



Universidad de Jaén

TRABAJO FIN DE MÁSTER

**Papel de la cubierta vegetal en la sostenibilidad
del olivar**

Estudiante: Julián Gallardo Ramírez

Director/A: Benjamín Viñegla Pérez

Tutor/a: Benjamín Viñegla Pérez

4 de diciembre de 2023



Benjamín Viñegla Pérez, Profesor TITULAR DEL Departamento de Biología Animal, Biología Vegetal y Ecología de la Universidad de Jaén, como Tutor de D. Julián Gallardo Ramírez, en el Máster Universitario en Olivar y Aceite de Oliva, durante el curso 2022-2023.

INFORMA: Que el presente trabajo fin de máster, “ *Papel de la cubierta vegetal en la sostenibilidad del olivar* ” ha sido realizado por D./D^a. Julián Gallardo Ramírez, para la obtención del Título de Máster Universitario en Olivar y Aceite de Oliva por la Universidad de Jaén, bajo la dirección de **Dr. D. Benjamín Viñegla Pérez**

Jaén, a 4 de Diciembre de 2023

Fdo: Julián Gallardo Ramírez

Fdo: Benjamín Viñegla

ÍNDICE GENERAL

1	INTRODUCCIÓN.....	6
1.1	El olivar. Importancia en Andalucía y España.....	6
1.2	Tipos de manejo en olivar.....	6
1.3	Erosión.....	6
1.4	Agricultura sostenible. Una necesidades.....	7
1.5	La cobertura vegetales.....	7
1.5.1	Efectos sobre la disponibilidad de nutrientes.....	8
1.5.2	Efectos sobre el contenido de agua en el suelo.....	8
1.5.3	efectos sobre la erosión.....	9
1.6	Justificación.....	9
2	OBJETIVOS.....	10
3	METODOLOGÍA.....	11
3.1	Tratamiento de la información bibliográfica.....	11
3.2	Análisis estadístico.....	12
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	12
4.1	Condiciones climáticas en las localidades analizadas.....	13
4.2	Estrategias de manejo.....	17
4.2.1	Uso de herbicidas.....	17
4.2.2	Arado.....	20
4.2.3	Riego.....	21
4.3	Procesos erosivos.....	24
4.4	Fertilidad del suelo y disponibilidad de nutrientes.....	26
4.4.1	Contenido en N del suelo.....	26
4.4.2	Contenido en P del suelo.....	29
4.4.3	Contenido en K del suelo.....	31
4.4.4	Contenido en materia orgánica del suelo.....	34
4.4.5	Relación C/N en el suelo.....	36
4.4.6	Capacidad de intercambio catiónico del suelo.....	39
4.5	Evolución temporal.....	41
4.5.1	Variaciones anuales de las variables climáticas.....	42
4.5.2	Variaciones anuales de frecuencia de uso de herbicidas.....	48
4.5.3	Variaciones anuales de frecuencia de arado.....	50
4.5.4	Variaciones de frecuencia de uso del riego.....	53
4.5.5	Variaciones anuales en la pérdida de suelo.....	55
4.5.6	Variaciones anuales en la fertilidad de suelo.....	59
4.5.6.1	Contenido en N.....	59
4.5.6.2	Contenido en P.....	63
4.5.6.3	Contenido en K.....	66
4.5.6.4	Contenido en materia orgánica.....	69
4.5.6.5	Relación C/N.....	72
4.5.6.6	Capacidad de intercambio catiónico.....	75
4.6	Análisis de correlación y regresión.....	77

5	Conclusiones.....	79
6	Bibliografía.....	81
	ANEXOS.....	85
	1. Análisis de la varianza de una vía y test a posteriori Tukey HSD.....	85
	2. Análisis de la varianza factorial y test a posteriori Tukey HSD.....	87
	RESUMEN.....	5
	PALABRAS CLAVE.....	5
	ABSTRACT.....	5
	KEY WORDS.....	5

RESUMEN

Una de las problemáticas más importantes en el olivar es la pérdida de suelo a raíz de las prácticas convencionales, debido a esto en este trabajo se ha realizado un metanálisis entre las parcelas con cobertura vegetal y parcelas sin cobertura vegetal de la región de Andalucía a lo largo de un periodo de estudio, poniendo el foco en cómo influye la cubierta vegetal en el cultivo del olivar frente al cultivo convencional, en cuestiones como la pérdida de suelo fértil, además de la capacidad de retención hídrica y de nutrientes. Dando como resultado que las cubiertas vegetales implican una mejora realmente significativa tanto para la pérdida de suelo, como para la mayoría de nutrientes y parámetros de fertilidad.

PALABRAS CLAVE: Cubierta vegetal, Agricultura de conservación, Erosión y Olivar, condiciones climáticas, disponibilidad de nutrientes, agroecosistemas sostenibles

ABSTRACT

One of the most important problems in the olive grove is the loss of soil as a result of conventional practices. Therefore, in this work a meta-analysis has been carried out between plots with vegetation cover and plots without vegetation cover in the region of Andalusia over a study period, focusing on the influence of vegetation cover on the cultivation of olive groves compared to conventional cultivation, on issues such as the loss of fertile soil, as well as the capacity for water and nutrient retention. As a result, it was found that vegetation cover implies a really significant improvement in soil loss, as well as in most nutrient and fertility parameters.

KEY WORDS: Plant cover, Conservation agriculture, Erosion and Olive groves, climatic conditions, nutrient availability, sustainable agroecosystems

1 INTRODUCCIÓN

1.1 El olivar. Importancia en Andalucía y España

Este trabajo se centra en la zona de Andalucía, en la cual el papel económico del olivar ha sido muy importante desde siempre, representando aproximadamente el 26% de la producción agraria en la actualidad, de acuerdo a los datos de la página web de la Consejería de Agricultura, Pesca, Agua y Desarrollo Rural (s.f.) En este mismo sentido, la producción de aceite de oliva de Andalucía representa el 80% de la producción española lo que convierte al sector del aceite de oliva en uno de los sectores más importantes para el crecimiento de Andalucía (García, 2006).

1.2 Tipos de manejo en olivar

El manejo del suelo puede afectar de manera positiva o negativa al proceso erosivo. Todas aquellas labores que faciliten el incremento y la velocidad de la escorrentía aumentan la erosión del suelo (Raya, 2005). De esta manera, las prácticas convencionales de cultivo, como el laboreo intensivo y el uso excesivo de agroquímicos pueden tener impactos negativos en la salud del suelo y el medio ambiente, hasta un promedio de dos órdenes de magnitud mayor que la intensidad de formación del suelo (Gómez, 2010).

1.3 Erosión

La erosión del suelo se define como la “ruptura de los agregados del suelo y posterior transporte de un lugar a otro de las partículas liberadas, debido a la actuación de los agentes erosivos” (Lal, 2002). Como podemos ver en la tabla 1, más de la mitad del suelo del olivar presenta una erosión entre moderada y muy alta, lo que supone un riesgo a futuro en cuestión de rendimiento del olivar, debido a la pérdida de fertilidad a medida que se va degradando el suelo. De esta forma la implementación de cubiertas vegetales en el olivar se ha propuesto como una estrategia sostenible para mitigar estos problemas y mejorar la productividad de forma eco-eficiente, realizando una labor de protección directa frente al impacto de las gotas de lluvia sobre los agregados del suelo y reduciendo la toma de velocidad y de caudal de la escorrentía, reduciendo así su poder erosivo (Rodríguez, 2003).

Tabla 1. Erosión media en el olivar en el periodo 1992-2004

Provincia	Baja 0-12 (t/ha/año)		Moderada 12-50 (t/ha/año)		Alta 50-100 (t/ha/año)		Muy alta > 100 (t/ha/año)		Sup. Total (ha)
	Sup. (ha)	%	Sup. (ha)	%	Sup. (ha)	%	Sup. (ha)	%	
Almería	10.521	1,5%	4.246	1,0%	1.074	0,6%	794	0,5%	16.635
Cádiz	5.505	0,8%	6.465	1,5%	3.903	2,2%	6.265	3,7%	22.139
Córdoba	152.259	21,5%	115.541	25,9%	41.229	23,3%	29.527	17,5%	338.556
Granada	90.055	12,7%	55.340	12,4%	19.667	11,1%	16.357	9,7%	181.419
Huelva	22.428	3,2%	6.253	1,4%	1.932	1,1%	1.766	1,0%	32.379
Jaén	217.947	30,8%	180.328	40,5%	83.136	46,9%	88.485	52,5%	569.896
Málaga	59.108	8,3%	34.439	7,7%	14.308	8,1%	16.268	9,7%	124.124
Sevilla	150.091	21,2%	43.108	9,7%	11.964	6,8%	8.938	5,3%	214.101
Total	707.915	100,0%	445.721	100,0%	177.213	100,0%	168.400	100,0%	1.499.248
%	47,2%		29,7%		11,8%		11,2%		100,0%

Fuente: Consejería de Agricultura y Pesca (2008a)

1.4 Agricultura sostenible. Una necesidad

Como consecuencia de los avances tecnológicos y científicos y, en parte, debido a la erosión generalizada de los cultivos, se han ido desarrollando nuevas formas de agricultura como es el caso de la agricultura de conservación, un sistema de cultivo que fomenta la alteración mecánica mínima del suelo (por ejemplo cultivo sin laboreo), el mantenimiento de una cobertura permanente de los suelos y la diversificación de los cultivos (*Agricultura de Conservación | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*, s. f.), este tipo de agricultura se favorece con manejos que implementan la presencia de cubierta vegetal.

1.5 La cobertura vegetal

Una cubierta vegetal viva se puede definir como toda especie que crece cubriendo el suelo en las calles del olivar durante el otoño-invierno y que es manejada (eliminada o controlada) antes de que empiece a competir por agua y nutrientes con el cultivo (Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera, 2011).

A pesar de los múltiples beneficios a corto y largo plazo que presenta la cubierta verde en el olivar, un bajo porcentaje de los olivares emplean esta práctica de manejo, aunque su número está aumentando año a año. La principal razón es la creencia extendida y no del todo fundamentada de que la cubierta verde compete eficientemente con el olivo por el agua, especialmente cuando la disponibilidad de

agua en el suelo es escasa a partir de principios de primavera. Los estudios que se han llevado a cabo sobre disponibilidad hídrica en plantaciones de olivar sin o con cubiertas verdes, y cuyos resultados han sido publicados en formato de recomendaciones en distintos textos de asesoramiento sobre prácticas de manejo en el olivar en general y prácticas de manejo de la cubierta verde en particular, se fundamentan únicamente en la medida del contenido de humedad en el suelo, sin atender a otras variables que determinan la disponibilidad real, entendida como disponibilidad neta del recurso, es decir, demanda de recurso menos suministro bruto del mismo.

1.5.1 **Efectos sobre la características del suelo**

La presencia de la cubierta tiene distintos efectos sobre las características del suelo, tales como el incremento de la materia orgánica, una mayor estabilidad de los agregados y una intensificación de la actividad biológica. La cobertura vegetal aumenta la infiltración, disminuye la evaporación y protege la superficie del sellado de los poros producido por el impacto de las gotas de lluvia. Esto es, aumenta la fertilidad del suelo (De Agricultura Y Pesca, 2007).

1.5.2 **Efectos sobre el contenido de agua en el suelo**

Los diferentes tratamientos del suelo van a tener una gran influencia en la captación y en la conservación del agua del suelo, siendo este aspecto muy importante y de gran incidencia en el rendimiento del olivo (De Agricultura Y Pesca, 2007).

Como se puede observar en la tabla **2**, a modo de ejemplo, la humedad del suelo se conserva más en la parcela con cobertura que en la parcela sin cobertura ejemplificando el efecto positivo que supone la cubierta vegetal para la disponibilidad de agua para el olivo.

Tabla 2. Contenido de humedad del suelo para los dos sistemas de manejo analizados

	Parcela 1-Laboreo Tradicional					Parcela 2-Cubierta vegetal				
	H10	H20	H30	H50	H100	H10	H20	H30	H50	H100
Ene	4,7	6,0	7,4	10,6	9,9	6,3	9,1	12,0	14,1	12,3
Feb	5,1	5,9	6,9	9,1	9,3	6,5	8,5	10,8	13,4	12,1
Mar	5,5	6,6	7,7	9,8	9,0	7,0	9,7	12,2	13,9	12,0
Abr	6,6	7,9	9,1	11,1	9,1	8,5	11,1	13,2	14,7	12,5
May	6,4	8,2	9,7	12,0	10,6	7,6	10,3	12,8	14,7	13,1
Jun	4,3	7,1	8,7	11,4	10,4	5,5	8,1	10,1	13,4	13,0
Jul	3,6	6,1	7,6	10,0	9,6	4,9	8,0	9,9	12,3	12,7
Ago	3,5	5,2	6,9	9,1	8,5	4,6	7,4	9,3	11,7	12,1
Sep	3,4	4,7	6,3	8,4	7,7	4,3	6,7	8,6	10,7	11,1
Oct	3,4	4,5	5,8	7,9	7,3	4,1	6,2	7,9	9,8	10,4
Nov	3,4	4,4	5,4	7,3	7,0	4,2	5,8	7,3	9,1	9,6
Dic	5,5	7,4	8,3	9,4	6,8	7,1	9,7	11,7	12,1	9,3

Fuente: Consejería de Agricultura y Pesca (2007)

1.5.3 Efectos sobre la erosión

La cubierta vegetal también tiene una serie de efectos sobre la erosión del suelo al punto de si llevamos a cabo la comparación entre estos dos manejos de suelo se obtiene que las pérdidas de suelo con el laboreo son 2,7 veces mayores que las que se presentan cuando se han establecido cubiertas de cereal entre las calles de los olivos (De Agricultura Y Pesca, 2007).

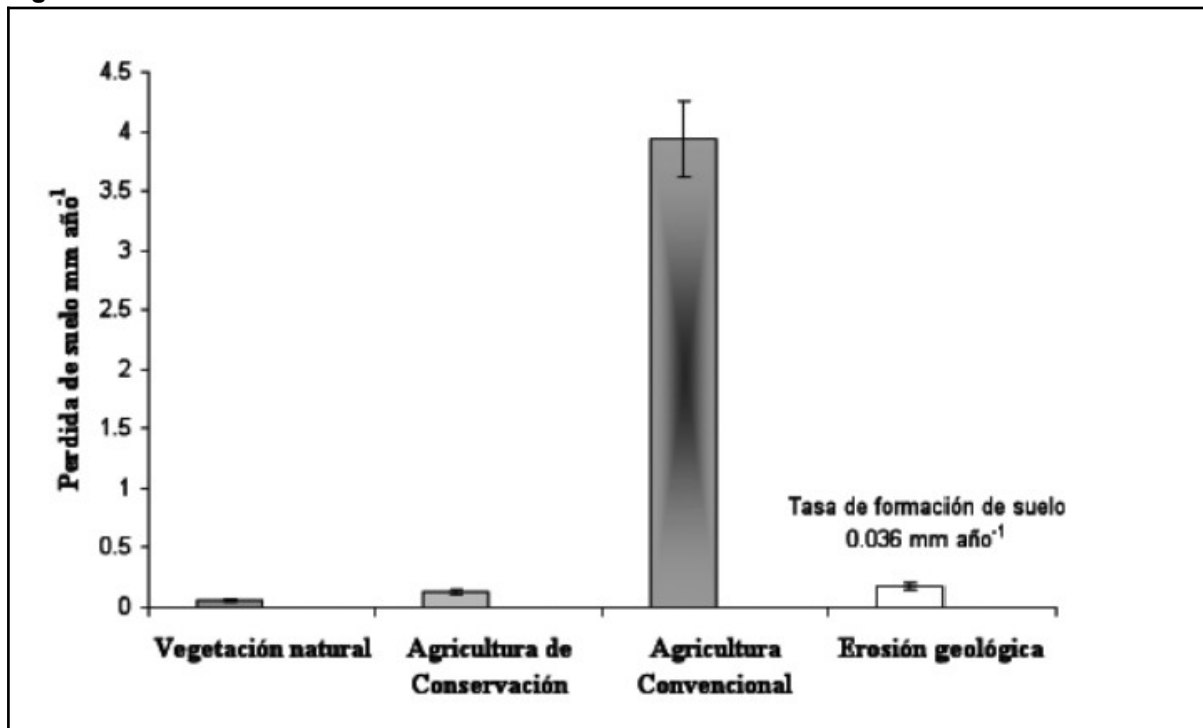
1.6 Justificación

El estudio de la cubierta vegetal en el olivar es de suma importancia por los numerosos beneficios que puede llegar a aportar, tanto al sistema agrícola como al medio ambiente. El cultivo del olivar es propenso a la erosión del suelo debido a la exposición directa al clima y a las prácticas convencionales, ocasionando problemas tanto ambientales por la escorrentía de químicos hacia los ríos, como problemas de fertilidad por la pérdida de horizontes de suelo y de nutrientes.

La presencia de cobertura vegetal puede reducir la erosión y la pérdida de calidad en el suelo actuando como barrera contra el viento y la precipitación, protegiendo así la capa superficial, mejorando su estructura y reduciendo el poder erosivo de la escorrentía al encontrarse obstáculos en su camino.

Por tanto, es fundamental caracterizar el estado actual del conocimiento científico-técnico sobre la presencia de cubiertas vegetales en cultivos de olivar en Andalucía y su relación con los tipos de manejo y los factores productivos de dichas explotaciones, tales como la pérdida de suelo o la disponibilidad de nutrientes.

Figura 1. Pérdida de suelo



Fuente: (Calero & Alfonso, 2010)

2 Objetivos

El objetivo principal de este trabajo ha sido evaluar el conocimiento sobre el impacto de la cobertura vegetal en la conservación del suelo en el olivar y su disponibilidad de nutrientes en comparación con explotaciones donde se elimina la cubierta vegetal y se realizan labores de laboreo convencional. Así, se ha recopilado y analizado información sobre la erosión del suelo y la concentración de nutrientes en función de la presencia o de la ausencia de cubierta vegetal, además de proporcionar una síntesis cuantitativa de los efectos de la cobertura vegetal en comparación con el laboreo convencional en el olivar.

Para alcanzar este objetivo principal se han analizado los datos disponibles en las fuentes bibliográficas consultadas, relacionados con la fertilidad del suelo, como pueden ser el contenido en materia orgánica, la disponibilidad de nutrientes

esenciales para el olivo o la pérdida de sedimento. Además, se han intentado identificar y considerar las posibles fuentes de variación en los resultados, tales como la ubicación geográfica, las condiciones climáticas y el manejo agronómico. Este procedimiento de análisis se ha enfocado a ser capaces de interpretar las diferencias observadas entre los diferentes estudios considerados en este meta-análisis.

3 Metodología

3.1 Tratamiento de la información bibliográfica

Para realizar la búsqueda bibliográfica se han planteado, en primer lugar, una serie de preguntas que queríamos responder en este trabajo, como por ejemplo “¿Cuál es el efecto que tiene la cobertura vegetal sobre la calidad del suelo en comparación con el laboreo convencional?”. Una vez planteadas, se definieron una serie de palabras clave (“cobertura vegetal”, “Olivar” o “Laboreo convencional”) que han sido introducidas en bases de datos como Google Scholar y Scopus entre otras estableciendo al mismo tiempo criterios de exclusión que permiten refinar la búsqueda, como incluir solamente aquellos estudios que midan variables relacionadas con la calidad del suelo o la fertilidad y que proporcionen datos cuantitativos, que permitan la comparación o seleccionar sólo aquellos que tuvieran lugar en la región andaluza.

Una vez seleccionados los trabajos en que se disponía de datos cuantitativos, estos se han recopilado y organizado, centrandos los análisis en 4 aspectos que se han comparado a dos sistemas de manejo distintos. Uno de parcelas con coberturas vegetales y otro sin coberturas (manejo convencional):

Fertilidad: En este apartado se han recopilado datos sobre la cantidad de nitrógeno, fósforo y potasio en el suelo como nutrientes esenciales para el olivar. En la búsqueda, también se han obtenido datos sobre la cantidad de materia orgánica, relación C/N y capacidad de intercambio catiónico (CEC) como datos que indican la funcionalidad del suelo y la disponibilidad de nutrientes.

Suelo: En este apartado se han recopilado datos relacionados con la cantidad de pérdida de sedimentos y la pendiente, el principal factor que acelera los procesos de erosión, para comparar procesos erosivos en olivares con cubierta y en su ausencia.

Clima: En este caso se han obtenido datos de parámetros climáticos como la precipitación total anual, precipitación media en primavera, temperatura media anual y temperatura media en los meses de verano en las localizaciones y años de las parcelas que han sido utilizadas para este estudio.

Manejo: Finalmente, se han considerado los datos relacionados con el tipo de manejo realizado en las parcelas estudiadas, en concreto en relación a la presencia de riego, el uso de herbicidas y el arado.

3.2 **Análisis estadístico**

Con el objetivo de obtener conclusiones sobre las relaciones existentes entre la presencia de cubierta, las distintas actuaciones de manejo, los procesos erosivos y la disponibilidad de nutrientes y funcionalidad del suelo, los datos obtenidos de las fuentes bibliográficas han sido comparados mediante un análisis de la varianza (ANOVA) de una vía para los datos por provincias o un ANOVA factorial cuando se consideró la evolución temporal y, en todos los casos, el test a posteriori Tukey HSD (véanse resultados de los análisis estadísticos en Tabla 1 y 2, Anexo).

Finalmente, para evaluar la influencia de la presencia de cubierta vegetal sobre el efecto de la pendiente y la precipitación sobre la pérdida de suelo se han realizado análisis de correlación y regresión (simple y múltiple) entre dichas variables empleando datos procedentes de explotaciones con presencia y ausencia de cubierta vegetal.

4 **Resultados y discusión**

En este apartado se presentan los resultados obtenidos a partir del análisis de los datos recopilados, proporcionando una visión clara y detallada de los efectos de la cobertura vegetal en el olivar en comparación con el laboreo convencional. Sin embargo, antes de dar los resultados de esta comparación hay que presentar un contexto climático en el que se desarrolla el estudio.

4.1 Condiciones climáticas en las localidades analizadas

La figura 2 muestra los valores de la temperatura anual promedio de las provincias donde se encuentran las explotaciones consideradas. Pueden observarse que Córdoba, Sevilla y Huelva son las provincias con una temperatura anual promedio significativamente mayor ($p < 0.05$), estando Jaén en un nivel intermedio y mostrando Granada una temperatura significativamente inferior al resto.

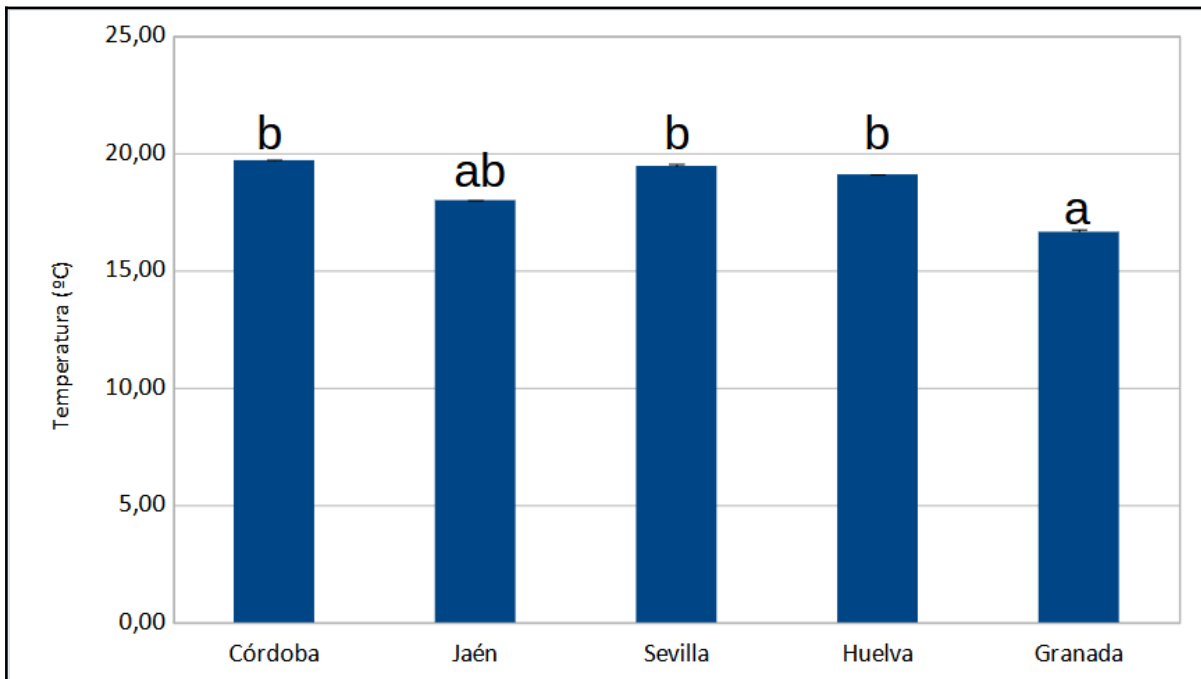


Figura 2. Temperatura anual promedio(°C) en las provincias de las localidades consideradas en el estudio. Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

El rango óptimo de temperaturas se encuentra entre 15°C y 30°C, y aunque el olivo es capaz de aguantar heladas cortas, las temperaturas por debajo de -10°C son críticas para su supervivencia (Benlloch-González, 2019). Los datos obtenidos muestran que la temperatura se encuentra dentro del rango óptimo.

En cuanto a la temperatura promedio estival de las zonas que se han estudiado, la figura 3 muestra que es en Córdoba donde se observa una temperatura promedio de verano significativamente mayor ($p < 0.05$) frente al resto de provincias, donde no se observan diferencias significativas.

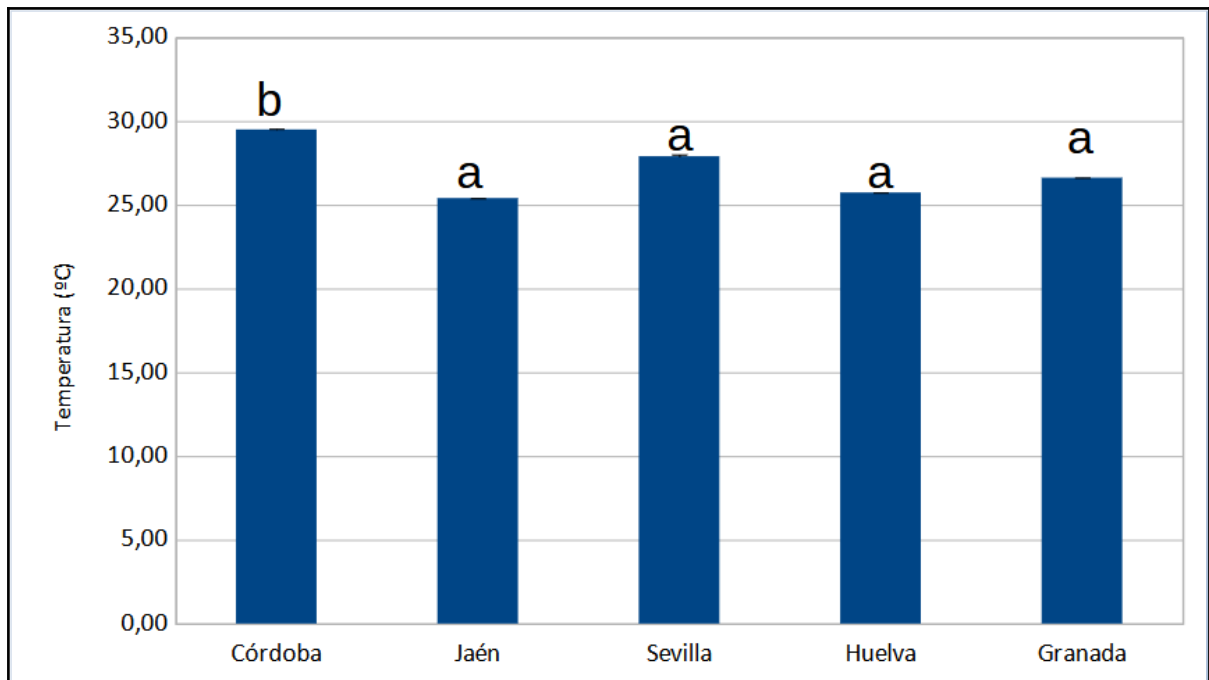


Figura 3. Temperatura promedio de verano (°C) en las provincias de las localidades consideradas en el estudio. Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

La temperatura media de verano es importante porque afecta a la tasa de fotosíntesis, teniendo el olivar un rango óptimo entre 25°C y 35°C. Además, la temperatura de verano también afecta al desarrollo vegetativo, maduración de frutos, ya que las temperaturas ayudan en la maduración siempre y cuando no sean excesivas, porque pueden provocar una maduración desigual o prematura, afectando a la calidad y a la producción, incrementando además las necesidades hídricas de la planta (Benlloch-González, 2019).

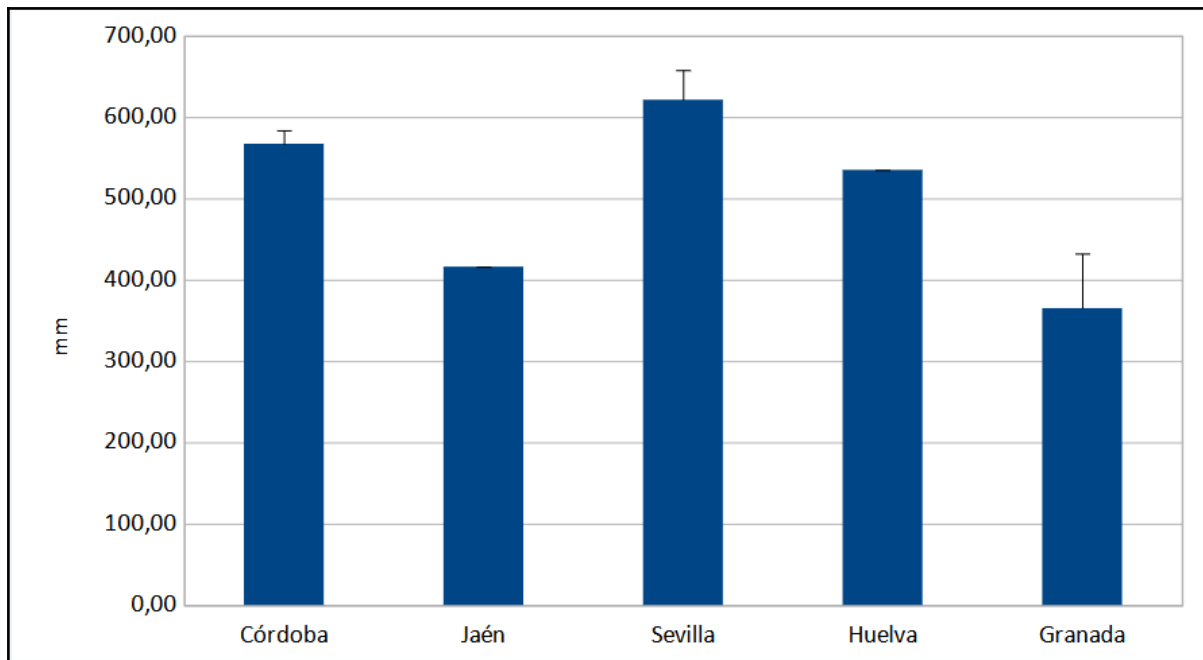


Figura 4. Precipitación total anual promedio (mm) en las provincias de las localidades consideradas en el estudio. No existen diferencias significativas en ninguno de los casos.

En la figura 4 se muestra la precipitación anual promedio de las zonas que se han estudiado, no observándose ninguna diferencia significativa entre las diferentes provincias ($p > 0.05$).

Las precipitaciones anuales óptimas para el olivar se encuentran entre los 500 y 800 mm, pero por su resistencia pueden sobrevivir períodos prolongados de sequía por debajo de los 500 mm (Benlloch-González, 2019). La figura N indica que la precipitación no va a suponer un factor que provoque diferencias de producción entre provincias, ya que no se han observado diferencias significativas.

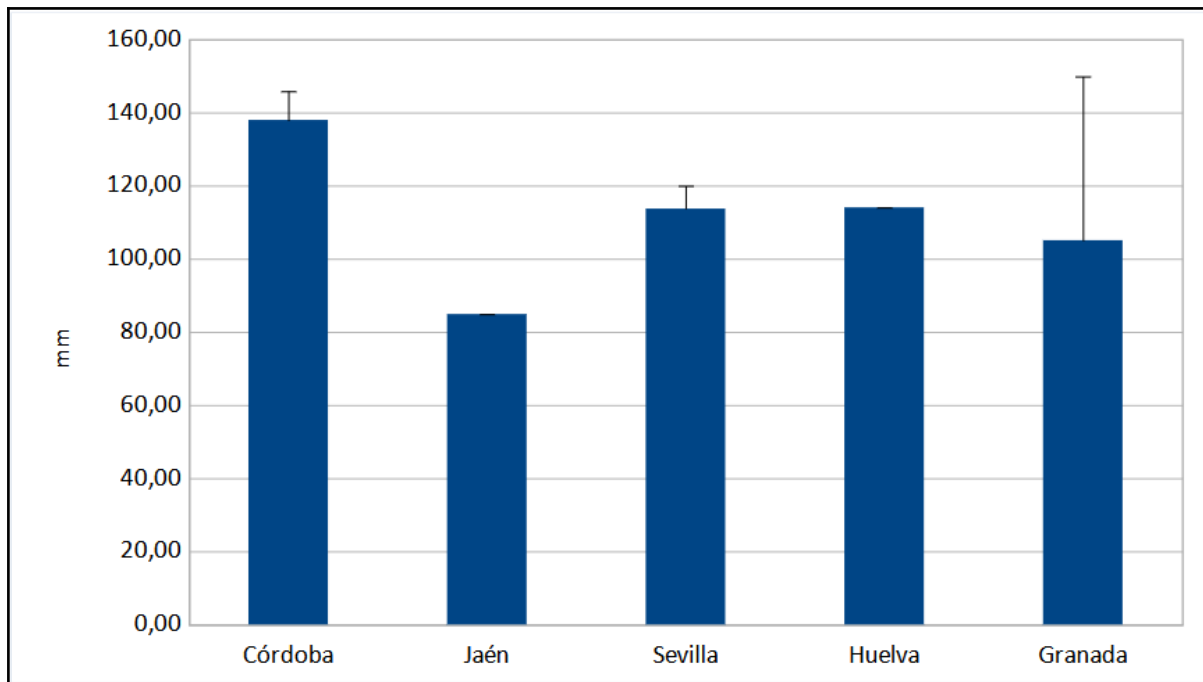


Figura 5. Precipitación acumulada de primavera (mm) en las provincias de las localidades consideradas en el estudio. No existen diferencias significativas en ninguno de los casos.

Además de datos de precipitación anual, se han obtenido datos de precipitación promedio de primavera (Figura 5). Al igual que ocurría con la precipitación media total anual, no existen diferencias significativas en la precipitación media de primavera en ninguna de las provincias consideradas ($p > 0.05$). Sin embargo, los datos de precipitación mensual muestran que en Córdoba se recibe una mayor precipitación primaveral promedio en los meses de marzo a mayo que en el resto de provincias.

La precipitación media de primavera se considera que tiene un rango óptimo cuando se encuentra entre los 100 y 200 mm y es la más importante a lo largo del año, ya que afecta a la floración y polinización, así como al desarrollo de nuevos brotes y raíces (Benlloch-González, 2019).

Las figuras con los datos climáticos nos dan una idea de las condiciones de temperatura y de precipitaciones que afectan a las parcelas, las cuales determinan el desarrollo del olivar y las condiciones del suelo y de la cubierta. Es importante tener en cuenta que Andalucía tiene una gran diversidad geográfica y altitudinal, lo que conlleva cambios en el clima según la zona, pero en general, se caracteriza por tener inviernos suaves y húmedos, y veranos calurosos y secos. Sin embargo, los

procesos de cambio climático están afectando a esta región aumentando la temperatura, disminuyendo las precipitaciones y produciendo cambios en los patrones de las lluvias, lo que puede dar lugar a peores cosechas y mayores dificultades en general para el manejo del olivar (*¿Qué es el cambio climático? - Junta de Andalucía, s. f.*).

4.2 **Estrategias de manejo**

4.2.1 **Uso de herbicidas**

Junto al tipo de climatología, para evaluar el papel de la cubierta vegetal es fundamental considerar las diferencias que se producen en las explotaciones en cuanto a los tipos de manejo del olivar, considerando la utilización de diferentes factores productivos, como son riego, arado y uso de herbicidas.

Así, en la búsqueda bibliográfica se obtuvieron de los trabajos consultados datos cuantitativos de frecuencia de uso de herbicidas, procesos de arado y presencia de riego en las distintas explotaciones.

En la Figura 6 se muestra la frecuencia en el uso de herbicidas en parcelas con cubierta vegetal, dividida por provincias en los estudios recopilados, siendo Granada la que presenta una frecuencia significativamente mayor, frente a Córdoba y Sevilla con un nivel intermedio, y terminando con Jaén y Huelva, con valores significativamente menores ($p < 0.05$).

