



**FACULTAD DE TURISMO Y FINANZAS**

**GRADO EN FINANZAS Y CONTABILIDAD**

**Productividad vs Erosión. Una alternativa sostenible**

Trabajo Fin de Grado presentado por Andrés Muñoz Alcaraz, siendo la tutora del mismo la profesora Inmaculada C. Masero Moreno.

Vº. Bº. de la tutora:

Alumno

D. Inmaculada C. Masero Moreno

D. Andrés Muñoz Alcaraz

Sevilla. Junio de 2016





**GRADO EN FINANZAS Y CONTABILIDAD  
FACULTAD DE TURISMO Y FINANZAS**

**TRABAJO FIN DE GRADO  
CURSO ACADÉMICO [2015-2016]**

TÍTULO:

**PRODUCTIVIDAD VS EROSIÓN. UNA ALTERNATIVA SOSTENIBLE**

AUTOR:

**ANDRÉS MUÑOZ ALCARAZ**

TUTOR:

**D. INMACULADA C. MASERO MORENO**

DEPARTAMENTO:

**ECONOMIA APLICADA III**

ÁREA DE CONOCIMIENTO:

**MÉTODOS CUANTITATIVOS**

RESUMEN:

Andalucía es una comunidad autónoma muy arraigada al sector agropecuario desde el punto de vista socio-económico, lo que ha ocasionado un desgaste grave sobre el suelo, precipitado principalmente en las últimas décadas. Este desgaste está provocando que las tierras fértiles de cultivo disminuyan, principalmente en la provincia de Córdoba, aunque no es de extrañar, pues todas las magnitudes socio-económicas del sector agrario cordobés superan la media andaluza, lo que da a entender que es una provincia eminentemente agraria. En el desgaste que se produce en el suelo influyen varios factores, aunque los de mayor incidencia son la pendiente del terreno y la ocupación vegetal que se da en el mismo. El hombre, buscando siempre obtener la mayor productividad de sus tierras, ha estado realizando un uso indebido sobre la misma. La programación lineal multiobjetivo será la herramienta matemática que nos ayudará a obtener una alternativa de cultivos sostenible para cada tipo de terreno.

PALABRAS CLAVE:

Programación multiobjetivos, erosión, margen bruto, sostenibilidad, agricultura.



## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. OBJETIVOS .....	3
3. LA AGRICULTURA EN ANDALUCÍA .....	5
3.1. PRINCIPALES INDICADORES SOCIO-ECONÓMICOS DEL SECTOR AGRARIO ANDALUZ .....	5
3.1.1. Territorio y población .....	5
3.1.2. Aportación del sector agrario al PIB .....	5
3.1.3. Producción de la Rama Agraria (PRA) .....	6
3.1.4. Mercado de trabajo en el sector agrario .....	8
3.2. APROVECHAMIENTO Y USO DEL SUELO .....	9
4. EROSIÓN .....	11
4.1. DEFINICION DE EROSIÓN .....	11
4.2. PRODUCTIVIDAD AGRICOLA VS EROSIÓN .....	13
4.3. LA PÉRDIDA DE SUPERFICIE DE CULTIVO EN ANDALUCÍA .....	14
5. SUBVENCIONES .....	17
5.1. POLÍTICA AGRARIA COMÚN.....	17
5.1.1. Objetivos de la PAC .....	5
5.1.2. Reforma de la PAC 2014 – 2020 .....	5
6. CASO CONCRETO DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA .....	19
6.1. INDICADORES DEL SECTOR AGROALIMENTARIO EN CÓRDOBA.....	19
6.2. APROVECHAMIENTO Y USO DEL SUELO .....	22
6.3. PROBLEMAS DE EROSIÓN EN CÓRDOBA .....	23
7. LA PROGRAMACIÓN LINEAL APLICADA A LA AGRICULTURA .....	27
7.1. LA PROGRAMACIÓN LINEAL CLÁSICA.....	27
7.2. LA PROGRAMACIÓN LINEAL MULTIOBJETIVO .....	28
7.3. APLICACIÓN A LA AGRICULTURA SOSTENIBLE .....	28
7.3.1. Planteamiento del problema .....	28
7.3.2. Presentación del problema matemático .....	31
7.3.3. Resolución del problema por medio del método de las restricciones .....	32
7.3.4. Resultados .....	33
8. CONCLUSIONES .....	35
9. BIBLIOGRAFIA .....	37
10. ANEXOS .....	39



# CAPÍTULO 1

## INTRODUCCIÓN

El sector agropecuario sigue siendo fundamental para la economía española, especialmente en Andalucía, donde todas las magnitudes socio-económicas del sector superan la media nacional.

