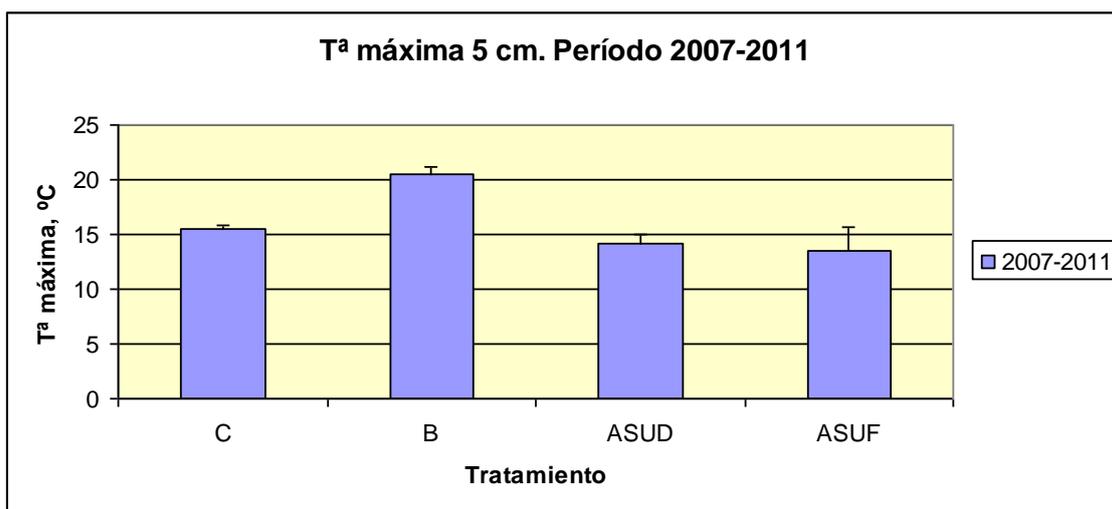


Figura 4.12. T^a máxima del suelo a 5 cm de profundidad en el período considerado.

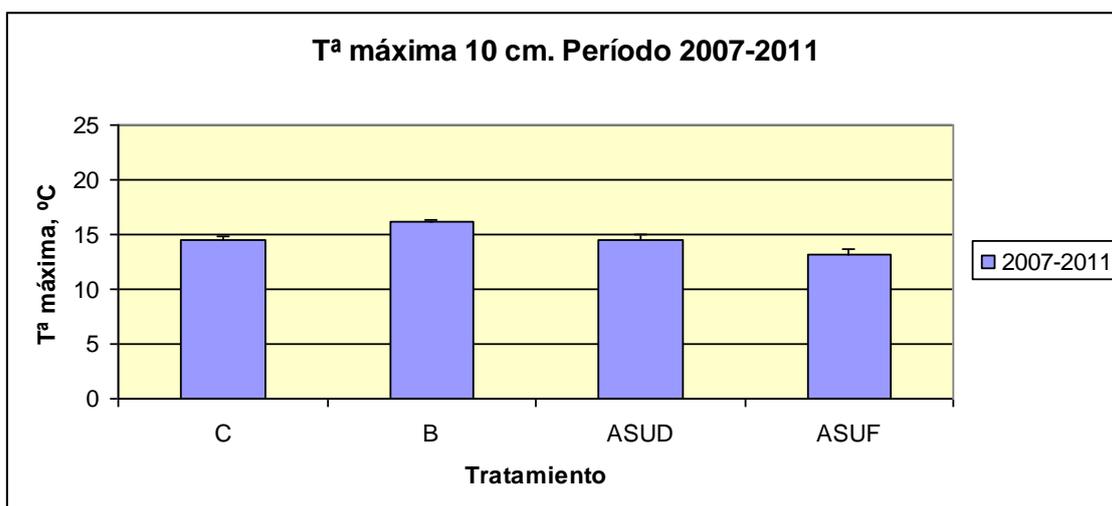


Figura 4.13. T^a máxima del suelo a 10 cm de profundidad en el período considerado.

4.2.2. Análisis estadístico de la temperatura máxima

El análisis factorial de la varianza indica que los factores tratamiento, profundidad y mes tienen un efecto estadísticamente significativo (para un 95.0%) sobre la T^a máxima en cada uno de los años considerados, tal y como se observa en la tabla 4.3. Así mismo las interacciones tratamiento x profundidad y tratamiento x mes resultan significativas en todos los años, mientras que la interacción profundidad x mes resulta significativa en tres de los cinco años del período estudiado.

Tabla 4.3. P-valor obtenido del análisis factorial de la varianza indicando la significación estadística (para un 95.0%) de los factores considerados sobre la T^a máxima en cada uno de los años de estudio.

	P-valor				
	2007	2008	2009	2010	2011
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Tratamiento	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
B:Profundidad	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002	0.0332
C:Mes	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
INTERACCIONES					
AB	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
AC	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
BC	0.1655	0.0070	0.0063	0.0104	0.6353

La tabla de contraste múltiple de rango para la T^a máxima según tratamiento en los diferentes años de estudio (tabla 4.4), pone de manifiesto que la T^a máxima del Bosquete fue siempre superior a la de los tratamientos de aclareo ASUF, ASUD y Control. Considerando las dos profundidades, las diferencias del Bosquete respecto al Control oscilaron entre 1.8 – 4.9°C, haciéndose mayores las diferencias conforme transcurre el tiempo (2011 > 2007). La principal diferencia con respecto a la T^a media, es que se encontraron diferencias estadísticamente significativas en todos los años considerados, y que el rango entre el que oscilaban era mayor que para la T^a media.

Por otra parte, los tratamientos de aclareo sucesivo presentan generalmente menores valores de T^a máxima que el tratamiento control, siendo estas diferencias estadísticamente significativas en todo el periodo estudiado para el tratamiento ASUF, mientras que para el tratamiento ASUD, las diferencias se van atenuando con el tiempo, y los dos últimos años no presenta diferencias con el tratamiento Control, resultado similar al encontrado para la T^a media. En promedio y para el período considerado, las diferencias del Control respecto al ASUF fueron de 1.6°C, y respecto al ASUD de 0.6°C. Los tratamientos de aclareo mostraron diferencias estadísticamente significativas entre ellos en los años 2009 a 2011, siendo la T^a máxima más baja en el aclareo ASUF que en el ASUD, con una diferencia media de 1.0°C. Las diferencias en cada año y tratamiento se muestran en la figura 4.14.

Tabla 4.4. Contraste múltiple de rango para la T^a máxima según tratamiento en cada uno de los años.

Contraste Múltiple de Rangos para Tmax según Tratamiento Año 2007

Método: 95.0 porcentaje LSD

Tratamiento	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
ASUD	72	14.7513	0.222696	X
ASUF	72	14.7724	0.222696	X
C	72	15.6447	0.222696	X
B	72	17.4818	0.222696	X

Contraste Múltiple de Rangos para Tmax según Tratamiento Año 2008

Método: 95.0 porcentaje LSD

Tratamiento	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
ASUF	72	13.631	0.190768	X
ASUD	72	13.8692	0.190768	X
C	72	15.2735	0.190768	X
B	72	17.1418	0.190768	X

Contraste Múltiple de Rangos para Tmax según Tratamiento Año 2009

Método: 95.0 porcentaje LSD

Tratamiento	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
ASUF	72	13.8238	0.211378	X
ASUD	72	14.5654	0.211378	X
C	72	15.7751	0.211378	X
B	72	19.1042	0.211378	X

Contraste Múltiple de Rangos para Tmax según Tratamiento Año 2010

Método: 95.0 porcentaje LSD

Tratamiento	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
ASUF	72	11.9307	0.220604	X
C	72	13.8293	0.220604	X
ASUD	72	14.3625	0.220604	X
B	72	18.3531	0.220604	X

Contraste Múltiple de Rangos para Tmax según Tratamiento Año 2011

Método: 95.0 porcentaje LSD

Tratamiento	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
ASUF	72	12.5821	0.202439	X
ASUD	72	14.2897	0.202439	X
C	72	14.3681	0.202439	X
B	72	19.3135	0.202439	X

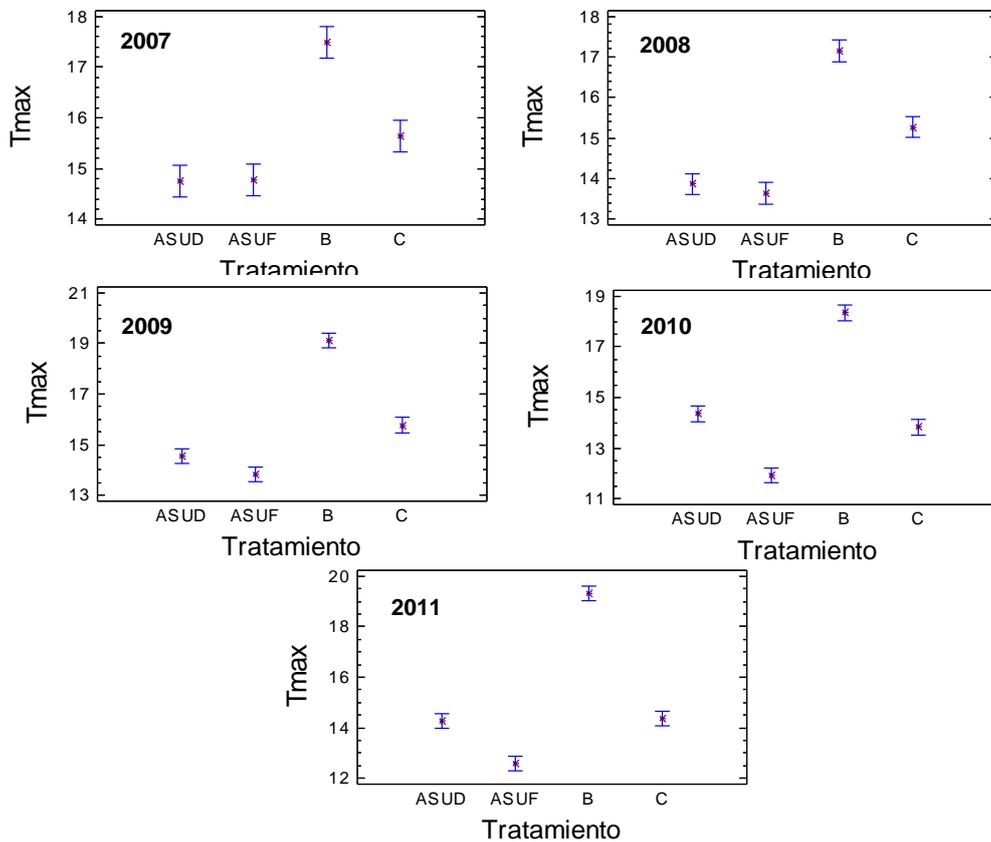


Figura 4.14. T^a máxima en cada tratamiento y año e intervalos LSD (95%).

Considerando el factor profundidad, la T^a máxima a 5 cm de profundidad fue siempre más alta que la de 10 cm, con diferencias estadísticamente significativas que oscilaron entre 0.4°C y 1.9°C, según año considerado. El valor medio para todo el período fue de 15.9°C a 5 cm de profundidad y de 14.6°C a 10 cm. Los valores para cada año así como los intervalos LSD al 95% para cada profundidad se muestran en la figura 4.15.