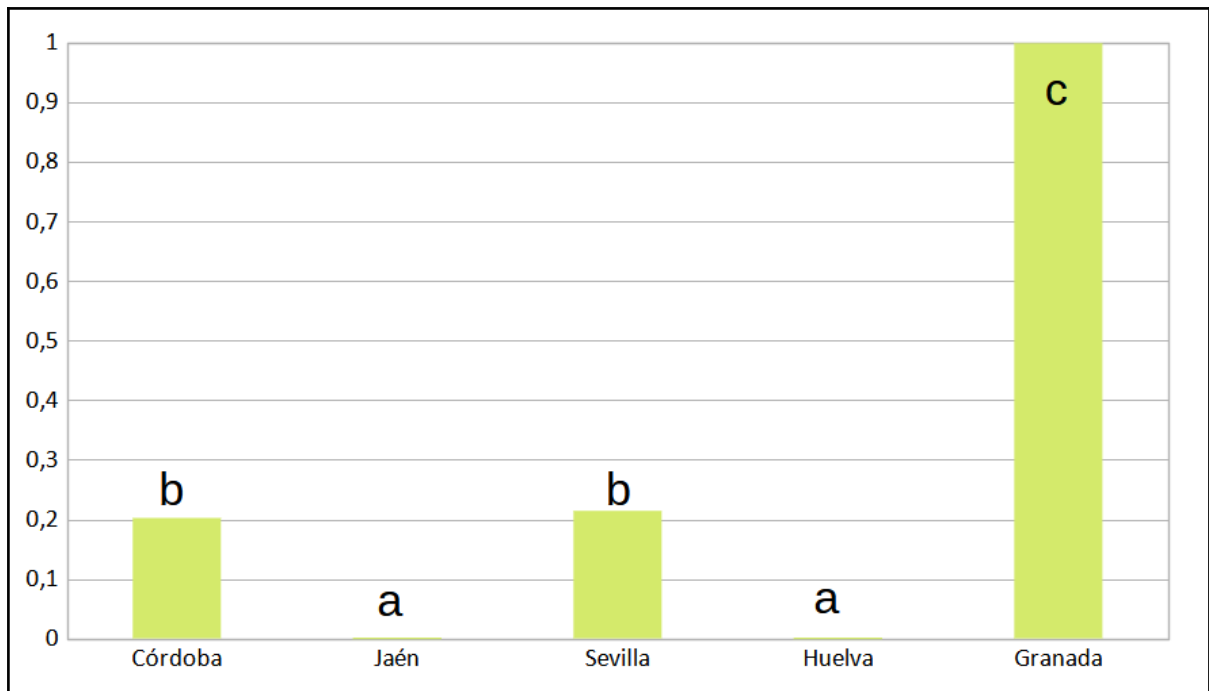


Figura 6. Frecuencia de uso de herbicidas para la eliminación de cubiertas vegetales en las provincias donde se encuentran las localidades consideradas en el estudio. Letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

De igual forma, en la figura 7 se representa la frecuencia en el uso de herbicidas en parcelas sin cubierta vegetal, dividida por provincias en los estudios recopilados, siendo Huelva la que más frecuencia tiene sobre el resto de provincias, aunque no se han encontrado diferencias significativas en ningún caso.

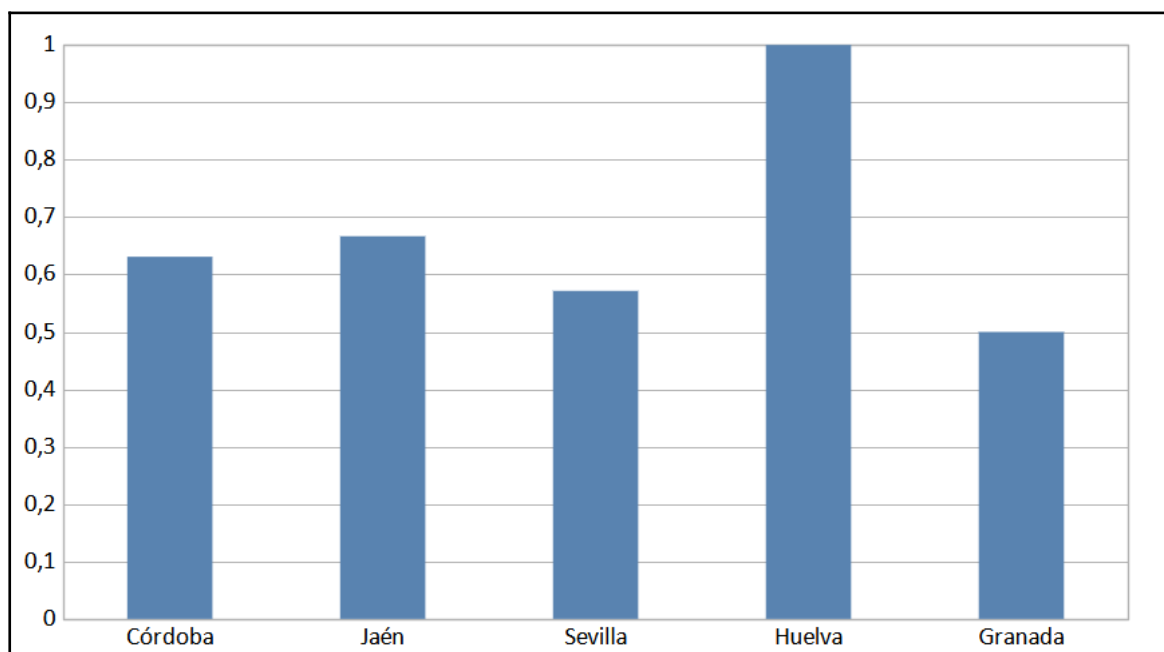


Figura 7. Frecuencia de uso de herbicidas en parcelas sin cubierta vegetal, en las provincias donde se encuentran las localidades consideradas en el estudio. No existen diferencias significativas en ninguno de los casos.

En la siguiente figura (Figura 8) se resume la información relativa al promedio de la frecuencia de uso de herbicidas en parcelas que presentan o no cubierta vegetal.

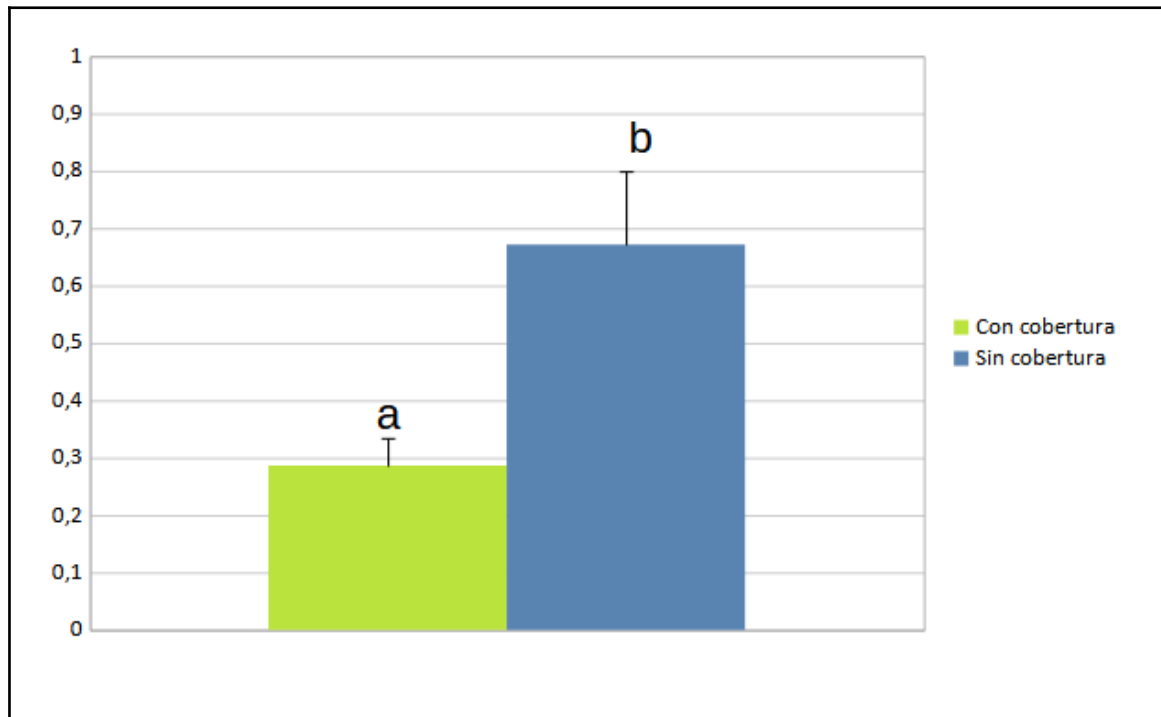


Figura 8. Promedio de las frecuencias de uso de herbicidas en parcelas con cubierta y sin cubierta. Los valores de ambos tipos son significativamente distintos ($p < 0.05$).

Como hemos podido observar en las figuras anteriores, el uso de herbicidas en el caso del cultivo con cubiertas es significativamente menor que el de las parcelas sin cubierta, puesto que las parcelas con cubierta utilizan otros tipos de control de vegetación más mecánicos como el desbroce, mientras tanto en las parcelas sin cubierta priman mucho más los herbicidas. Este tipo de método de control de la vegetación puede llevar a generar grandes efectos negativos sobre el cultivo y el medio ambiente. El uso de herbicidas debe ser responsable y siguiendo las pautas y regulaciones establecidas por los organismos reguladores. El objetivo tras el uso de herbicidas está en el control de malas hierbas, catalogando como malas hierbas aquellas que compiten con el olivo por luz, agua y nutrientes, pero a lo largo de los años se ha hecho un uso desmedido de estos herbicidas creando un impacto negativo ambiental muy grave en algunas zonas teniendo que prohibir su uso o

limitarlo, como sería el cierre temporal del embalse de Iznájar en 2005 en Córdoba o el cierre temporal del embalse de Guadalmena en Jaén en 2006 (Padilla, 2006).

4.2.2 Arado

Para el siguiente apartado, que consiste en la cuantificación de la frecuencia del uso de arado, cabe destacar que no se ha realizado una figura de frecuencia para las parcelas con cobertura vegetal porque en ninguno de los casos estudiados se han arado las explotaciones.

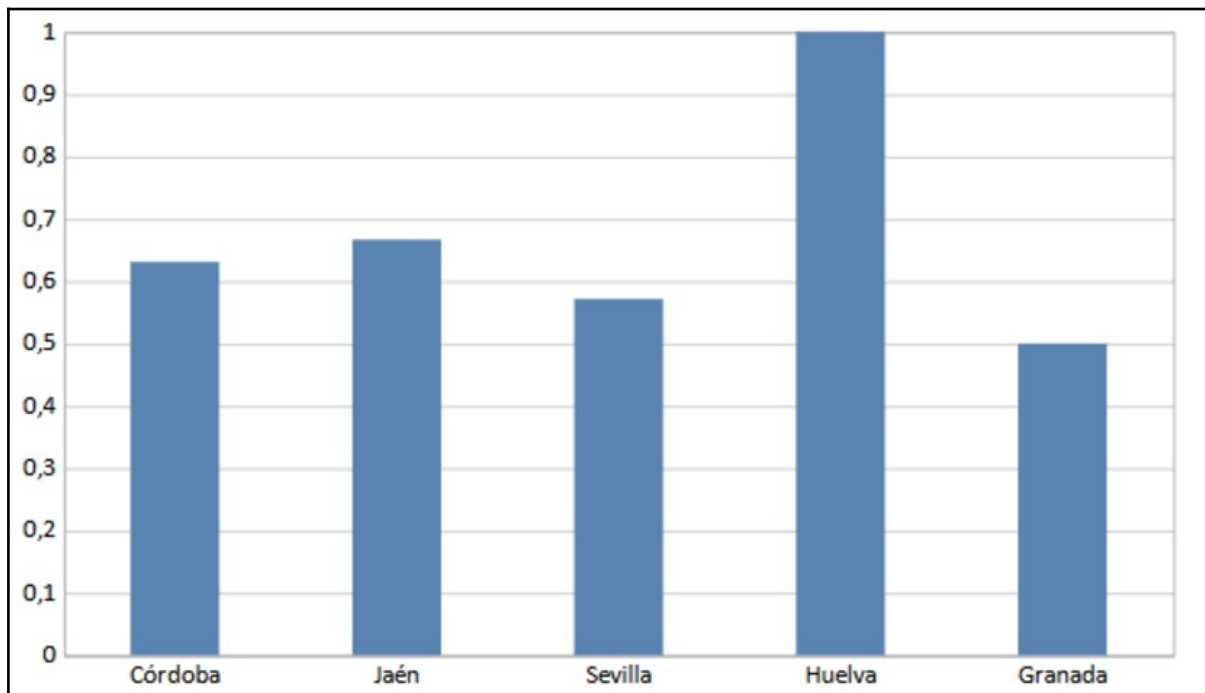


Figura 9. Frecuencia del uso del arado en parcelas sin cobertura en las provincias consideradas. No existen diferencias significativas en ninguno de los casos.

En la Figura 9 podemos observar los datos de la frecuencia en el uso de arado en parcelas sin cubierta vegetal, dividida por provincias en los estudios recopilados, siendo Huelva y Granada las que más frecuencia presentan sobre el resto, aunque en cualquier caso todas las provincias superan el 70%. En todo caso, las diferencias observadas no fueron significativas.

En la figura 10 se resumen los datos de frecuencia de uso de arado, mostrando el valor promedio de uso de arado en parcelas sin cubierta vegetal para todas las provincias consideradas. Nótese que la frecuencia de las parcelas con cubierta es 0. Esto es debido a su estrategia de conservación del suelo reduciendo la degradación

ambiental y preservando la productividad del suelo, frente al uso mayoritario del arado en las parcelas sin cobertura, utilizado como método para controlar las hierbas, pero ocasionando severos problemas de erosión del suelo y de perturbación de la microbiota, alterando el equilibrio biológico del suelo.

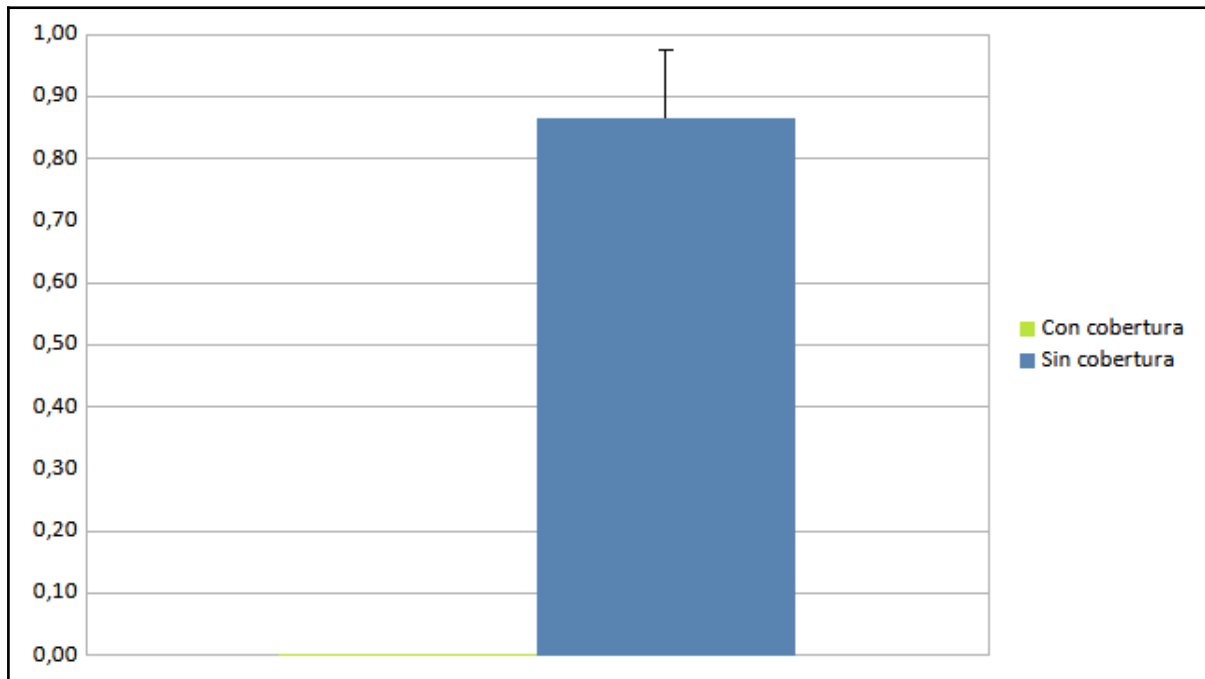


Figura 10. Frecuencia media (calculada con los datos de las diferentes provincias) del uso del arado en las explotaciones consideradas. El valor de la frecuencia en el caso de las parcelas con cubierta vegetal es 0.

4.2.3 Riego

En la figura 11 y 12 se muestra la frecuencia de uso de riego en las distintas provincias consideradas en este estudio, en parcelas que presentan cubierta vegetal o que no la presentan, respectivamente.

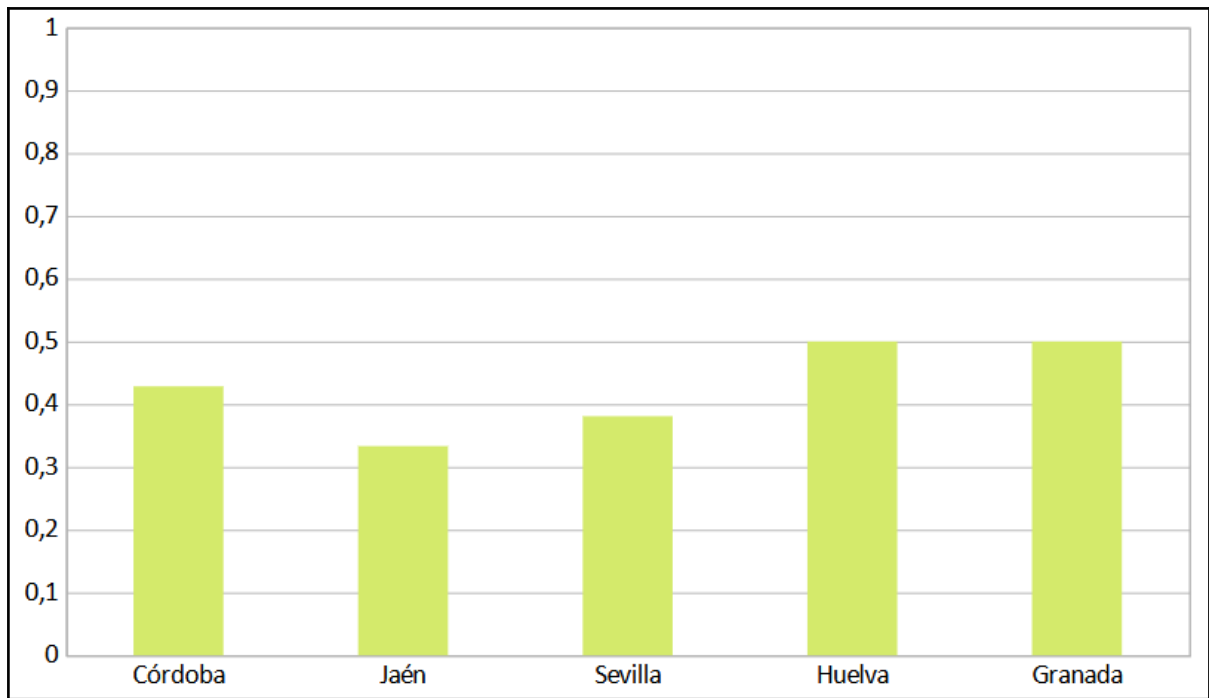


Figura 11. Frecuencia de uso de riego en parcelas con cubierta vegetal en las distintas provincias consideradas en el estudio. No existen diferencias significativas en ninguno de los casos.

En la figura 11 podemos observar la frecuencia en el uso de riego en parcelas con cubierta vegetal dividida por provincias en los estudios recopilados, en este caso todos los valores son muy parecidos en todas las provincias.

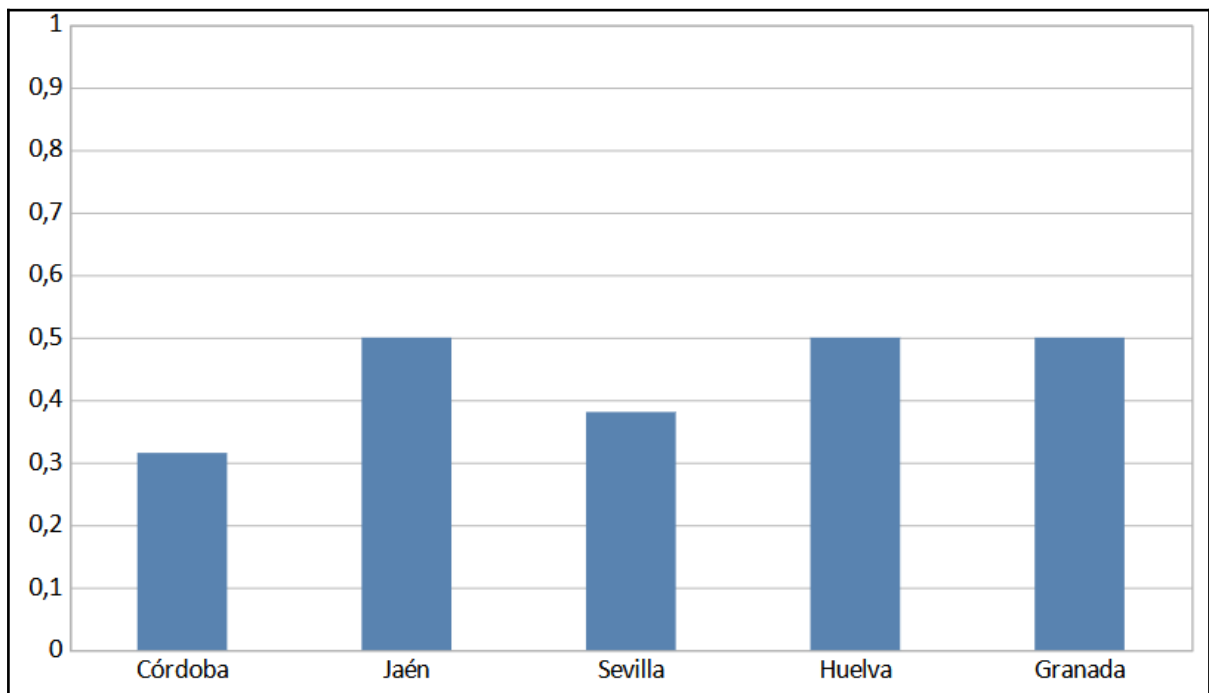


Figura 12. Frecuencia de uso de riego en parcelas sin cubierta vegetal en las distintas provincias consideradas en el estudio. No existen diferencias significativas en ninguno de los casos.

En la figura 12 podemos ver la frecuencia en el uso de riego en parcelas sin cubierta vegetal dividida por provincias en los estudios recopilados, teniendo unos valores muy similares entre provincias.

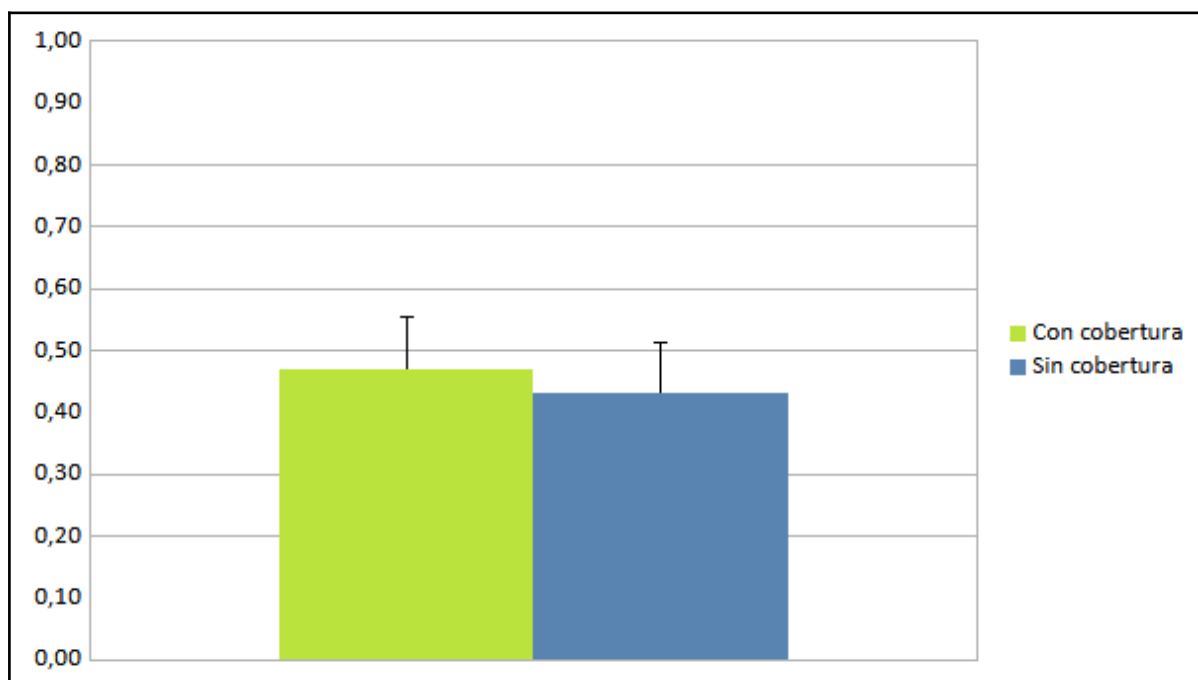


Figura 13. Frecuencia promediada a partir de los datos de las provincias de uso de riego en parcelas sin cubierta vegetal o con cubierta vegetal. No existen diferencias significativas.

En la figura 13 podemos observar cómo la diferencia es prácticamente nula y que se trata de una práctica extendida de forma general en el cultivo sin tener especial preferencia por una provincia o sistema de gestión agrícola en concreto, pese a que ni la disponibilidad ni las necesidades hídricas sean las mismas.

El riego en el olivar tiene sus ventajas productivas y desventajas ambientales, ya que mejora la producción y controla el estrés hídrico pero supone un riesgo de salinización, ya que el agua de riego suele tener componentes disueltos y en algunos caso se suele usar la fertirrigación, de tal forma que si no se tiene un control exhaustivo puede generar un problema ambiental con el uso excesivo de los recursos hídricos, sobre todo teniendo en cuenta las condiciones climáticas de Andalucía como se ha comentado anteriormente.

4.3 Procesos erosivos

En este apartado pasamos a discutir aspectos relacionados con la pérdida de suelo, la cual es muy importante y una de las principales problemáticas en el olivar, con el objetivo de ver las diferencias entre las parcelas con cobertura vegetal y aquellas sin cobertura, además de hacer una distinción entre las provincias estudiadas.

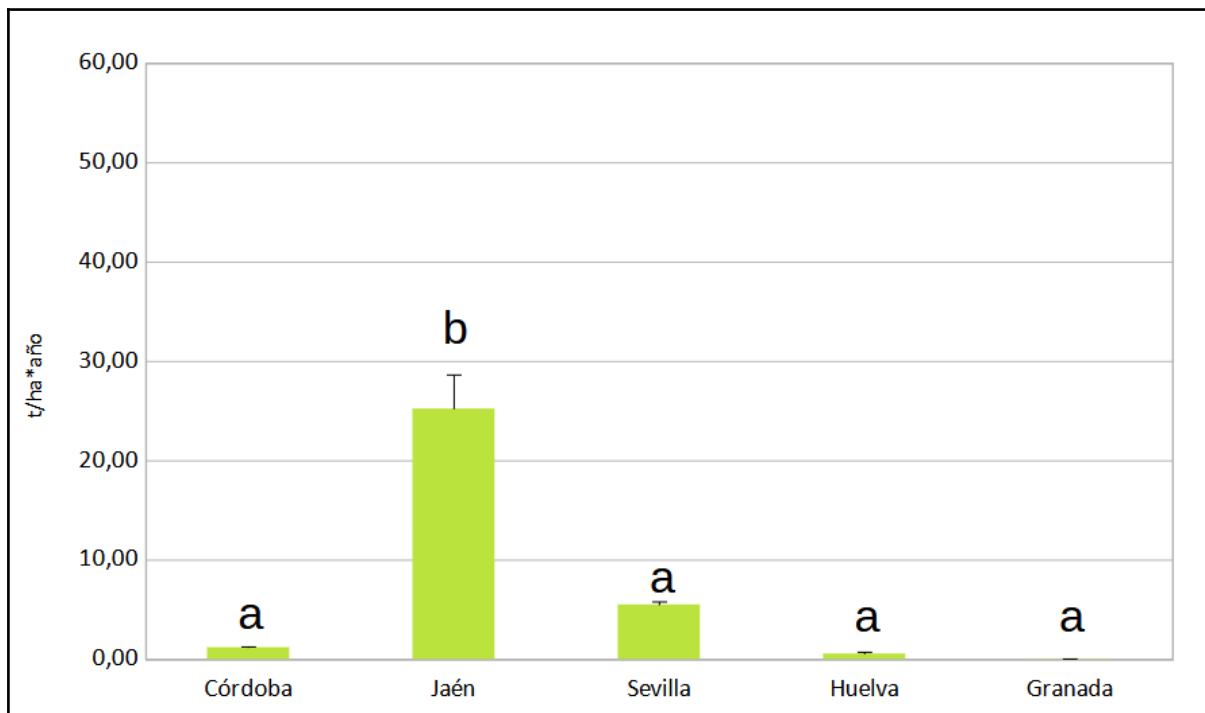


Figura 14. Cantidad de suelo perdido por erosión (t/ha*año) en parcelas con cubierta vegetal de las distintas provincias consideradas. Letras distintas indican diferencias significativas.

En la Figura **14** se muestra la cantidad de suelo perdido por erosión por provincias, en las parcelas con cobertura vegetal, siendo Jaén la que mayor pérdidas presenta, de manera significativa, en comparación con las demás provincias ($p < 0.05$).

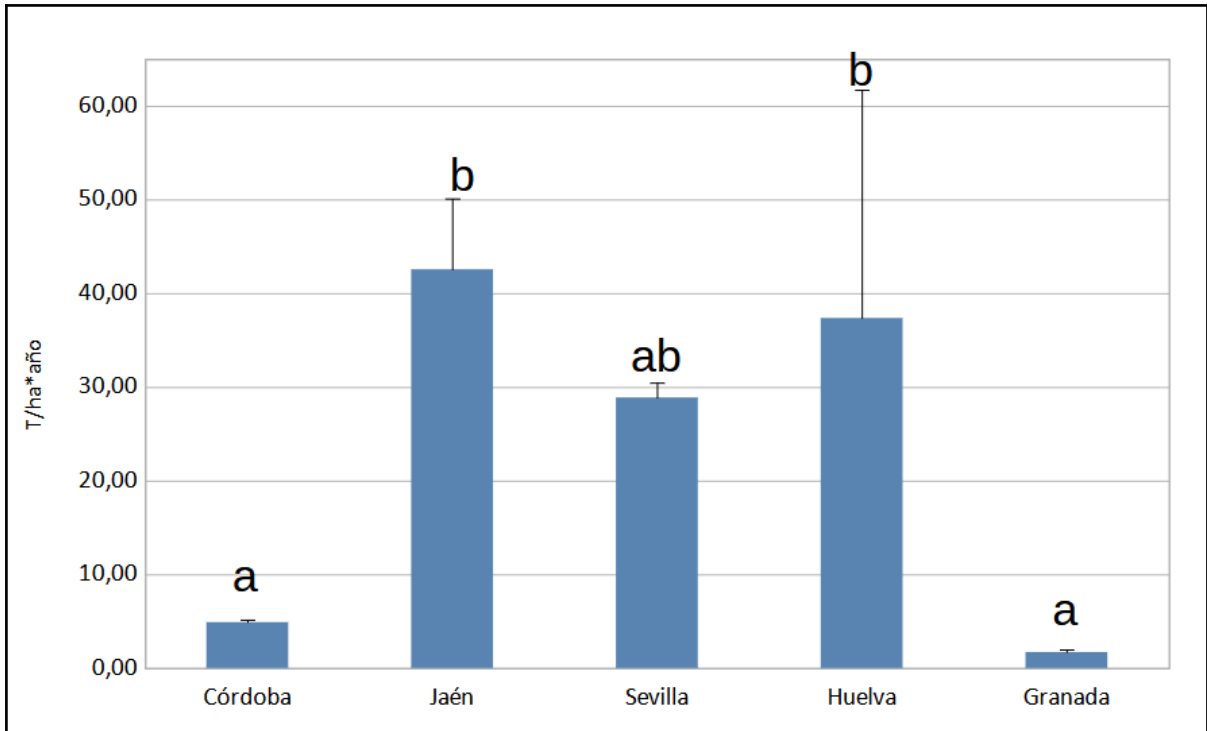


Figura 15. Cantidad de suelo perdido por erosión (t/ha*año) en parcelas sin cubierta vegetal de las distintas provincias consideradas. Letras distintas indican diferencias significativas.

Sin embargo, cuando se compara la pérdida de suelo por erosión en las distintas provincias, en parcelas sin cubierta vegetal (Figura 15), Córdoba y Granada son las provincias que, significativamente, menos pérdida de suelo presentan, seguidas por un nivel intermedio de Sevilla. Por último, Jaén y Huelva muestran valores significativamente mayores de pérdida de suelo.

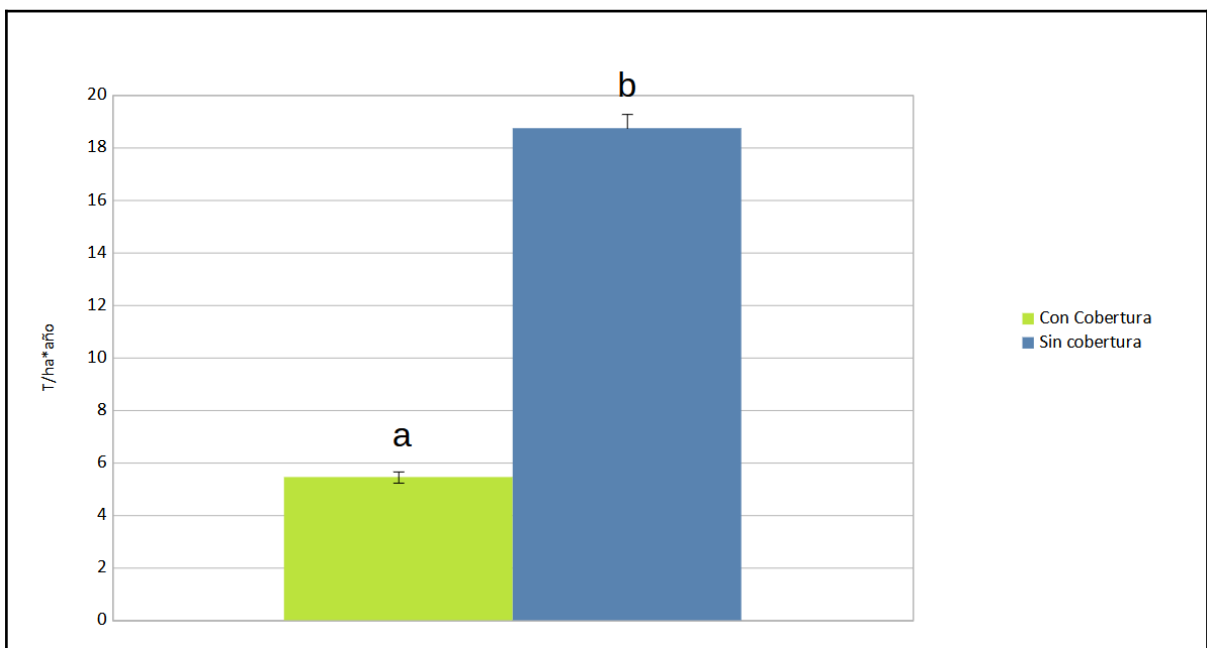


Figura 16. Promedio, considerando todas las provincias, de cantidad de suelo perdido por erosión (t/ha*año) comparando parcelas sin cubierta vegetal y con cubierta vegetal. Los valores de ambos casos son significativamente distintos ($p < 0.05$).

Al comparar los valores promedio de pérdida de suelo de las distintas provincias en los dos tipos de parcelas estudiadas (Figura 16) los valores en ambos casos son significativamente distintos ($p < 0.05$) siendo el promedio de la pérdida de suelo de las parcelas sin cobertura más de 3 veces mayor que el de las parcelas con cobertura.

Este resultado es especialmente relevante, ya que la erosión en el suelo de olivar es una de las problemáticas más importantes, con un gran número de implicaciones negativas, como la pérdida de suelo fértil en el que se remueve la capa superior del suelo, desplazamiento de nutrientes, cambios en la estructura en el suelo y contaminaciones en el agua debido a esa escorrentía que desemboca a los ríos y embalses, llegando a darse situaciones de riesgo para la salud pública que obliga a cerrar alguno de estos y prohibir el uso de fitosanitarios en las áreas cercanas.

4.4 **Fertilidad del suelo y disponibilidad de nutrientes**

4.4.1 **Contenido en N del suelo**

A continuación de los datos sobre la pérdida de suelo se van a mostrar los datos relacionados con la fertilidad y los nutrientes del suelo en función del tipo de manejo.

En primer lugar, se han considerado datos de fertilidad del suelo y disponibilidad de nutrientes en las parcelas con cubierta y si cubierta vegetal asociada. La primera variable de disponibilidad de nutrientes considerada ha sido el porcentaje de nitrógeno en el suelo, por la gran importancia que tiene en el desarrollo vegetal, al tratarse del primer nutriente limitante.