La erosión es un problema medioambiental que se ha agravado en las últimas décadas principalmente por la acción del hombre. El uso y aprovechamiento que el sector agrícola hace del suelo provoca un desgaste sobre el mismo que no se ve a corto plazo, pero que a medio y largo plazo se hace irreparable. Aunque la Unión Europea aun no le otorga la importancia que merece, las nuevas normativas reguladas por la PAC, están destinadas a fomentar prácticas beneficiosas para el medio ambiente, con el propósito de revertir la situación actual.

Andalucía, por ser una comunidad muy arraigada al sector agropecuario, es la Comunidad Autónoma donde antes se están haciendo notar los efectos de la erosión, principalmente en la zona del Valle del Guadalquivir.

La pendiente es el factor de principal influencia en la erosión del suelo, pero el hombre no puede luchar contra el relieve. Así pues, la cubierta vegetal es el arma que tiene el hombre para luchar contra el desgaste del suelo, pero la agricultura no deja de ser una actividad económica, por lo que los agricultores siembran aquellos cultivos que mayor beneficio les puedan generar sin pensar en la erosión. Cada cultivo provoca un daño diferente sobre el suelo, por ellos es de gran importancia realizar un ordenamiento territorial sostenible, que no provoque pérdidas en el sector, pero tampoco desgaste en exceso la principal materia prima del mismo, el suelo.

La programación lineal multiobjetivo es una herramienta factible para la obtención de un ordenamiento óptimo de un terreno concreto. De esta manera se intenta reducir la incertidumbre que tienen los agricultores a la hora de planificar su actividad económica, obteniendo un ordenamiento óptimo del terreno acorde a sus expectativas. Se debe tener en cuenta que durante la campaña de producción actúan factores que escapan su control, como el clima y el comportamiento del mercado.



## **CAPÍTULO 2**

### **OBJETIVOS**

#### **OBJETIVO PRINCIPAL**

- ✓ Obtener una herramienta que permita realizar un ordenamiento óptimo de los terrenos de cultivo con la ayuda de la programación matemática.

#### **Objetivos secundarios**

- ✓ Analizar las magnitudes socio-económicas que rodean al sector agrario andaluz, y compararlas con la media nacional.
- ✓ Analizar la influencia que tienen determinados usos y aprovechamientos que se hacen del suelo sobre la erosión sufrida por el mismo.



## CAPÍTULO 3

### LA AGRICULTURA EN ANDALUCÍA

#### 3.1. PRINCIPALES INDICADORES SOCIO-ECONÓMICOS DEL SECTOR AGRARIO ANDALUZ

La actividad agraria conforma uno de los pilares principales, junto con el turismo, de la estructura económica y productiva de la comunidad andaluza.

A continuación, trataremos de explicar la importancia relativa que tiene el sector agrario en la economía de nuestra comunidad. Para ello, analizaremos los principales indicadores socio-económicos del sector, tanto a nivel comunitario como nacional.

##### 3.1.1. Territorio y población

Andalucía, dispone de un total de 87.610 km<sup>2</sup>, lo que supone el 17,4% del territorio nacional. A 1 de enero de 2015, el 79,7% del total de la superficie geográfica de Andalucía se considera Medio Rural, es decir, está formada por municipios menores de 30.000 habitantes y posee una densidad menor de 100 hab/km<sup>2</sup>.

Según los datos del MAGRAMA (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente) en el año 2015, de los casi 8 millones de personas que habitan en Medio Rural en España, más de 2 millones pertenecen a la comunidad andaluza, donde se concentra el 25,5% de la población rural nacional. El 24,2% de los andaluces habitan en este medio.

Territorio y población en el medio rural 2015			
Total	Andalucía	España	% s/ España
Superficie (km <sup>2</sup> )	87.610	504.755	17,4%
Población (habitantes)	8.399.043	46.624.382	18,0%
Densidad (hab./km <sup>2</sup> )	95,9	92,4	
Medio Rural	Andalucía	España	% s/ España
Superficie (km <sup>2</sup> )	69.813	426.482	16,4%
Población (habitantes)	2.032.058	7.961.407	25,5%
Densidad (hab./km <sup>2</sup> )	29,1	18,7	
% Medio Rural / Total	Andalucía	España	
Superficie (km <sup>2</sup> )	79,7%	84,5%	
Población (habitantes)	24,2%	17,1%	

**Tabla 3.1. Territorio y población en el medio rural 2015**

*Fuente: MAGRAMA. Dossier Territorial Comunidad Autónoma de Andalucía Enero 2016*

##### 3.1.2. Aportación del sector agrario al PIB

La tabla 2 muestra la participación en el PIB de 2014 de los principales sectores económicos.