La interacción tratamiento x profundidad pone de manifiesto que las diferencias de temperatura máxima entre profundidades se hacen más evidentes en el tratamiento Bosquete, donde se alcanzan siempre valores más altos de T^a máxima a 5 cm que a 10 cm, con una diferencia media para el conjunto del período de 4.3°C. Sin embargo, en el resto de tratamientos estas diferencias entre profundidades no son tan evidentes (figura 4.16), y difieren según el año considerado. Así, en el Control la T^a máxima a 5 cm difiere de la de 10 cm en todos los años, excepto en 2007, siendo en promedio alrededor de 1°C más alta en la profundidad más superficial. En el tratamiento ASUF no hubo diferencias significativas entre las dos profundidades, aunque fue mayor a 5 cm que a 10 cm (0.4°C en promedio), mientras que en el ASUD, la tendencia se invierte con el paso del tiempo, ya que la T^a máxima es más alta a 5 cm que a 10 cm hasta 2009, y las

diferencias se van atenuando hasta hacerse más alta la T^a máxima a 10 cm en los años 2010 y 2011 (figura 4.16).

En el caso de la T^a máxima, las diferencias entre profundidades se producen generalmente desde los meses de marzo a septiembre, si bien éstas son más acentuadas en los meses de verano (figura 4.17). Las diferencias entre tratamientos a lo largo del año se producen generalmente en los meses de abril a septiembre, si bien hay un diferente comportamiento según el año considerado, tal y como se aprecia en la figura 4.18.

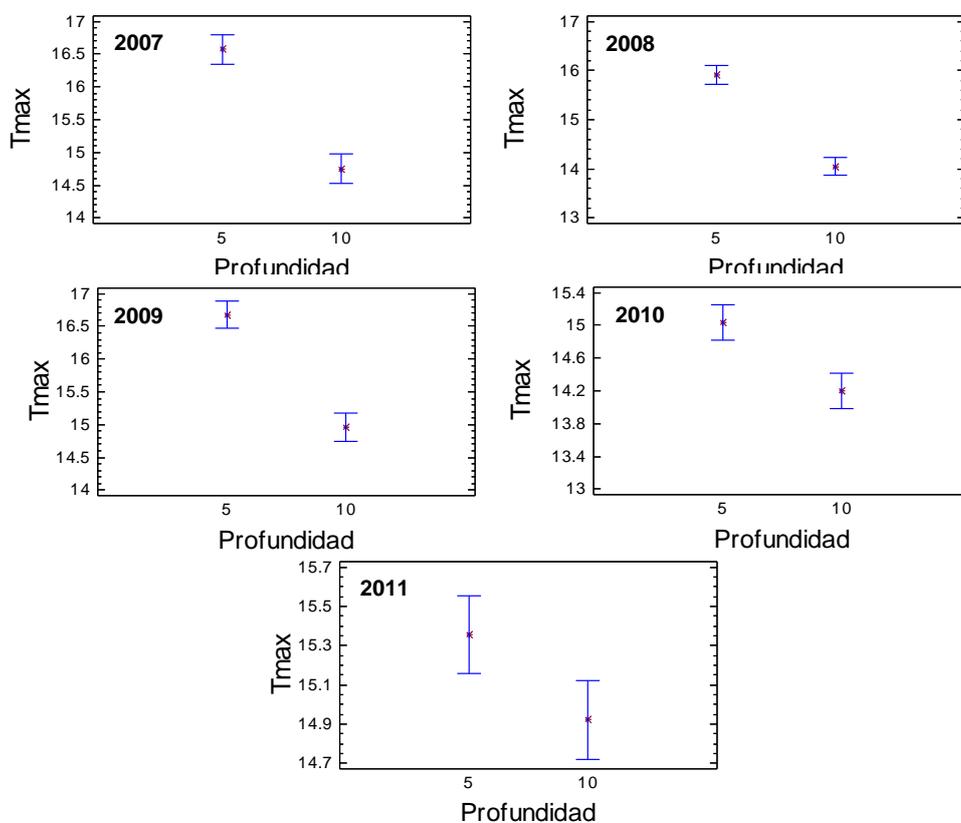


Figura 4.15. T^a máxima según profundidad en cada uno de los años considerados (las barras representan los intervalos LSD al 95%).

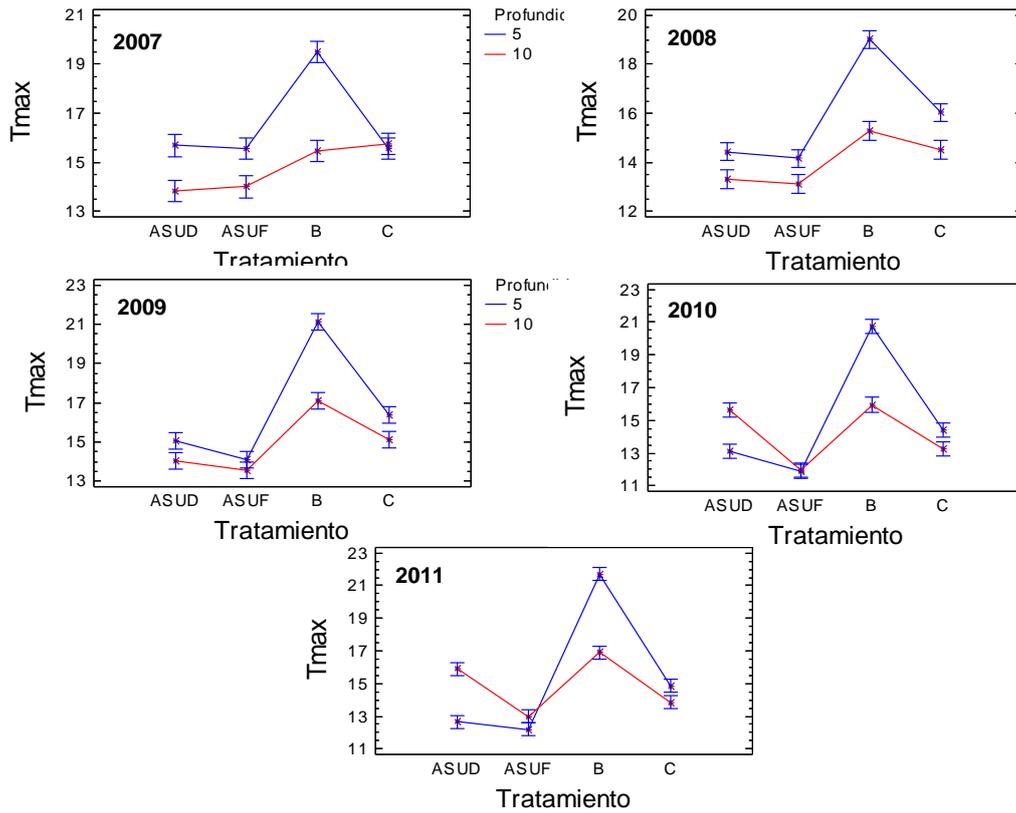


Figura 4.16. T^a máxima para cada tratamiento y profundidad en cada uno de los años considerados (las barras representan los intervalos LSD al 95%).

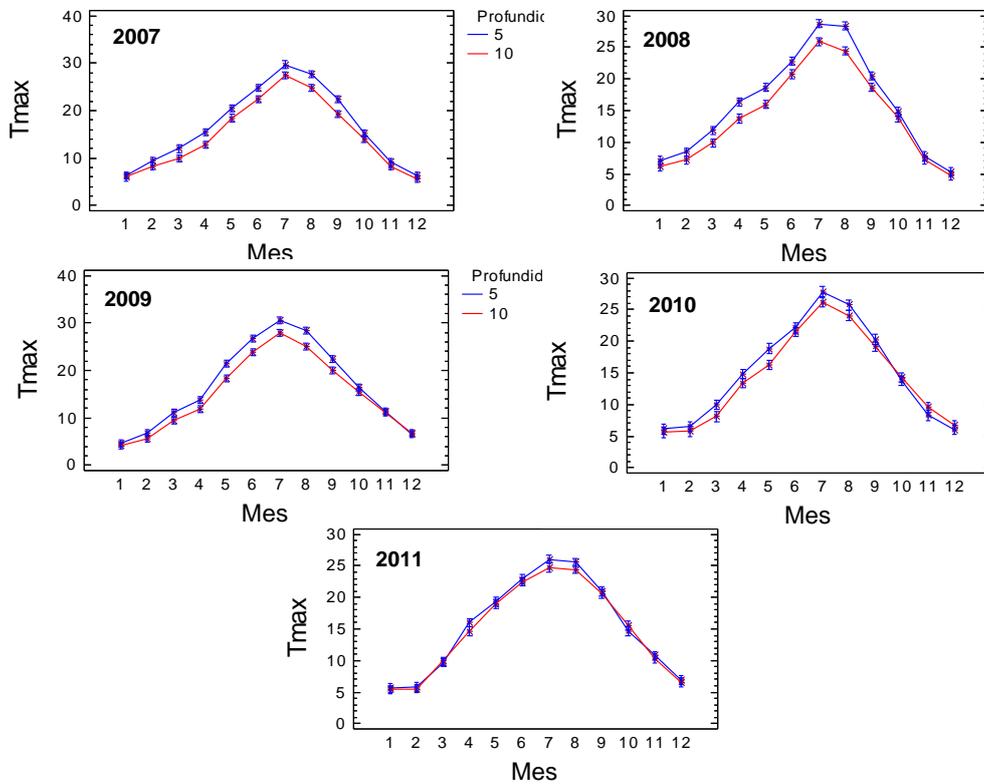


Figura 4.17. T^a máxima para cada mes del año y profundidad en cada uno de los años considerados (las barras representan los intervalos LSD al 95%).

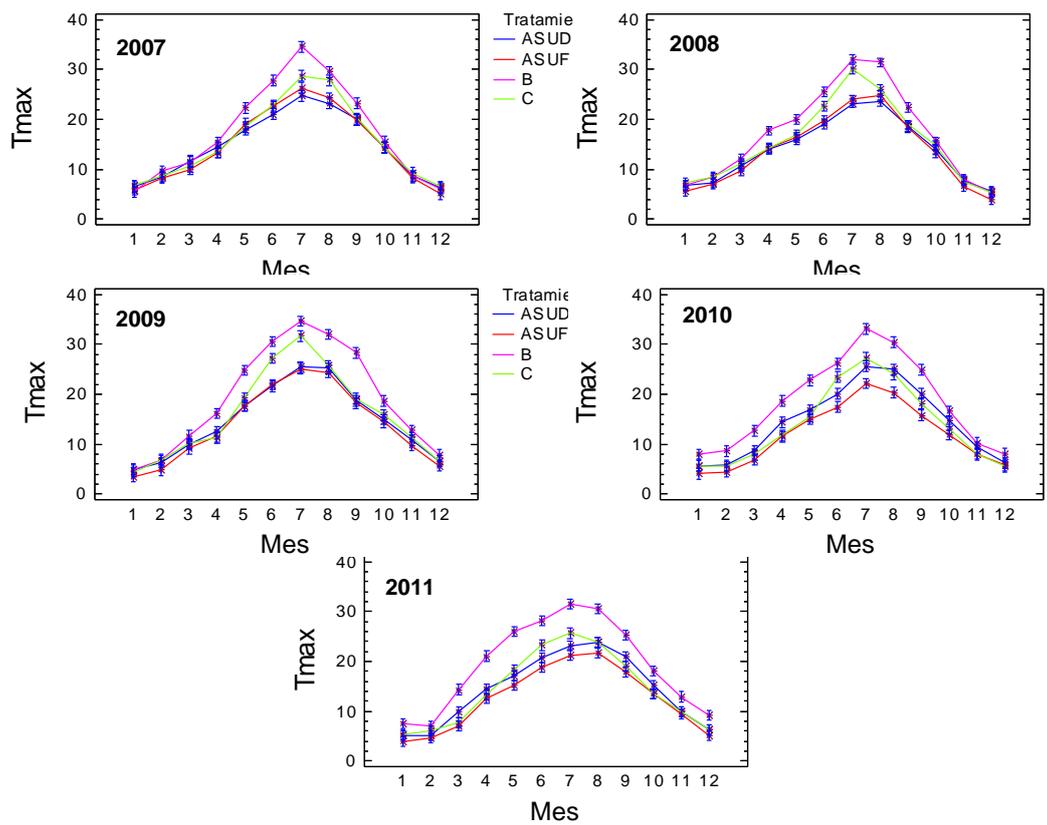


Figura 4.18. T^a máxima para cada mes del año y tratamiento en cada uno de los años considerados (las barras representan los intervalos LSD al 95%).