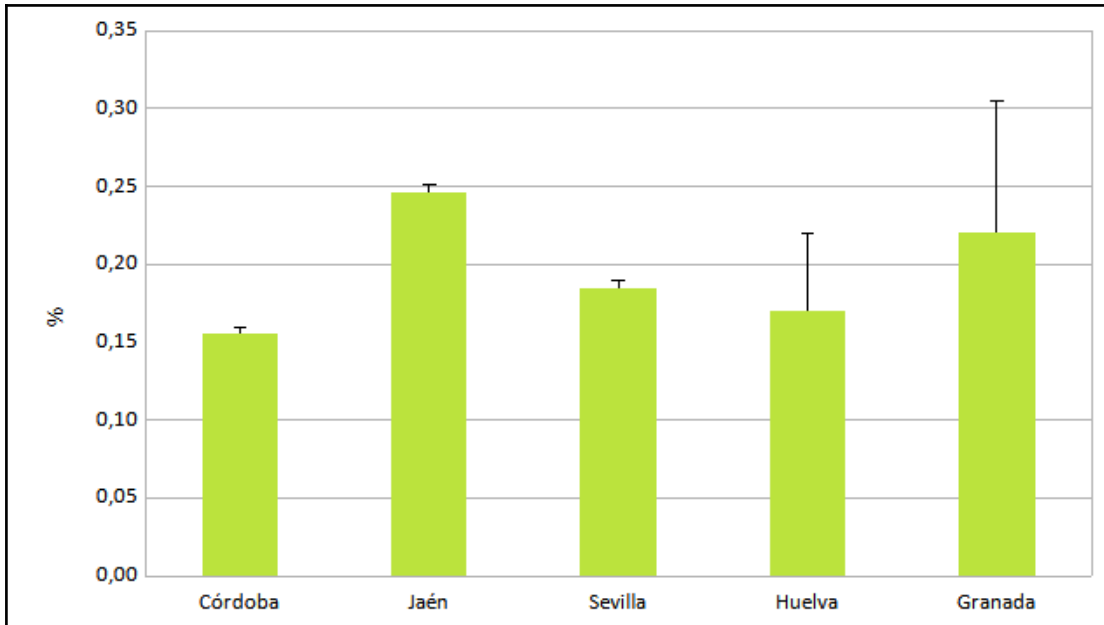


Figura 17. Contenido en nitrógeno (% peso) en cubiertas vegetales de las parcelas consideradas en todas las provincias de las que se han obtenido datos. No existen diferencias significativas en ningún caso.

En la figura 17 se observa cómo no hay diferencias significativas entre provincias en el contenido en N del suelo en parcelas con cubierta vegetal ($p > 0.05$).

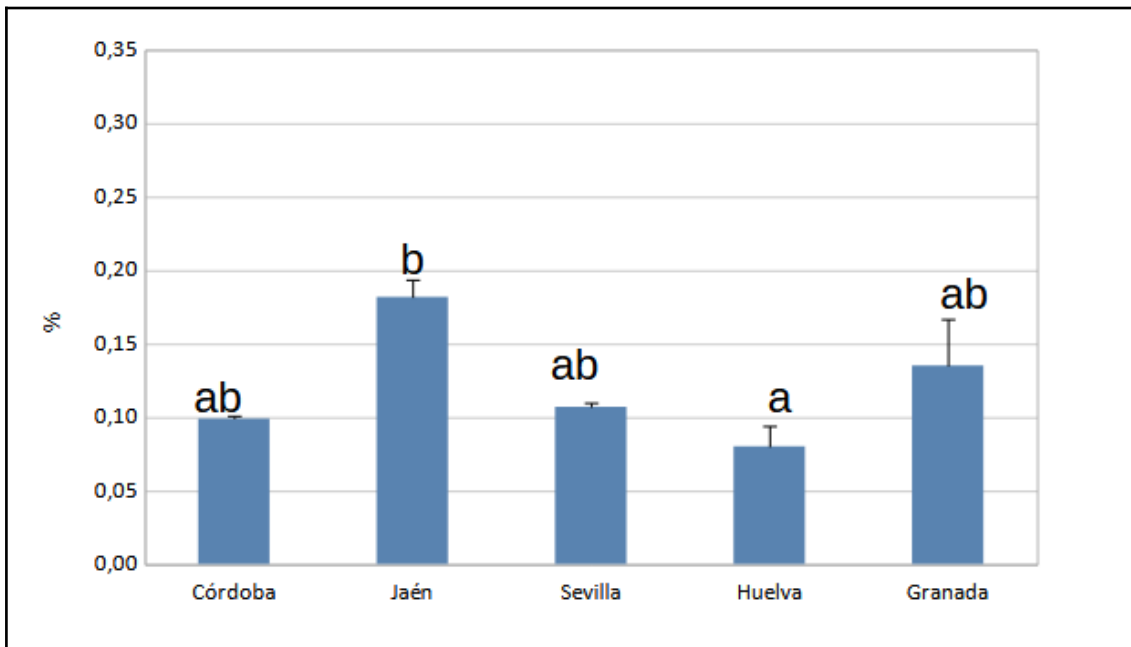


Figura 18. Contenido en nitrógeno (% peso) en el suelo de las parcelas consideradas en todas las provincias de las que se han obtenido datos. Letras distintas indican diferencias significativas.

Sin embargo, sí se encontraron diferencias significativas en el contenido en N del suelo cuando se compararon las parcelas sin cubierta vegetal para las diferentes

provincias de las que se obtuvieron datos. Así, el contenido en N significativamente menor se observó en Huelva, seguido de las parcelas en Córdoba, Sevilla y Granada. Finalmente, el contenido en N significativamente mayor se observó en las parcelas de Jaén.

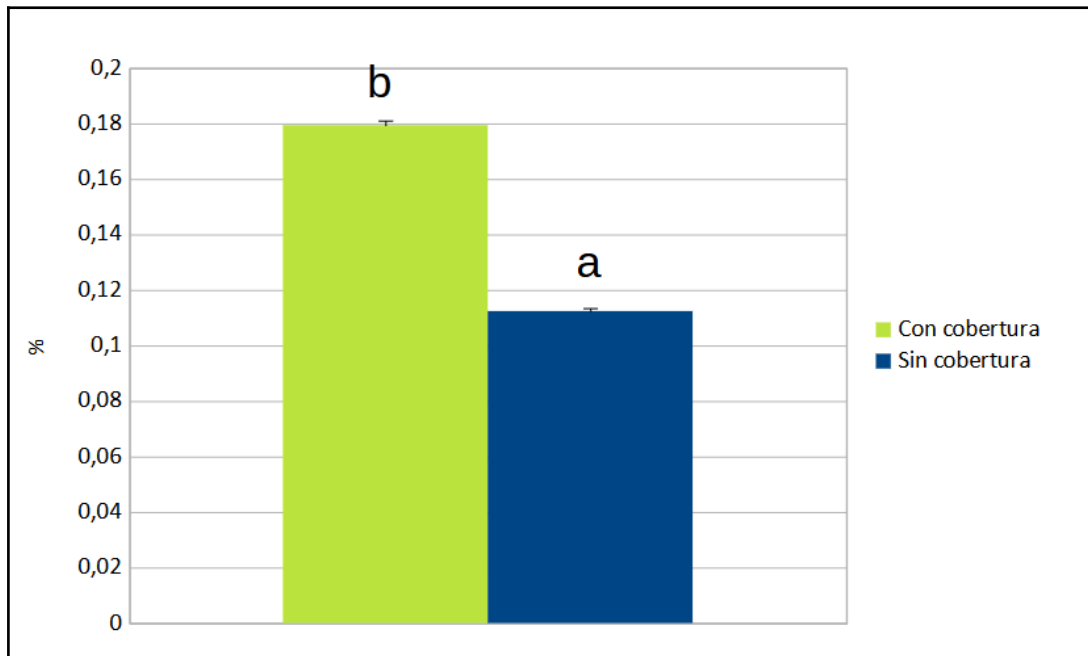


Figura 19. Promedio, considerando todas las provincias, de la cantidad de N en el suelo (% peso), comparando parcelas sin cubierta vegetal y con cubierta vegetal. Los valores de ambos casos son significativamente distintos ($p < 0.05$).

Finalmente, cuando se calculó el promedio del contenido en N del suelo por provincia en parcelas con cubierta y sin cubierta (Figura 19), se observaron diferencias significativas, ($p < 0.05$), con valores cercanos al doble en las parcelas con cobertura.

Los niveles normales de nitrógeno dentro del suelo se estiman entre un 0.11% y un 0.20% (García, 2010). Así los datos mostrados indican que tanto para las provincias, consideradas individualmente, como para el promedio de estas, las parcelas con cobertura vegetal se encuentran en un rango normal de contenido en N del suelo, mientras que para el caso de las parcelas sin cobertura hay provincias por debajo de este nivel y el promedio está dentro, pero en el límite inferior. Esto es importante porque el nitrógeno es uno de los nutrientes esenciales junto al fósforo y al potasio, y si hay insuficiencia o exceso puede provocar problemas en una serie de funcionalidades en las que está implicado, tales como la síntesis de proteínas, la

producción de clorofila, el metabolismo de carbohidratos, además de estar implicada en la síntesis de compuestos bioactivos como fenoles y flavonoides que le dan propiedades antioxidantes al aceite (Maraver, 2016).

4.4.2 Contenido en P del suelo

Además del N , se ha evaluado el contenido en P de los suelos de explotaciones que presentaran o no cubierta vegetal, ya que se trata de igual forma, de un nutriente esencial.

En las Figuras **20** y **21** se muestran los valores de contenido en P en parcelas con y sin cubierta vegetal, respectivamente, localizadas en las provincias de las que se disponía de datos cuantitativos en las fuentes de información consultadas.

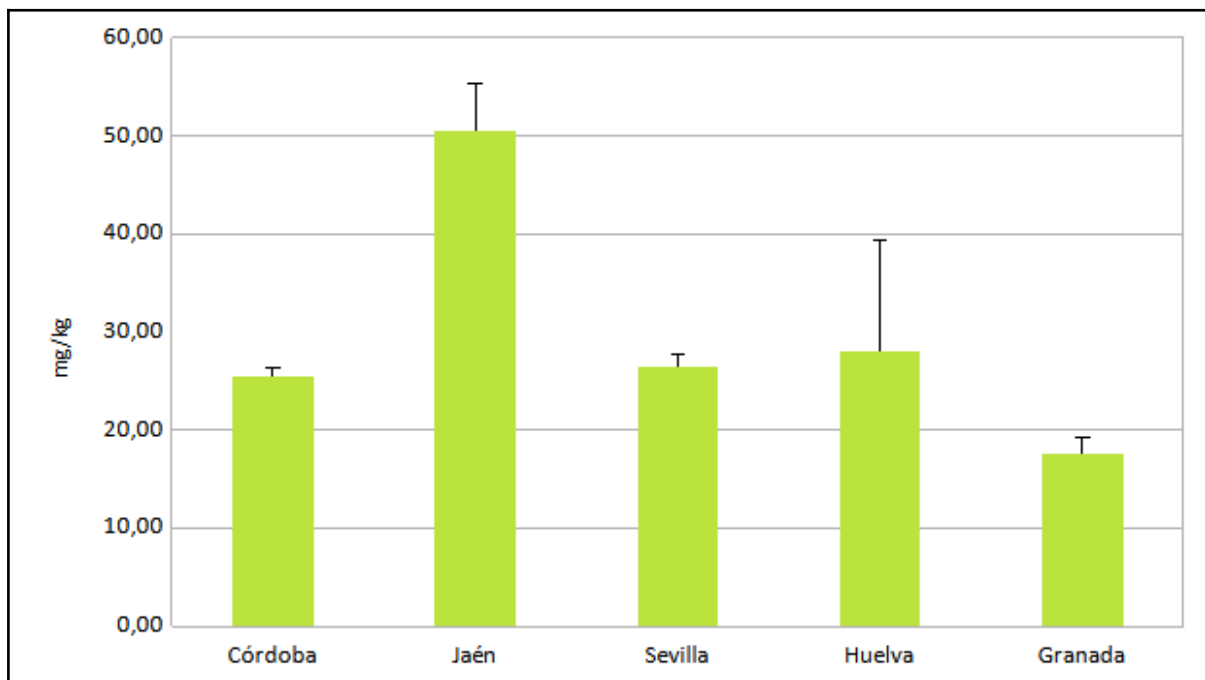


Figura 20. Contenido en fósforo (mg/Kg suelo) en el suelo de las parcelas con cubierta vegetal, consideradas en todas las provincias de las que se han obtenido datos. No existen diferencias significativas en ningún caso.

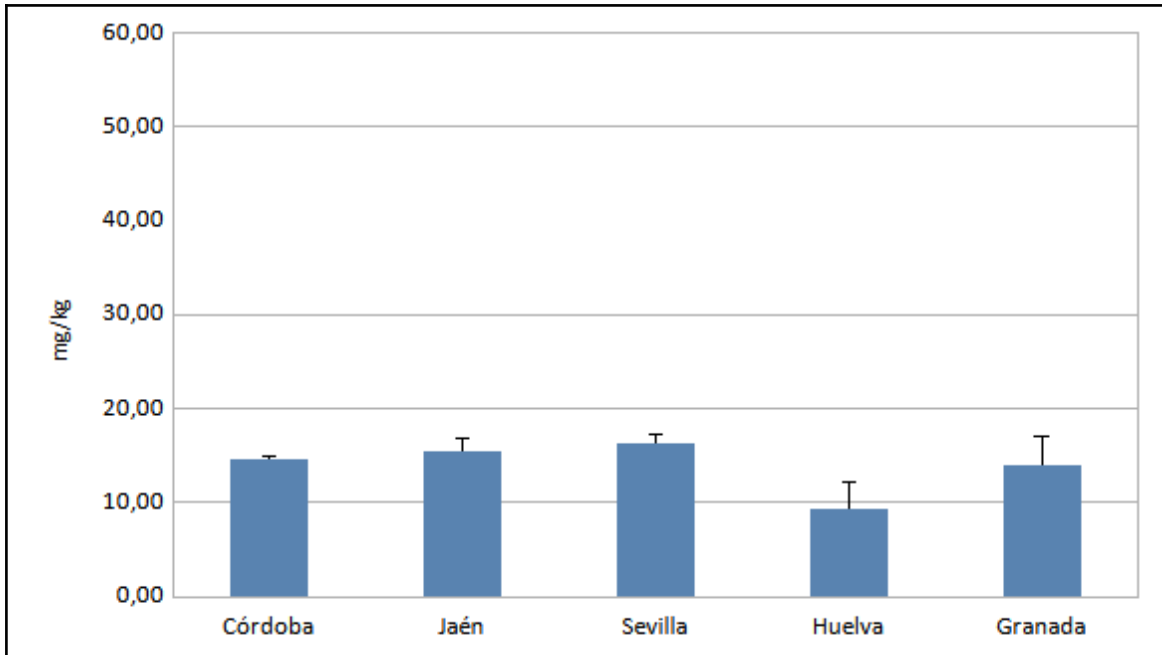


Figura 21. Contenido en fósforo (mg/Kg suelo) en el suelo de las parcelas sin cobertura, consideradas en todas las provincias de las que se han obtenido datos. No existen diferencias significativas en ningún caso.

A diferencia del N, el contenido en fósforo en los suelos no se diferenció entre provincias tanto en parcelas con cubierta como en aquellas que no la presentaban. En cualquier caso, los valores de contenido en fósforo siempre fueron mayores en las parcelas con cubierta vegetal, destacando los valores observados en las parcelas situadas en la provincia de Jaén.

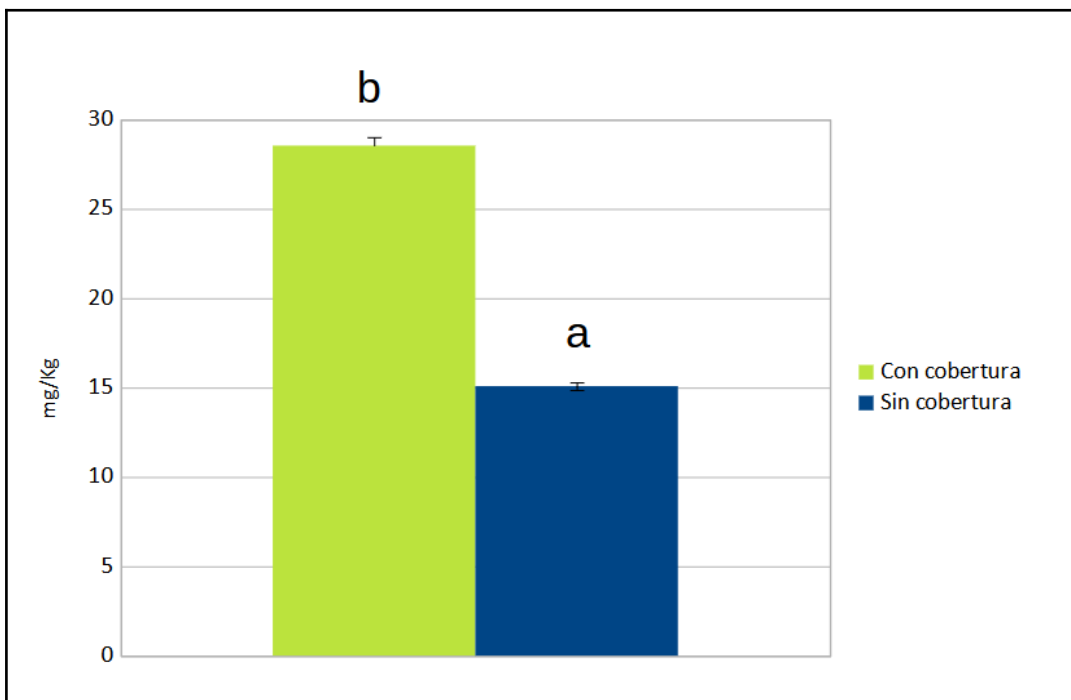


Figura 22. Promedio, considerando todas las provincias, de la cantidad de P en el suelo (mg/Kg suelo), comparando parcelas sin cubierta vegetal y con cubierta vegetal. Los valores de ambos casos son significativamente distintos ($p < 0.05$).

Como se muestra en las figuras **20** y **21**, el contenido en fósforo de los suelos es mayor en todas las provincias consideradas. Este resultado se observa también claramente en la Figura N, donde se compara el promedio de las provincias entre parcelas con y sin cubierta vegetal, encontrándose diferencias significativas ($p < 0.05$), siendo el doble de fósforo (mg/Kg suelo) en las parcelas con cubierta vegetal.

De acuerdo con García (2010), los niveles normales de fósforo, varían en función al tipo de suelo y al manejo en el uso del riego. Los datos para todos los casos de las parcelas con cubiertas vegetales, muestran valores dentro de los rangos normales bajo cualquier condición, llegando a un nivel alto e incluso muy alto si se dieran las condiciones. Sin embargo, en el caso de las parcelas sin cubierta, tanto en todas las provincias como en su promedio se observan valores de un rango bajo, y en el mejor de los casos en un rango normal. Esto es muy importante, ya que el fósforo es un nutriente esencial que se utiliza en la formación y desarrollo de raíces y tejidos, en la transferencia y almacenamiento de energía, en la activación de enzimas y reacciones metabólicas, además de producir un efecto positivo en la resistencia a enfermedades y al estrés (Maraver, 2016).

4.4.3 **Contenido en K del suelo**

En el mismo sentido que N y P, se ha considerado el K como un nutriente esencial, implicado en una gran variedad de funcionalidades dentro del olivo.

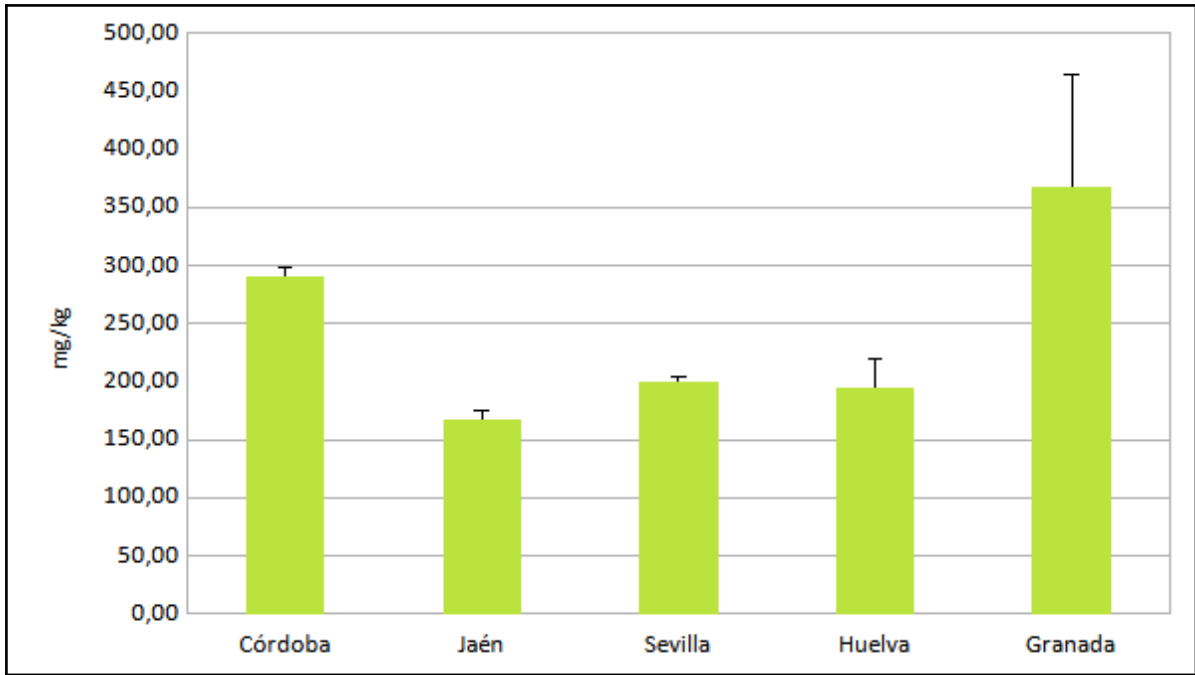


Figura 23. Contenido de potasio (mg/Kg suelo) en el suelo de las parcelas con cubierta vegetal, consideradas en todas las provincias de las que se han obtenido datos. No existen diferencias significativas en ningún caso.

En la Figura **23** se muestra la cantidad de potasio en las parcelas con cobertura vegetal de todas las provincias de las que se ha obtenido información, siendo las parcelas situadas en la provincia de Granada la que mayor cantidad presenta, seguido de Córdoba y estando el resto con un valor parecido entre ellas.

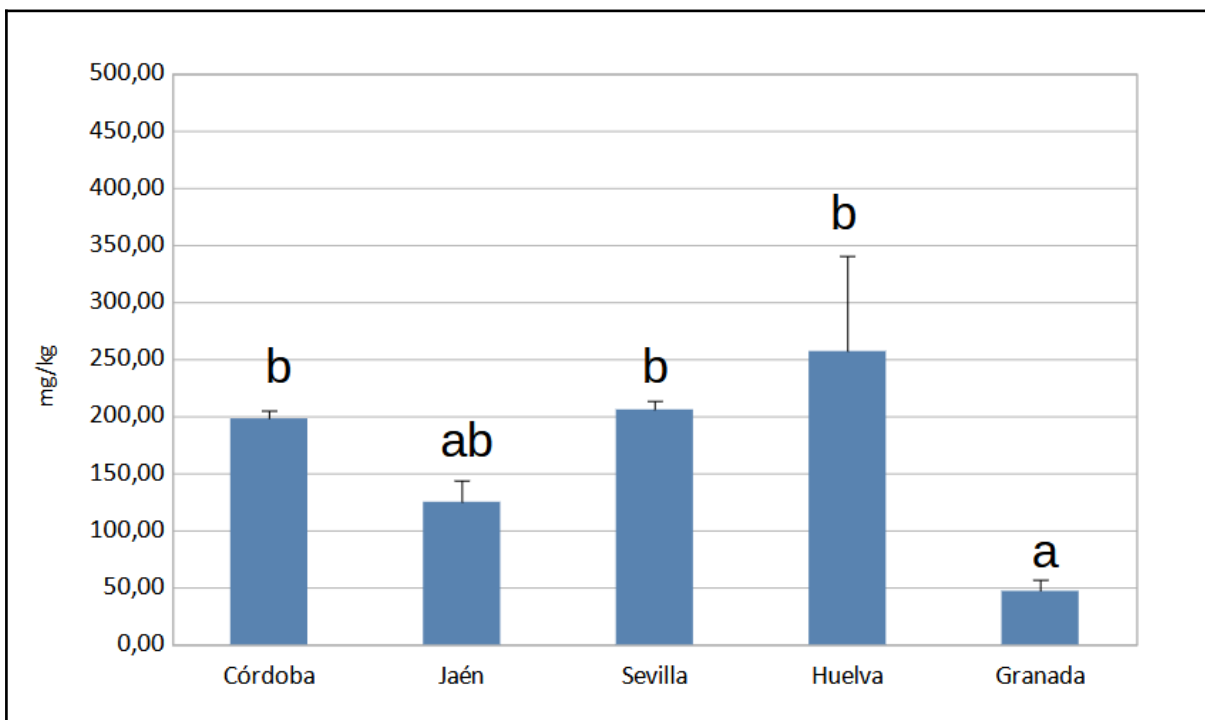


Figura 24. Contenido en K (mg/Kg suelo) en el suelo de las parcelas sin cobertura, consideradas en todas las provincias de las que se han obtenido datos. Letras diferentes indican diferencias significativas.

En el caso de las parcelas sin cubierta, el contenido en K se redujo en comparación con las parcelas que sí presentan cubierta vegetal en todas las provincias, excepto en las parcelas localizadas en la provincia de Sevilla y de Huelva. Esta reducción fue particularmente importante en las parcelas localizadas en la provincia de Granada. Además, comparando las parcelas sin cobertura entre provincias se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$), siendo las parcelas localizadas en Granada las que presentaron el nivel más bajo, seguido, con un nivel intermedio de las parcelas situadas en la provincia de Jaén y el nivel más alto para las parcelas localizadas en las provincias de Córdoba, Sevilla y Huelva.

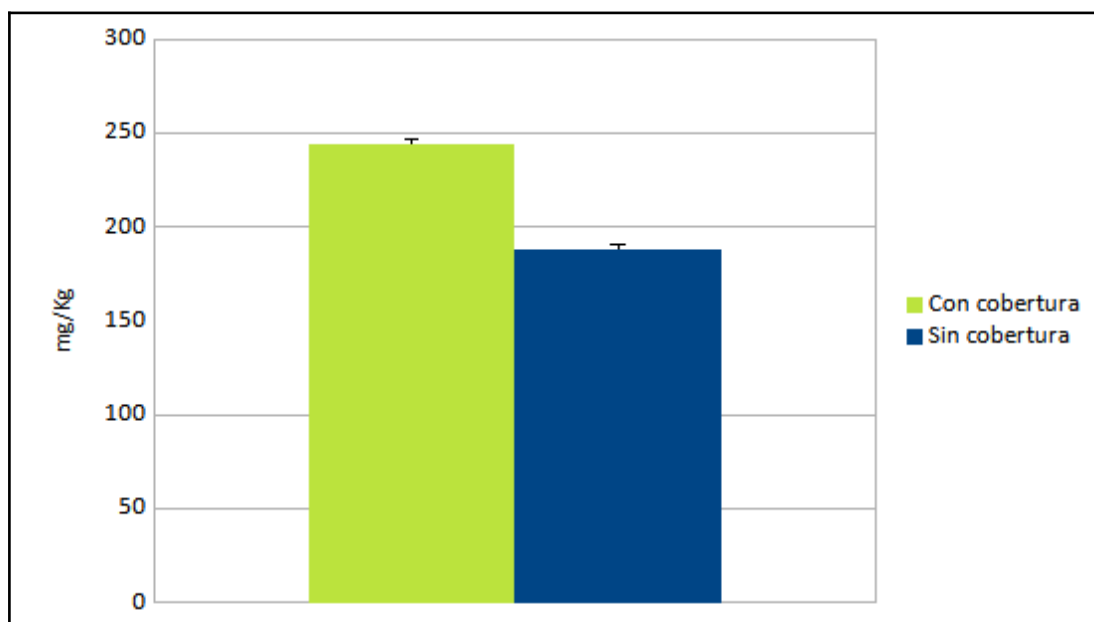


Figura 25. Promedio, considerando todas las provincias, de la cantidad de K en el suelo (mg/Kg suelo), comparando parcelas sin cubierta vegetal y con cubierta vegetal. No se encontraron diferencias significativas entre ambos casos.

Cuando se promediaron los datos de todas las provincias para las parcelas con cubierta y sin cubierta (Figura 25), se observó un contenido mayor en las parcelas con cobertura, aunque la diferencia no fue significativa.

Los niveles normales del potasio, de acuerdo con García (2010), varían en función de la textura del suelo, pero bajo estos niveles podemos decir que en el caso de la cubierta vegetal nos encontramos dentro de un rango entre medio y alto contenido de potasio, mientras que en el caso de las parcelas sin cobertura nos

encontramos en una situación de mayor disparidad variando entre niveles muy bajos y altos. El potasio es un nutriente esencial para el crecimiento del olivo estando implicado en varios procesos como la regulación del equilibrio hídrico, en la activación de enzimas y reacciones metabólicas, y resultando en una mejora en la calidad del fruto y a la resistencia frente al estrés (Maraver, 2016).

4.4.4 Contenido en materia orgánica del suelo

La siguiente variable es la materia orgánica y es muy importante porque define la calidad de los suelos a la hora de cultivar por su labor en la mejora de la estructura de suelo, en la retención de agua y en la actividad microbiana, responsable de la mineralización de nutrientes.

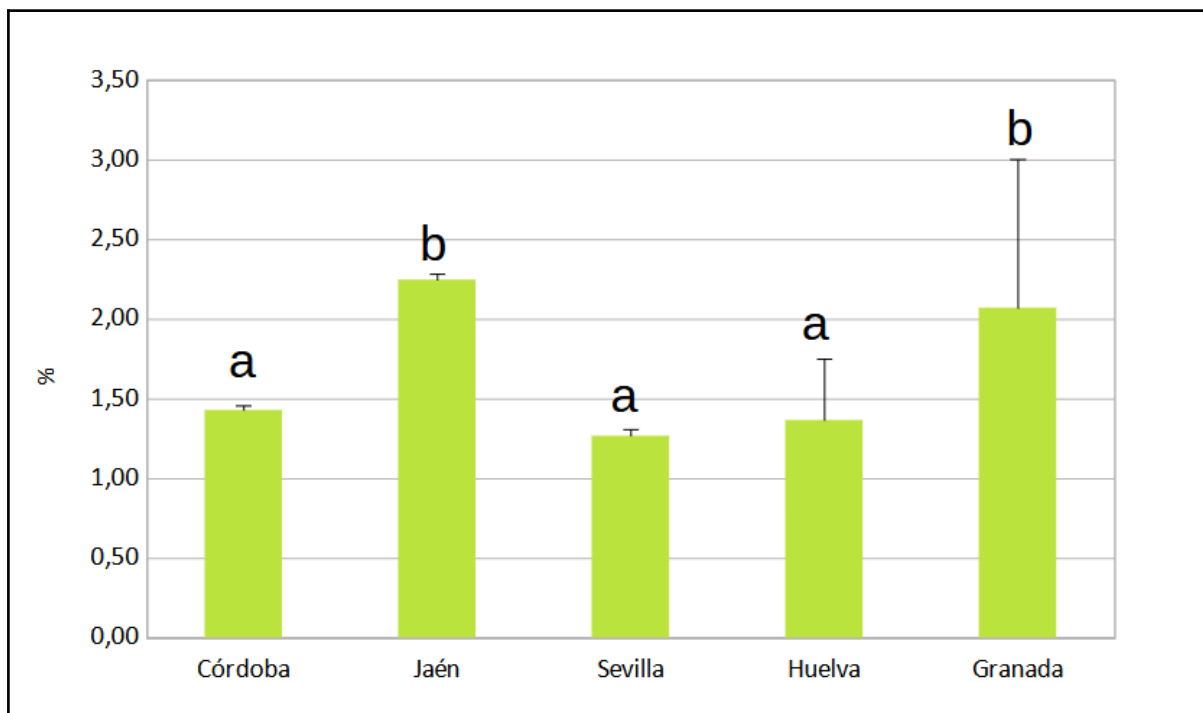


Figura 26. Porcentaje de materia orgánica en el suelo de las parcelas con cubierta vegetal, consideradas en todas las provincias de las que se han obtenido datos. Letras distintas indican diferencias significativas.

En la Figura **26** se muestra el porcentaje de materia orgánica en las parcelas con cobertura vegetal, en las que se distinguen dos grupos que muestran diferencias significativas ($p < 0.05$), en el nivel más bajo Córdoba, Sevilla y Huelva, y en el nivel más alto Jaén y Granada.

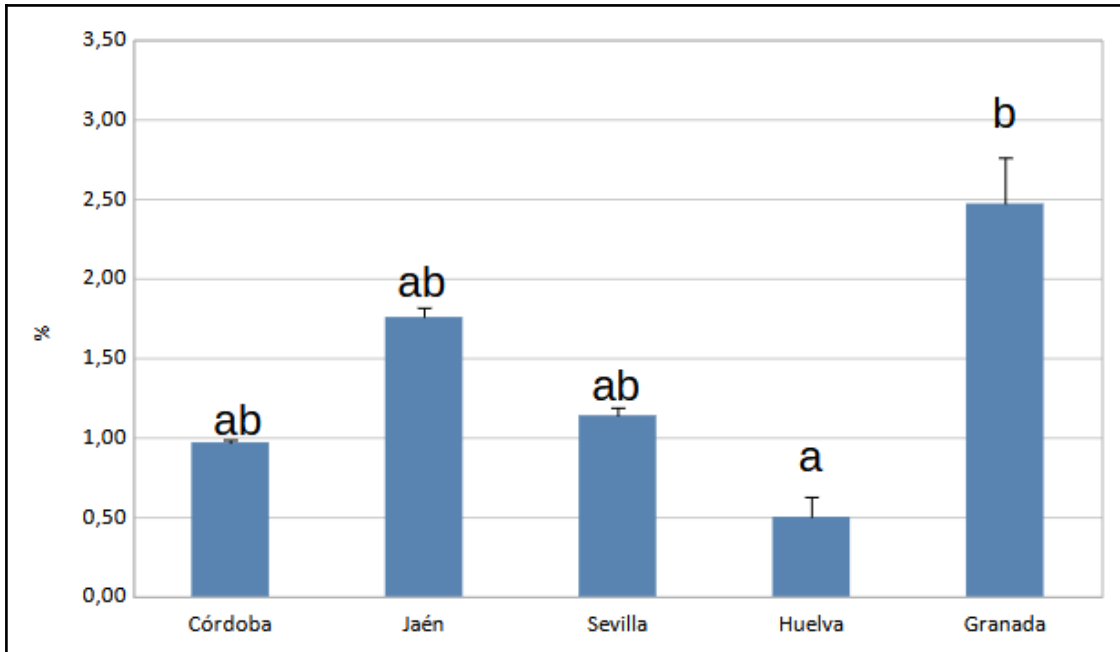


Figura 27. Porcentaje de materia orgánica en el suelo de las parcelas sin cobertura, consideradas en todas las provincias de las que se han obtenido datos. Letras diferentes indican diferencias significativas.

Cuando se considera el porcentaje de materia orgánica en parcelas sin cobertura vegetal (Figura 27) se distinguen tres grupos de parcelas que muestran diferencias significativas ($p < 0.05$), con los valores más bajos en parcelas en la provincia de en Huelva, seguido por un nivel intermedio en parcelas en Córdoba, Jaén y Sevilla, y, finalmente, los valores más altos en las parcelas localizadas en Granada.