En dicho año, el sector de la agricultura, ganadería, silvicultura y pesca (AGSyP) aportó el 4,5% del PIB andaluz, llegando casi a doblar la aportación media nacional, situada en el 2,3% del PIB. Aunque es el sector que menos representa en el PIB, estos datos dan una idea del peso que tiene el sector agrario en la economía

andaluza, con un Valor Añadido Bruto (VAB) de 6.296,1 millones de euros, lo que constituye el 26,3% del VAB agrario nacional.

Cuentas Económicas Regionales	ANDALUCÍA					ESPAÑA				
	2012 (P)	2013 (P)	2014 (A)	Var. (%) 14/13 <sup>(4)</sup>	% s/ Total España 2014	2012 (P)	2013 (P)	2014 (A)	Var. (%) 14/13 <sup>(4)</sup>	
PIB (millones €)	139.999	138.585	139.099	0,4%	13,4%	1.042.872	1.031.272	1.041.160	1,0%	
PIB/Capita (€)	16.700	16.523	16.577	0,3%	74,0%	22.300	22.134	22.412	1,3%	
VAB (millones €)	AGSyP <sup>(1)</sup>	6.120,3	7.140,4	6.296,1	-11,8%	26,3%	23.817	26.560	23.903	-10,0%
Participación (%) en el PIB <sup>(3)</sup>	AGSyP	4,4	5,2	4,5	-0,6		2,3	2,6	2,3	-0,3
	Industria <sup>(2)</sup>	11,8	11,3	11,1	-0,2		15,8	15,6	15,5	-0,1
	Construcción	6,4	5,6	5,4	-0,1		5,8	5,1	4,9	-0,2
	Servicios	69,3	69,3	70,0	0,7		67,9	68,0	68,4	0,4

Datos del PIB actualizados a 23 de diciembre de 2015; y los datos del VAB a 3 de julio de 2015

NOTAS:

(1) AGSyP: Agricultura, Ganadería, Silvicultura y Pesca

(2) Industria extractiva y manufacturera; suministro de energía y agua, y actividades de saneamiento, gestión de residuos y descontaminación

(3) PIB (100%) = AGSyP + Industria y Otros + Construcción + Servicios + Impuestos netos sobre los productos (8,2% en 2012, 8,7% en 2013 y 8,9% en 2014)

(4) Las diferencias entre dos porcentajes se expresan en términos absolutos (en puntos porcentuales).

(P): Estimación Provisional

(A): Estimación Avance

(1ª E): Primera Estimación

### Tabla 3.2. Cuentas Económicas Regionales 2014

Fuente: MAGRAMA. Dossier Territorial Comunidad Autónoma de Andalucía Enero 2016

#### 3.1.3. Producción de la Rama Agraria (PRA)

Para explicar qué subsectores agrarios tienen mayor importancia dentro de la economía agraria, desagregaremos la Producción de la Rama Agraria (PRA), para obtener una información más detallada sobre el sector.

Según los últimos datos regionales proporcionados por el Instituto Nacional de Estadística, en 2014 Andalucía contribuyó con el 24,9% de la Producción de la Rama Agraria de España, con 10.627,34 millones de euros.

Desagregando la PRA, encontramos que el 82,2% de la producción andaluza procede de la Producción Vegetal. El resto se lo reparten la Producción Animal (15,0%) y la Producción de Servicios Agrarios y Actividades Agrarias Secundarias (2,7%). Aunque no disponemos de datos definitivos posteriores a 2014, el peso de la Producción Vegetal en Andalucía en 2011 (83,1%), 2012 (80,9%), 2013 (80,2%) y 2014 (82,2%), nos empuja a aventurar que una de las principales materias primas de la región andaluza es su suelo.

Esta afirmación es extensible al resto de la geografía nacional aunque en menor proporción, donde la Producción Vegetal supone el 57,6% y la Producción Animal el 38,3%. El 4,2% restante proviene de Producción de Servicios Agrarios y Actividades Agrarias Secundarias.