4.3. Temperatura mínima

4.3.1. Valores anuales y del período 2007-2011

La temperatura mínima del suelo a 5 cm de profundidad para cada uno de los tratamientos y años considerados se muestra en la figura 4.19. El valor más alto de temperatura mínima correspondió al Control en el año 2011, con 10.8 °C, mientras que el valor más bajo se produjo en el tratamiento de aclareo ASUF en 2010, con 7.8°C. Se puede observar como los valores en los diferentes tratamientos y años son mucho más parecidos entre ellos que en el caso de la temperatura máxima o media. En el tratamiento Control se registraron, en general, valores más altos de temperatura mínima a 5 cm que en el resto de tratamientos. Por otra parte, el tratamiento de aclareo ASUF presentó valores más bajos de temperatura mínima que el resto. Estas diferencias entre el ASUF y los demás tratamientos parecen aumentar con el paso del tiempo debido principalmente a la disminución de la temperatura mínima que se produce en este tratamiento (figura 4.19).

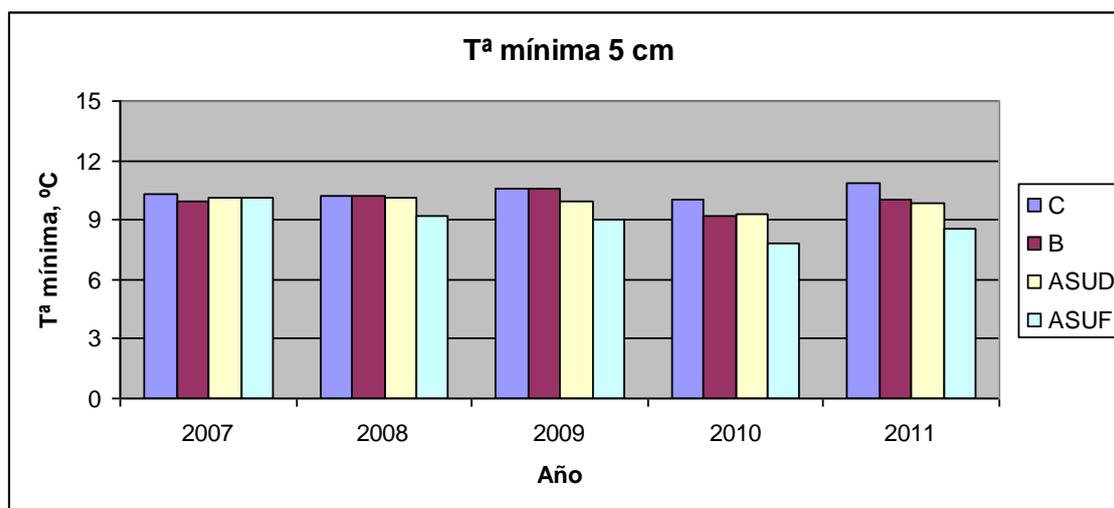


Figura 4.19. Tª mínima del suelo a 5 cm de profundidad en cada tratamiento y año.

A 10 cm de profundidad las diferencias entre tratamientos se atenúan aún más, tal y como se observa en la figura 4.20, en la que se muestra la temperatura mínima del suelo a 10 cm para cada tratamiento y año. El valor más alto corresponde en este caso al año 2009 en el ASUD, con 10.9°C, mientras que el valor más bajo se produjo en el año 2010 en el tratamiento ASUF, registrándose una media anual de 7.2°C. A pesar de la reducción de las diferencias, el tratamiento Bosquete presenta, en la mayoría de los años, valores más altos que el resto de tratamientos también a esta profundidad; sin

embargo no se aprecia una tendencia clara en cuanto a diferencias entre los tratamientos de aclareo y el control.

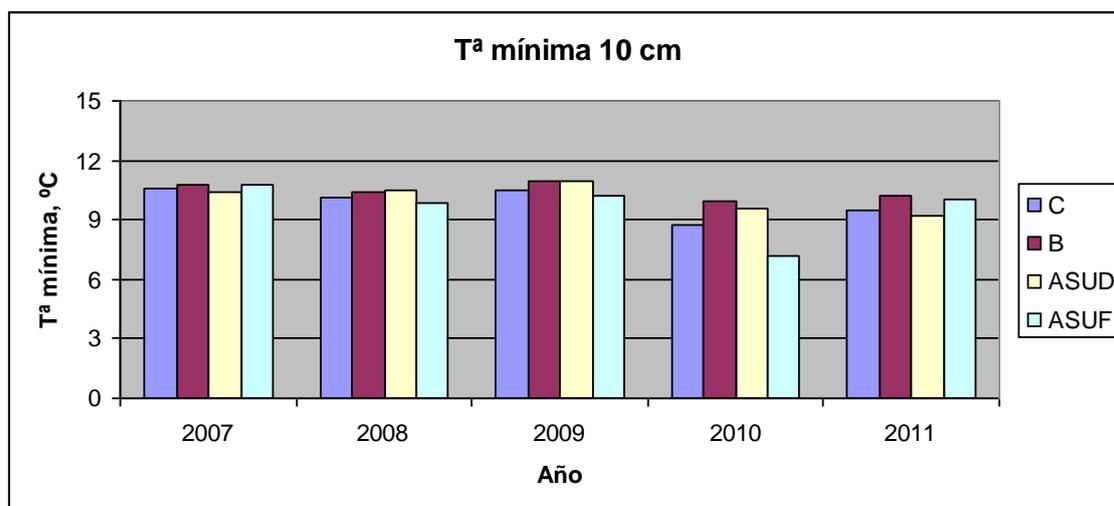


Figura 4.20. T^a mínima del suelo a 10 cm de profundidad en cada tratamiento y año.

En cuanto a los valores obtenidos en el conjunto del período evaluado (2007-2011), la temperatura mínima a 5 cm osciló entre 10.4°C en el tratamiento Control, y 9.0°C en el tratamiento ASUF (figura 4.21). Las diferencias entre los tratamientos de aclareo fueron de unos 0.9°C, del mismo orden que las diferencias con respecto al Control, que fue de 1.0°C; con respecto al Bosquete los tratamientos de aclareo tuvieron en promedio 0.6°C menos de T^a mínima a 5 cm de profundidad. Por su parte, el Bosquete registró una T^a mínima inferior al Control en 0.4°C. Estas diferencias entre tratamientos son mucho menores que las encontradas para la temperatura máxima o media a esa misma profundidad, por tanto, es probable que estos valores extremos contribuyan poco a las diferencias térmicas entre tratamientos.

En el caso de la mayor profundidad (10 cm), los valores de temperatura mínima para el conjunto del período evaluado oscilan entre 9.6°C en el tratamiento ASUF y 10.4°C en el Bosquete, observándose una reducción considerable de las diferencias entre tratamientos y una disminución de los valores respecto a la profundidad más superficial (figura 4.22). No hubo prácticamente diferencias entre los tratamientos de aclareo y el Control, mientras que con respecto al Bosquete las diferencias fueron de unos 0.6°C. Aunque se mantiene la misma secuencia en el orden de los tratamientos (Bosquete > Control > ASU), las diferencias encontradas entre tratamientos se reducen considerablemente a esta profundidad.

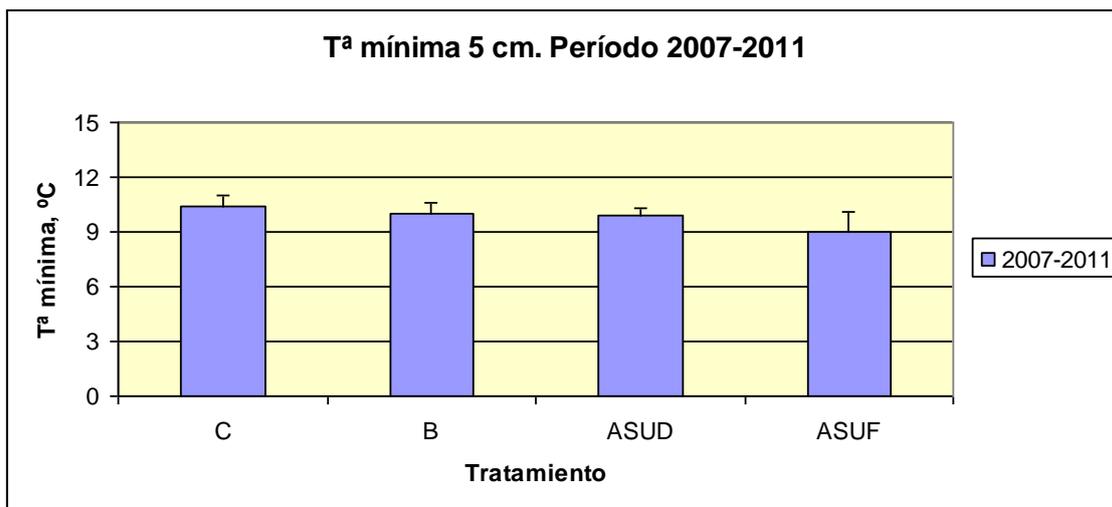


Figura 4.21. T^a mínima del suelo a 5 cm de profundidad en el período considerado.

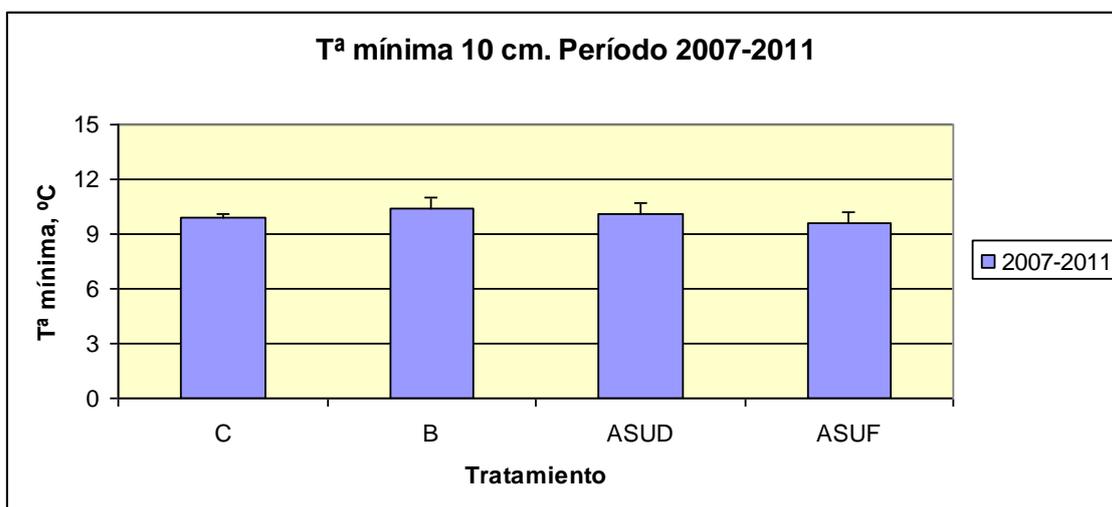


Figura 4.22. T^a mínima del suelo a 10 cm de profundidad en el período considerado.