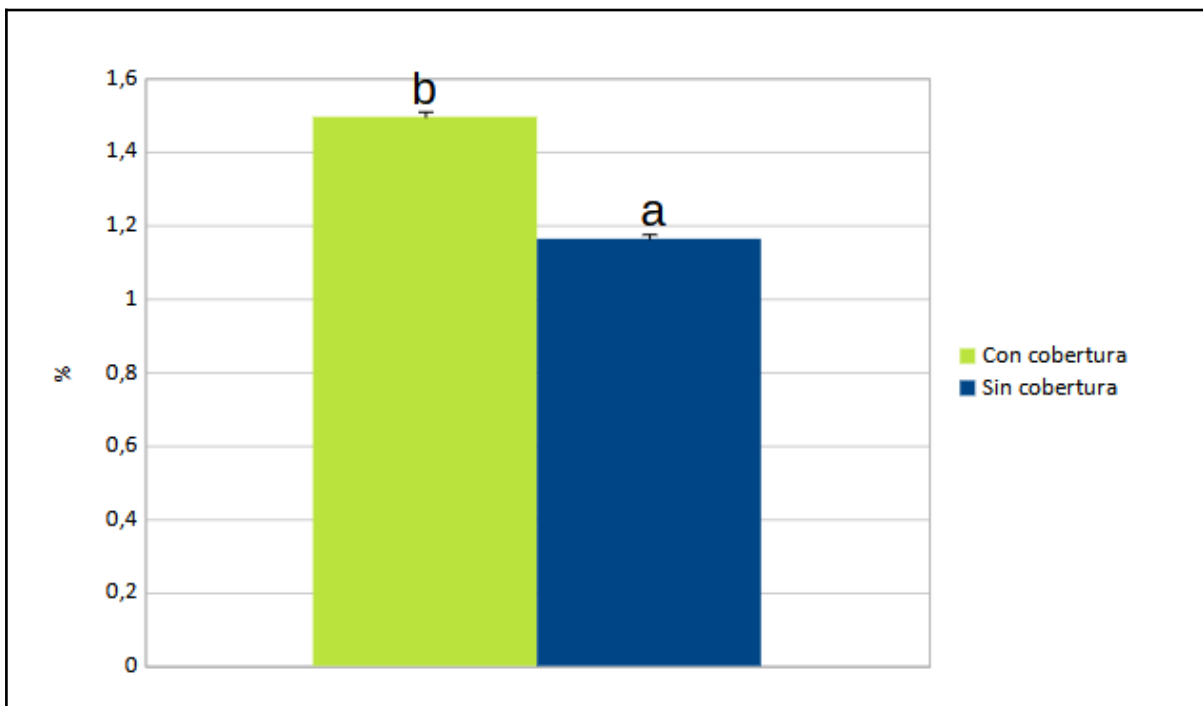


Figura 28. Promedio, considerando todas las provincias, del porcentaje de materia orgánica en el suelo, comparando parcelas sin cubierta vegetal y con cubierta vegetal. Letras distintas indican diferencias significativas.

Los resultados de promediar los valores del porcentaje de materia orgánica de todas las provincias (Figura 28) muestran una apreciable diferencia, significativa, entre parcelas con y sin cubierta vegetal ($p < 0.05$), con valores en las parcelas con cubierta de aproximadamente 1.5 veces los hallados en las parcelas sin cubierta.

El óptimo para el contenido en materia orgánica de los suelos, obtenidos de García (2010), depende del uso de riego y de la textura del suelo. Teniendo esto en cuenta, podemos decir que en el caso de las parcelas sin cobertura no se alcanza el óptimo en casi ninguna circunstancia, mientras que en las parcelas con cobertura vegetal sí que se alcanza el óptimo en casi todos los casos o se acercan más que las parcelas sin cobertura. La materia orgánica desempeña un papel crucial en el desarrollo y funcionamiento saludable del olivo. El olivo utiliza la materia orgánica en varias formas como, por ejemplo, mejorando la estructura del suelo, aumentando su fertilidad, estimulando la actividad microbiológica y promocionando la salud del suelo (AGROBETA, 2013).

4.4.5 Relación C/N en el suelo

La relación C/N es un importante indicador de la calidad y la potencial descomposición de la materia orgánica así como de la disponibilidad de nutrientes.

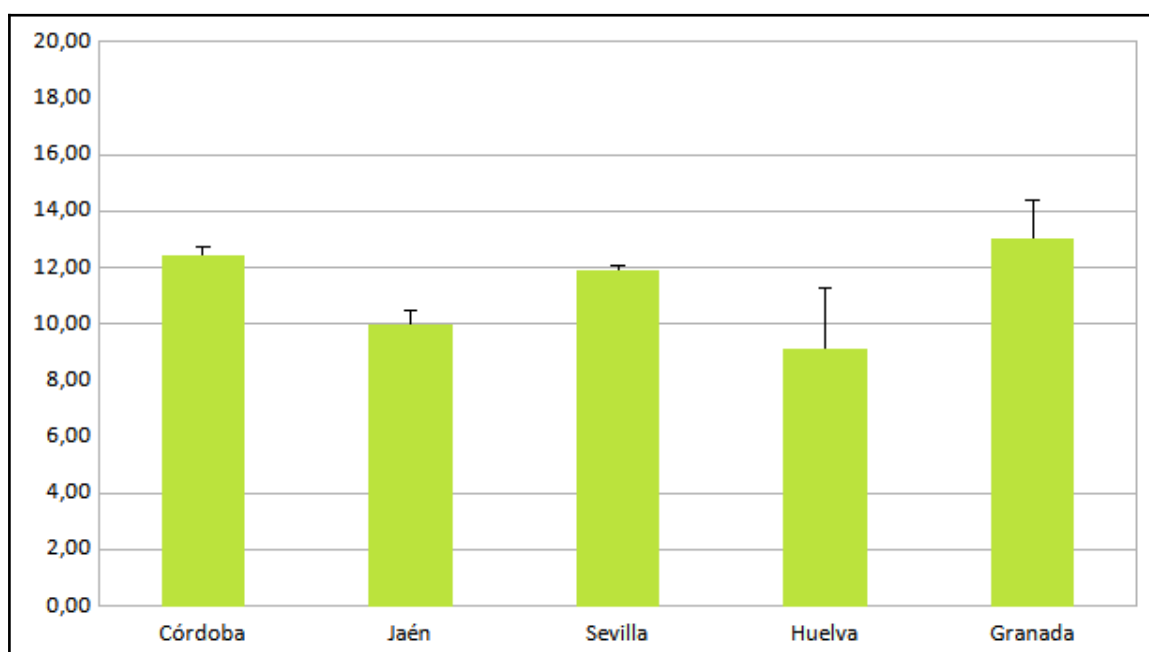


Figura 29. Relación C/N del suelo de las parcelas con cubierta vegetal, consideradas en todas las provincias de las que se han obtenido datos. No se encontraron diferencias significativas en ningún caso.

En la Figura 29 se muestra la relación C/N en las parcelas con cobertura vegetal, superando algunas provincias un valor de 12 y en ningún caso teniendo valores inferiores a 8, teniendo valores sin diferencias significativas entre todas las provincias.

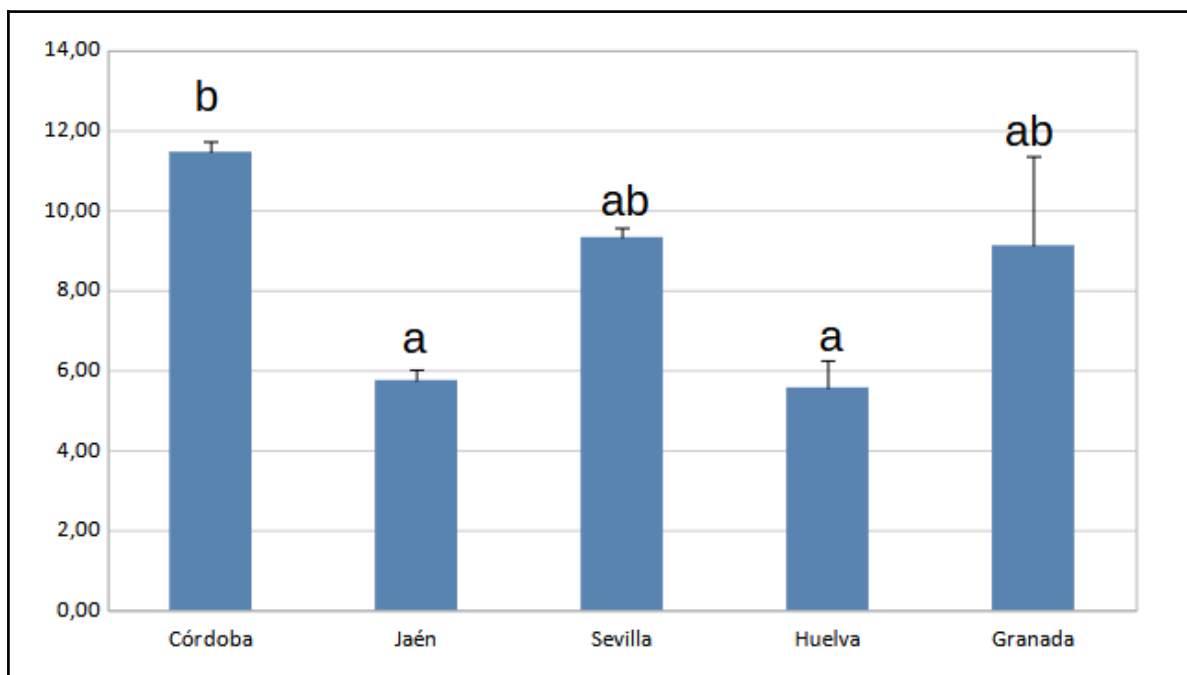


Figura 30. Porcentaje de la relación C/N del suelo de las parcelas sin cobertura, consideradas en todas las provincias de las que se han obtenido datos. Letras diferentes indican diferencias significativas.

En el caso de las parcelas sin cubierta vegetal, la relación C/N se muestra en la Figura 30, observándose tres grupos que mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$), mientras que el nivel más bajo se encuentra en Huelva y Jaén, seguido por un nivel intermedio en las parcelas situadas en las provincias de Granada y Sevilla, y en el nivel más alto Córdoba.

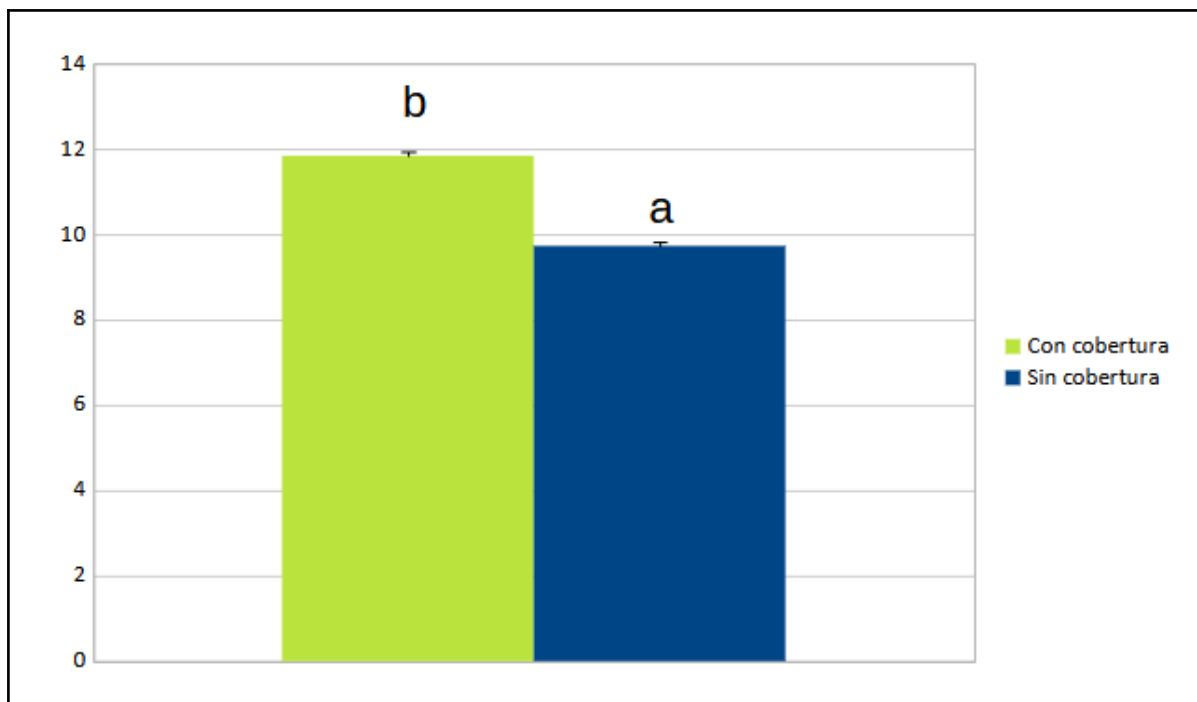


Figura 31. Promedio, considerando todas las provincias, de la relación C/N del suelo, comparando parcelas sin cubierta vegetal y con cubierta vegetal. Letras distintas indican diferencias significativas

Finalmente, cuando se calculó el promedio de la relación C/N en todas las provincias para las parcelas con y sin cubierta vegetal (Figura 31), se observó una diferencia significativa entre ambos tipos de parcelas ($p < 0.05$), siendo la parcela sin cobertura la que mostró el nivel significativamente menor de dicha relación..

El rango óptimo dentro del olivar, obtenidos de García (2010), se encuentra entre los valores 10 y 12. De esta forma podemos observar que el promedio de las parcelas con cobertura vegetal entra en este rango pero que hay provincias que lo exceden, haciendo que la liberación de nitrógeno sea escasa en algunos casos, mientras en las parcelas sin cubierta podemos ver como prácticamente en ningún caso se llega a estar dentro del rango, realizando una liberación excesiva del nitrógeno. La relación C/N tiene implicaciones muy importantes en el suelo como la disponibilidad de nutrientes, la descomposición de la materia orgánica la actividad microbiana, además de condicionar la fertilización y manejo del olivar puesto que si tiene valores demasiado altos para el olivar puede con llevar la insuficiencia en el suministro de nitrógeno y puede ser necesario el aporte de fertilizantes (García, 2010).

4.4.6 Capacidad de intercambio catiónico del suelo

Para finalizar, se consideró la capacidad de intercambio catiónico del suelo, relacionada con la capacidad que tiene el suelo de retener y suministrar nutrientes.

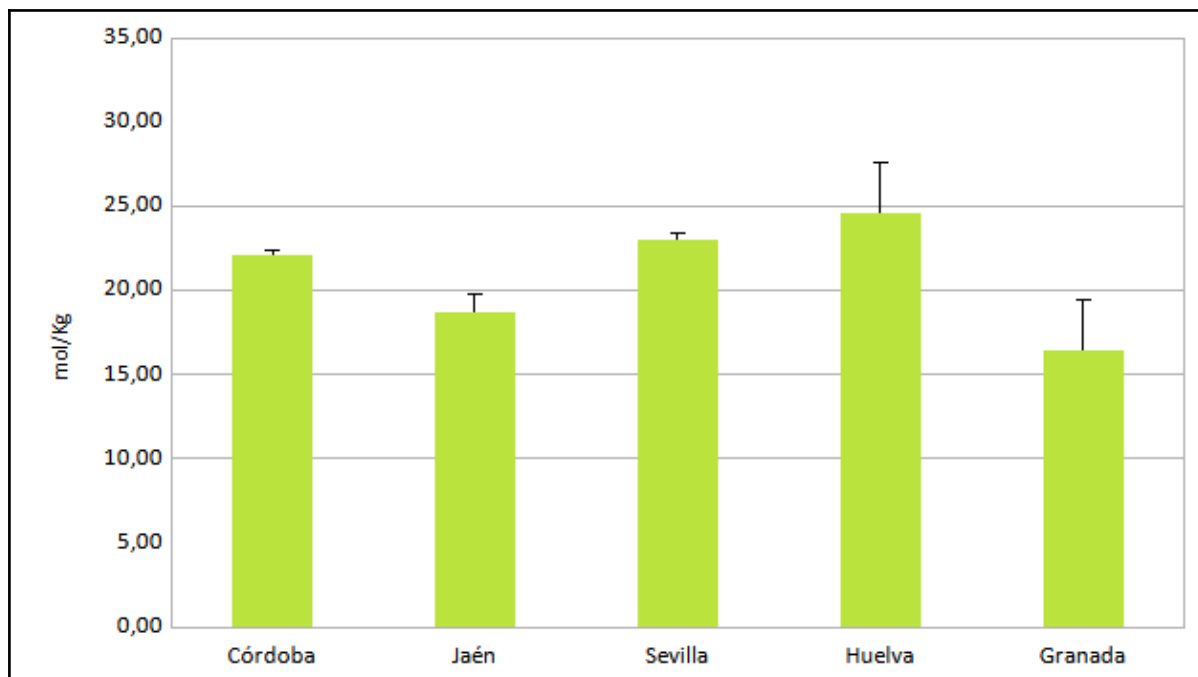


Figura 32. Capacidad de intercambio catiónico (mol/Kg) del suelo de las parcelas con cubierta vegetal, consideradas en todas las provincias de las que se han obtenido datos. No se encontraron diferencias significativas en ningún caso.

En la figura **32** se puede observar como la capacidad de intercambio catiónico (CEC, mol/kg) en las parcelas con cobertura vegetal no presentan diferencias significativas entre provincias obteniendo resultados similares pero destacando Huelva por el valor más alto y Granada por el valor más bajo.

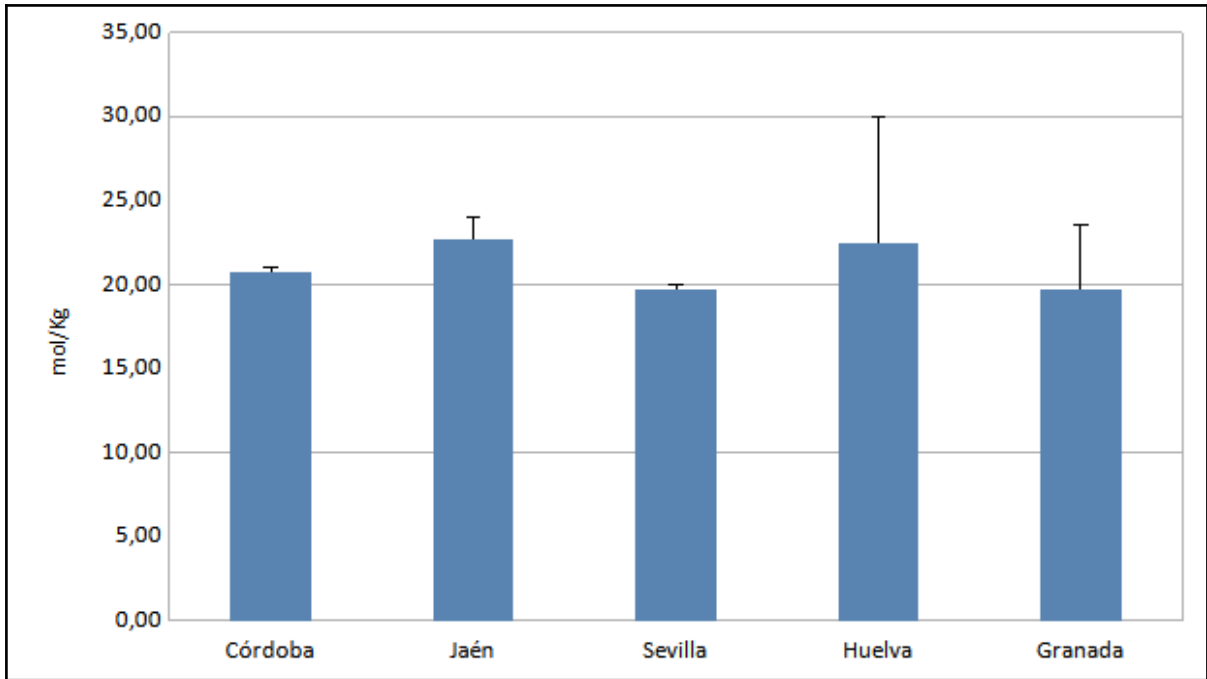


Figura 33. Capacidad de intercambio catiónico (mol/Kg) del suelo de las parcelas sin cobertura, consideradas en todas las provincias de las que se han obtenido datos. Letras diferentes indican diferencias significativas.

En la figura **33** se observa como la capacidad de intercambio catiónico (CEC) en las parcelas sin cobertura vegetal, no presentan diferencias significativas entre provincias obteniendo resultados muy similares.

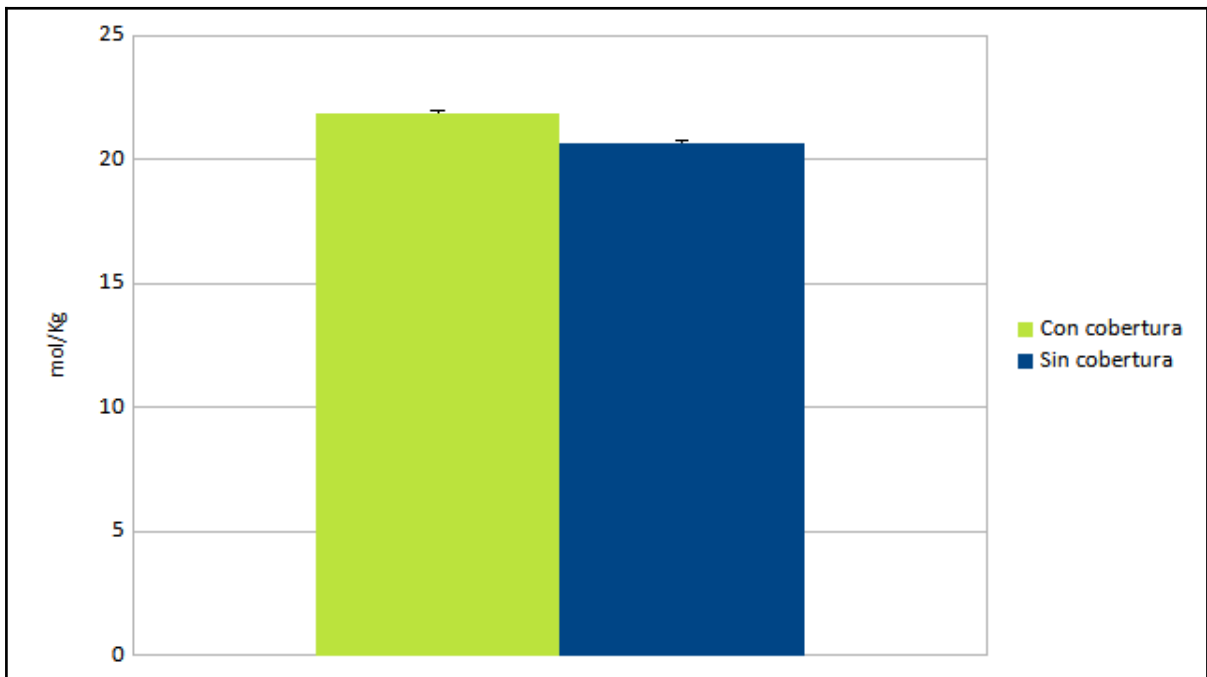


Figura 34. Promedio, considerando todas las provincias, de la capacidad de intercambio catiónico del suelo, comparando parcelas sin cubierta vegetal y con cubierta vegetal. No se encontraron diferencias significativas

En la figura **34** podemos observar la capacidad de intercambio catiónico (CEC) en las parcelas estudiadas en el que se muestra como no hay diferencias significativas entre parcelas con cobertura y parcelas sin cobertura.

Según los datos obtenidos de García (2010), tanto las parcelas con cobertura vegetal como las parcelas sin cobertura están dentro de los niveles normales, siendo estos de valor entre 12 y 25. La capacidad de intercambio catiónico (CEC) es una medida de la capacidad del suelo para retener y liberar cationes, como el calcio (Ca^{2+}) o el potasio (K^+), y otros nutrientes esenciales para las plantas. Además de esto tiene implicaciones en la estructura del suelo, retención de agua, fertilidad del suelo y en la eficacia de la fertilización, ya que un suelo con mayor CEC va a fijar mejor los nutrientes aportados en el abonado y liberarlos lentamente para las plantas (Laserna, s. f.).

4.5 **Evolución temporal**

Para las provincias de Córdoba y Sevilla, ya que son las provincias con mayor número de estudios, se han realizado los análisis mostrados en los apartados anteriores, pero considerando los distintos años en los que se produjeron estos estudios, con el objetivo de ver cómo han evolucionado con el tiempo las distintas variables.

4.5.1 Variaciones anuales de las variables climáticas

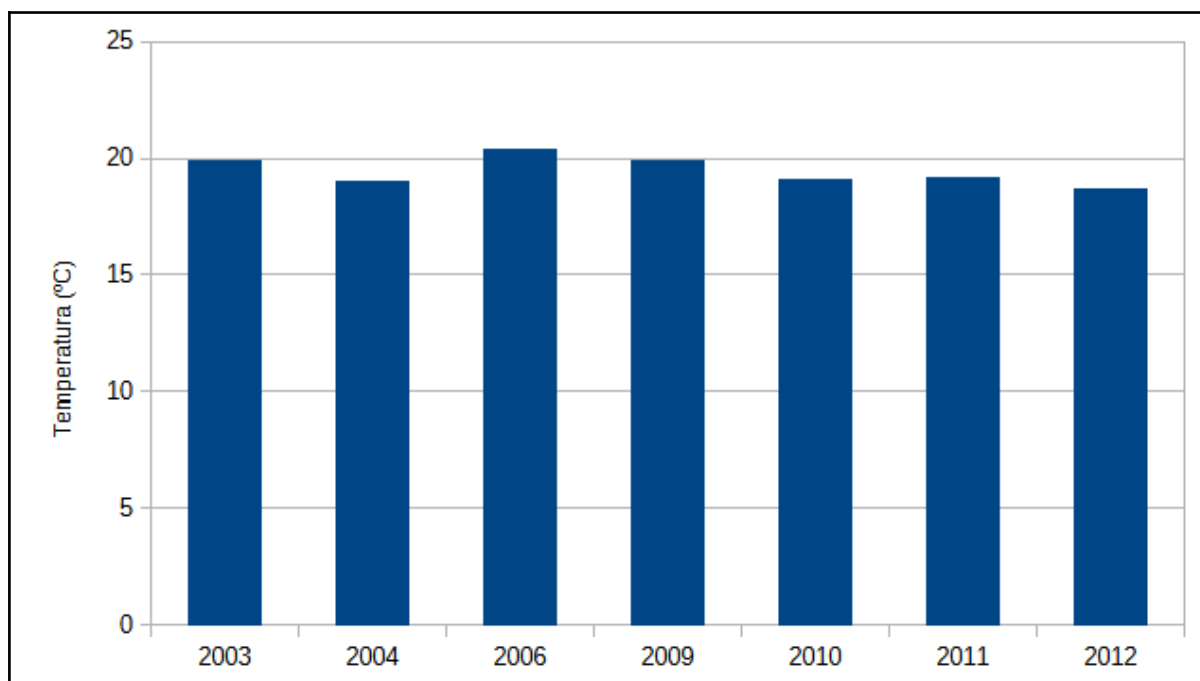


Figura 35. Temperatura anual promedio en Sevilla en el periodo 2003-2012.

En la figura **35** se representa la temperatura media anual de Sevilla en los años estudiados y como se puede observar la temperatura media anual oscila en los 20°C.

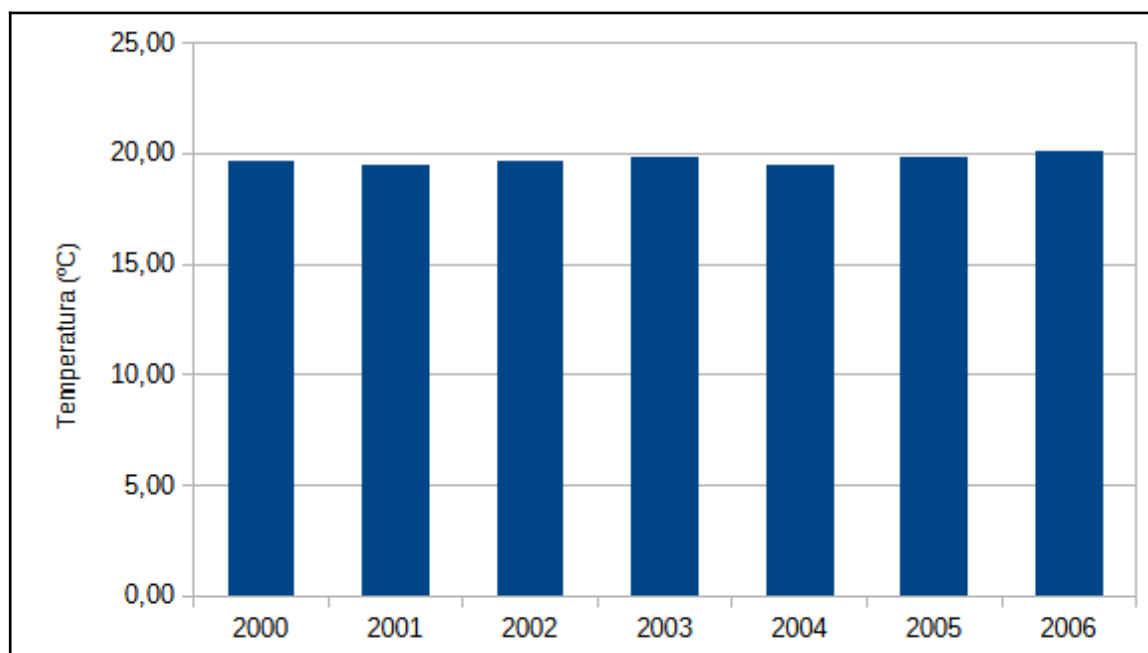


Figura N. Temperatura anual promedio en Córdoba en el periodo 2000-2006.

En la figura **36** se representa la temperatura media anual de Córdoba en los años estudiados y como se puede observar hay una leve subida hasta los 20°C.

Como se ha mencionado anteriormente (Benlloch-González, 2019), la temperatura en la que el olivo se encuentra en un estado óptimo es entre 15°C y 30°C, ambas provincias se encuentran en el rango de temperatura óptimo presentando una temperatura anual promedio estable alrededor de los 20°C durante los años estudiados.

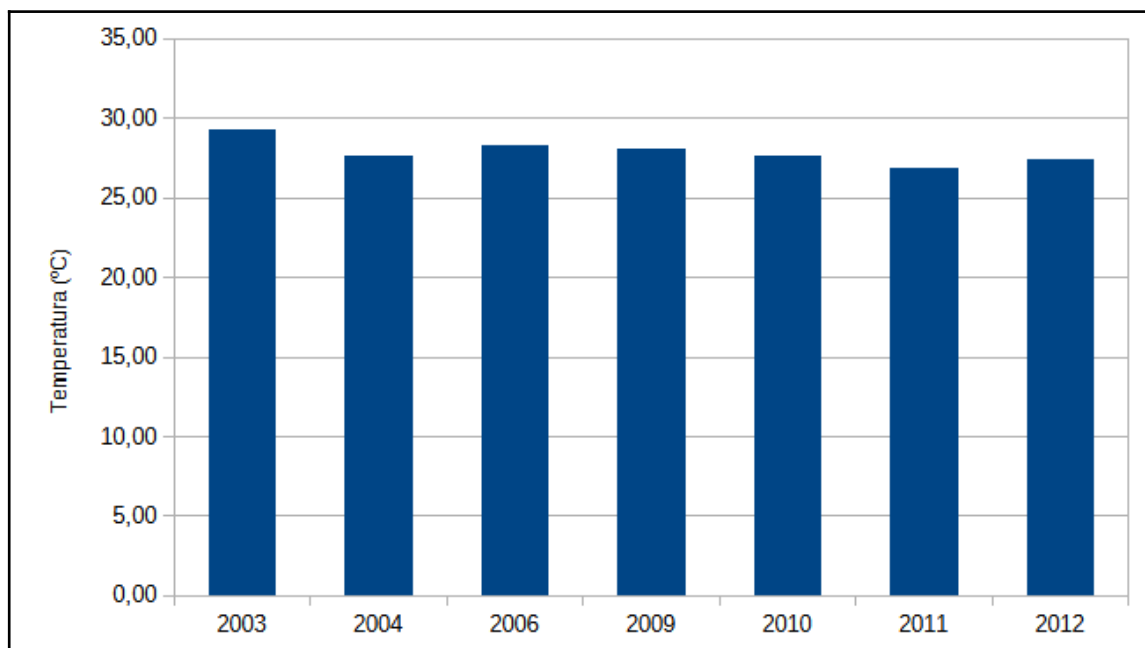


Figura 37. Temperatura promedio de verano en Sevilla en el periodo 2003-2012.

En la Figura **37** se representa la temperatura media de verano en Sevilla en estos años, observándose una ligera tendencia a la bajada de dichas temperaturas en este periodo.

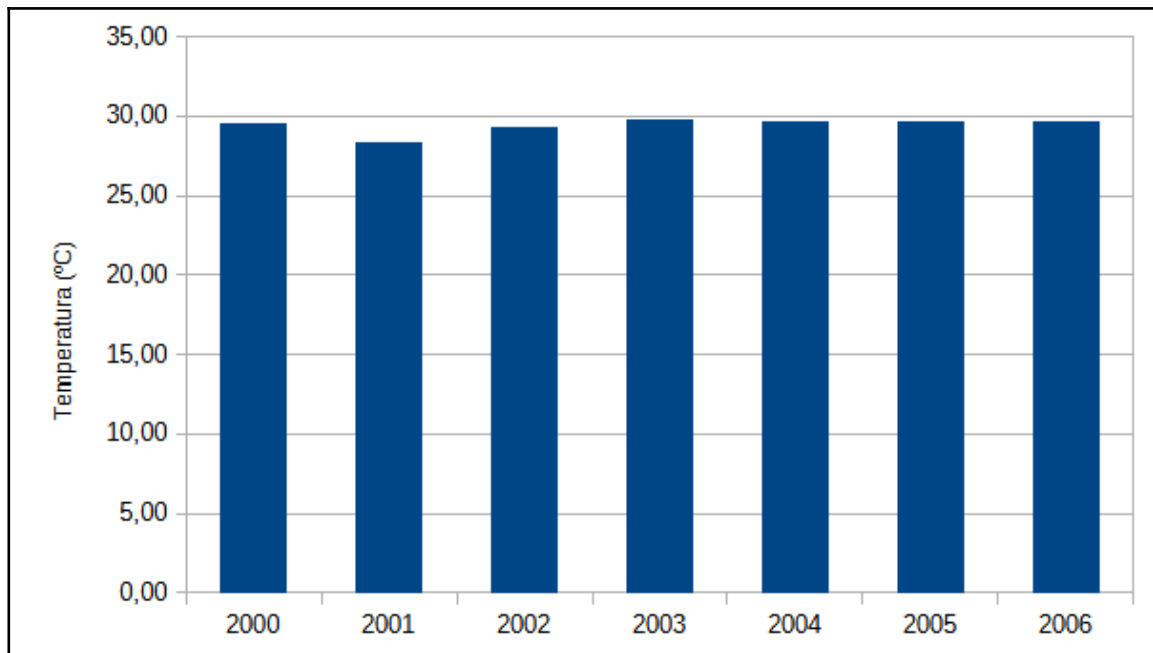


Figura 38. Temperatura promedio de verano en Córdoba en el periodo 2000-2006.

En la figura **38** se representa la temperatura media de verano en Córdoba en estos años, en la que podemos ver una tendencia estable de las temperaturas llegando a casi los 30°C de media.

Como se ha mencionado anteriormente (Benlloch-González, 2019), la temperatura óptima en verano para el olivar oscila entre 25°C y 35°C. Ambas provincias se sitúan dentro de este rango, observándose en Córdoba una mayor temperatura con tendencia creciente, mientras Sevilla tiene menos temperatura y una tendencia decreciente.

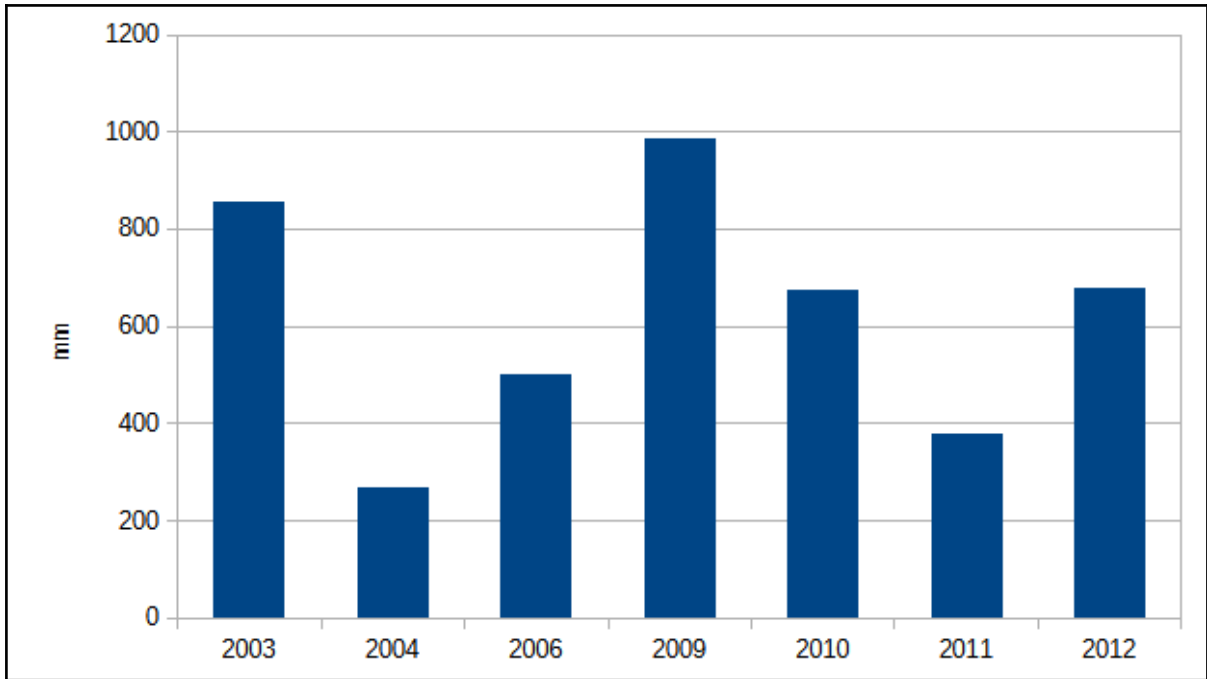


Figura 39. Precipitación anual en la provincia de Sevilla en el periodo 2003-2012.