MACROMAGNITUDES AGRARIAS PROVINCIALES AÑO 2014 (DATOS PROVISIONALES). ( Metodología SEC-95 )  
(Valores corrientes a precios básicos en Millones de €)

Valores corrientes a precios básicos (millones de euros)	ANDALUCÍA		ESPAÑA		% ANDALUCÍA / ESPAÑA		ANDALUCÍA	
	2013	2014	2013	2014	2014	2014	% respecto total PRA	ESPAÑA
<b>A. PRODUCCION RAMA AGRARIA</b>	9.573,30	10.627,34	44.064,60	42.600,00	24,9%	24,9%	100,0%	100,0%
<b>A.1. PRODUCCION VEGETAL</b>	7.679,90	8.738,71	25.895,90	24.521,10	35,6%	35,6%	82,2%	57,6%
1 Cereales	534,70	543,29	4.421,60	3.320,00	16,4%	16,4%	5,1%	7,8%
2 Plantas Industriales	313,20	332,82	927,70	882,20	37,7%	37,7%	3,1%	2,1%
3 Plantas Forrajeras	89,70	81,57	2.010,50	1.750,20	4,7%	4,7%	0,8%	4,1%
4 Hortalizas, Plantones, Flores y Plantaciones	3.361,20	3.315,28	7.701,40	7.511,30	44,1%	44,1%	31,2%	9,0%
5 Patata	121,90	73,64	724,80	421,90	17,5%	17,5%	0,7%	1,0%
6 Frutas	2.423,70	2.057,59	7.487,20	7.032,60	29,3%	29,3%	19,4%	16,5%
7 Vino y mosto	26,90	15,14	1.419,10	963,50	1,6%	1,6%	0,1%	2,3%
8 Aceite de oliva	788,20	2.301,12	1.080,70	2.501,30	92,0%	92,0%	21,7%	5,9%
9 Otros	20,30	18,24	122,90	138,10	13,2%	13,2%	0,2%	0,3%
<b>A.2. PRODUCCION ANIMAL</b>	1.609,90	1.596,99	16.457,60	16.325,60	9,8%	9,8%	15,0%	38,3%
A.3. PRODUCCION DE SERVICIOS	100,00	105,95	468,70	496,60	21,3%	21,3%	1,0%	1,2%
A.4. ACTIVIDADES SECUNDARIAS NO AGRARIAS	183,60	185,69	1.242,30	1.256,70	14,8%	14,8%	1,7%	3,0%
<b>B. CONSUMOS INTERMEDIOS</b>	3.648,20	3.802,93	21.445,30	21.172,30	18,0%	18,0%		
<b>C = (A - B) VALOR AÑADIDO BRUTO</b>	5.925,10	6.824,41	22.619,40	21.427,70	31,8%	31,8%	64,2%	50,3%
							% respecto Renta Agraria	
D. AMORTIZACIONES	816,20	841,62	5.021,50	5.178,00	16,3%	16,3%	11,1%	23,7%
F. OTRAS SUBVENCIONES	1.660,50	1.665,44	5.877,80	5.886,90	28,3%	28,3%	22,0%	27,0%
G. OTROS IMPUESTOS	89,60	93,47	314,20	327,80	28,5%	28,5%	1,2%	1,5%
<b>I = (C-D+F-G) RENTA AGRARIA</b>	6.679,80	7.554,76	23.161,50	21.808,80	34,6%	34,6%	100,0%	100,0%

(1) Incluye: Uva de mesa y uva transformación que elaboran las industrias

(2) Incluye: Aceituna de mesa y aceituna almazara que transforman las industrias

\* Para la estimación de las macromagnitudes agrarias del año t se considera la producción de aceite de oliva de la campaña t-1/t, dado que dicha producción se comercializa a partir de los meses de enero y febrero del año t.