4.3.2. Análisis estadístico de la temperatura mínima

Los resultados obtenidos con el análisis factorial de la varianza de la T^a mínima considerando los factores tratamiento, profundidad y mes difiere de los obtenidos con la T^a media y la T^a máxima. El factor tratamiento tiene un efecto estadísticamente significativo (para un 95.0%) sobre la T^a mínima en todos los años considerados, excepto en 2007, tal y como se observa en la tabla 4.5. El factor profundidad produce diferencias significativas en los tres primeros años, pero ni en 2010 ni en 2011 la profundidad es significativa. Como es lógico, el factor mes tiene un efecto estadísticamente significativo (para un 95.0%) sobre la T^a mínima en cada uno de los años considerados, tal y como se observa en la tabla 4.5. Así mismo la interacción

tratamiento x mes resultan significativas en todos los años, mientras que la interacción tratamiento x profundidad lo es únicamente a partir de 2009; la interacción profundidad x mes solo resulta significativa en uno de los cinco años del período estudiado.

Tabla 4.5. P-valor obtenido del análisis factorial de la varianza indicando la significación estadística (para un 95.0%) de los factores considerados sobre la T^a mínima en cada uno de los años de estudio.

	P-valor				
	2007	2008	2009	2010	2011
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Tratamiento	0.3569	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
B:Profundidad	0.0000	0.0033	0.0000	0.0688	0.3758
C:Mes	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
INTERACCIONES					
AB	0.1282	0.0890	0.0015	0.0000	0.0000
AC	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000
BC	0.6245	0.9732	0.8663	0.0189	0.0779

La tabla de contraste múltiple de rango para la T^a mínima según tratamiento en los diferentes años de estudio (tabla 4.6), pone de manifiesto las escasas diferencias existentes entre tratamientos para esta variable. Así, en 2007 no hubo diferencias entre tratamientos, con valores que oscilaron entre 10.2 – 10.4°C. En el año 2008, 2009 y 2010, los tratamientos Bosquete, Control y ASUD presentaron una T^a mínima que difería estadísticamente del tratamiento ASUF, con diferencias que oscilaron entre 0.7 – 2°C. En el año 2011, los tratamientos Bosquete y Control presentaron una T^a mínima estadísticamente diferente que los tratamientos de aclareo (ASUF y ASUD), siendo en este caso la diferencia de unos 0.7°C. Las diferencias en cada año y tratamiento se muestran en la figura 4.23.

Tabla 4.6. Contraste múltiple de rango para la T^a mínima según tratamiento en cada uno de los años.

Contraste Múltiple de Rangos para Tmin según Tratamiento Año 2007

Método: 95.0 porcentaje LSD

Tratamiento	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
ASUD	72	10.2282	0.0971343	X
B	72	10.3374	0.0971343	X
C	72	10.4258	0.0971343	X
ASUF	72	10.4519	0.0971343	X

Contraste Múltiple de Rangos para T_{min} según Tratamiento Año 2008

Método: 95.0 porcentaje LSD

Tratamiento	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
ASUF	72	9.53958	0.098575	X
C	72	10.1738	0.098575	X
ASUD	72	10.2801	0.098575	X
B	72	10.2869	0.098575	X

Contraste Múltiple de Rangos para T_{min} según Tratamiento Año 2009

Método: 95.0 porcentaje LSD

Tratamiento	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
ASUF	72	9.60556	0.125974	X
ASUD	72	10.4201	0.125974	X
C	72	10.5181	0.125974	X
B	72	10.7493	0.125974	X

Contraste Múltiple de Rangos para T_{min} según Tratamiento Año 2010

Método: 95.0 porcentaje LSD

Tratamiento	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
ASUF	72	7.50986	0.131848	X
C	72	9.41972	0.131848	X
ASUD	72	9.44917	0.131848	X
B	72	9.58694	0.131848	X

Contraste Múltiple de Rangos para T_{min} según Tratamiento Año 2011

Método: 95.0 porcentaje LSD

Tratamiento	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
ASUF	72	9.32569	0.114641	X
ASUD	72	9.53917	0.114641	X
B	72	10.1188	0.114641	X
C	72	10.1565	0.114641	X

Considerando el factor profundidad, la T^a mínima a 10 cm de profundidad fue más alta que la de 5 cm en los años 2007 a 2009, con diferencias estadísticamente significativas que oscilaron entre 0.3°C y 0.6°C, mientras que no hubo diferencias entre profundidades en los años 2010 y 2011, en los que la T^a mínima a 5 cm fue ligeramente mayor que a 10 cm. El valor medio para todo el período fue de 9.8°C a 5 cm de profundidad y de 10.0°C a 10 cm. Los valores para cada año así como los intervalos LSD al 95% para cada profundidad se muestran en la figura 4.24.

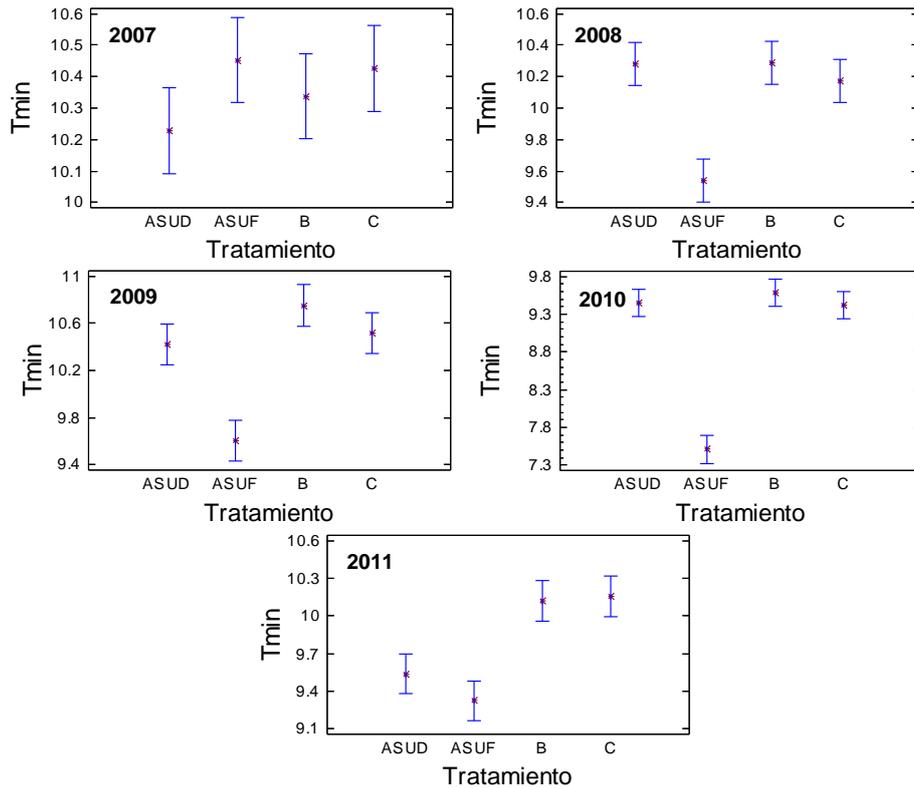


Figura 4.23. T^a mínima en cada tratamiento y año e intervalos LSD (95%).

La interacción tratamiento x profundidad (figura 4.16) no muestra un comportamiento claro a lo largo del período. Sólo el tratamiento de ASUF parece mostrar diferencias significativas entre profundidades en la mayoría de los años considerados. El tratamiento Control presenta diferencias en los dos últimos años, y Bosquete y ASUD en general no muestran diferencias significativas entre profundidades.

En el caso de la T^a mínima, hay pocas diferencias entre profundidades a lo largo del año y cuando las hay, éstas se producen generalmente en los meses de invierno (figura 4.25). Tal y como se aprecia en la figura 4.26, las diferencias entre tratamientos a lo largo del año se producen generalmente en los meses de verano, si bien hay mayores diferencias entre tratamientos en el resto de los meses del año que en el caso de la T^a máxima, cuyas diferencias se producían de forma más pronunciada en primavera y verano.

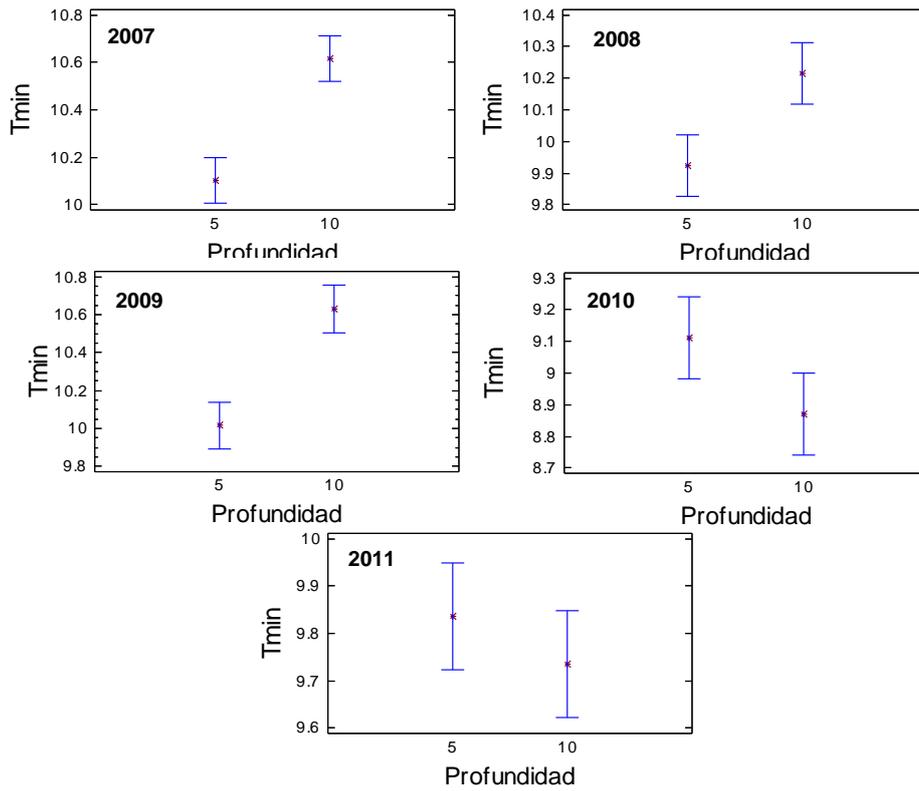


Figura 4.24. T^a mínima según profundidad en cada uno de los años considerados (las barras representan los intervalos LSD al 95%).