En la figura **39** se muestra la precipitación anual en la provincia de Sevilla en los años estudiados, observándose una gran oscilación y variación en las precipitaciones, dando lugar a años de sequía en donde no llega al mínimo y otros en los que se supera el rango óptimo, aunque hay años de los que no se tiene un registro.

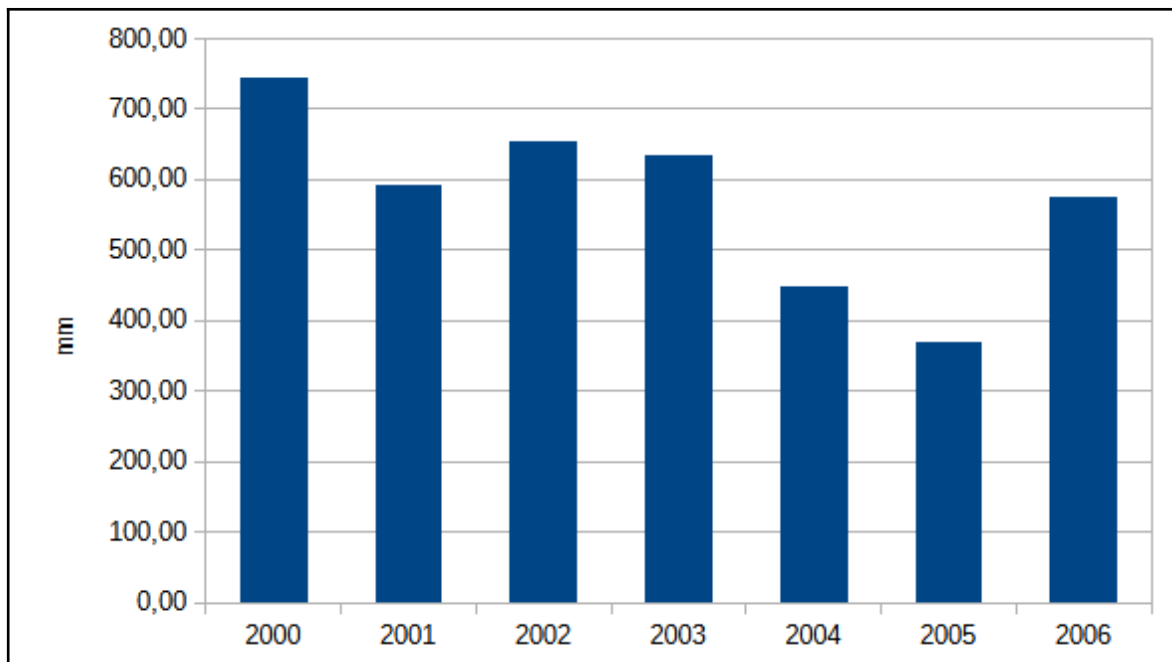


Figura 40. Precipitación anual en la provincia de Córdoba en el periodo 2000-2006.

En la figura 40 se muestra la precipitación anual de Córdoba en los años estudiados, en lo que podemos ver un descenso de las precipitaciones con el tiempo llegando incluso a bajar por debajo del límite óptimo del olivar.

Como se ha mencionado anteriormente (Benlloch-González, 2019), las precipitaciones anuales óptimas para el olivar se encuentran entre los 500 y 800 mm y aunque ambas provincias se mantienen en este rango, en Sevilla se mantienen los valores pero con oscilaciones entre años con mayor sequía y otros más lluviosos, mientras que en la provincia de Córdoba se mantienen los valores dentro del rango pero con una tendencia decreciente y con posibilidad de salir del rango óptimo. Esto puede derivar en problemas, como por ejemplo un aumento de la vecería en el caso de Sevilla, o en el caso de para Córdoba puede provocar pérdidas en el rendimiento de la producción que llevarían a un mayor uso de los recursos hídricos en las zonas que tengan dicha posibilidad, para intentar mantener la producción, desembocando en problemas de salinidad en el olivar y de reducción del abastecimiento de aguas si la sequía es prolongada.

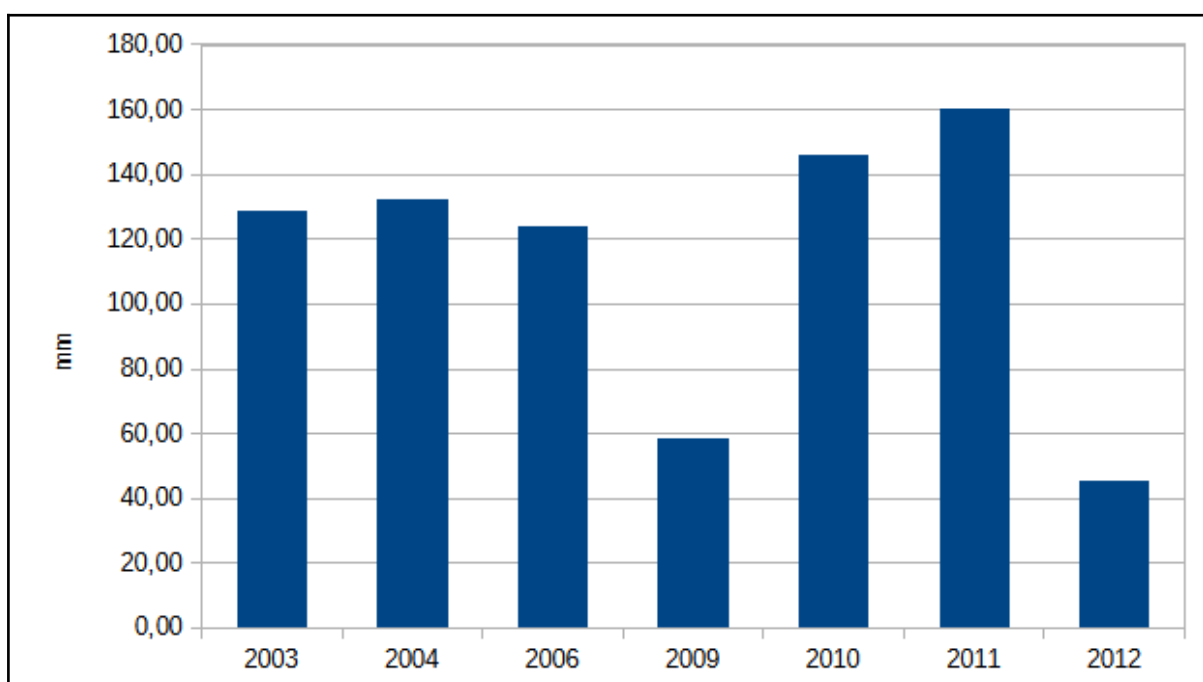


Figura 41. Precipitación acumulada de primavera en la provincia de Sevilla en el periodo 2003-2012.

En la figura 41 se puede observar la precipitación media de primavera de Sevilla durante los años estudiados, en los que la mayoría de los años están dentro del rango óptimo para primavera.

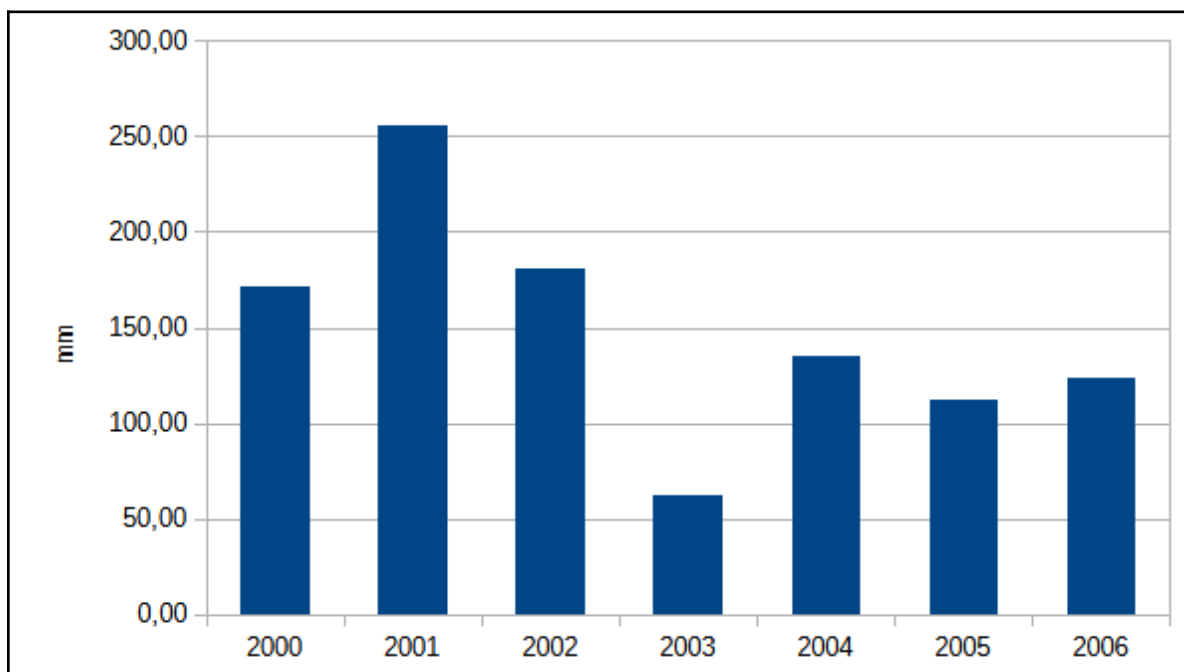


Figura 42. Precipitación acumulada de primavera en la provincia de Córdoba en el periodo 2000-2006.

En la figura **42** se puede observar la precipitación media de primavera de Córdoba durante los años estudiados, en los que la mayoría de los años están dentro del rango óptimo para primavera.

Como se ha mencionado anteriormente en (Benlloch-González, 2019), la precipitación media de primavera se considera que tiene un rango óptimo cuando se encuentra entre los 100 y 200 mm, en ambas provincias se ha llegado en ocasiones al límite óptimo pero la mayoría de los años no se ha alcanzado, por lo que puede ocasionar problemas en polinización y formación de fruto que puede conllevar a una baja producción.

Aparte del clima, se han analizado los datos de uso de riego, herbicidas y arado en estas provincias para ver cómo se ha desarrollado con el tiempo estas prácticas, diferenciando si se realizan en parcelas con cubierta vegetal o en parcelas sin cubierta. Es importante evaluar el uso de estas prácticas porque, como hemos visto anteriormente, todas tienen sus beneficios y sus problemáticas y mientras que benefician la producción de aceituna, algunas de ellas pueden conllevar serios problemas medioambientales si no se tiene un uso controlado.

4.5.2 Variaciones anuales de frecuencia de uso de herbicidas

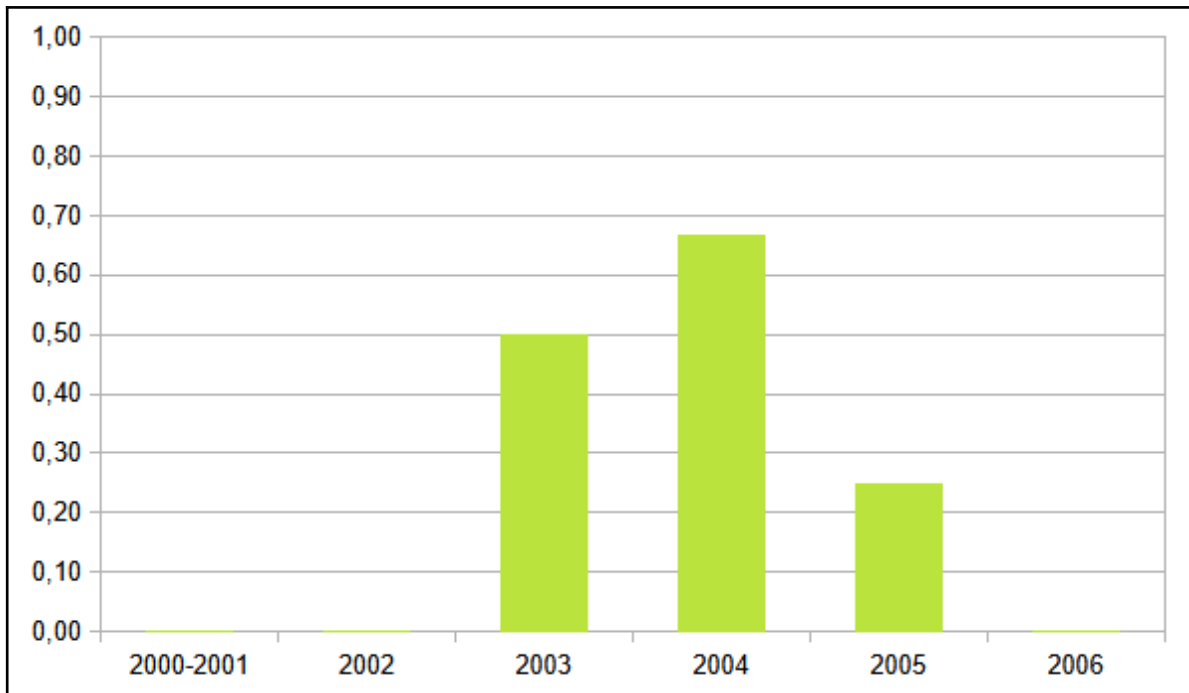


Figura 43. Frecuencia de uso de herbicidas en parcelas con cobertura en la provincia de Córdoba en el periodo 2000-2006.

En la figura **43** podemos ver el uso de herbicidas en las parcelas con cubierta vegetal de Córdoba en los años estudiados, en los que apenas se ha dado uso, excepto en el periodo 2003-2005, superándose el 50% en el año 2004.

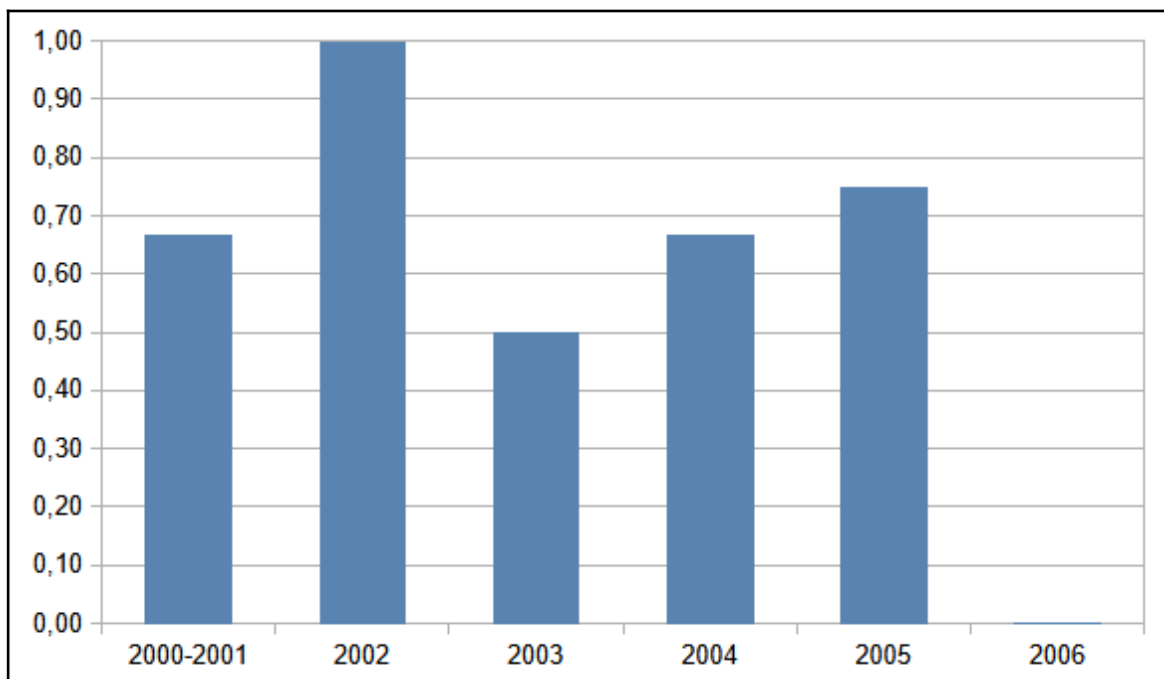


Figura 44. Frecuencia de uso de herbicidas en parcelas sin cobertura en la provincia de Córdoba en el periodo 2000-2006.

Sin embargo, en las parcelas sin cobertura vegetal de la provincia de Córdoba, la frecuencia de uso de herbicidas ha superado el 50% en prácticamente todos los años, excepto 2006. Es decir, hay un uso mayoritario de herbicidas en las parcelas sin cobertura de Córdoba a lo largo del periodo analizado.

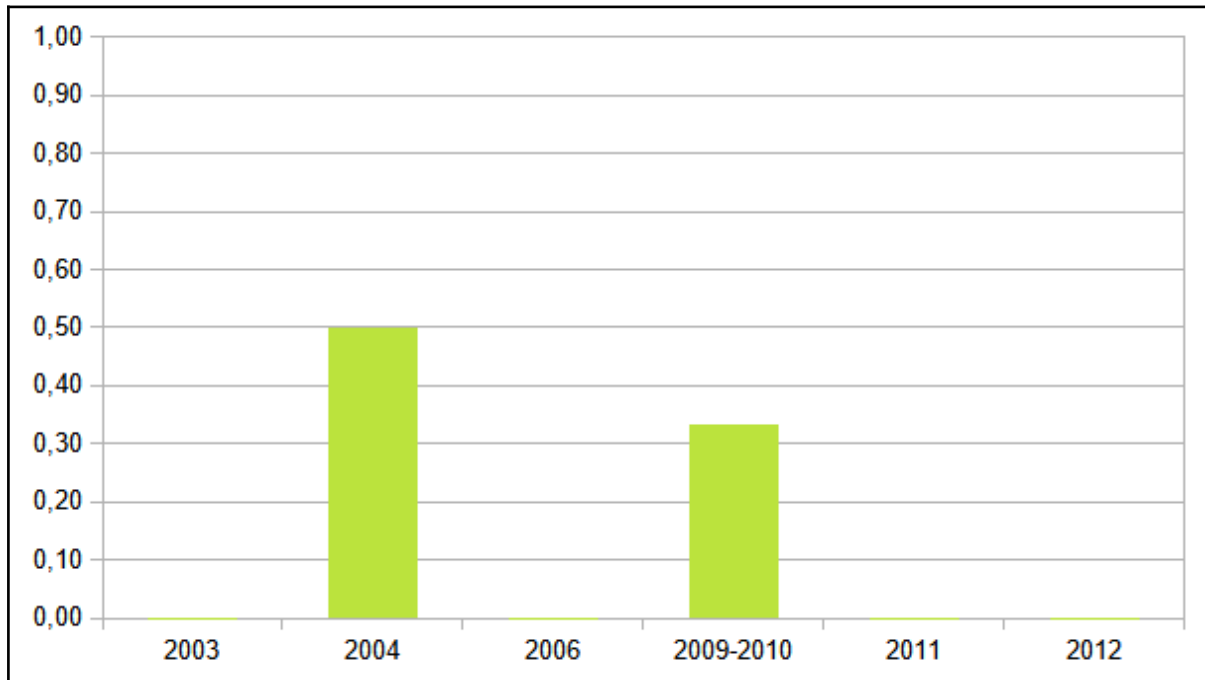


Figura 45. Frecuencia de uso de herbicidas en parcelas sin cobertura en la provincia de Córdoba en el periodo 2000-2006.

En la figura **45** podemos ver el uso de herbicidas en las parcelas con cubierta vegetal de Sevilla en los años estudiados, en los que apenas tienen uso salvo en el año 2004 que llega al 50%.

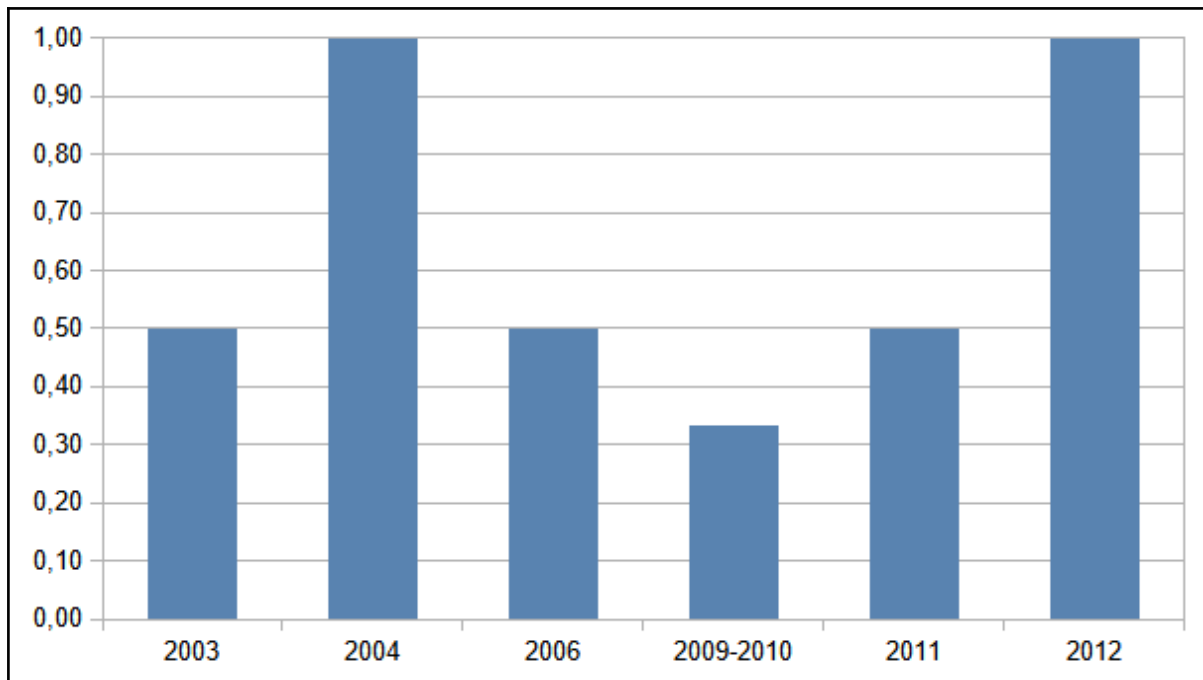


Figura 46. Frecuencia de uso de herbicidas en parcelas sin cobertura en la provincia de Sevilla en el periodo 2003-2012.

En la Figura **46** podemos ver el uso de herbicidas en las parcelas con cubierta vegetal de Sevilla en los años estudiados, en los que la mayoría de años llega o supera el 50% salvo uno en 2009-2010.

Como hemos podido observar en las Figuras 45 y 46, el uso de herbicidas en las parcelas sin cubierta de la provincia de Sevilla es mayoritario, mientras que para las parcelas con cubierta apenas se utiliza.

En ambas provincias se puede ver el mismo patrón en el que las parcelas sin cobertura tienen un uso elevado de herbicidas, mientras que en las parcelas con cobertura apenas tienen uso, Esto se debe a una estrategia de conservación y salud del suelo que se desarrollan alrededor de las cubiertas vegetales que limita o niega el uso de herbicidas y priorizando otras prácticas, como el desbrozado, para el control de la vegetación.

4.5.3 Variaciones anuales de frecuencia de uso de arado

En el caso del uso de la frecuencia del arado en parcelas con cobertura vegetal, su frecuencia es cero, ya que se emplean otras técnicas de control de la vegetación. Esto se aplica a ambas provincias.

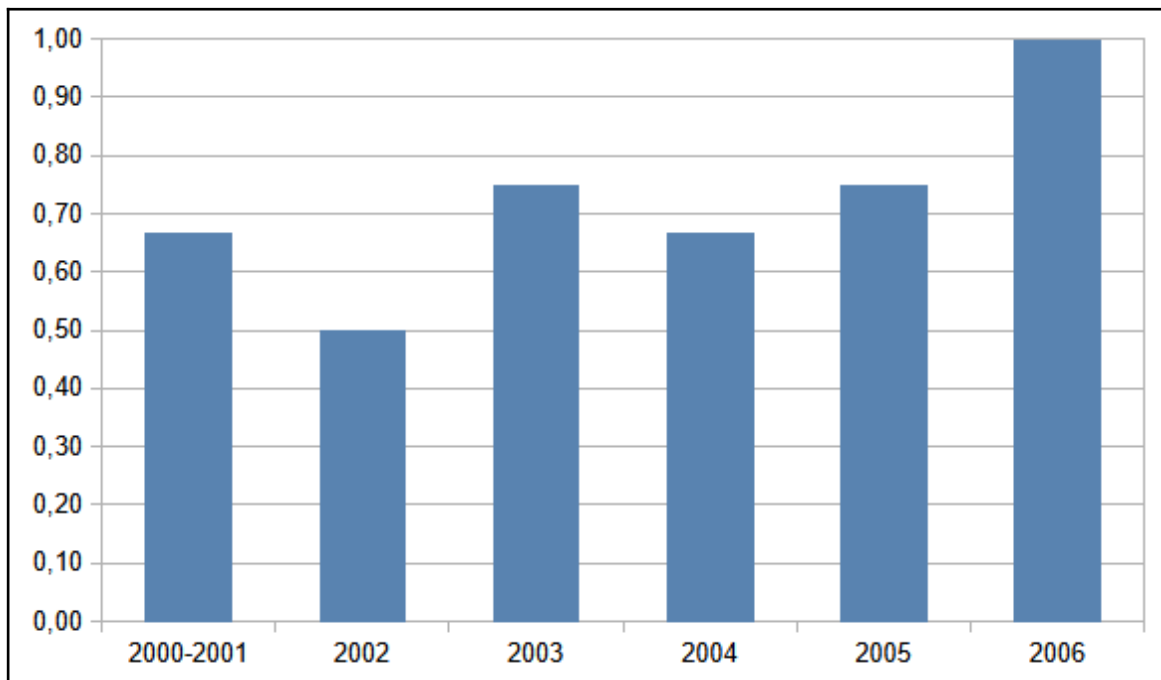


Figura 47. Frecuencia de uso de arado en parcelas sin cobertura en la provincia de Córdoba en el periodo 2000-2006.

En la figura **47** se ve la frecuencia de uso de arado en parcelas sin cobertura de Córdoba, en el que se muestra que el uso ha ido en aumento a lo largo del periodo estudiado.

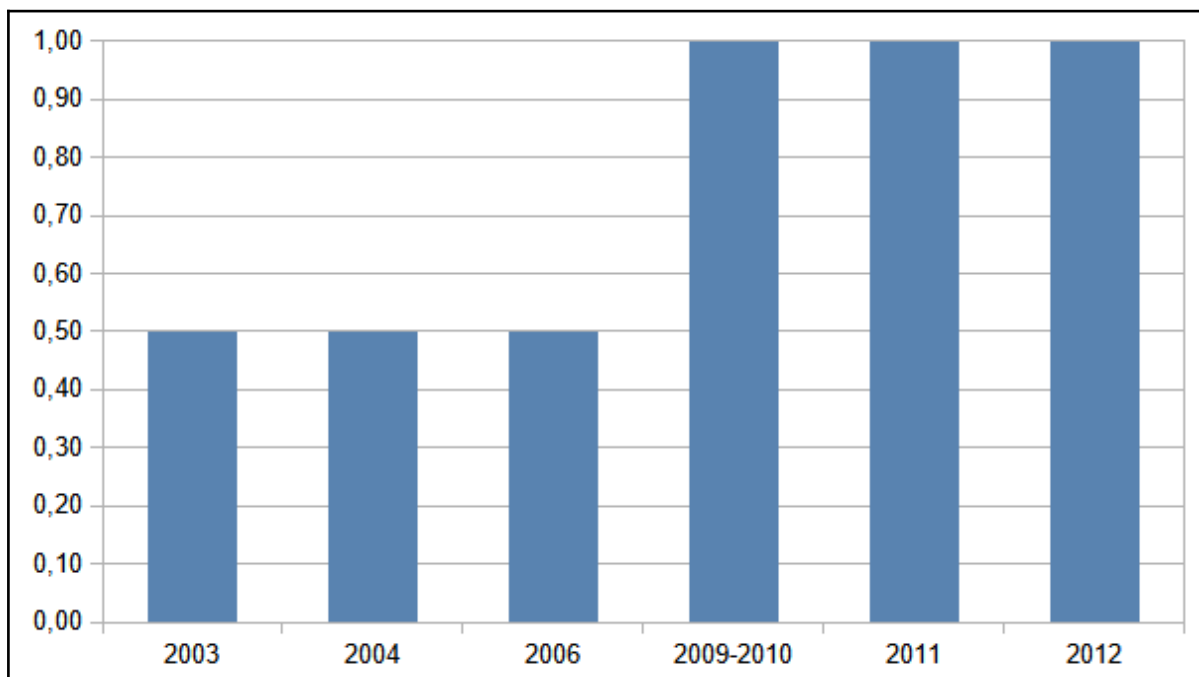


Figura 48. Frecuencia de uso de arado en parcelas sin cobertura en la provincia de Sevilla en el periodo 2003-2012.

En la figura **48** se ve la frecuencia de uso de arado en parcelas sin cobertura de Sevilla, en el que el uso del arado aumenta durante el periodo estudiado.

En ambas provincias se ha mostrado el aumento del uso durante el tiempo estudiado, debido a que la continua degradación del suelo demanda una utilización de medidas cada vez más drásticas para seguir manteniendo el suelo libre de plantas.

Como hemos mencionado anteriormente hay una diferencia crucial entre la metodología aplicada a las parcelas con cobertura y las parcelas sin cobertura. Mientras las parcelas sin cobertura se centran en el rendimiento del olivo realizando prácticas como el arado, que eliminan a cualquier planta que pueda competir por nutrientes o recursos hídricos, las parcelas con cobertura siguen un principio de conservación del suelo, tanto así que las parcelas con cobertura no utilizan el arado en ningún caso, debido a que la redistribución del suelo durante las prácticas de laboreo ha sido identificada como un intenso proceso de degradación del suelo (erosión mecánica o erosión por laboreo), que debe ser considerado a la hora de evaluar el impacto de la erosión del suelo (De Alba, 2011).

4.5.4 Variaciones anuales de frecuencia de uso del riego

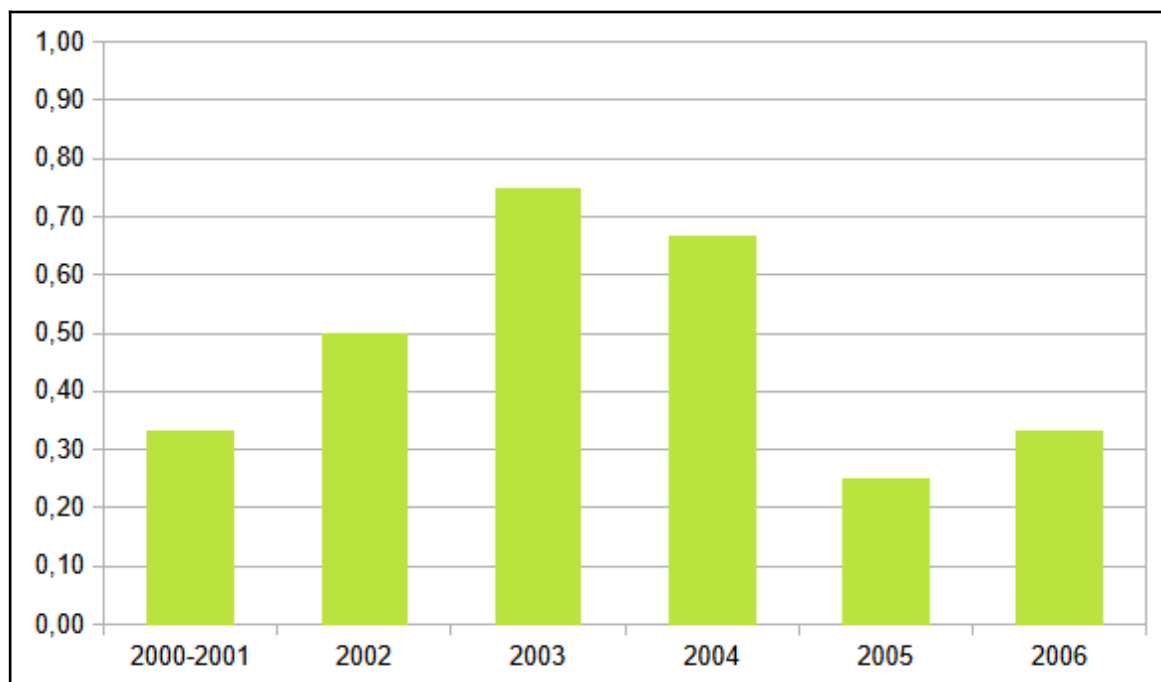


Figura 49. Frecuencia de uso de riego en parcelas con cobertura en la provincia de Córdoba en el periodo 2000-2006.

En la Figura **49** se ve la frecuencia de uso de riego en parcelas con cobertura de Córdoba, en la que se puede observar una oscilación a lo largo del periodo estudiado.

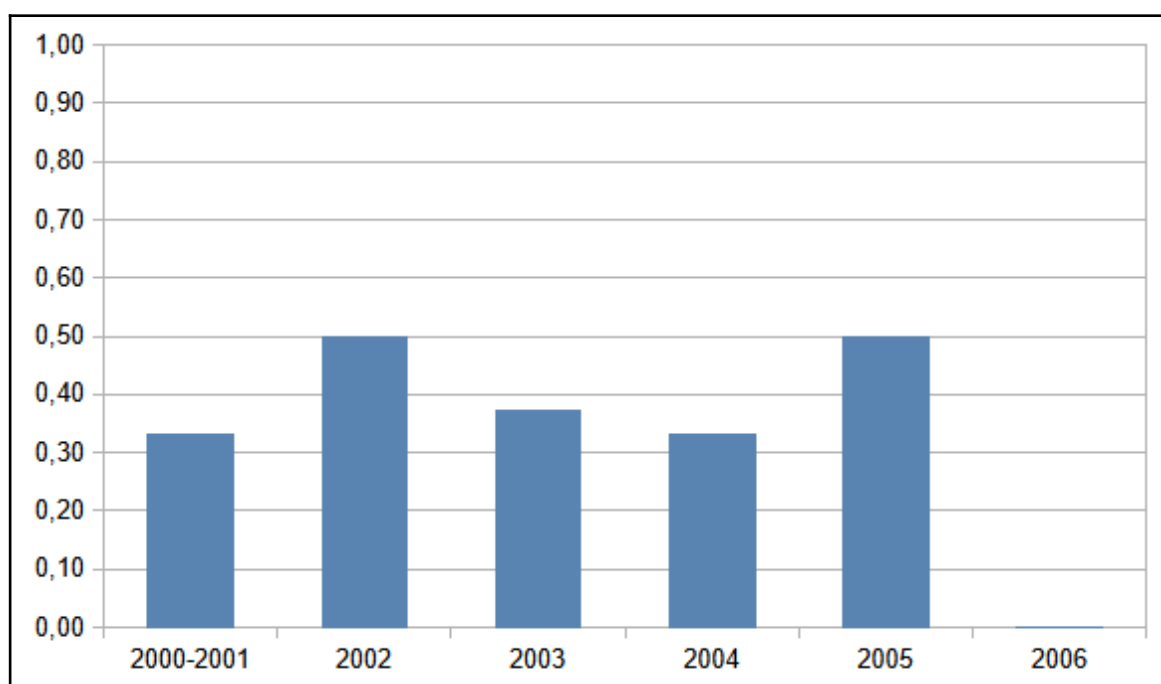


Figura 50. Frecuencia de uso de riego en parcelas sin cobertura en la provincia de Córdoba en el periodo 2000-2006.

En la figura **50** se ve la frecuencia de uso de riego en parcelas sin cobertura de Córdoba, en la que observamos una oscilación a lo largo del tiempo estudiado hasta el último año, en el cual en las explotaciones estudiadas en ningún caso se llegó a utilizar el riego.

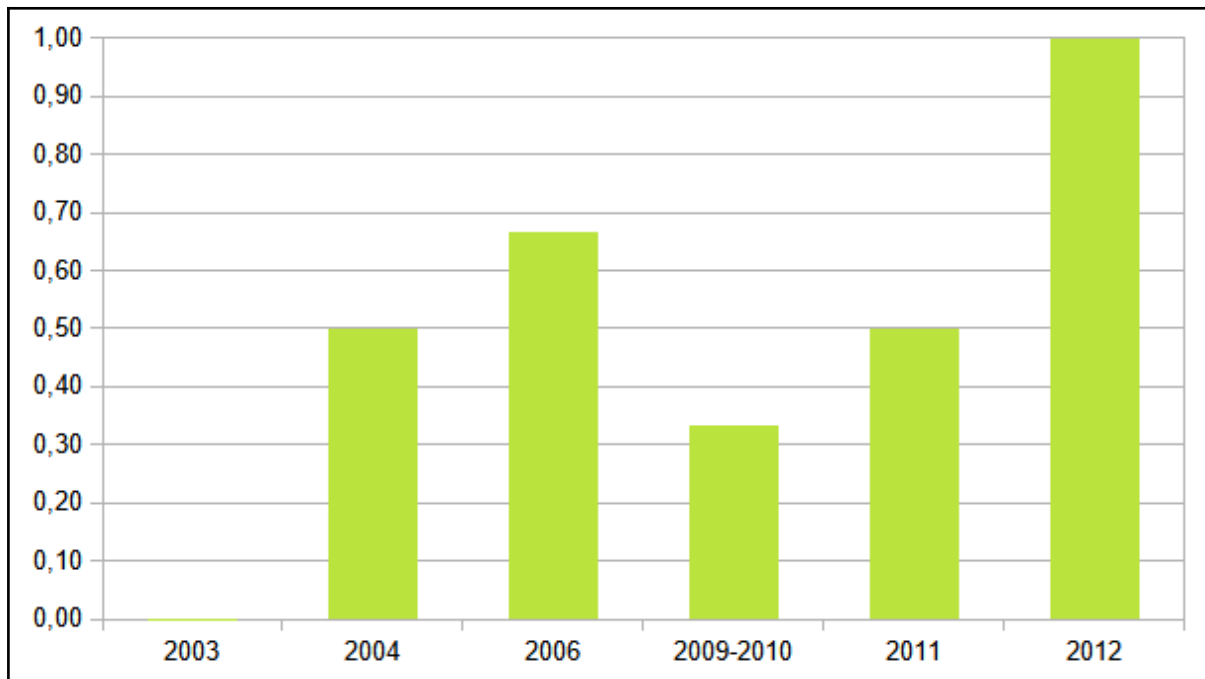


Figura 51. Frecuencia de uso de riego en parcelas con cobertura en la provincia de Sevilla en el periodo 2003-2012.