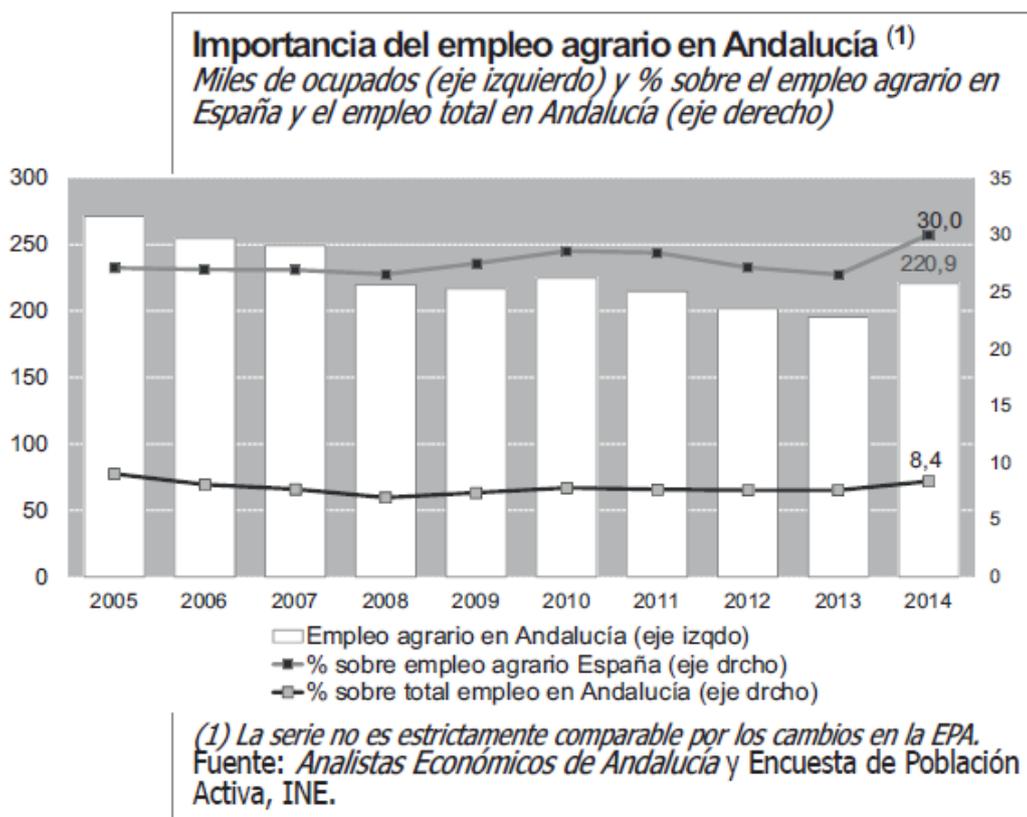
Tabla 3.3. Cuentas Regionales de la Agricultura

Fuente: Elaboración propia a partir de datos INE. Macromagnitudes Agrarias Provisionales año 2014

### 3.1.4. Mercado de trabajo en el sector agrario

El sector agrario no solo es una importante fuente de ingresos para los agricultores dueños de las tierras, sino que a la vez, éstos generan muchos puestos de trabajo en las zonas rurales.

Más del 8% del empleo andaluz se concentra en este sector. En el periodo 2005 a 2014, la población activa refleja un crecimiento del 11,3%, lo que se puede entender como un aumento en la predisposición a trabajar en el campo por parte de los andaluces. Si analizamos el mismo periodo de tiempo, pero a nivel nacional, vemos que ocurre todo lo contrario, pues el sector agrario ha sufrido un decremento del 9,7% en su población activa. La población activa andaluza en el sector agrario supone más del 30% del total nacional.



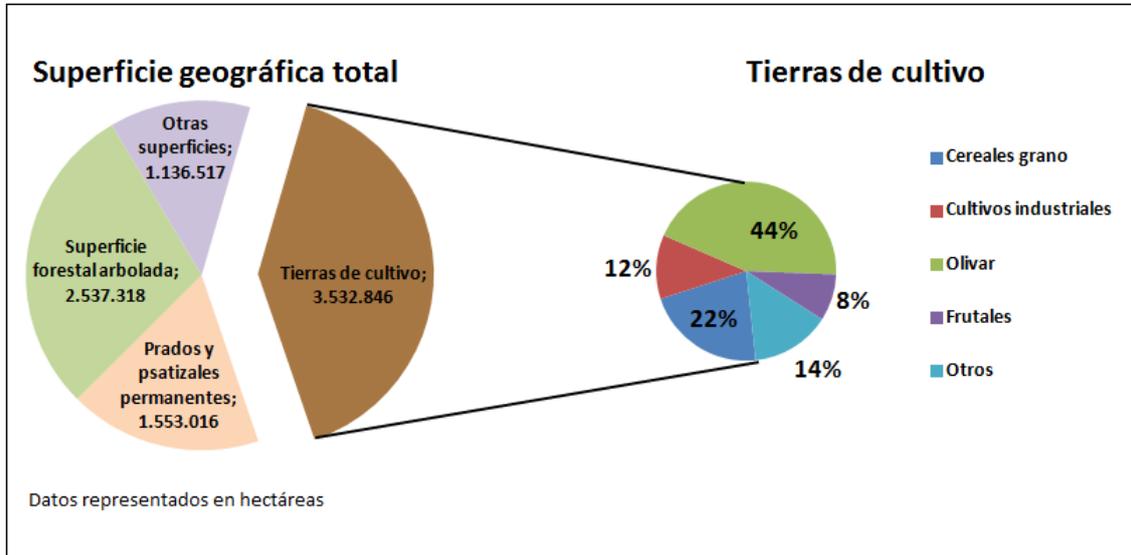
**Gráfico 3.6. Importancia del empleo agrario en Andalucía**