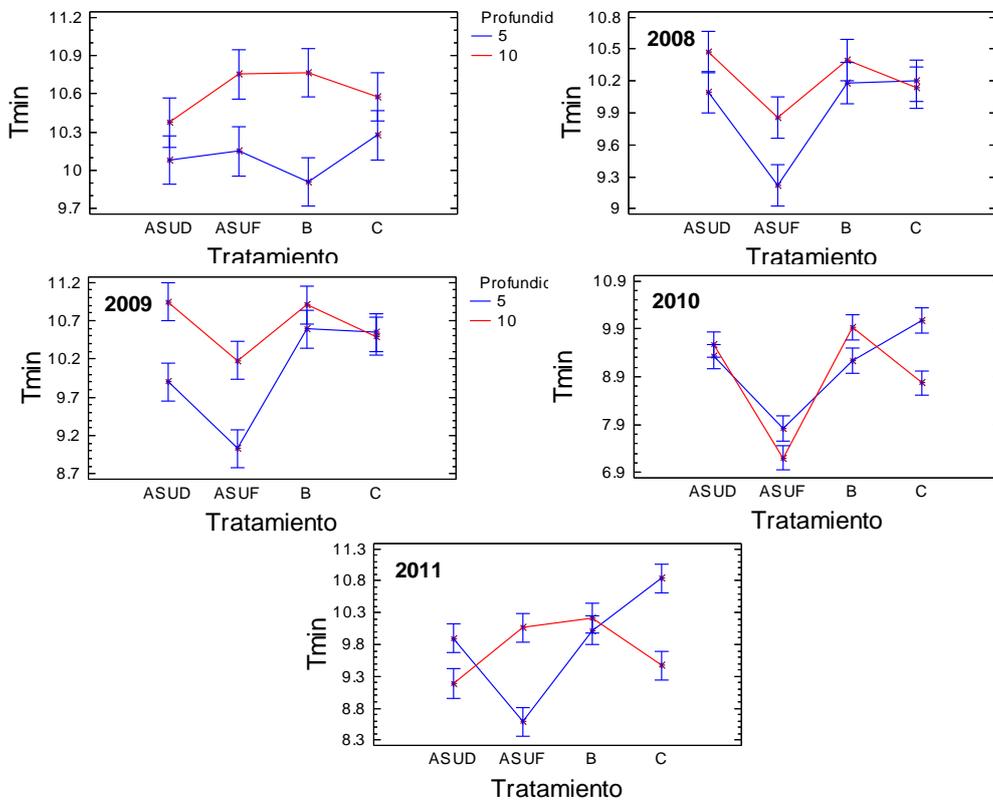


Figura 4.25. T^a mínima para cada tratamiento y profundidad en cada uno de los años considerados (las barras representan los intervalos LSD al 95%).

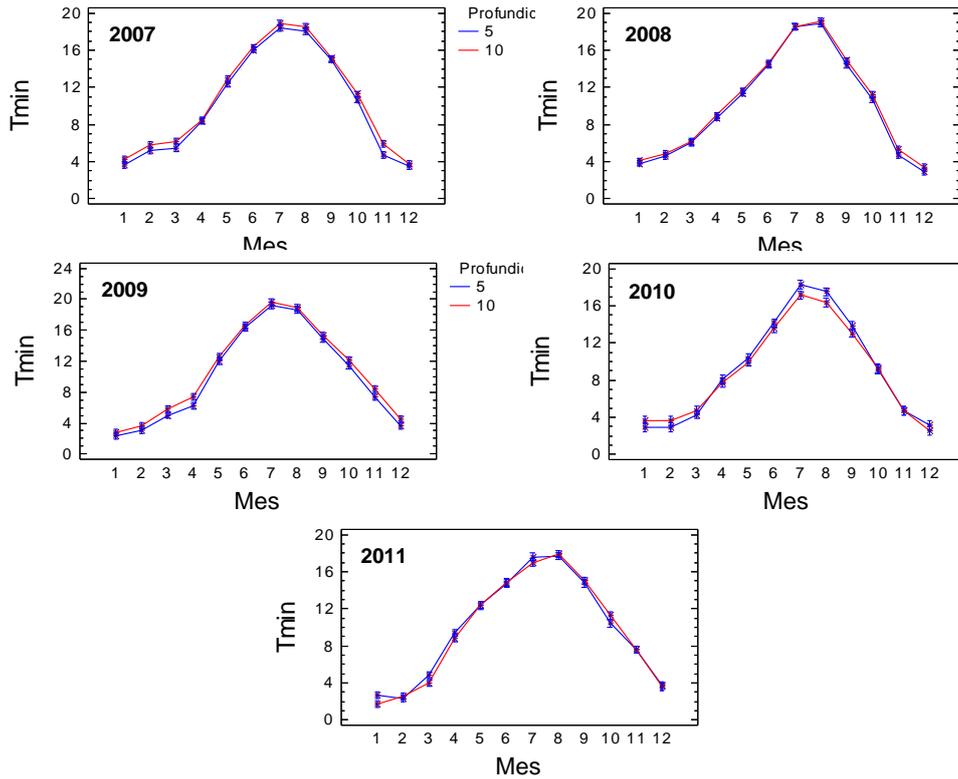


Figura 4.26. T^a mínima para cada mes del año y profundidad en cada uno de los años considerados (las barras representan los intervalos LSD al 95%).

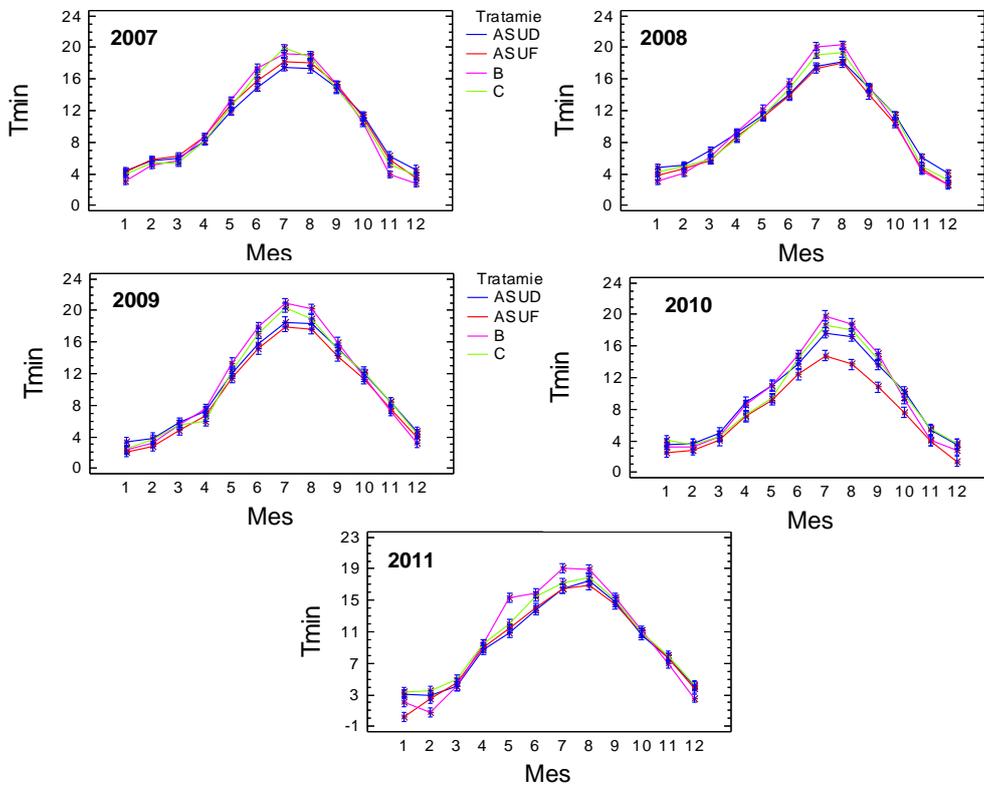


Figura 4.27. T^a mínima para cada mes del año y tratamiento en cada uno de los años considerados (las barras representan los intervalos LSD al 95%).

4.4. Amplitud térmica

4.4.1. Valores anuales y del período 2007-2011

La amplitud térmica del suelo a 5 cm de profundidad para cada uno de los tratamientos y años considerados se muestra en la figura 4.28. Los valores más altos de amplitud térmica correspondieron al tratamiento Bosquete oscilando entre los los 8.8°C en el año 2008, y los 11.7 °C en el año 2011. En el tratamiento Control la variación fue menor y los valores anuales de amplitud térmica oscilaron entre 4.0°C en 2011 y 5.9°C en 2008. En los tratamientos de aclareo los valores de amplitud eran más bajos y variaron entre 2.8 – 5.6°C en el caso del ASUD y entre 3.6 – 5.4°C en el caso del ASUF, correspondiendo dichos valores, en ambos, casos al año 2011 y 2007, respectivamente.

Se puede observar como en el tratamiento Bosquete siempre se registraron valores más altos de amplitud térmica a 5 cm que en el resto de tratamientos. Por otra parte, los tratamientos de aclareo ASUD y ASUF presentaron generalmente valores más bajos de amplitud que el tratamiento Control. Las diferencias entre tratamientos parecen aumentar con el paso del tiempo debido principalmente al aumento de la amplitud en el tratamiento Bosquete (figura 4.28).

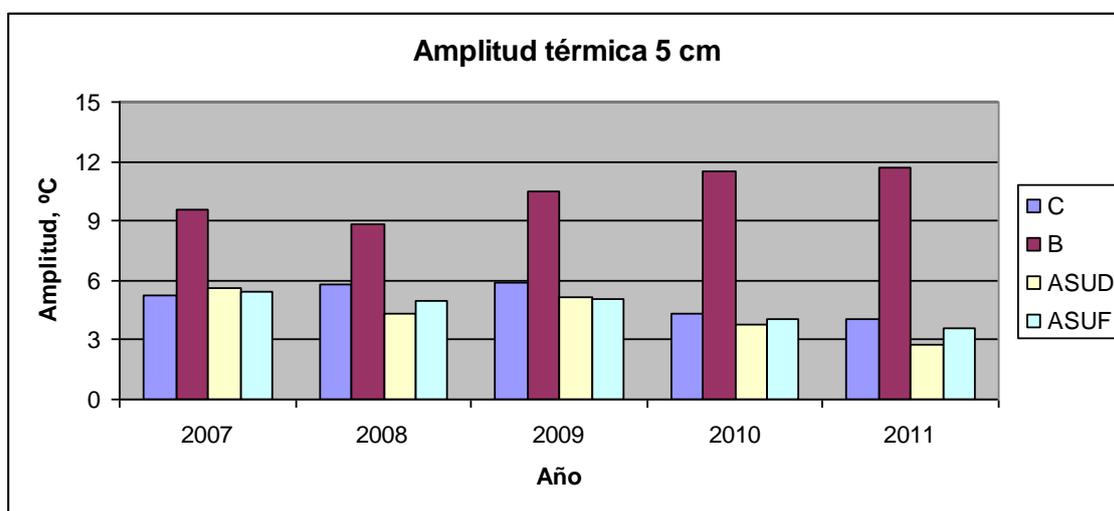


Figura 4.28. Amplitud térmica del suelo a 5 cm de profundidad en cada tratamiento y año.

A 10 cm de profundidad las diferencias entre tratamientos se atenúan, tal y como se observa en la figura 4.29, en la que se muestra la amplitud térmica del suelo a 10 cm para cada tratamiento y año. El valor más alto corresponde en este caso al año 2011 en los tratamientos Bosquete y ASUD, con 6.7°C, mientras que el valor más bajo se

produjo en el año 2008 en el tratamiento ASUD, registrándose una media anual de 2.8.0°C. A pesar de la reducción de las diferencias, el tratamiento Bosquete es el que presenta valores más altos también a esta profundidad, pero dependiendo de los años comparte valores con el tratamiento Control y con el tratamiento de aclareo ASUD.