En la figura **51** se ve la frecuencia de uso de riego en parcelas con cobertura de Sevilla, en el que se puede observar un aumento del uso de riego dentro de las explotaciones estudiadas en el periodo de tiempo considerado.

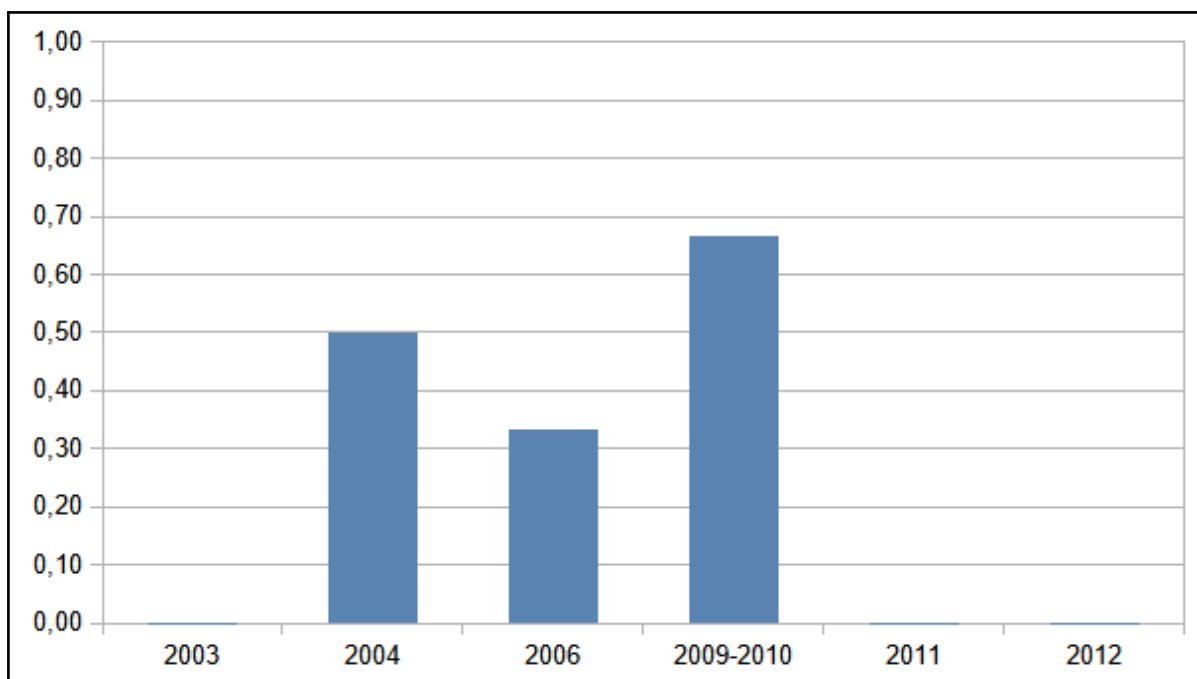


Figura 52. Frecuencia de uso de riego en parcelas sin cobertura en la provincia de Sevilla en el periodo 2003-2012.

En la Figura 52 se ve la frecuencia de uso de riego en parcelas sin cobertura de Sevilla, en el que podemos observar un uso muy inestable del riego durante el periodo estudiado.

Como hemos visto en las anteriores figuras sobre la frecuencia del uso del riego el uso es bastante dispar no solo entre provincias y diferentes sistemas de producción sino de un año a otro. Esto es debido a un conjunto de varios factores tales como, la accesibilidad del agua, la pluviometría anual y los posibles cambios en las normativas reguladoras.

4.5.5 Variaciones anuales en la pérdida de suelo

El siguiente paso a analizar es la pérdida de suelo de ambas provincias a lo largo de la serie histórica estudiada. Como se ha comentado anteriormente es una de las mayores problemáticas que está sufriendo el olivar, por lo que estudiar el desempeño en esta área es muy importante.

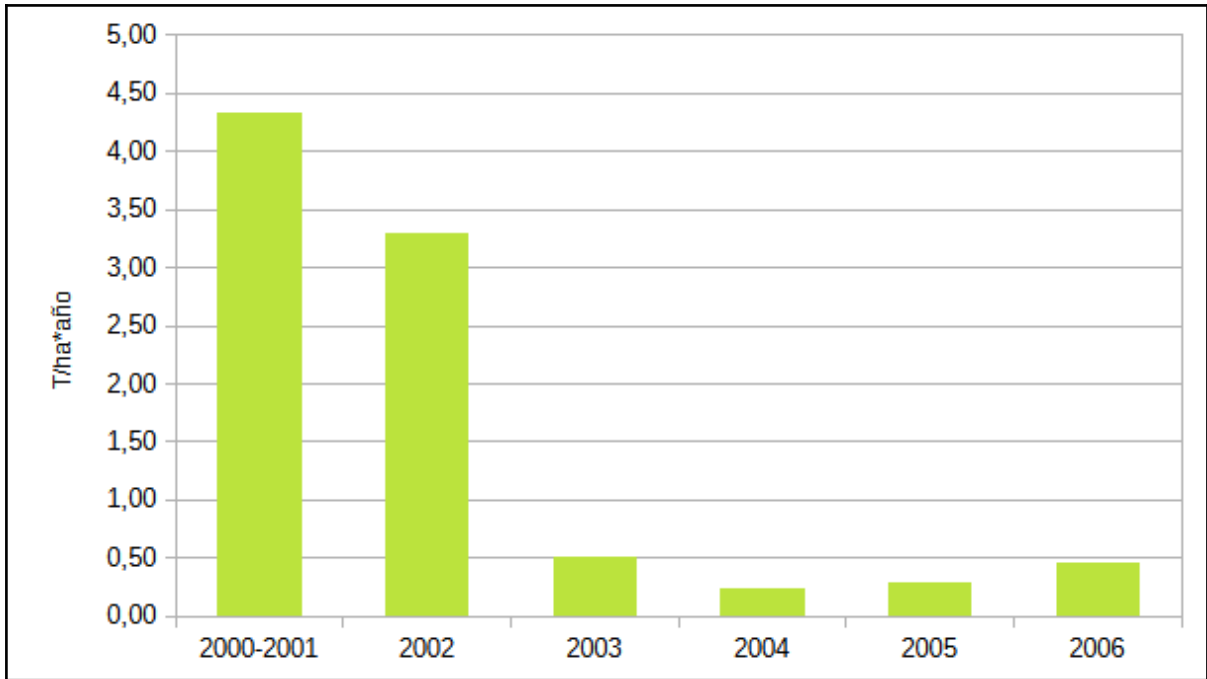


Figura 53. Pérdida de suelo (tn/ha*año) en parcelas con cobertura en la provincia de Córdoba en el periodo 2000-2006.

En la figura 53 podemos ver cómo se ha desarrollado la pérdida de suelo a lo largo del tiempo en las parcelas con cobertura de Córdoba, en los que los primeros años ha sido algo más elevada pero se ha reducido con el tiempo.

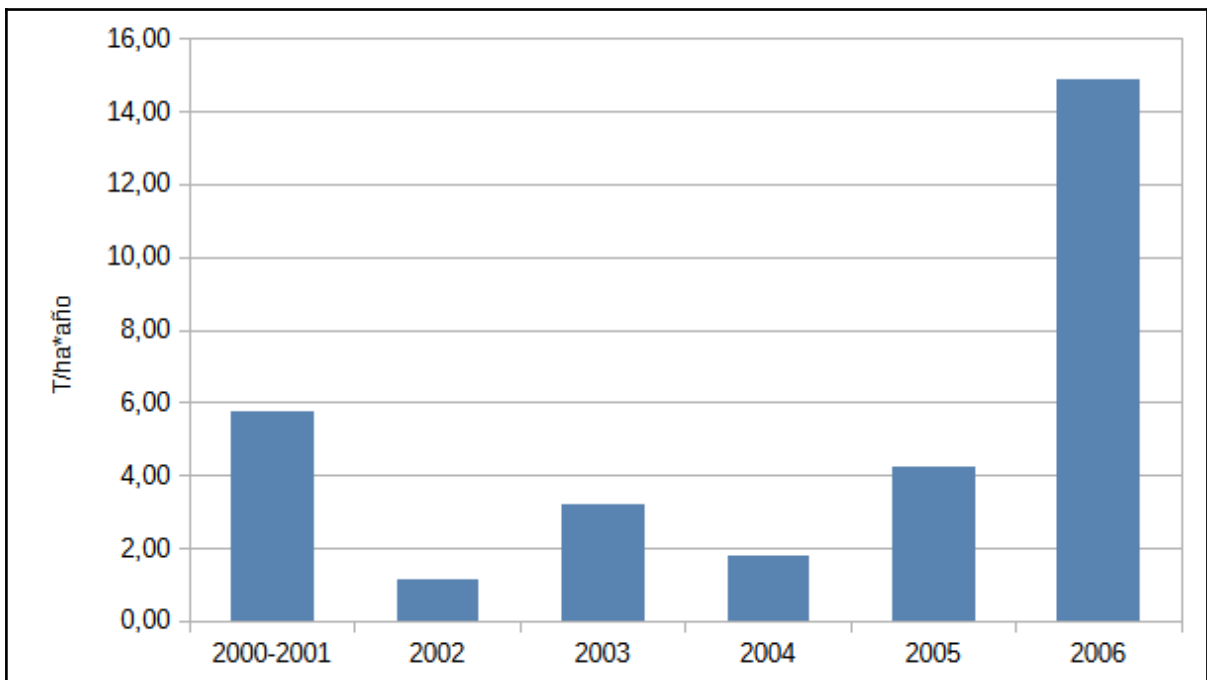


Figura 54. Pérdida de suelo (tn/ha*año) en parcelas sin cobertura en la provincia de Córdoba en el periodo 2000-2006.

En la figura 54 podemos ver cómo se ha desarrollado la pérdida de sedimentos a lo largo del tiempo en las parcelas sin cobertura de Córdoba, en los que los primeros años ha sido algo más baja e inestable pero se ha ido incrementando con el tiempo alcanzando el valor máximo estudiado en el último año.

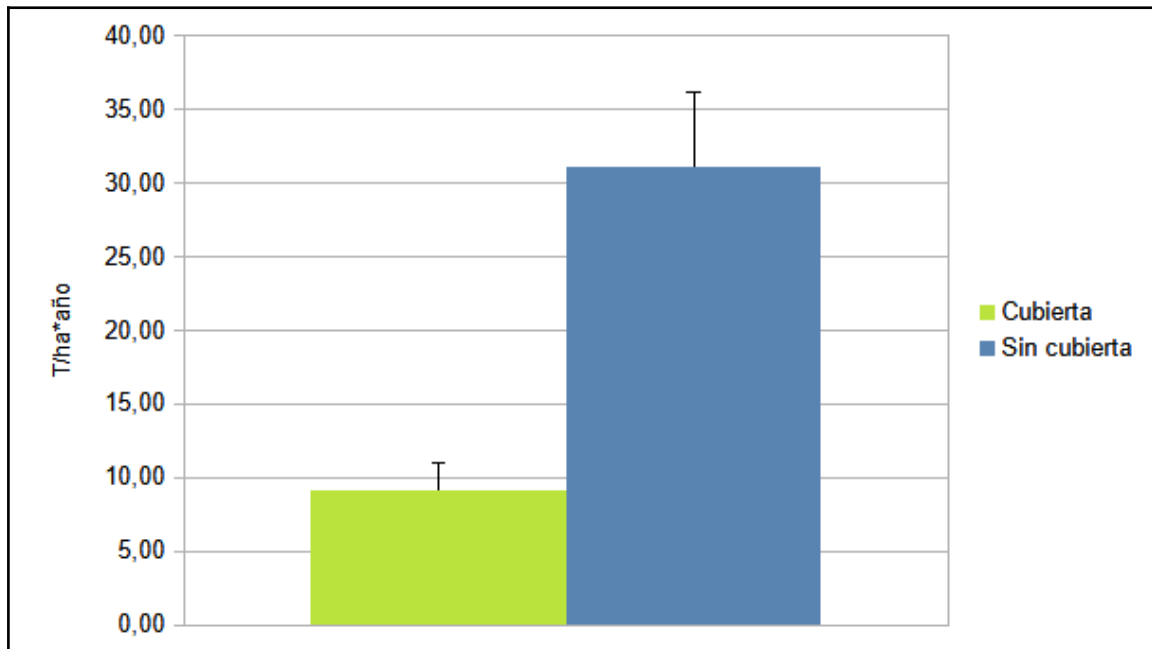


Figura 55. Pérdida de suelo (tn/ha*año) en parcelas con y sin cubierta vegetal en la provincia de Córdoba calculada como el promedio del periodo 2000-2006.

En la figura 55 podemos ver que la diferencia entre el sedimento perdido por las parcelas con cobertura es mucho menor que en las parcelas sin cobertura, demostrando que la diferencia en el manejo es de gran relevancia en la pérdida de suelo.

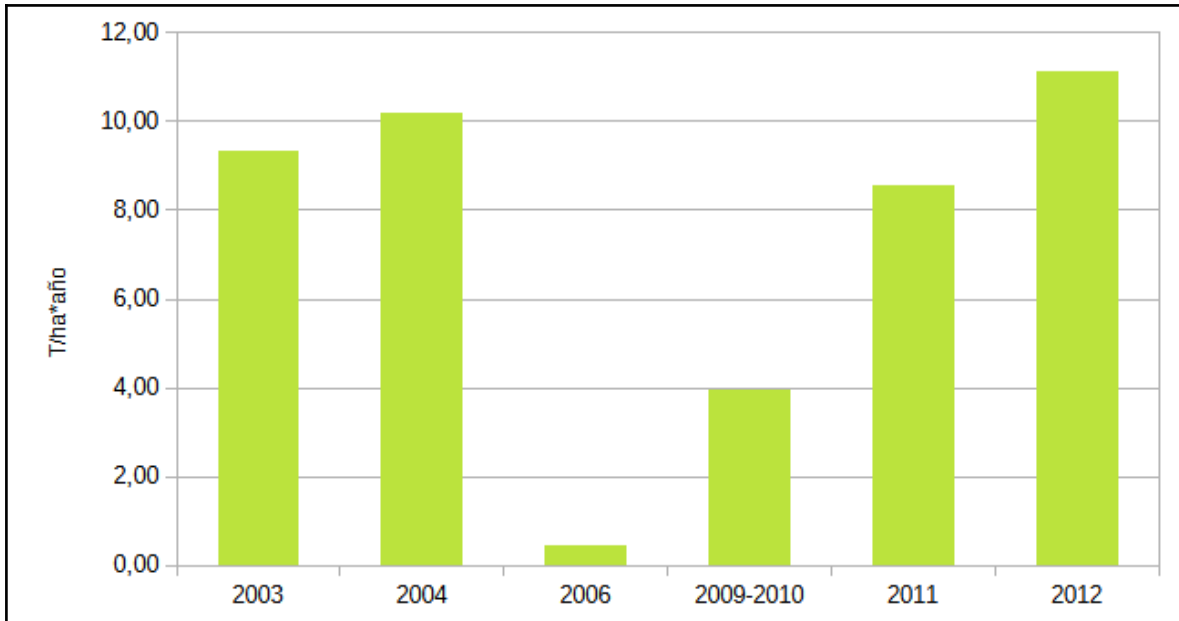


Figura 56. Pérdida de suelo (tn/ha*año) en parcelas con cobertura en la provincia de Sevilla en el periodo 2003-2012.

En la Figura 56 podemos ver cómo se ha desarrollado la pérdida de sedimentos a lo largo del tiempo en las parcelas con cobertura de Sevilla, en los que se puede apreciar una oscilación entre subidas y bajadas, recuperándose valores de 2003, a pesar de disminuir en el periodo intermedio.

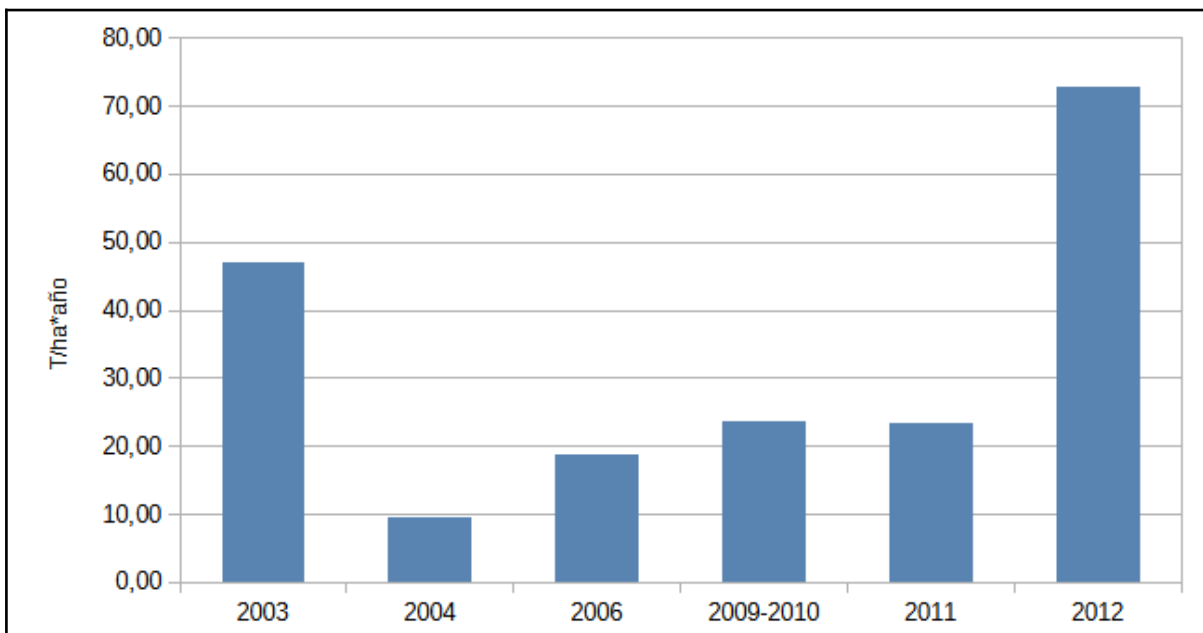


Figura 57. Pérdida de suelo (tn/ha*año) en parcelas sin cobertura en la provincia de Sevilla en el periodo 2003-2012.

En la Figura 57 podemos ver cómo se ha desarrollado la pérdida de sedimentos a lo largo del tiempo en las parcelas sin cobertura de Sevilla, en los que los primeros años ha sido algo más baja pero se ha ido incrementando con el tiempo, al igual que ha ocurrido en Córdoba.

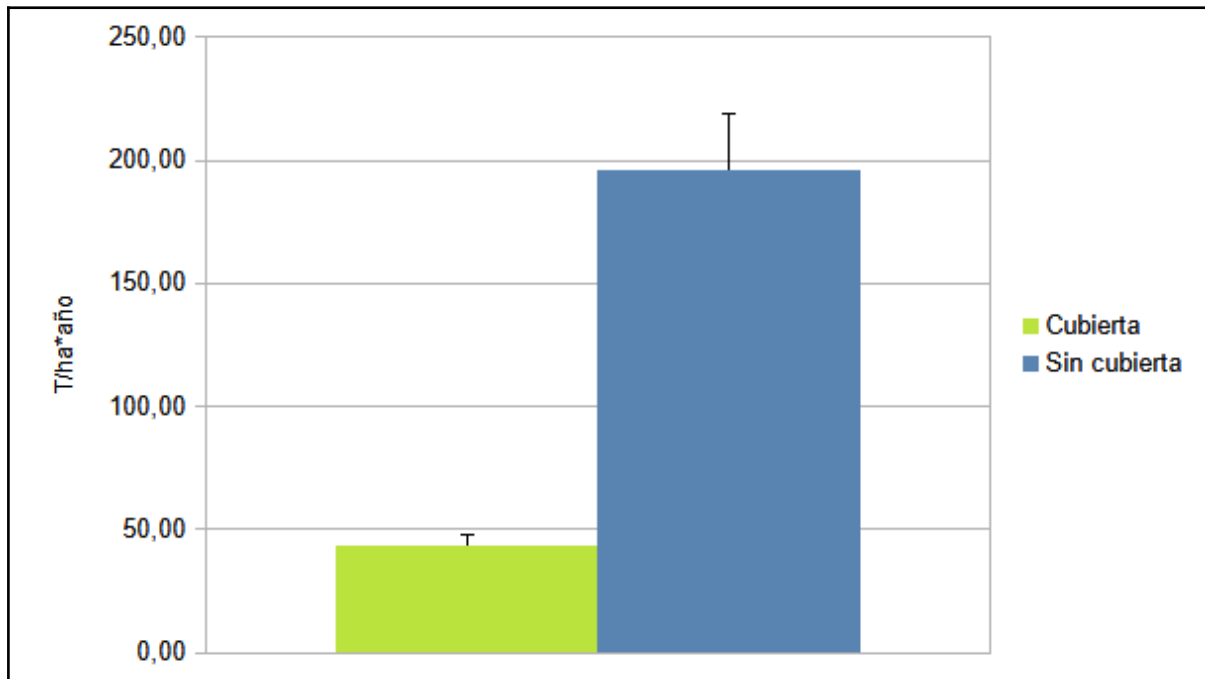


Figura 58. Pérdida de suelo (tn/ha*año) en parcelas con y sin cubierta vegetal en la provincia de Sevilla calculada como el promedio del periodo 2003-20012.

En la Figura 58 podemos ver que la diferencia entre el sedimento perdido por las parcelas con cobertura es mucho menor que en las parcelas sin cobertura, demostrando la mejora que se puede llegar a obtener utilizando la cobertura vegetal.

4.5.6 Variaciones anuales en la pérdida de suelo

4.5.6.1 Contenido en N

Por último también se han realizado análisis en los parámetros relacionados con la fertilidad para estas provincias.

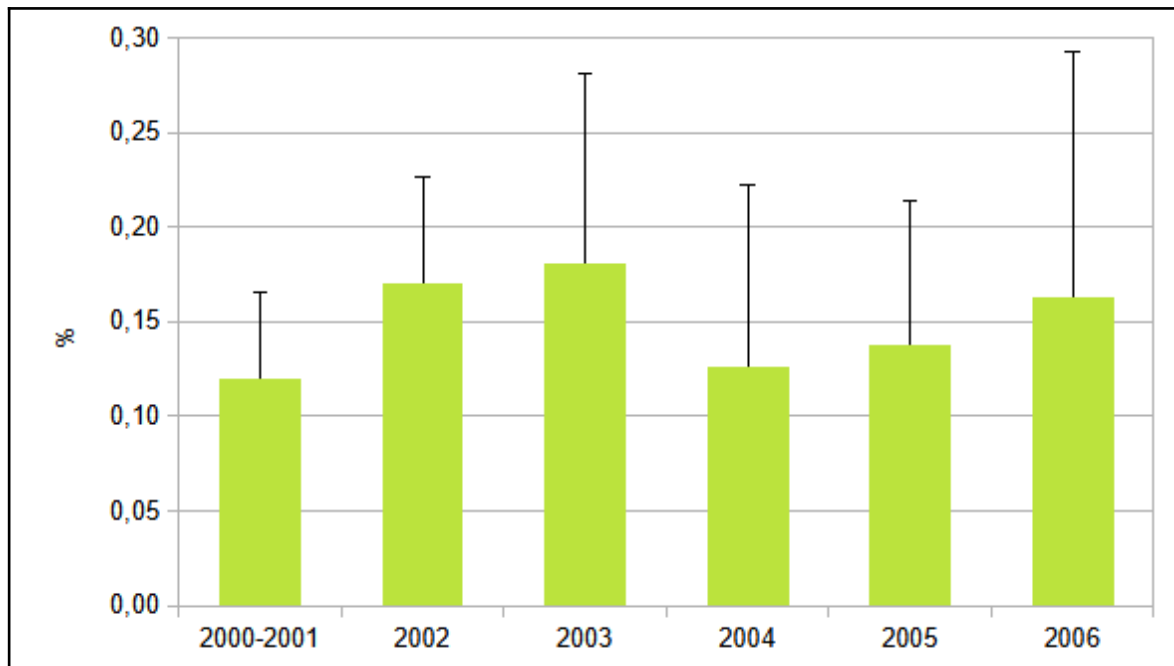


Figura 59. Contenido en N (%) en parcelas con cobertura en la provincia de Córdoba en el periodo 2000-2006. No se encontraron diferencias significativas en ningún caso.

En la Figura 59 se muestra el porcentaje de nitrógeno de Córdoba en las parcelas con cobertura, todos los años muestran el mismo valor, sin diferencias significativas entre ellos ($p > 0.05$).

Los niveles normales de nitrógeno dentro del suelo se estiman entre un 0.11% y un 0.20% (García, 2010), por lo que podemos decir que los niveles oscilan pero siempre dentro del marco de la normalidad.

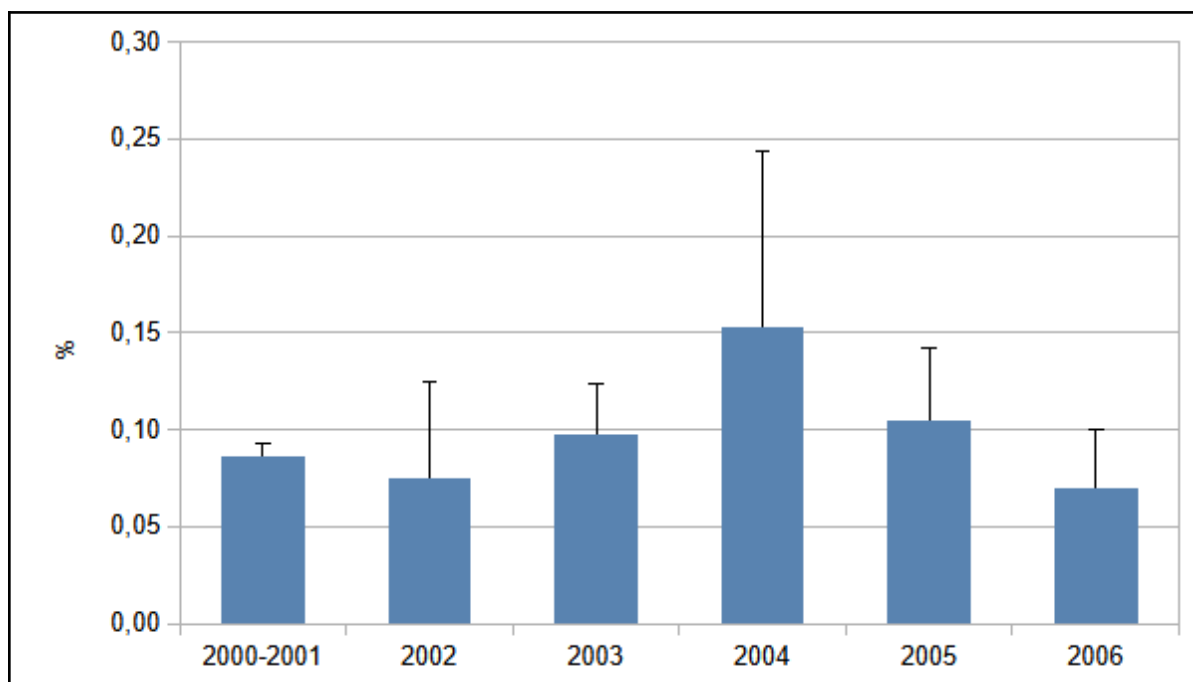


Figura 60. Contenido en N (%) en parcelas sin cubierta vegetal en la provincia de Córdoba en el periodo 2000-2006. No se encontraron diferencias significativas en ningún caso.

En la Figura 60 se muestra el porcentaje de nitrógeno en las parcelas sin cobertura de Córdoba, siendo todos los valores significativamente iguales ($p > 0.05$).

Los niveles normales de nitrógeno dentro del suelo se estiman entre un 0.11% y un 0.20% (García, 2010), todos los años están por debajo del rango normal salvo en 2004 y 2005.

Existen diferencias significativas entre ambos tipos de parcelas ($p < 0.05$), siendo el nitrógeno significativamente mayor en las parcelas con cobertura mientras que las parcelas sin cobertura son inferiores. Además de que, como se ha comentado anteriormente, las parcelas con cobertura se encuentran en un rango de normalidad mientras que las parcelas sin cobertura se encuentran en un rango inferior a la normalidad.

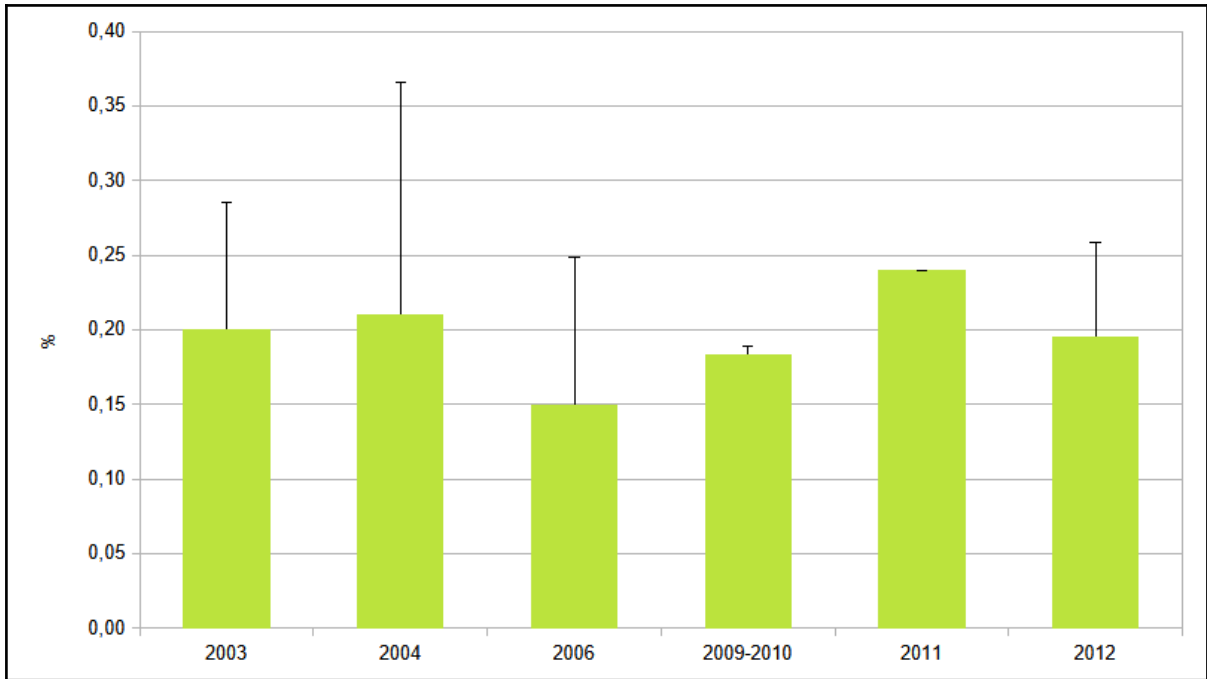


Figura 61. Contenido en N (%) en parcelas con cobertura en la provincia de Sevilla en el periodo 2003-2012. No se encontraron diferencias significativas en ningún caso.

En la Figura 61 se observa el contenido de nitrógeno del suelo en las parcelas con cobertura en la provincia de Sevilla, no existiendo diferencias significativas en ningún año ($p > 0.05$).

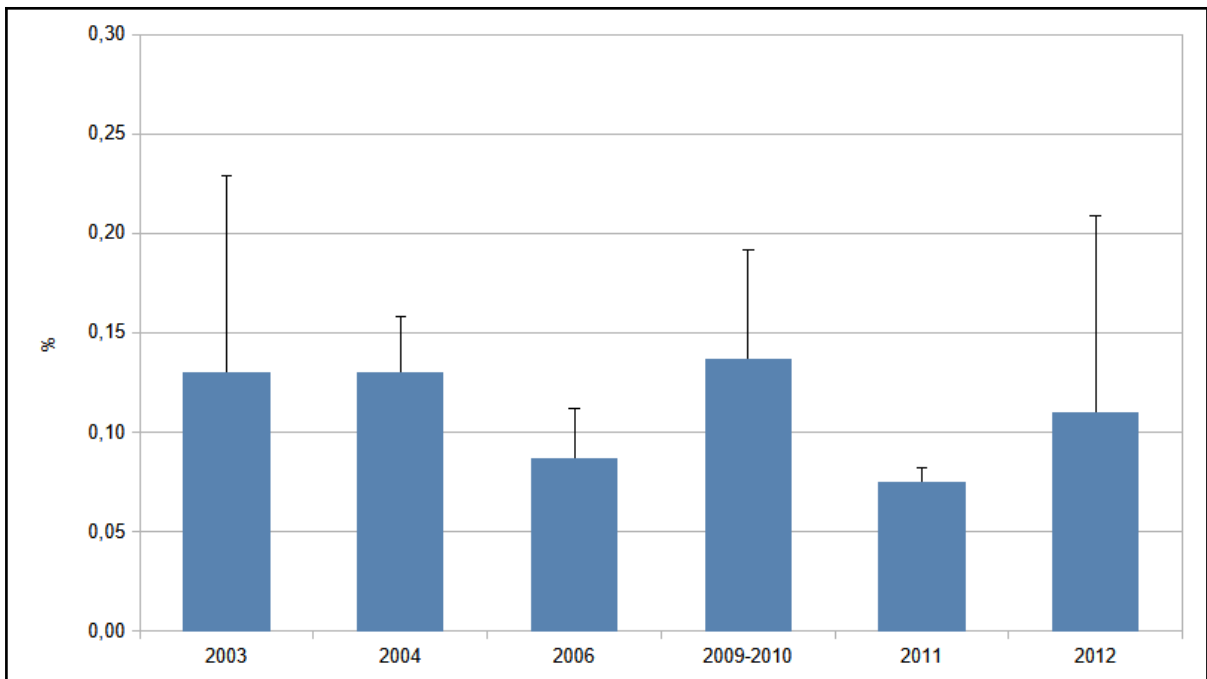


Figura 62. Contenido en N (%) en parcelas sin cobertura en la provincia de Sevilla en el periodo 2003-2012. No se encontraron diferencias significativas en ningún caso.

En la Figura 62 se ve el porcentaje de nitrógeno de Sevilla en las parcelas sin cobertura, sin observarse diferencias significativas en todo el periodo analizado ($p>0.05$).

Todos suelos de las parcelas con cobertura se encuentran dentro o superan los niveles normales de nitrógeno dentro del suelo se estiman entre un 0.11% y un 0.20% (García , 2010), sin embargo en las parcelas sin cobertura vegetal hay algunos años que no llegan al límite inferior.

Además podemos añadir, comparando las figuras 61 y 62, los valores de nitrógeno de las parcelas con cobertura son significativamente mayores ($p<0.05$) que los de las parcelas sin cobertura.

4.5.6.2 Contenido en P

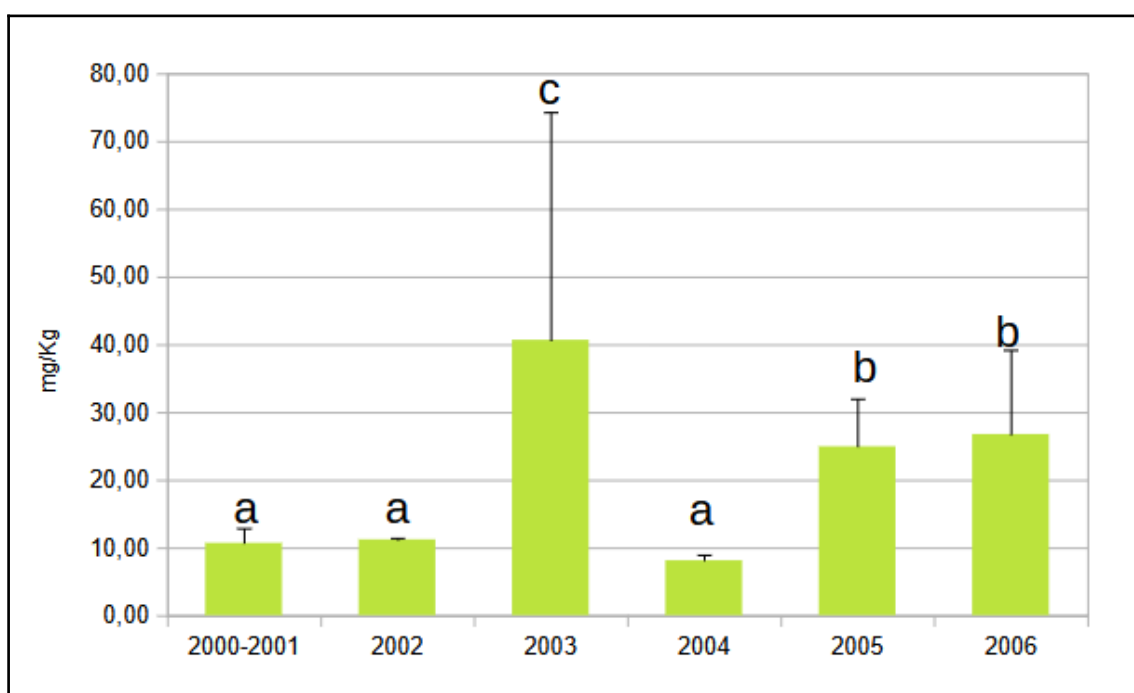


Figura 63. Contenido en P (mg/Kg suelo) en parcelas con cobertura en la provincia de Córdoba en el periodo 2000-2006. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p<0.05$).