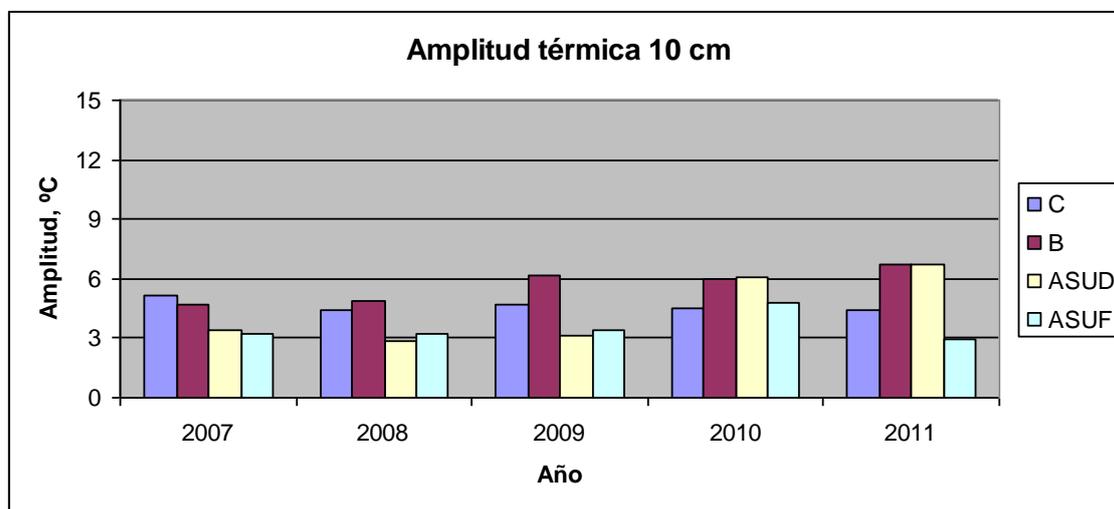


Figura 4.29. Amplitud térmica del suelo a 10 cm de profundidad en cada tratamiento y año.

En cuanto a los valores obtenidos en el conjunto del período evaluado (2007-2011), la amplitud térmica a 5 cm osciló entre 10.4°C en el tratamiento Bosquete, y 4.3°C en el tratamiento ASUD (figura 4.30). Las diferencias entre los tratamientos de aclareo fueron pequeñas (unos 0.3°C), pero con respecto al Control estos tratamientos tuvieron 0.6°C menos de amplitud térmica a 5cm, y con respecto al Bosquete tuvieron unos 6.0°C menos de amplitud a dicha profundidad. Por su parte, el Bosquete registró una amplitud superior al Control en unos 5.4°C. Estas diferencias entre tratamientos están en consonancia con las encontradas para la temperatura máxima, por tanto se puede afirmar que es esta última variable la que está provocando las diferencias térmicas entre tratamientos.

En el caso de la mayor profundidad (10 cm), los valores de amplitud térmica para el conjunto del período evaluado oscilan entre 3.5°C en el tratamiento ASUF y 5.7°C en el Bosquete, observándose una reducción considerable de las diferencias entre tratamientos y una disminución de los valores respecto a la profundidad más superficial, reducción que es más acentuada en el caso del Bosquete (figura 4.31). Las diferencias de los tratamientos de aclareo con respecto al Control fue de 0.6°C, y respecto al Bosquete de 1.7°C. Por su parte el Bosquete presenta una amplitud mayor que el Control y que es para esta profundidad del orden de 1.1°C. Se mantiene la misma

secuencia que a 5 cm en el orden de los tratamientos (Bosquete > Control > ASU) para la amplitud térmica a la profundidad de 10 cm.

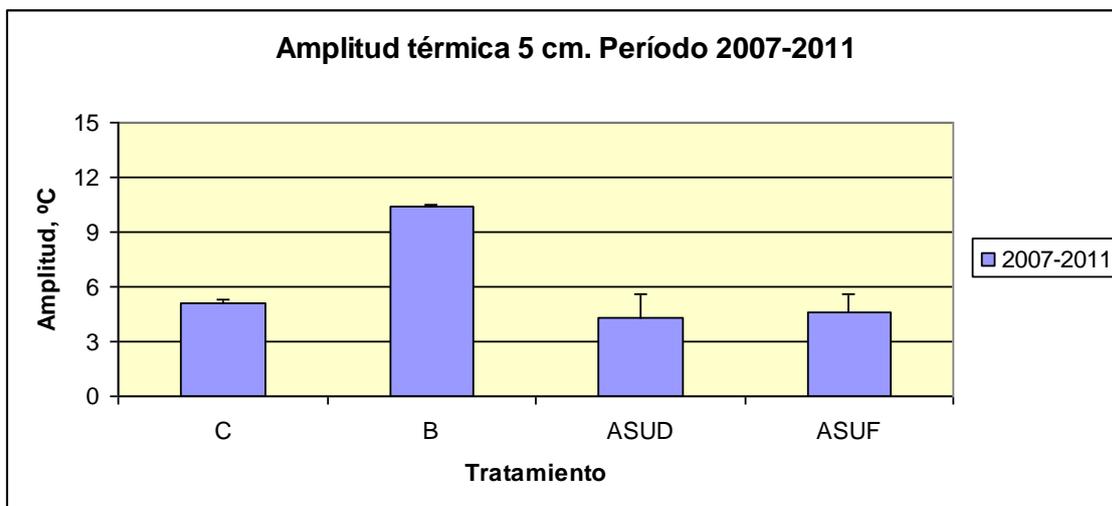


Figura 4.30. Amplitud térmica del suelo a 5 cm de profundidad en el período considerado.

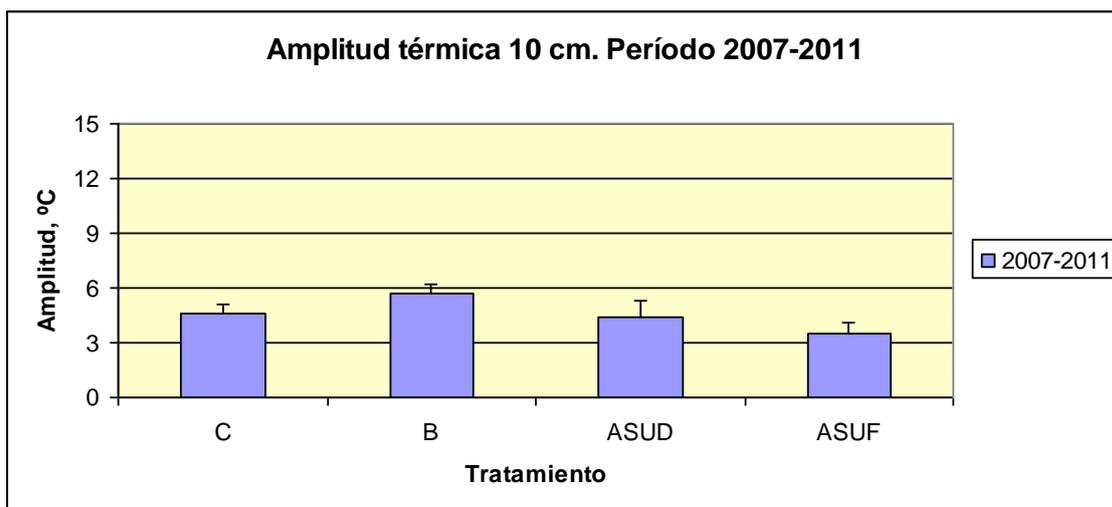


Figura 4.31. Amplitud térmica del suelo a 10 cm de profundidad en el período considerado.

4.4.2. Análisis estadístico de la amplitud térmica

El análisis factorial de la varianza indica que los factores tratamiento, profundidad y mes tienen un efecto estadísticamente significativo (para un 95.0%) sobre la amplitud térmica en el período considerado, a excepción de la profundidad en el año 2011, tal y como se observa en la tabla 4.7. Así mismo las interacciones tratamiento x profundidad y tratamiento x mes resultan significativas en todos los años, excepto en 2010 para el caso de tratamiento x mes, mientras que la interacción profundidad x mes resulta significativa en tres de los cinco años del período estudiado (2008 a 2010).

Tabla 4.7. P-valor obtenido del análisis factorial de la varianza indicando la significación estadística (para un 95.0%) de los factores considerados sobre la amplitud térmica en cada uno de los años de estudio.

	P-valor				
	2007	2008	2009	2010	2011
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Tratamiento	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
B:Profundidad	0.0000	0.0000	0.0000	0.0137	0.0900
C:Mes	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
INTERACCIONES					
AB	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
AC	0.0000	0.0000	0.0000	0.0815	0.0002
BC	0.1866	0.0011	0.0067	0.0243	0.4899

La tabla de contraste múltiple de rango para la amplitud térmica según tratamiento en los diferentes años de estudio (tabla 4.8), pone de manifiesto que la amplitud del Bosquete fue siempre superior a la de los tratamientos de aclareo ASUF, ASUD y Control. Considerando las dos profundidades, las diferencias del Bosquete respecto al Control oscilaron entre 1.7 – 5.0°C, haciéndose mayores las diferencias conforme transcurre el tiempo (2011 > 2007). El promedio en el tratamiento Bosquete fue de 8.1°C, con un coeficiente de variación del 12.7%, mientras que en el Control fue de 4.8°C y 10.2%, respectivamente.

Por otra parte, los tratamientos de aclareo sucesivo presentan generalmente menores valores de amplitud térmica que el tratamiento control, siendo estas diferencias estadísticamente significativas en cuatro de los cinco años estudiados para el tratamiento ASUF, mientras que para el tratamiento ASUD, las diferencias se van atenuando con el tiempo, y los dos últimos años no presenta diferencias con el tratamiento Control, resultado similar al encontrado para la T^a media y con la T^a máxima. En promedio y para el período considerado, las diferencias del Control respecto al ASUF fueron de 0.8°C, y respecto al ASUD de 0.5°C. Los tratamientos de aclareo mostraron diferencias estadísticamente significativas en los años 2008 y 2011, siendo la amplitud térmica más baja en el aclareo ASUF que en el ASUD, con una diferencia media de 0.3°C. Las diferencias en cada año y tratamiento se muestran en la figura 4.32.

Tabla 4.8. Contraste múltiple de rango para la Amplitud térmica según tratamiento en cada uno de los años.