En la Figura 63 se muestra la cantidad de fósforo en el suelo de las parcelas con cobertura de Córdoba, en los que podemos ver cómo se desarrollan a lo largo de tiempo habiendo años, de acuerdo con lo descrito por García (2010), con unos niveles normales en los periodos 2000-2001, 2002 y 2004, otros en un rango alto

(2005 y 2006), e incluso llegando a un nivel muy alto en 2003 . Esta agrupación en los años reflejan las diferencias significativas ($p < 0.05$) encontradas.

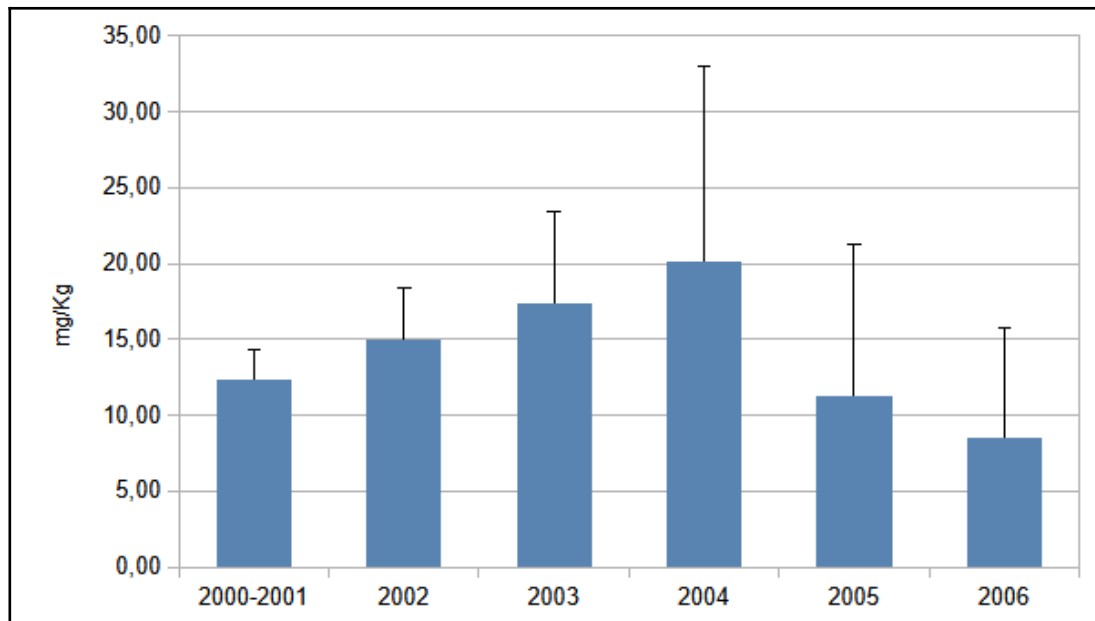


Figura 64. Contenido en P (mg/kg suelo) en parcelas sin cubierta vegetal en la provincia de Córdoba en el periodo 2000-2006. No se encontraron diferencias significativas en ningún caso.

A diferencia de las parcelas con cubierta vegetal, en las parcelas sin cubierta no se encontró una variación temporal significativa ($p > 0.05$) del contenido en P del suelo (Figura 64). Como se describe en García (2010), se encuentran en todos los años niveles normales.

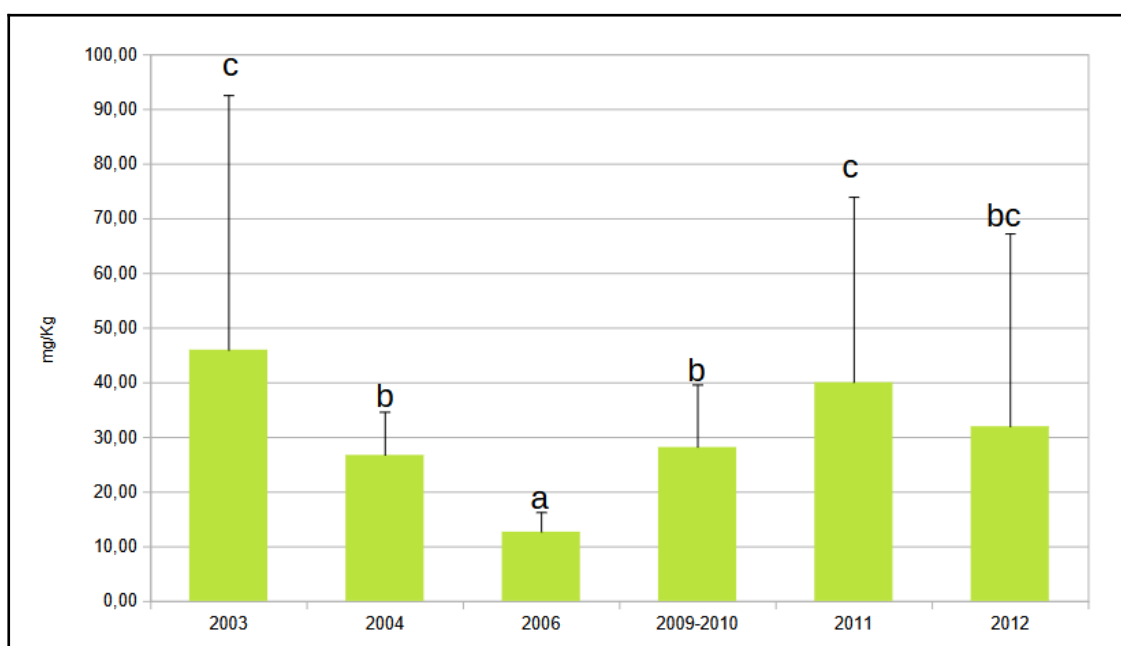


Figura 65. Contenido en P (mg/kg suelo) en parcelas con cubierta vegetal en la provincia de Sevilla en el periodo 2003-2012. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

En la Figura 65 se observa la cantidad de fósforo en el suelo de las parcelas con cobertura de Sevilla. Al igual que ocurría en las parcelas de Córdoba, se observan diferencias significativas ($p < 0.05$) siendo 2006 el nivel inferior, 2004 y 2009-2010 en el siguiente nivel, mientras que el 2003 y 2011 son el nivel más alto y con 2012 entre los dos niveles anteriores.

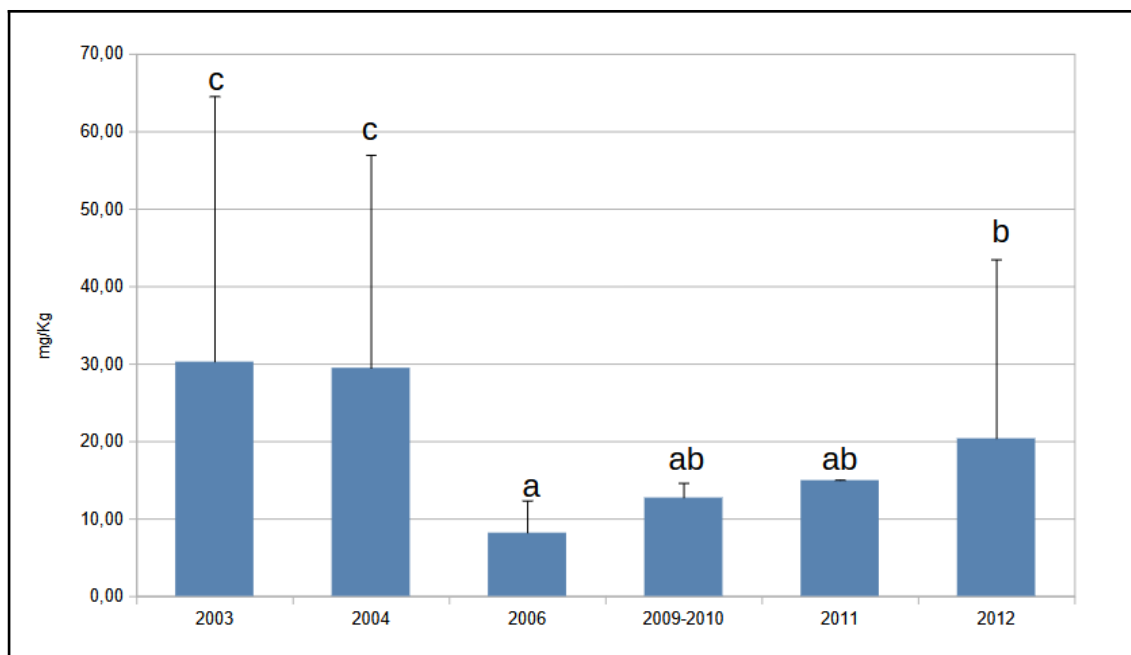


Figura 66. Contenido en P (mg/kg suelo) en parcelas sin cubierta vegetal en la provincia de Sevilla en el periodo 2003-2012. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

En la Figura 66 se muestra la cantidad de fósforo en el suelo de las parcelas sin cobertura de Sevilla, en el que vemos diferencias significativas ($p < 0.05$) con el nivel más bajo 2006, un nivel intermedio en los años 2009-2010 y 2011, un nivel superior en 2012 y otro nivel más alto en 2003 y 2004. En este caso el fósforo se mantiene dentro de un nivel medio-alto, salvo en el año 2006 que quedó en un nivel bajo.

Para el caso del P podemos observar que existe variación significativa anual ($p < 0.05$) entre tipos de manejo y a lo largo del periodo de tiempo estudiado en ambas provincias. Las parcelas con cobertura vegetal se mantienen más estables dentro de un rango óptimo que las parcelas sin cobertura que son menos estables y con una posibilidad mayor de salir del rango óptimo.

4.5.6.3 Contenido en K

En la Figura 67 se muestra la cantidad de potasio en el suelo de las parcelas con cobertura de Córdoba, y las diferencias significativas ($p < 0.05$), siendo 2004, 2005 y 2006 los años con el nivel más bajo, seguido en un nivel superior por 2002 y 2003, y por último el nivel más alto en 2000-2001, por lo que podemos atestiguar una bajada en el potasio a lo largo del tiempo, pero siempre dentro de unos niveles altos de potasio, de acuerdo con García (2010).

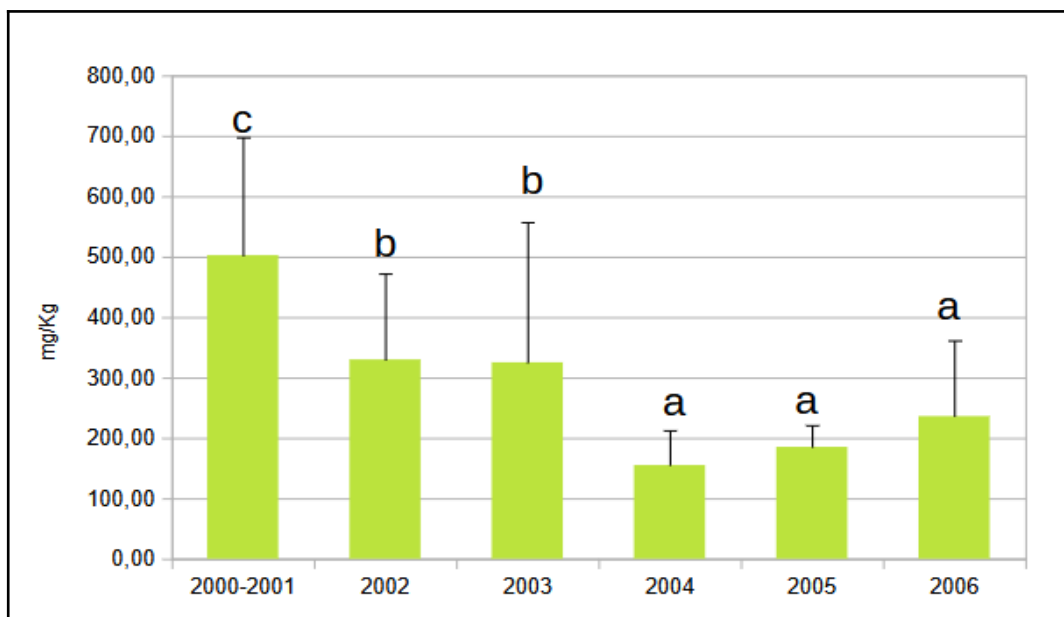


Figura 67. Contenido en K (mg/Kg suelo) en parcelas con cobertura en la provincia de Córdoba en el periodo 2000-2006. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

Asimismo, en la Figura 68 podemos observar la cantidad de potasio en el suelo de las parcelas sin cobertura de Córdoba, y las diferencias significativas ($p < 0.05$) de los distintos años estudiados. Estos se reparten en niveles diferentes, siendo 2006 el nivel inferior, seguido por un nivel intermedio en el que se encuentra el resto, excepto el valor más alto en el año 2000-2001. Todos los años se sitúan en un nivel medio-alto según García (2010), salvo 2006 que se encuentra en un nivel bajo. Se puede apreciar cómo hay una tendencia descendente en la cantidad de potasio conforme avanza el tiempo.

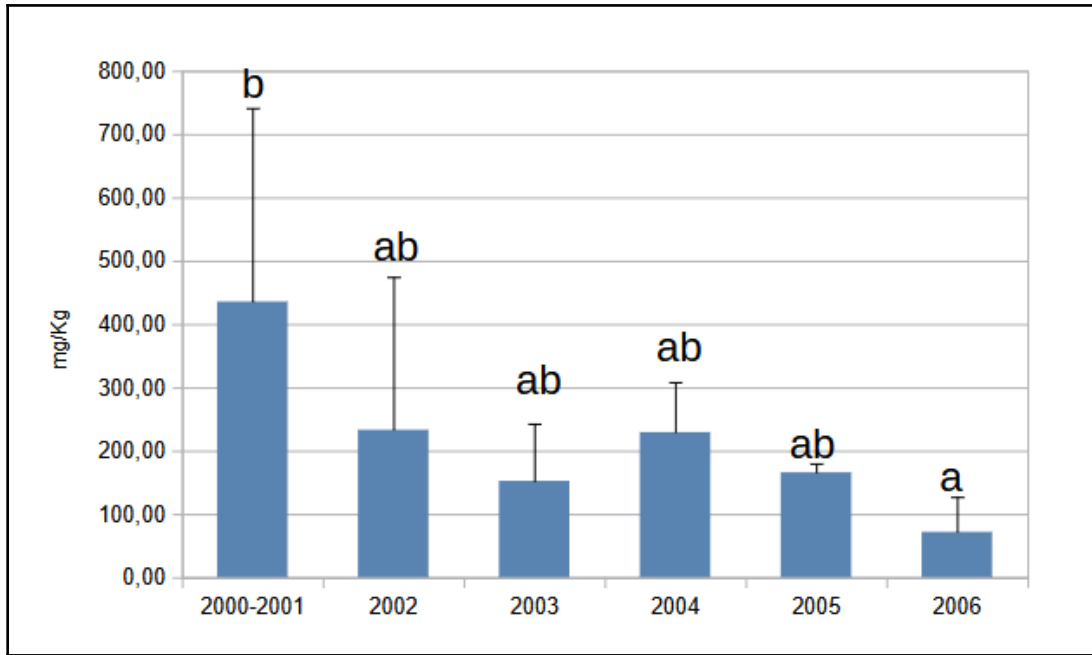


Figura 68. Contenido en K (mg/kg suelo) en parcelas sin cubierta vegetal en la provincia de Córdoba en el periodo 2000-2006. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

Como hemos podido comprobar existe una diferencia tanto en cantidad como en el desarrollo del potasio entre ambos tipos de manejo, de manera que en el suelo con cobertura se observan niveles más óptimos, aunque decaiga con el tiempo y uso, ya que permite al suelo recuperarse, mientras que el suelo sin cubierta no solo tiene menos cantidad, sino que no tiene indicios de recuperarse y se degrada cada vez más.

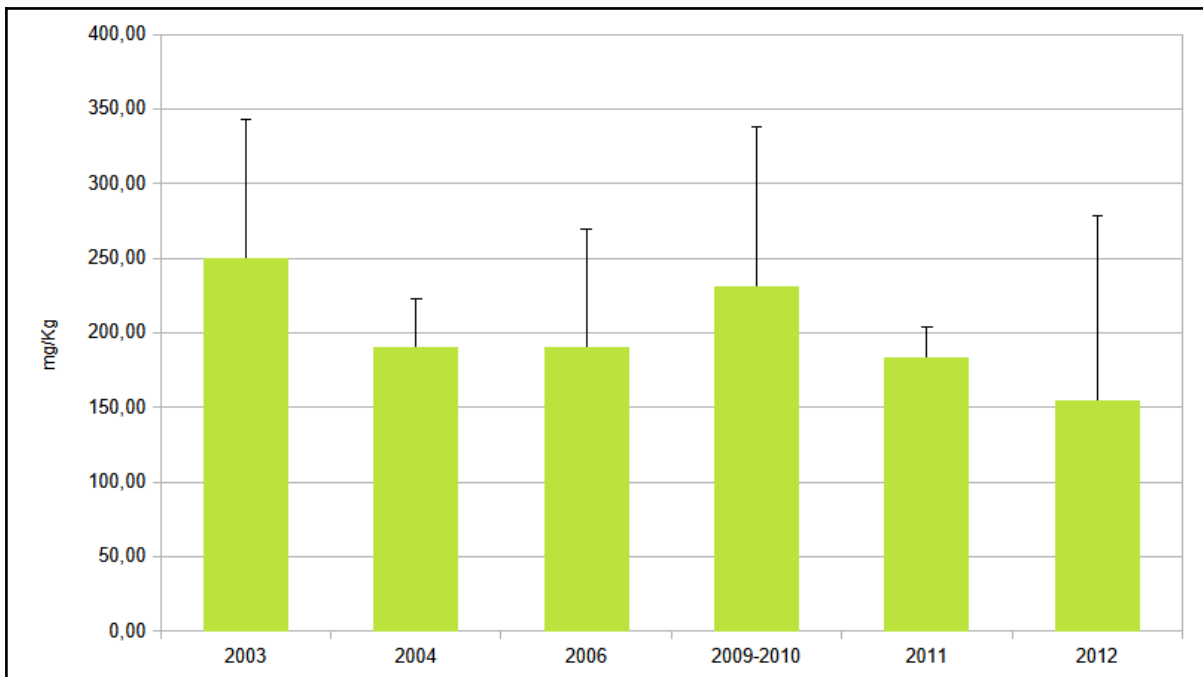


Figura 69. Contenido en K (mg/kg suelo) en parcelas con cubierta vegetal en la provincia de Sevilla en el periodo 2003-2012. No se encontraron diferencias significativas en ningún caso.

En la Figura 69 se muestra la cantidad de potasio en el suelo de las parcelas con cobertura de Sevilla. No se observan diferencias significativas entre años ($p > 0.05$), y aunque hay un leve descenso en la línea de tendencia se mantiene en un nivel alto de potasio, de acuerdo con García (2010).

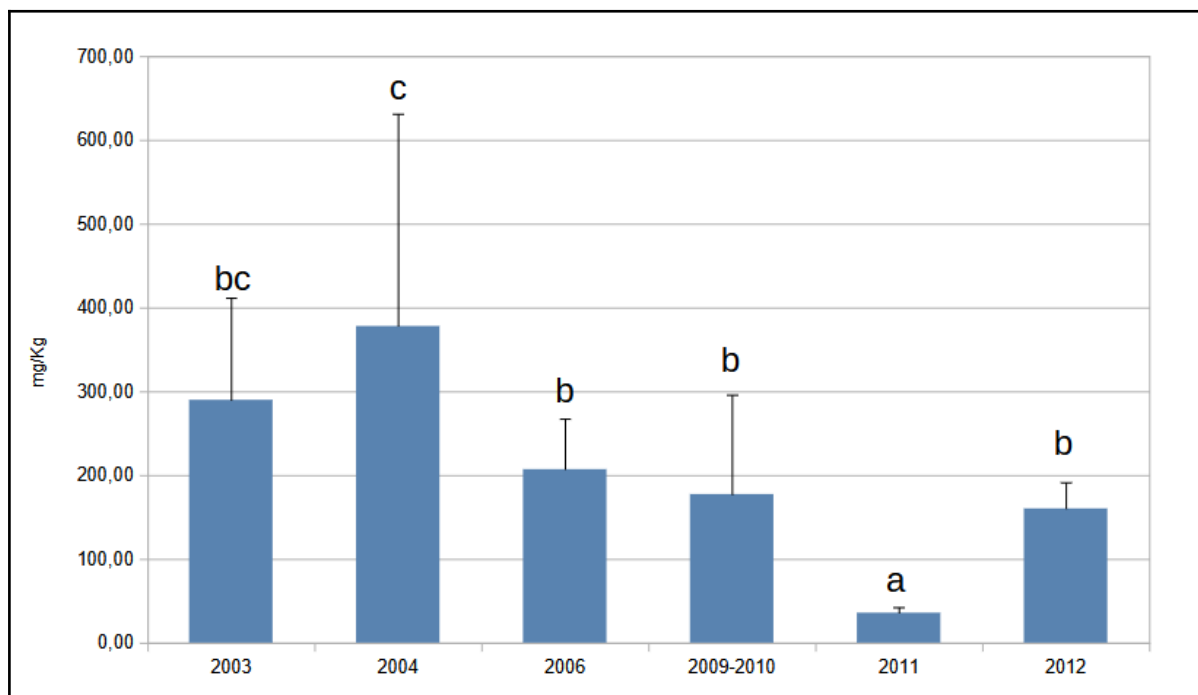


Figura 70. Contenido en K (mg/kg suelo) en parcelas sin cubierta vegetal en la provincia de Córdoba en el periodo 2000-2006. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

Finalmente, en la Figura 70 se muestra la cantidad de potasio en el suelo de las parcelas con cobertura de Córdoba, observándose diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los años estudiados, dividiéndose en el nivel más bajo en 2011, seguido por otro nivel más alto para los años 2006, 2009-2010 y 2012, continuando con un nivel intermedio en 2003 y, por último, el valor más alto en 2004. Existe una clara tendencia decreciente en la cantidad de potasio, llegando a estar en niveles muy bajos en el año 2011, de acuerdo con García (2010), pero recuperando unos valores normales en 2012.

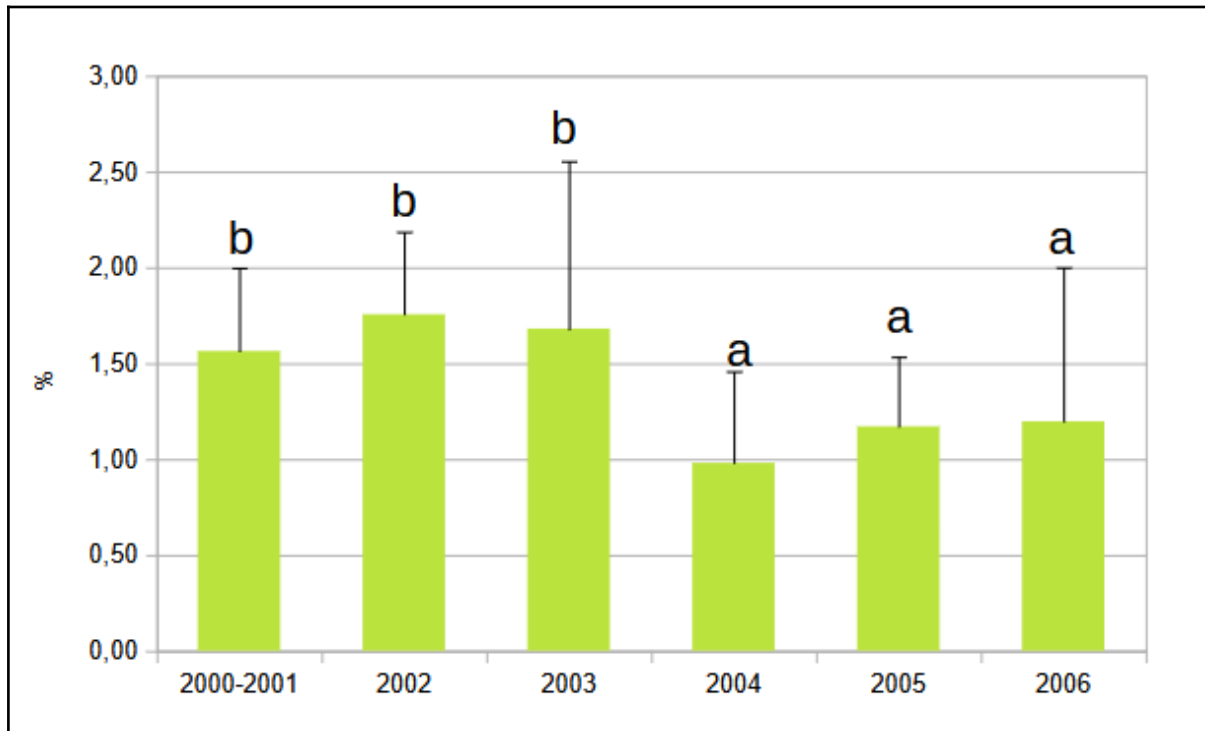


Figura 71. Porcentaje de materia orgánica del suelo en parcelas con cobertura en la provincia de Córdoba en el periodo 2000-2006. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

En la figura 71 se representa el porcentaje de materia orgánica en las parcelas con cobertura de Córdoba, donde se encuentran valores significativamente distintos a lo largo del periodo analizado ($p < 0.05$), con el nivel más bajo correspondiente a los años 2004, 2005 y 2006, y otro nivel más alto correspondiente a los años 2000-2001, 2002 y 2003. En la gráfica podemos ver un crecimiento sostenido en el tiempo continuado por un descenso brusco y posteriormente un crecimiento sostenido, esto puede deberse al desarrollo normal dentro de la cubierta vegetal ya que hay muchas variables que modifican el porcentaje de materia orgánica, lo que puede conllevar a que cualquier perturbación degrade rápidamente el proceso de desarrollo de la materia orgánica en el suelo.

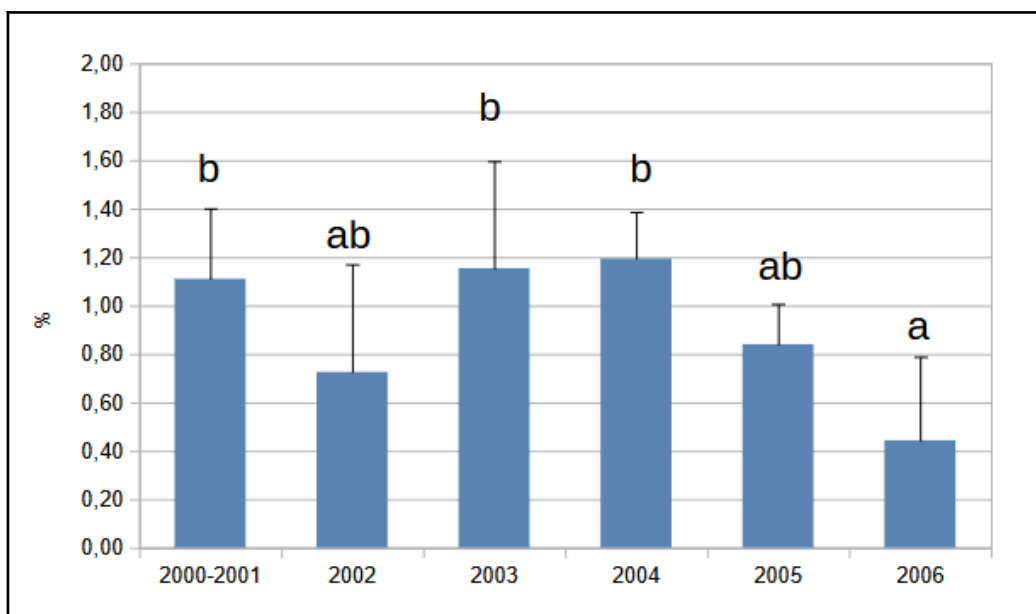


Figura 72. Porcentaje de materia orgánica del suelo en parcelas sin cubierta en la provincia de Córdoba en el periodo 2000-2006. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

En la figura 72 se representa el porcentaje de materia orgánica en las parcelas sin cobertura de Córdoba, se encuentran distintos con diferencias significativas ($p < 0.05$), donde (a) el valor más bajo se encontró en 2006, un nivel intermedio en los años 2002 y 2005 y, por último, el nivel más alto en 2000-2001, 2003 y 2004. Se puede analizar la evolución temporal de la materia orgánica en la que vemos cómo se va degradando a lo largo del tiempo, además de situarse alrededor del 0.5%, por debajo de las parcelas con cubierta vegetal.

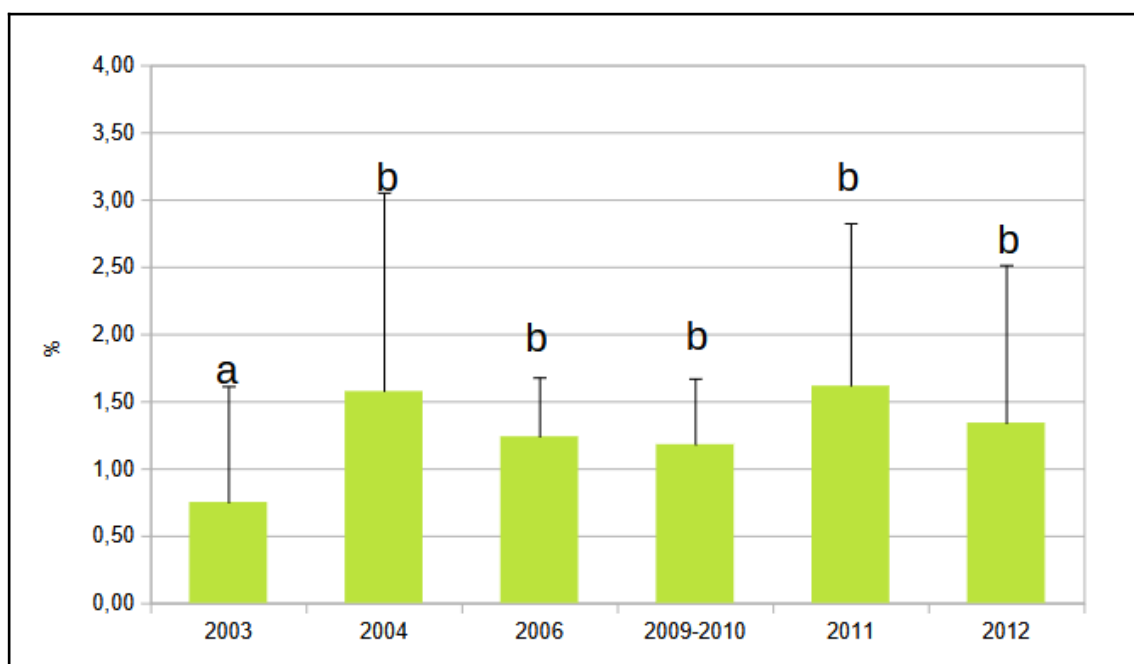


Figura 73. Porcentaje de materia orgánica del suelo en parcelas con cubierta en la provincia de Sevilla en el periodo 2003-2012. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

En la figura 73 se representa el porcentaje de materia orgánica en las parcelas con cobertura de Sevilla, en la cual se encuentran distintos niveles de significancia ($p < 0.05$), donde el primer año se encuentra en un nivel significativamente más bajo y el resto en un nivel más alto, y como se puede apreciar existe un crecimiento del porcentaje a lo largo del tiempo.

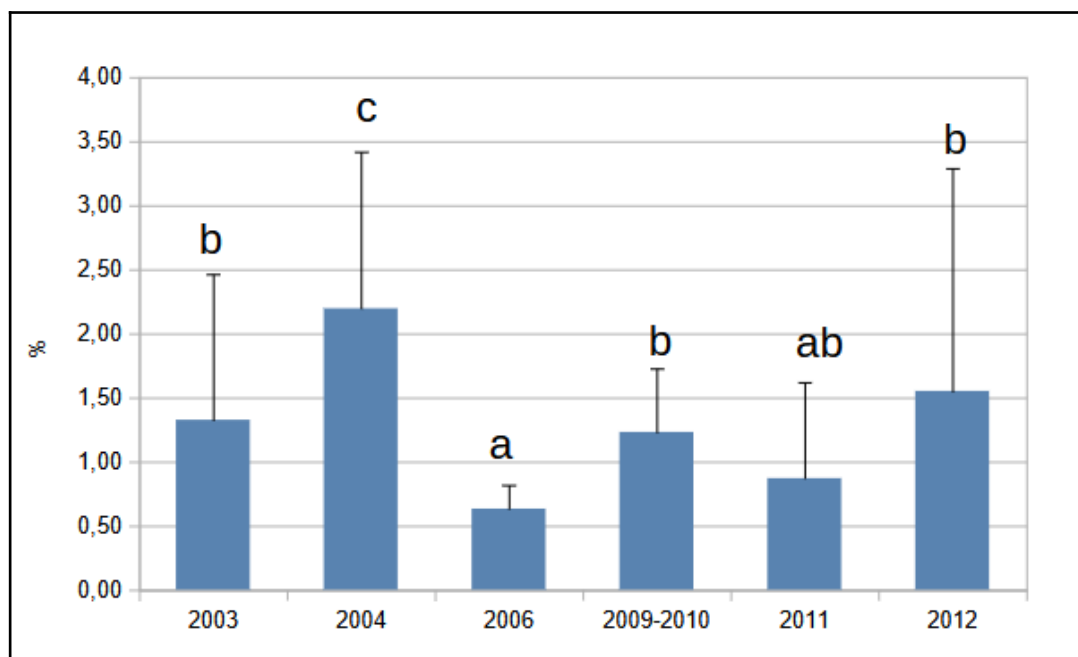


Figura 74. Porcentaje de materia orgánica del suelo en parcelas sin cubierta en la provincia de Sevilla en el periodo 2003-2012. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

En esta gráfica se representa el porcentaje de materia orgánica en las parcelas sin cobertura de Sevilla, en la cual se encuentran diferencias significativas ($p < 0.05$) encontrándose, en este caso varios niveles en los que se encuentra del nivel más bajo en 2006 hasta el nivel más alto en 2004.

4.5.6.5

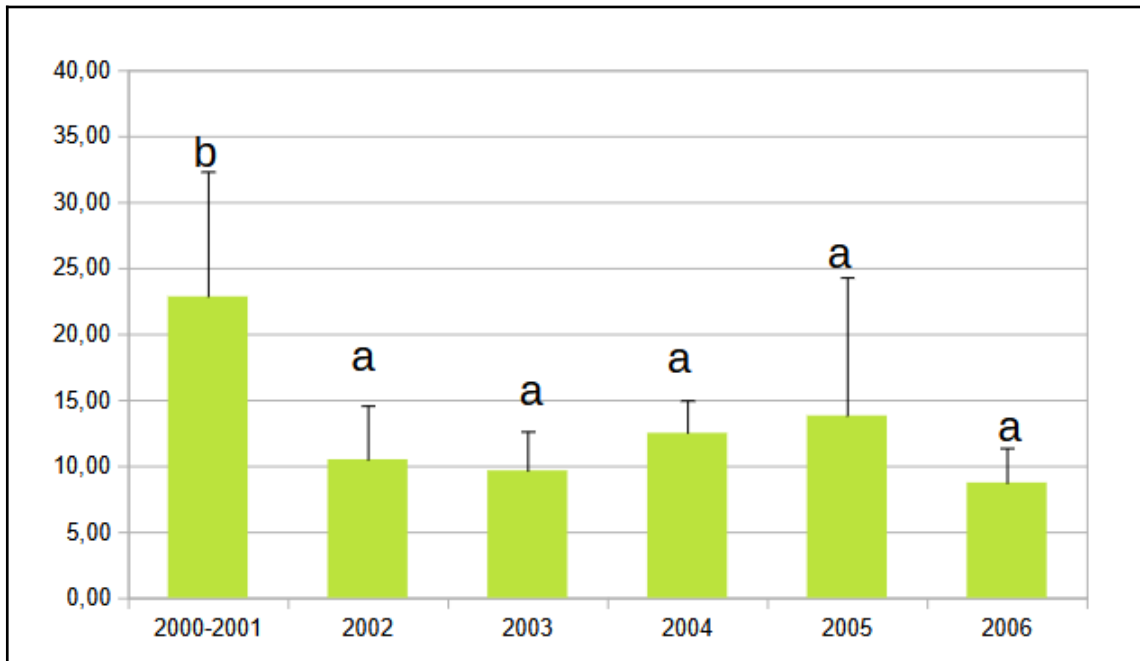
Relación C/N

Figura 75. Relación C/N del suelo en parcelas con cobertura en la provincia de Córdoba en el periodo 2000-2006. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

En la figura 75 se muestra la relación C/N en las parcelas con cobertura de Córdoba, en la que se puede observar diferentes niveles un nivel más alto en el primer año y un equilibrio en los años posteriores en un nivel más bajo, la mayor parte del tiempo dentro de una normalidad en los niveles de la relación C/N, salvo el primer año que está en un nivel con escasa liberación de nitrógeno según García (2010).

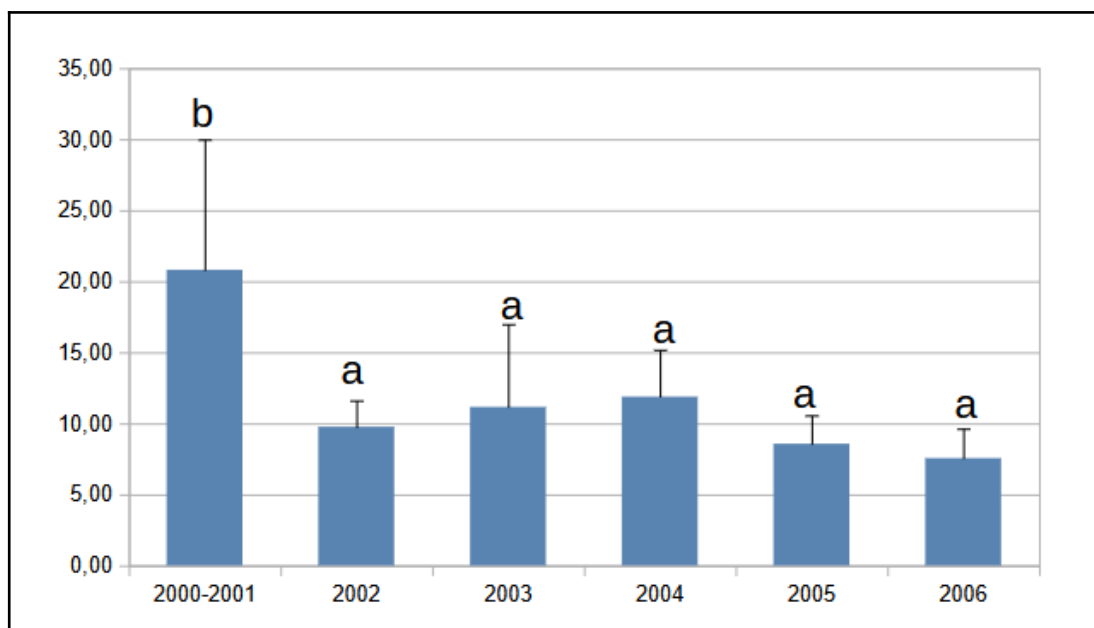


Figura 76. Relación C/N del suelo en parcelas sin cubierta vegetal en la provincia de Córdoba en el periodo 2000-2006. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

En la figura 76 se muestra la relación C/N en las parcelas sin cobertura de Córdoba, se puede observar dos niveles distintos de con valores, mayores en el primer año y el resto de años en un nivel inferior, estando de tal manera que el primer año se produce una muy escasa liberación de nitrógeno y el resto se mantiene en el límite entre la normalidad y la excesiva liberación del nitrógeno según García (2010).

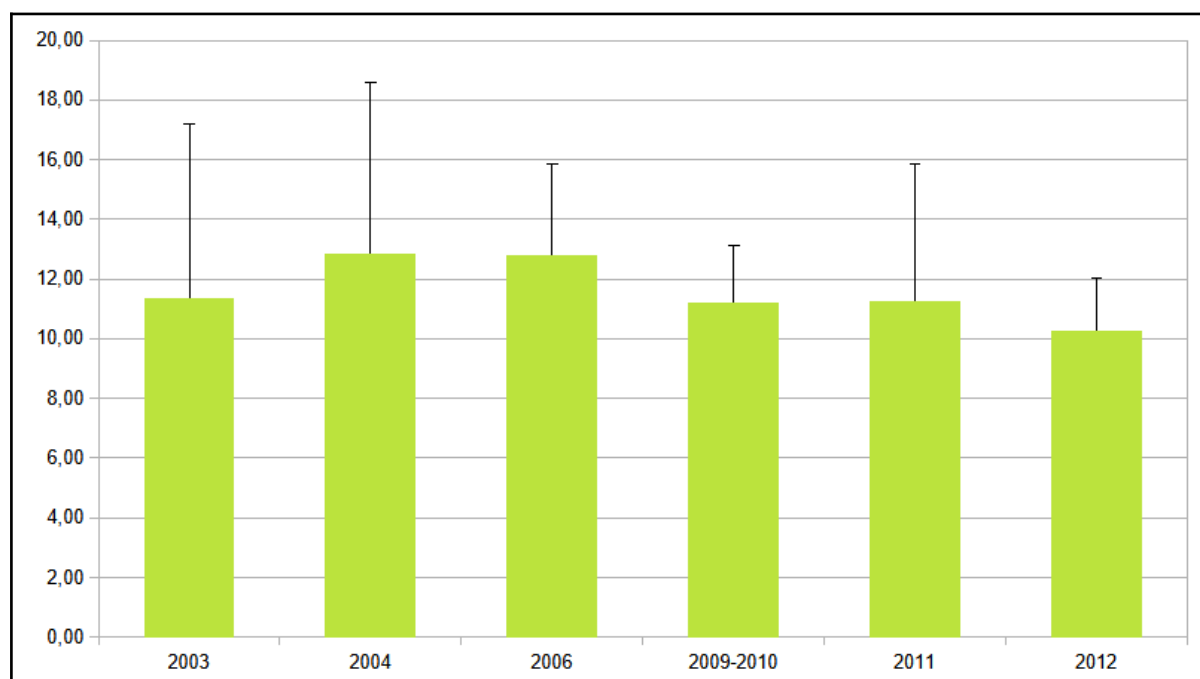


Figura 77. Relación C/N del suelo en parcelas con cubierta vegetal en la provincia de Sevilla en el periodo 2003-20012. No se encontraron diferencias significativas en ningún caso.

En la figura 77 se muestra la relación C/N en las parcelas con cobertura de Sevilla, no teniendo diferencias significativas entre los años de estudio, y manteniendo unos niveles normales de liberación del nitrógeno según García (2010).

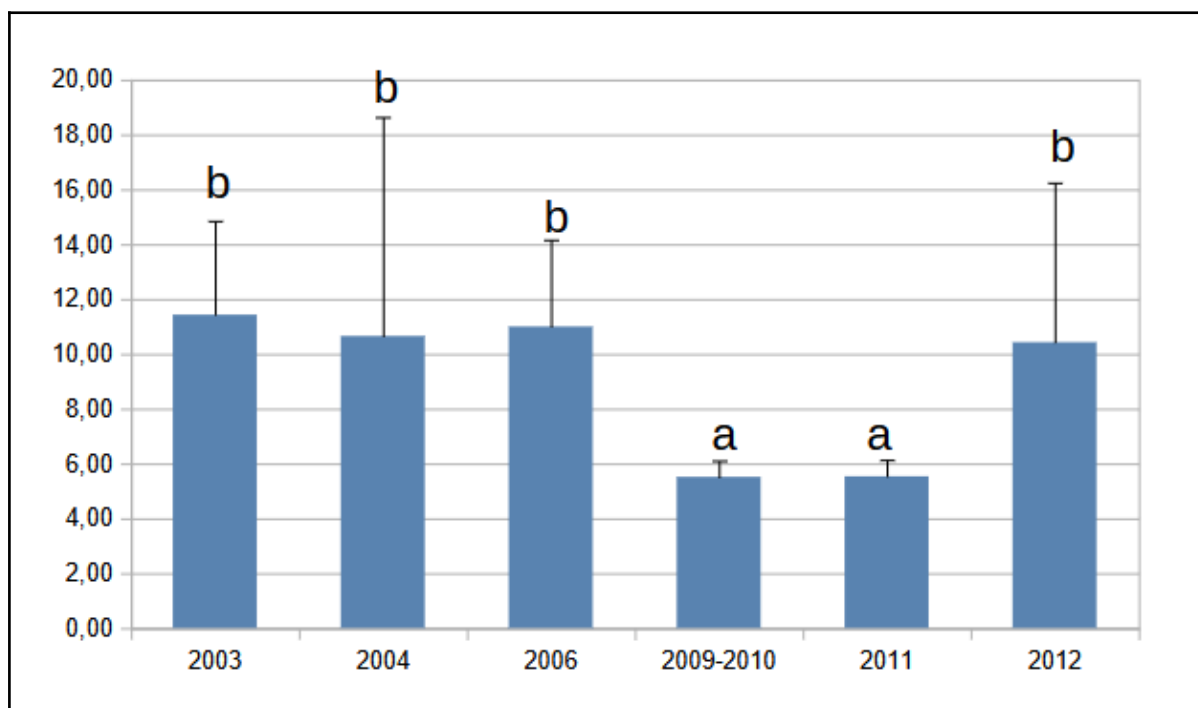


Figura 78. Relación C/N del suelo en parcelas sin cubierta vegetal en la provincia de Sevilla en el periodo 2003-20012. Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

En la figura 78 se muestra la relación C/N en las parcelas sin cobertura de Sevilla, podemos observar dos niveles distintos de significancia en el que el rango más alto se mantiene en niveles normales, mientras que los dos años con el nivel más bajo se encuentran con un exceso de liberación del nitrógeno según García (2010).

En ambas provincias se puede observar como las parcelas con coberturas se mantienen más estables y con niveles más óptimos que en en las explotaciones sin cobertura.

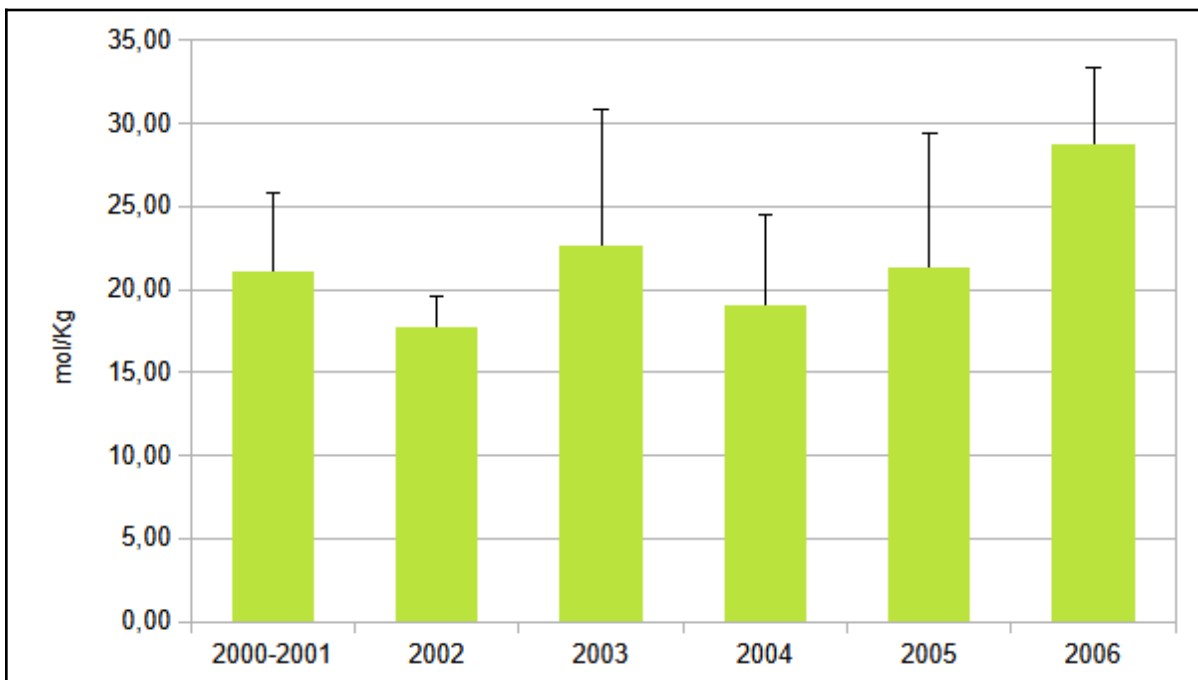
Capacidad de intercambio catiónico

Figura 79. Capacidad de intercambio catiónico en el suelo en parcelas con cobertura en la provincia de Córdoba en el periodo 2000-2006. No se encontraron diferencias significativas en ningún caso.

En la figura 79 aparece reflejada la capacidad de intercambio catiónico en las parcelas con cobertura de Córdoba, donde se puede observar que no hay diferencias significativas entre los distintos años, manteniéndose en niveles normales hasta el último año que está en un nivel alto según García (2010).

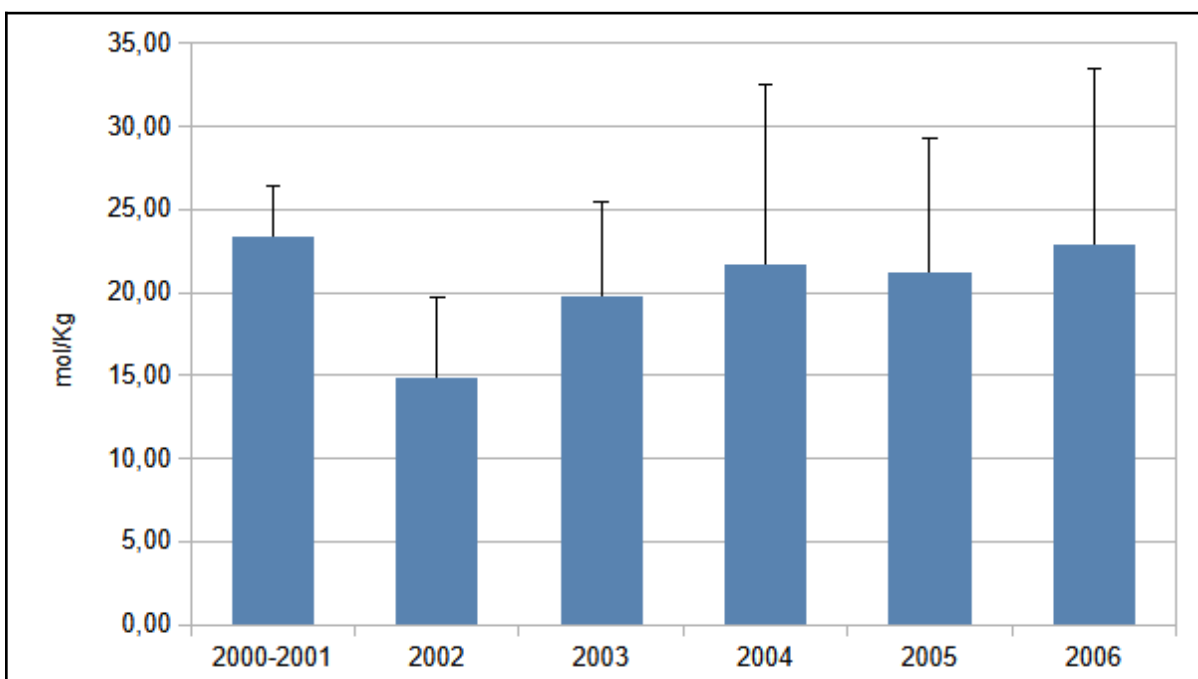


Figura 80. Capacidad de intercambio catiónico en el suelo en parcelas sin cobertura en la provincia de Córdoba en el periodo 2000-2006. No se encontraron diferencias significativas en ningún caso.

En la figura 80 aparece reflejado la capacidad de intercambio catiónico en las parcelas sin cobertura de Córdoba, donde se puede observar que no hay diferencias significativas entre los distintos años, manteniéndose en niveles normales según García (2010).

Según hemos visto en las figuras N y N los niveles no presentan diferencias significativas ni a lo largo del tiempo ni en los valores de ambas tipologías productivas



Figura 81. Capacidad de intercambio catiónico en el suelo en parcelas con cobertura en la provincia de Sevilla en el periodo 2003-2012. No se encontraron diferencias significativas en ningún caso.

En figura 81 aparece reflejada la capacidad de intercambio catiónico en las parcelas con cobertura de Sevilla, donde se puede observar que no hay diferencias significativas entre los distintos años, manteniéndose en niveles normales según García (2010).

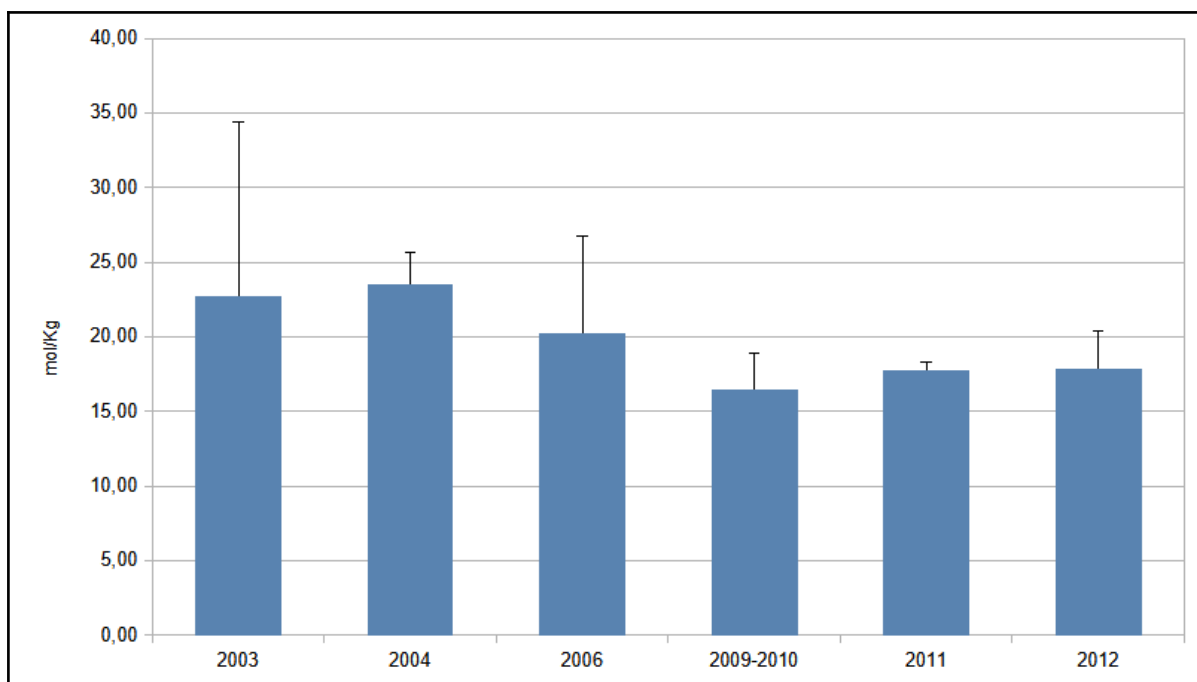


Figura 82. Capacidad de intercambio catiónico en el suelo en parcelas sin cubierta vegetal en la provincia de Sevilla en el periodo 2003-2012. No se encontraron diferencias significativas en ningún caso.

En la figura 82 se muestra la capacidad de intercambio catiónico en las parcelas sin cobertura de Sevilla, en las que se puede observar que no hay diferencias significativas a lo largo del tiempo de estudio y sus valores están dentro de un rango normal según García (2010).

4.6 Análisis de correlación y regresión

Para evaluar la posible relación existente entre la pérdida de suelo y variables climáticas y la pendiente, en presencia y ausencia de cubierta vegetal, se realizaron diferentes análisis de correlación y regresión simple y múltiple.

Sedimento vs Pendiente			
	Con cobertura	Sin cobertura	Todos los datos
R2 ajustada	0,00018	0,023	0,013
P	0,732	0,290	0,263
Ecuación	$y = 6,82 - 0,104 m$	$y = 9,04 + 0,694 m$	$y = 6,11 + 0,440 m$

Tabla 3. Análisis de regresión lineal simple entre la pérdida de suelo y la pendiente en parcelas con y sin cubierta vegetal y todas las parcelas de forma conjunta.

No se encontró ninguna relación lineal significativa en ningún caso entre la pendiente y la pérdida de suelo (Tabla 3).

Sedimento vs Precipitación			
	Con cobertura	Sin cobertura	Todos los datos
R2 ajustada	0,032	0,001	0,001
P	0,210	0,856	0,783
Ecuación	$y = 11,33 - 0,011 P$	$y = 16,55 + 0,004 P$	$y = 13,94 - 0,003 P$

Tabla 4. Análisis de regresión simple entre la pérdida de suelo y la precipitación en parcelas con y sin cubierta vegetal y todas las parcelas de forma conjunta.

De manera similar al caso anterior, no se encontró ninguna relación de regresión lineal significativa entre la pérdida de suelo (variable dependiente) y la precipitación (variable independiente) (Tabla 4).

Sedimento vs Pendiente+ Precipitación			
	Con cobertura	Sin cobertura	Todos los datos
R2 ajustada	0,03	0,02	0,01
p global	0,45	0,57	0,50
p pendiente	0,80	0,30	0,25
p precipitación	0,22	0,93	0,71
Ecuación	$y = 12,25 - 0,076 m - 0,011 P$	$y = 7,99 + 0.688 m + 0,002 P$	$y = 8,41 + 0.452 m - 0,005 P$

Tabla 5. Regresión múltiple del sedimento contra la precipitación + pendiente

Finalmente, cuando se analizó la relación existente entre la pérdida de suelo y, simultáneamente, la pendiente y la precipitación (análisis de regresión múltiple, Tabla 5), no se halló ninguna relación significativa.

Con cobertura	Pendiente	Precipitación
Pérdida suelo	-0,05	-0,18
Sin cobertura	Pendiente	Precipitación
Pérdida sedimento	0,15	0,03
Todos los datos	Pendiente	Precipitación
Pérdida sedimento	0,11	-0,03

Tabla 6. Coeficientes de correlación de Pearson calculados entre la pérdida de suelo y la precipitación y la pendiente en parcelas con y sin cubierta vegetal y el conjunto de todas las parcelas.

Sin embargo, el análisis de correlación sí mostró una covariación significativa de signo negativo entre la pérdida de suelo y la precipitación en las parcelas con cubierta vegetal y entre la pérdida de suelo y la pendiente en el caso de las parcelas sin cubierta vegetal y cuando se consideraron todos los datos en su conjunto, siendo esta covariación de signo positivo.

5 Conclusiones

Como hemos podido ver a lo largo de este estudio el uso de la cubierta vegetal presenta varias mejoras al respecto del manejo tradicional, en algunos caso se tratan de mejoras muy significativas. La más importante y eje central de este trabajo es el efecto que tiene la cobertura vegetal en la pérdida de suelo, la cual como podemos observar en la figuras 14, 15 y 16, en el que las parcelas con cobertura vegetal pierden significativamente menos suelo que las parcelas sin cobertura, tanto en el cómputo total como dividido por provincias. Demostrando que efectivamente la cobertura vegetal protege al suelo de la erosión al crear una mejora estructural del suelo para aguantar la escorrentía y dar una protección física al impacto de las gotas de agua.

Además de tener muchos efectos positivos en la disponibilidad de nutrientes, ya que como se ha visto en el anterior apartado de resultados hay mayor disponibilidad de

nutrientes de forma significativa en las parcelas con cobertura que en las parcelas sin cobertura, dando lugar a suelo mas fértiles y con la capacidad de abastecer de recursos al olivar.

Estos mismos resultados se han corroborado a lo largo del tiempo en las provincias con mayor número de estudios, demostrando que los beneficios de la cobertura vegetal no solo se dan en momentos puntuales sino que son mejoras sostenidas en el tiempo y que implican mejoras tanto para la erosión como para la disponibilidad de nutrientes, mientras que las parcelas sin cubiertas en su continuo uso de mecanismos para eliminar cualquier competencia con el olivar acentúa la erosión, y se desarrolla una dependencia al uso de fitosanitarios y abonos para hacer que el olivar tenga un rendimiento suficiente, debido al deterioro del suelo que provoca la pérdida de nutrientes y de su capacidad de intercambio.

Cabe destacar que no se han encontrado regresiones entre la perdida de suelo y la pendiente y entre la perdida de suelo y la precipitación, sin embargo si que se ha mostrado una covariación significativa cuando la pérdida de suelo y la precipitación con cubierta vegetal de signo negativo, es decir que se pierde menos suelo en parcelas con cobertura cuando llueve, y entre la perdida de suelo y la pendiente en el caso de las parcelas sin cubierta vegetal hay una significancia de signo positiva, es decir que en las parcelas sin cobertura pierden mas suelo cuando hay pendiente y por último cuando se consideraron todos los datos en su conjunto frente a la pendiente siendo una covarianza de signo positivo, lo que sugiere que la cubierta vegetal tiene un efecto que limita la perdida de suelo en pendientes elevadas.

Para concluir podemos afirmar que la cobertura vegetal y la agricultura de conservación implica una mejora respecto a la agricultura tradicional en la salud del suelo olivar, que permite la unión entre capitalización del cultivo y un mayor respeto al medio ambiente, además de una mejora en la calidad del producto final.

6 Bibliografía

- *¿Qué es el cambio climático?* - Junta de Andalucía. (s. f.). <https://www.juntadeandalucia.es/organismos/agriculturapescaaguaydesarrollo/rural/areas/agricultura/agricultura-y-cambio-climatico/paginas/que-es-el-cambio-climatico.html#toc-enlaces-de-inter-s>
- Agricultura de Conservación | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (s. f.). <https://www.fao.org/conservation-agriculture/es/>
- AGROBETA. (2013). LA MATERIA ORGANICA EN EL OLIVAR | Blog de AGROBETA.com. *Blog de AGROBETA.com | Información sobre abonos ecológicos y convencionales.* <https://www.agrobeta.com/agrobetablog/2013/06/la-materia-organica-en-el-olivar/>
- Aranda, V., Ayora-Cañada, M. J., Domínguez-Vidal, A., Martín-García, J. M., Calero, J., Delgado, R., Verdejo, T., & González-Vila, F. J. (2011). Effect of soil type and management (organic vs. conventional) on soil organic matter quality in olive groves in a semi-arid environment in Sierra Mágina Natural Park (Spain). *Geoderma*, 164(1-2), 54-63. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2011.05.010>
- Benlloch-González, M. (2019). *The effect of increasing temperature on olive trees (Olea europaea L. subsp. europaea) biology: An integrated morphological, phenological and biomolecular study.* <https://helvia.uco.es/xmlui/handle/10396/19160>
- Calero, G., & Alfonso, J. F. (2010). Sostenibilidad de la producción de olivar en Andalucía. *Agricultura. Serie: Olivicultura y Elaiotecnia.* https://digital.csic.es/bitstream/10261/24985/1/Sost_Producci%C3%B3n_Olivar_Andalucia3.pdfV
- Consejería de Agricultura y Pesca (2008a). El sector del aceite de oliva y de la aceituna de mesa en Andalucía. Recuperado de: <http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca>
- De Agricultura Y Pesca, A. C. (2007). *Cubiertas vegetales en olivar.*
- De Alba, S., Alcázar, M., Cermeño, F.I., Barbero, F. (2011). Erosión y manejo del suelo. Importancia del laboreo ante los procesos erosivos naturales y

antrópicos. En: Agricultura ecológica en secano: soluciones sostenibles en ambientes mediterráneos. Ministerio De Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. p. 13-38.

- García Brenes, M. D. (2006). El olivar en Andalucía y el sistema de protección de la Unión Europea. *Problemas del desarrollo*, 37(145), 153-176.
- García Zamorano, F. (2010). *Suelo, Riego, Nutrición y Medio Ambiente del Olivar*. <https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/publicacion/17/06/Manual%20suelo%20%5Bbaja%20calidad%5D.pdf>
- Gómez Calero, J. A. (2010). Sostenibilidad de la producción de olivar en Andalucía.
- Gómez, J. A., Campos, M., Guzmán, G., Castillo-Llanque, F., Vanwalleghem, T., Lora, Á., & Giráldez, J. V. (2017). Soil erosion control, plant diversity, and arthropod communities under heterogeneous cover crops in an olive orchard. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(2), 977-989. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-8339-9>
- Gómez, J. A., Llewellyn, C., Basch, G., Sutton, P., Dyson, J., & Jones, C. A. (2011). The effects of cover crops and conventional tillage on soil and runoff loss in vineyards and olive groves in several Mediterranean countries. *Soil Use and Management*, 27(4), 502-514. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2011.00367.x>
- Gómez, J. A., Sobrinho, T. A., Giráldez, J. V., & Fereres, E. (2009). Soil management effects on runoff, erosion and soil properties in an olive grove of southern Spain. *Soil & Tillage Research*, 102(1), 5-13. <https://doi.org/10.1016/j.still.2008.05.005>
- González Rosado, G. R. M. (2021). *PRÁCTICAS DE MANEJO DEL OLIVAR, EFECTOS SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO E INFLUENCIA EN EL ALMACENAMIENTO Y SECUESTRO DE CARBONO*. UCOPress.
- Guzmán, G. I., & Alonso, A. M. (2008). A comparison of energy use in conventional and organic olive oil production in Spain. *Agricultural Systems*, 98(3), 167-176. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2008.06.004>
- Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera (2011). Producción integrada de olivar. Recuperado de:

https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337159656Produccixn_leg rada_Olivar.pdf.

- J. Castro, E. Fernández-Ondoño, C. Rodríguez, A.M. Lallena, M. Sierra, J. Aguilar (2008), Effects of different olive-grove management systems on the organic carbon and nitrogen content of the soil in Jaén (Spain), *Soil and Tillage Research*, Volume 98, Issue 1, Pages 56-67, ISSN 0167-1987, <https://doi.org/10.1016/j.still.2007.10.002>.
- Lal, R. (2002). *Encyclopedia of Soil Science*. Marcel Dekker Inc, New York.
- Laserna, S. (s. f.). *Intercambio Catiónico CIC de los suelos agrícolas*. <https://www.agroes.es/agricultura/el-suelo/160-intercambio-cationico-cic-suelo-agricultura>
- López-Bellido Garrido, P. J. (2017). *BALANCE Y HUELLA DE CARBONO EN PLANTACIONES DE OLIVAR EN EL SUR DE ESP*. UCOPress.
- Maraver, M. (2016). *Nutrientes en el olivo. Funciones, deficiencias y exceso*. <https://oliviculturatradicionalymoderna.blogspot.com/2016/09/nutrientes-en-el-olivo-funciones.html>
- Martínez, J. R. F., Zuazo, V. H. D., & Raya, A. M. (2008). *Environmental impact from mountainous olive orchards under different soil-management systems (SE Spain)*. *Science of The Total Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.05.036>
- Márquez-García, F., González-Sánchez, E. J., García, S. C., & Ordóñez-Fernández, R. (2013). Improvement of soil carbon sink by cover crops in olive orchards under semiarid conditions. influence of the type of soil and weed. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 11(2), 335. <https://doi.org/10.5424/sjar/2013112-3558>
- Márquez García, M. G. F. (2018). *Capacidad de las cubiertas vegetales para mitigar y adaptar el cambio climático en olivares semiáridos*. UCOPress
- Montes-Borrego, M., Navas-Cortés, J. A., & Landa, B. B. (2013). Linking microbial functional diversity of olive rhizosphere soil to management systems in commercial orchards in southern Spain. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 181, 169-178. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.09.021>
- Padilla, J. (2006, 31 mayo). La contaminación por plaguicidas sigue amenazando los pantanos. *Diario Sur*.

<https://www.diariosur.es/pg060531/prensa/noticias/Andalucia/200605/31/SUR-SUBARTICLE-208.html>

- Raya, A. M. (2005). La erosión de los suelos, primer problema de la agricultura convencional. *Vida rural*, (220), 34-38.
- Rodríguez Lizana, A. (2003). Cubiertas vegetales en el olivar. Agricultura. Revista Agropecuaria, 2003 (853), 504 p.-510 p.
- Roldán, R. A. (2011). *Producción integrada de Olivar*.
- Sastre, B., Barbero-Sierra, C., Bienes, R., Marques, M. J., & García-Díaz, A. (2016). Soil loss in an olive grove in central Spain under cover crops and tillage treatments, and farmer perceptions. *Journal of Soils and Sediments*, 17(3), 873-888. <https://doi.org/10.1007/s11368-016-1589-9>

ANEXO. Resultados de los análisis de la varianza

1. Análisis de la varianza de una vía y test a posteriori Tukey HSD

Datos climáticos

	g.l.	F	p
Tª media anual	4	29.63	<0.001
Tª media verano	4	25.36	<0.001
Precipitación total anual	4	0.79	<0.001
Precipitación acumulada de primavera	4	0.30	0.873

Actividades de manejo

	g.l.	F	p
Uso de herbicidas			
Con cubierta	4	2.94	0.046
Sin cubierta	4	0.32	0.857
Promedio provincias	1	3.50	0.099
Arado			
Con cubierta	-	-	-
Sin cubierta	4	0.68	0.618
Promedio provincias	-	-	-
Riego			
Con cubierta	4	0.07	0.991
Sin cubierta	4	0.16	0.954
Promedio provincias	4	0.51	0.495

Erosión

	g.l.	F	p
Pérdida de suelo			
Con cubierta	4	11.99	<0.001
Sin cubierta	4	4.85	0.002
Promedio provincias	1	10.42	0.002

Fertilidad del suelo

	g.l.	F	p
Contenido en N			
Con cubierta	4	1.66	0.176
Sin cubierta	4	3.65	0.012
Promedio provincias	1	22.2	<0.001
Contenido en P			
Con cubierta	4	1.90	0.128
Sin cubierta	4	0.99	0.424
Promedio provincias	1	13.3	<0.001
Contenido en K			
Con cubierta	4	1.88	0.128
Sin cubierta	4	4.88	0.042
Promedio provincias	1	3.69	0.058
Contenido en M.O.			
Con cubierta	4	2.55	0.042
Sin cubierta	4	5.10	0.002
Promedio provincias	1	5.32	0.023
Relación C/N			
Con cubierta	4	0.39	0.809
Sin cubierta	4	2.07	0.010
Promedio provincias	1	4.14	0.045
C.I.C.			
Con cubierta	4	0.84	0.506
Sin cubierta	4	0.27	0.895
Promedio provincias	1	0.80	0.374

Variaciones anuales

Actividades de manejo

	g.l.	F	p
Uso de herbicidas			
Con cubierta/Sin cubierta			
Córdoba	1	6.48	0.026
Sevilla	1	3.26	0.096
Arado			
Con cubierta/Sin cubierta			
Córdoba	1	26.35	<0.001
Sevilla	1	60.50	<0.001
Arado			
Con cubierta/Sin cubierta			
Córdoba	1	0.77	0.398
Sevilla	1	0.01	0.998

2. Análisis de la varianza factorial (presencia/ausencia de cubierta y evolución temporal) y test a posteriori Tukey HSD

Fertilidad del suelo

	g.l.	F	p		g.l.	F	p
Contenido en N							
Córdoba				Sevilla			
Con cubierta/Sin cubierta	1	4.99	0.032	Con cubierta/Sin cubierta	1	10.02	<0.001
Años	5	0.30	0.909	Años	5	0.57	0.045
Interacción	5	0.73	0.608	Interacción	5	0.38	0.859
Contenido en P							
Córdoba				Sevilla			
Con cubierta/Sin cubierta	1	1.36	0.252	Con cubierta/Sin cubierta	1	2.83	0.107
Años	5	1.59	0.019	Años	5	1.75	0.017
Interacción	5	1.41	0.245	Interacción	5	0.33	0.891
Contenido en K							
Córdoba				Sevilla			
Con cubierta/Sin cubierta	1	2.15	0.152	Con cubierta/Sin cubierta	1	0.05	0.829
Años	5	3.34	0.015	Años	5	1.88	0.014
Interacción	5	0.71	0.623	Interacción	5	1.36	0.279
Contenido en M.O.							
Córdoba				Sevilla			
Con cubierta/Sin cubierta	1	7.37	0.010	Con cubierta/Sin cubierta	1	0.03	0.955
Años	5	7.34	0.010	Años	5	0.95	0.047
Interacción	5	0.79	0.564	Interacción	5	0.71	0.626
Relación C/N							
Córdoba				Sevilla			
Con cubierta/Sin cubierta	1	0.59	0.449	Con cubierta/Sin cubierta	1	3.33	0.081
Años	5	4.63	0.002	Años	5	1.13	0.038
Interacción	5	0.40	0.844	Interacción	5	0.58	0.710
Relación C/N							
Córdoba				Sevilla			
Con cubierta/Sin cubierta	1	0.59	0.449	Con cubierta/Sin cubierta	1	3.33	0.081
Años	5	4.63	0.002	Años	5	1.13	0.038
Interacción	5	0.40	0.844	Interacción	5	0.58	0.710
C.I.C.							
Córdoba				Sevilla			
Con cubierta/Sin cubierta	1	0.22	0.642	Con cubierta/Sin cubierta	1	1.83	0.190
Años	5	0.91	0.487	Años	5	0.86	0.525
Interacción	5	0.34	0.883	Interacción	5	0.01	0.999