 Contraste Múltiple de Rangos para Amplitud según Tratamiento Año 2007

Método: 95.0 porcentaje LSD

Tratamiento	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
ASUF	72	4.32111	0.19706	X
ASUD	72	4.52306	0.19706	X
C	72	5.21944	0.19706	X
B	72	7.14333	0.19706	X

 Contraste Múltiple de Rangos para Amplitud según Tratamiento Año 2008

Método: 95.0 porcentaje LSD

Tratamiento	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
ASUD	72	3.58903	0.155015	X
ASUF	72	4.09111	0.155015	X
C	72	5.09972	0.155015	X
B	72	6.85417	0.155015	X

 Contraste Múltiple de Rangos para Amplitud según Tratamiento Año 2009

Método: 95.0 porcentaje LSD

Tratamiento	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
ASUD	72	4.14514	0.187741	X
ASUF	72	4.21847	0.187741	X
C	72	5.25819	0.187741	X
B	72	8.35431	0.187741	X

 Contraste Múltiple de Rangos para Amplitud según Tratamiento Año 2010

Método: 95.0 porcentaje LSD

Tratamiento	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
C	72	4.40917	0.237481	X
ASUF	72	4.42097	0.237481	X
ASUD	72	4.91222	0.237481	X
B	72	8.76639	0.237481	X

 Contraste Múltiple de Rangos para Amplitud según Tratamiento Año 2011

Método: 95.0 porcentaje LSD

Tratamiento	Recuento	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
ASUF	72	3.25681	0.194798	X
C	72	4.21153	0.194798	X
ASUD	72	4.75028	0.194798	X
B	72	9.19417	0.194798	X

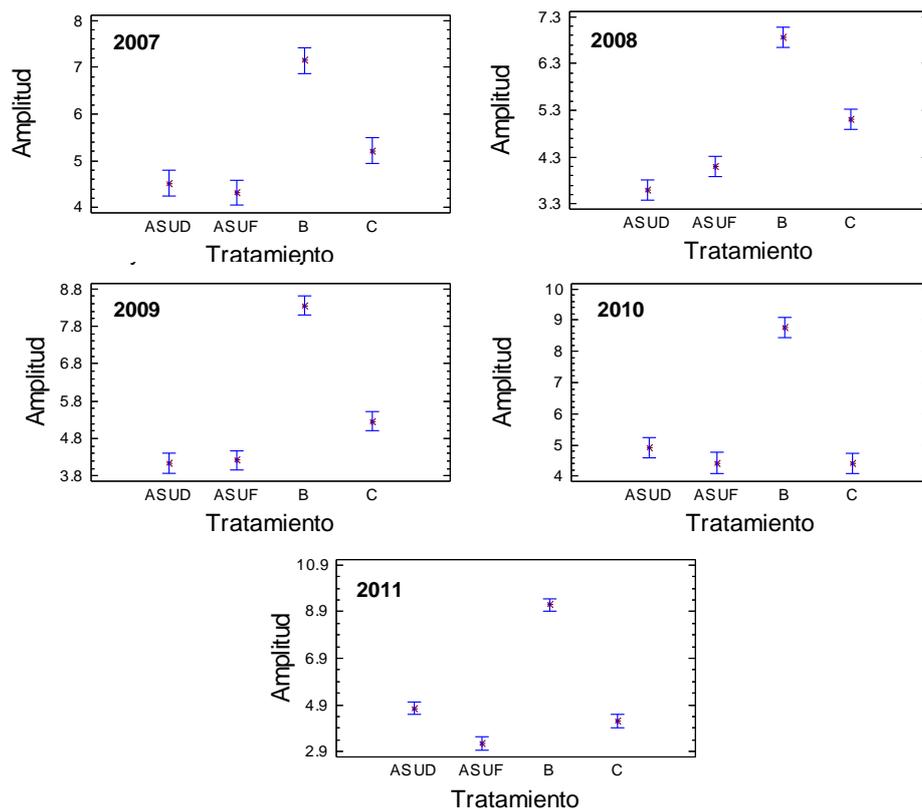


Figura 4.32. Amplitud térmica en cada tratamiento y año e intervalos LSD (95%).

Considerando el factor profundidad, la amplitud térmica a 5 cm de profundidad fue siempre más alta que la de 10 cm, con diferencias estadísticamente significativas en los años 2007 a 2009, y que oscilaron entre 2.1°C y 2.3°C, y diferencias no significativas que fueron de 0.6 y 0.3°C en los años 2010 y 2011, respectivamente. El valor medio para todo el período fue de 6.1°C a 5 cm de profundidad y de 4.6°C a 10 cm. Los valores para cada año así como los intervalos LSD al 95% para cada profundidad se muestran en la figura 4.33.

La interacción tratamiento x profundidad pone de manifiesto que las diferencias de amplitud térmica entre profundidades se hacen más evidentes en el tratamiento Bosquete, donde se alcanzan siempre valores más altos a 5 cm que a 10 cm, con una diferencia media para el conjunto del período de 8.1°C. Sin embargo, en el resto de tratamientos estas diferencias entre profundidades no son tan evidentes (figura 4.34), y difieren según el año considerado. Así, en el Control la amplitud térmica a 5 cm tan sólo difiere de la de 10 cm en los años 2008 y 2009, siendo en promedio alrededor de 0.7°C más alta en la profundidad más superficial. En el tratamiento ASUF hubo diferencias significativas entre las dos profundidades en los tres primeros años estudiados, siendo mayor la amplitud a 5 cm, pero en los años siguientes apenas hubo diferencias entre

profundidades. El tratamiento ASUD presenta un comportamiento un tanto anómalo, similar al encontrado para la T^a máxima en este mismo tratamiento, y es que la tendencia se invierte con el paso del tiempo, ya que la amplitud es más alta a 5 cm que a 10 cm hasta 2009, y las diferencias se van atenuando hasta hacerse más alta la T^a máxima a 10 cm en los años 2010 y 2011 (figura 4.34).

En el caso de la amplitud térmica, las diferencias entre profundidades se producen durante todo el año en los tres primeros años (2007-2009) y posteriormente se hacen menos evidentes a lo largo del año, presentando los años 2010 y 2011 un comportamiento diferente: en 2010 las diferencias se producen en invierno y primavera, mientras que en el año 2011 las diferencias entre profundidades son más acentuadas en los meses de verano (figura 4.35). Las diferencias entre tratamientos a lo largo del año se producen generalmente en los meses de abril a septiembre, si bien hay un diferente comportamiento según el año considerado, tal y como se aprecia en la figura 4.36. Las diferencias del Bosquete y los demás tratamientos a lo largo del año son más evidentes conforme transcurre el período evaluado.

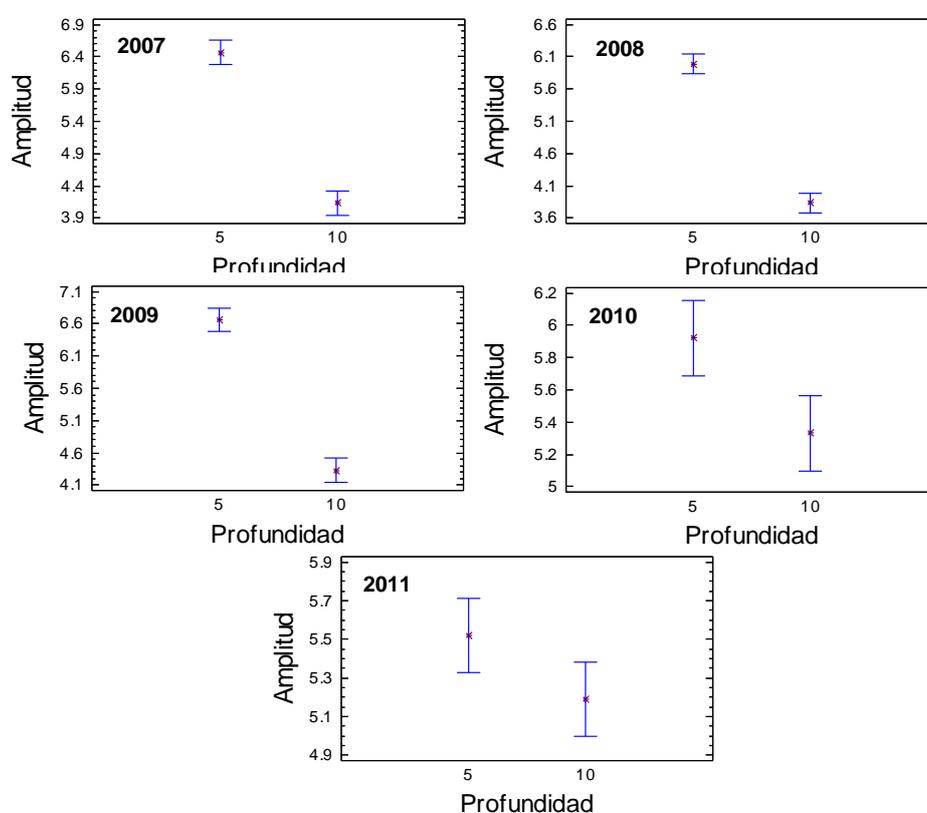


Figura 4.33. Amplitud térmica según profundidad en cada uno de los años considerados (las barras representan los intervalos LSD al 95%).

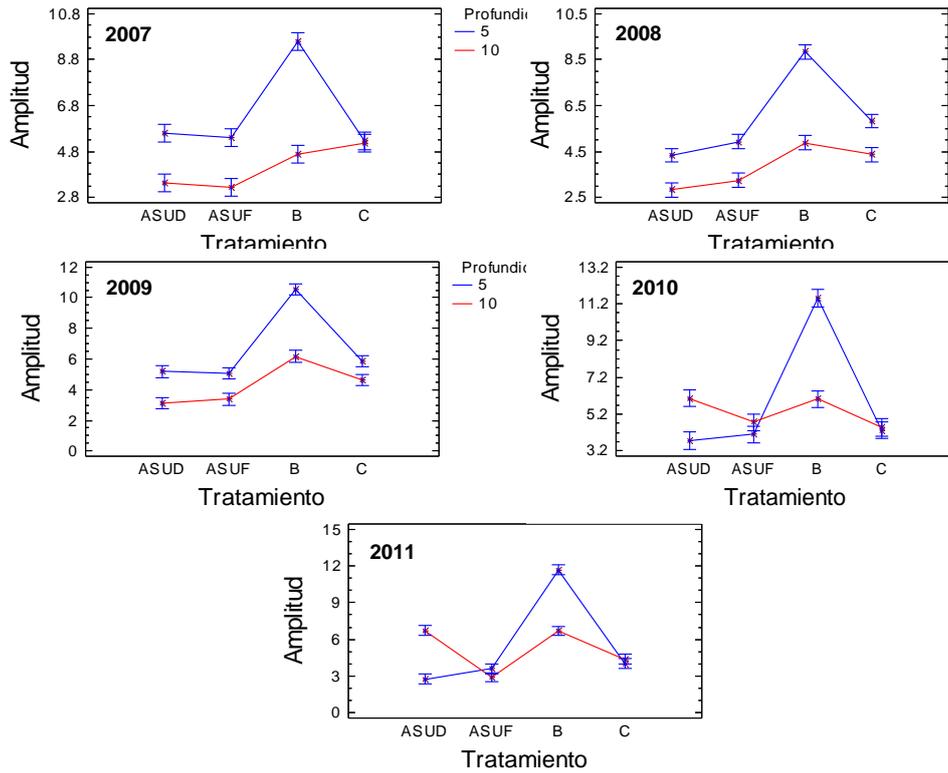


Figura 4.34. Amplitud térmica para cada tratamiento y profundidad en cada uno de los años considerados (las barras representan los intervalos LSD al 95%).

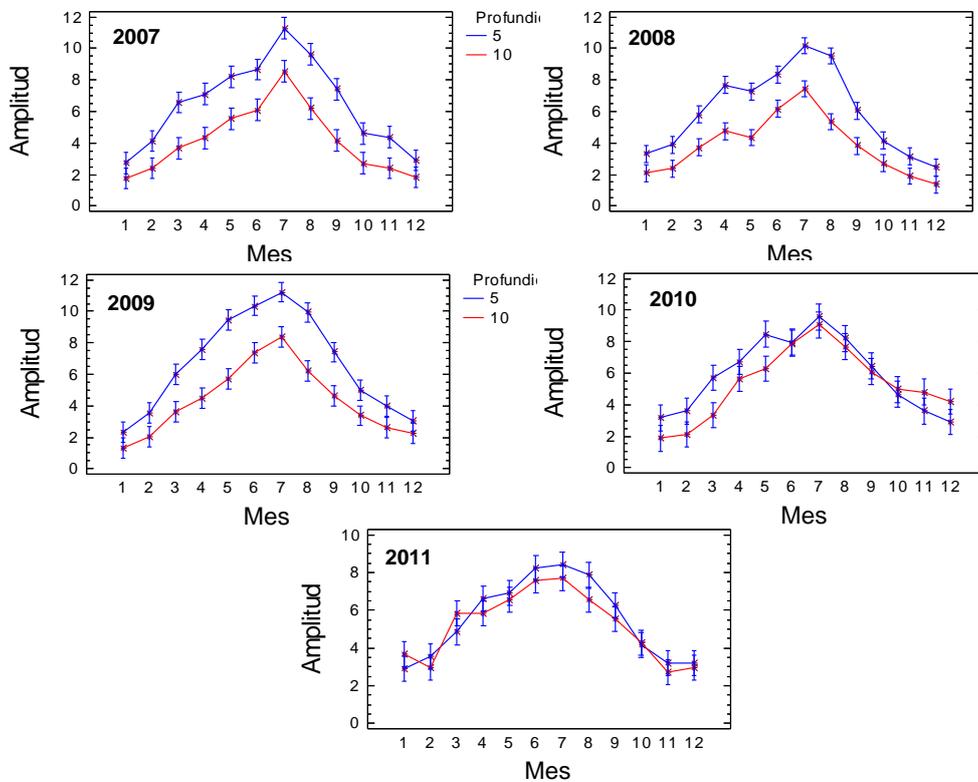


Figura 4.35. Amplitud térmica para cada mes del año y profundidad en cada uno de los años considerados (las barras representan los intervalos LSD al 95%).

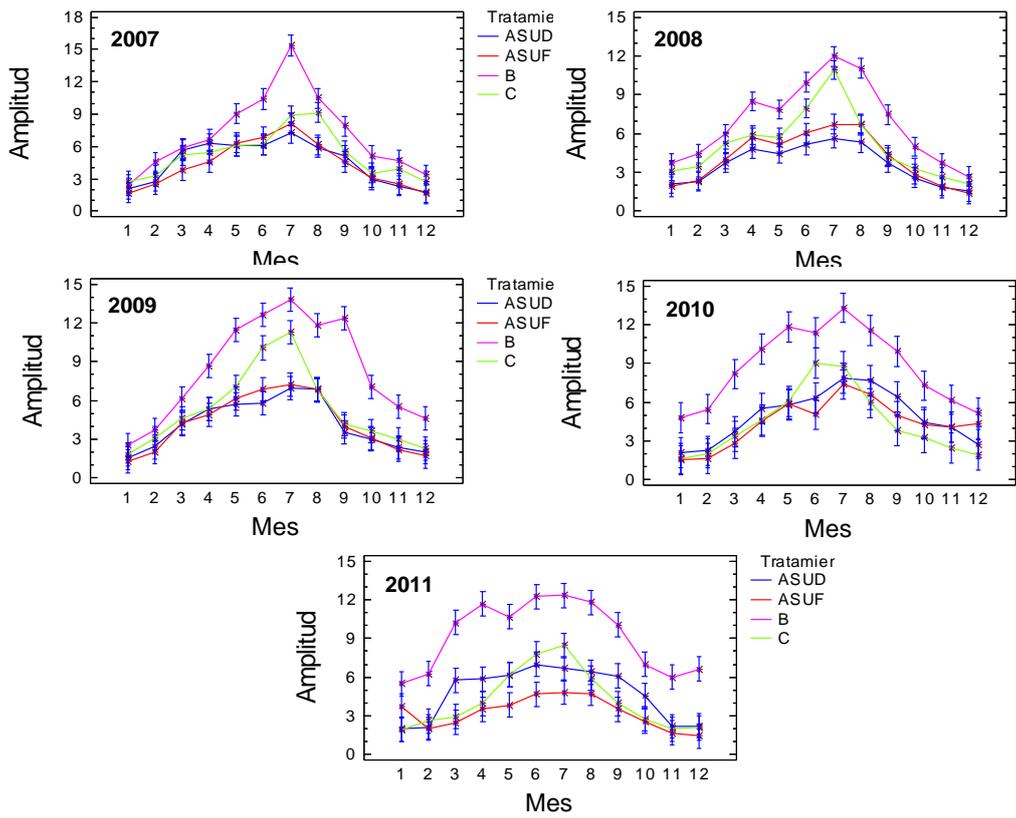


Figura 4.36. Amplitud térmica para cada mes del año y tratamiento en cada uno de los años considerados (las barras representan los intervalos LSD al 95%).

5. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se analiza el efecto que tienen los tratamientos selvícolas en un pinar de carrasco sobre la temperatura del suelo medida a dos profundidades. Para ello a partir de los datos registrados con frecuencia horaria se obtienen los valores diarios de temperatura media, máxima y mínima, y con ellos los valores mensuales y anuales en el período 2007-2011, que son los evaluados. Del análisis de dichos valores se obtienen las siguientes conclusiones:

- Los tratamientos selvícolas realizados en las parcelas de pinar provocan cambios en la temperatura del suelo registrada a 5 y 10 cm, que son perceptibles trece años después de haberse realizado dichos tratamientos.
- Las variaciones más importantes de la temperatura de suelo se producen en el tratamiento de entresaca por bosquete, en el que se corta toda la masa de pinar. En la actualidad, en dicha parcela hay una densa cubierta de matorral y se ha producido regeneración del pino, pero los individuos más altos alcanzan sólo unos tres metros de altura.
- El tratamiento de entresaca por bosquete provoca un aumento de la temperatura media del suelo, que para el conjunto del período evaluado es de unos 3°C a 5 cm de profundidad y de 1°C a 10 cm, respecto del control. Dicho tratamiento también provoca un aumento de la T^a máxima del suelo a ambas profundidades, que es incluso mayor que el producido en la temperatura media (5°C a 5 cm y 1.6°C a 10 cm).
- Los tratamientos de aclareo sucesivo uniforme provocan una ligera disminución de la temperatura media y máxima del suelo respecto al tratamiento control, que es más perceptible en la capa superficial del suelo (5 cm).
- La temperatura mínima del suelo está muy poco influenciada por los tratamientos selvícolas realizados, siendo las diferencias encontradas pequeñas y sin un patrón claro de variación.
- La amplitud térmica del suelo es una variable que integra mejor que la temperatura media del suelo las diferencias encontradas entre tratamientos, ya que es obtenida como diferencia entre los valores extremos.

- Las diferencias observadas entre tratamientos son lo suficientemente importantes como para afectar a procesos importantes del suelo como la descomposición y transformación de los restos orgánicos que llegan al suelo y, que a largo plazo, determinan el contenido de materia orgánica del suelo.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Aussenac, G. 2000. Interactions between forest stands and microclimate: ecophysiological aspects and consequences for silviculture. *Ann. For. Sci.* 57: 287-301.
- Bonan, G. 2002. Ecological climatology. Concepts and applications. Cambridge University Press. Cambridge.
- Bond-Lamberty, B., Wang, Ch. y Gower, S.T. 2005. Spatiotemporal measurement and modelling of stand-level boreal forest soil temperatures. *Agric. Forest. Meteorol.* 131:27-40.
- Brady, N.C. y Weil, R.R. 2002. The Nature and Properties of Soils. Pearson Education, Inc. Upper Saddle River, NJ.
- Chen, J., Franklin, J.F. y Spies, T.A. 1993. Contrasting microclimates among clearcut, edge, and interior of old-growth Douglas-fir forest. *Agric. For. Meteorol.* 63: 219-237.
- Fernández, F. 1996. Manual de climatología aplicada. Clima, medio ambiente y planificación. Espacios y sociedades, Serie mayor, nº 2. Ed. Síntesis, Madrid, pp 285.
- Fernández, F. y Galán E. 1994. Las precipitaciones en el valle del Tiétar. Aspectos metodológicos. Aportaciones en homenaje al profesor Luis Miguel Albentosa. Tarragona, pp 75-89.
- Geiger, R., Aron, R.H. y Todhunter, P. 1995. The Climate Near the Ground. Vieweg. Wiesbaden.
- González, J.M. 2005. Introducción a la Silvicultura General. Secretariado de Publicaciones. Universidad de León. León.
- Gondard, H., Romane, F., Aronson, J. y Shater, Z. 2003. Impact of soil surface disturbances on functional group diversity after clear-cutting in Aleppo pine (*Pinus halepensis*) forests in southern France. *For. Ecol. Manage.* 180: 165–174.
- Gracia, C., Sabaté, S., López, B. y Sánchez, A. 2001. Presente y futuro del bosque mediterráneo: balance de carbono, gestión forestal y cambio global. En: Zamora, R. y Pugnaire, F. (ed.). Ecosistemas Mediterráneos. Análisis Funcional. CSIC-AEET. España. Pp. 351-372.

- Guan, B.T., Weng, S., Kuo, S., Chang, T., Hsu, H. y Shen, Ch. 2006. Analyzing the effects of stand thinning on microclimates with semiparametric smoothing splines. *Can. J. For. Res.* 36: 1641-1648.
- Hoff, C., Rambal, S. y Joffre, R. 2002. Simulating carbon and water flows and growth in a Mediterranean evergreen *Quercus ilex* coppice using the FOREST-BGC model. *For. Ecol. Manage.* 164: 121-136.
- Kimmins, J.P. 2004. Forest Ecology. A Foundation for Sustainable Forest Management and Environmental Ethics in Forestry. Prentice Hall. Upper Saddle River, NJ.
- Jury, W.A., Gardner, W.R. y Gardner, W.H. 1991. Soil Physics. 5th edition. John Wiley & Sons. USA.
- Oke, T.R. 1987. Boundary Layer Climates. Methuen. London.
- Paul, K.I., Polglase, P.J., Smethurst, P.J., O'Connell, A.M., Carlyle, C.J. y Khanna, P.K. 2004. Soil temperature under forests: a simple model for predicting soil temperature under a range of forest types. *Agric. For. Meteorol.* 121:167-182.
- Rivas-Martínez, S. 1987. Memoria del mapa de series de vegetación de España. 1:400000. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. ICONA. Madrid.
- Scarascia-Mugnozza, G., Oswald, H., Piussi, P. y Radoglou, K. 2000. Forests of the Mediterranean region: gaps in knowledge and research needs. *For. Ecol. Manage.* 132: 97-109.
- Valladares, F. (ed.) 2004. Ecología del bosque Mediterráneo en un mundo cambiante. Ministerio de Medio Ambiente. Organismo Autónomo de Parques Nacionales. Madrid.
- Weng, S.H., Kuo, S.R., Guan, B.T., Chang, T.Y., Hsu, H.W. y Shen, C.W. 2007. Microclimatic responses to different thinning intensities in a Japanese cedar plantation of northern Taiwan. *For. Ecol. Manage.* 241: 91 – 100.
- Zavala, M.A., Zamora, R., Pulido, F., Blanco, J.A., Imbert, J.B., Marañón, T., Castillo, F., y Valladares, F. 2004. Nuevas perspectivas en la conservación, restauración y gestión sostenible del bosque Mediterráneo. En: Valladares, F. (ed.) Ecología del bosque Mediterráneo en un mundo cambiante. Ministerio de Medio Ambiente. Organismo Autónomo de Parques Nacionales. Madrid. Pp. 509-529.