Fuente: Elaborado por Analistas Económicos de Andalucía. Informe anual del sector agrario en Andalucía 2014

A pesar de los datos anteriores, la tasa de paro arroja unos datos demoledores. La tasa de paro en Andalucía pasa del 20% en 2005 hasta el 41,4% en 2014, es decir, casi la mitad de la población dedicada al trabajo agrario se encuentra en desempleo. Esto datos siguen siendo desoladores en el resto de España, pues el paro ha llegado casi a triplicarse en el sector agrario en el mismo periodo de observación, llegando en 2014 a una tasa de paro del 26,5%.

### 3.2. APROVECHAMIENTO Y USO DEL SUELO

A partir de los datos de la Encuesta sobre Superficies Y Rendimientos de Cultivos (ESYRCE) para la Campaña 2014, publicada por el MAGRAMA en 2015, extraemos cómo se distribuye el total de la superficie geográfica de Andalucía y cómo se reparten las tierras de cultivo entre los principales tipos de cultivo que dibujan el paisaje andaluz (Gráfico 3.4.).



**Gráfico 3.4. Aprovechamiento y uso de la superficie geográfica de Andalucía**

*Fuente: Elaboración propia a partir de datos de ESYRCE 2014*

En Andalucía, el cultivo predominante es el olivar, que con 1.555.475 hectáreas ocupaba el 44% de la superficie de cultivo. El cultivo del olivar ha sufrido un incremento superior al 5% desde el año 2000, concentrando aproximadamente el 60% del cultivo de olivar en España.

España ocupa actualmente el primer lugar mundial en superficie y producción de aceite de oliva, aproximadamente el 60% de la producción de la UE y el 45% de la mundial. La producción media de aceite de oliva de Andalucía en el periodo 2009-2014 ha sido superior a 1.100.000 toneladas anuales, lo que representa alrededor del 80% de la producción total nacional.

Detrás del olivar, los principales cultivos que nos encontramos por los campos andaluces son: trigo (12%) y girasol (9%). La ocupación de estos 3 cultivos constituye dos tercios de la superficie agraria andaluza.

Aunque estos cultivos son los que mayor suelo ocupan, no debemos olvidar cultivos como hortalizas y frutales, de donde provienen productos de reconocido prestigio mundial y que, por tanto, también ocupan un lugar importante en las exportaciones de Andalucía (Tabla 3.5.).

	<b>Miles de toneladas</b>		
	<b>2000</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>
<b>Tomates frescos o refrigerados</b>	300,3	650,2	627,4
<b>Aceite de oliva virgen, excepto lampante</b>	199,0	393,0	616,1
<b>Pepinos frescos o refrigerados</b>	315,2	444,6	470,5
<b>Pimientos dulces frescos o refrigerados</b>	250,8	396,5	470,0
<b>Aceitunas preparadas o conservadas sin vinagre</b>	181,1	277,5	318,8
<b>Agrios "cítricos" frescos o secos</b>	184,0	287,1	310,0
<b>Melones, sandías y papayas frescos</b>	261,7	343,5	304,3
<b>Fresas frescas</b>	190,5	270,7	257,0
<b>Aceite de oliva y sus fracciones, incluso refinado</b>	47,5	108,7	176,8

**Tabla 3.5. Principales productos del sector agroalimentario exportados por Andalucía**

*Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Informe Anual del Sector Agrario en Andalucía 2014*

## CAPÍTULO 4

### EROSIÓN

#### 4.1. DEFINICION DE EROSIÓN

La erosión del suelo es un proceso inherente a la vida en la Tierra. Hay un ciclo geológico que modela la corteza del planeta mediante la erosión de los terrenos recién emergidos, el transporte del material desgajado y su sedimentación en zonas de inferior cota. Este ciclo actúa a una escala de tiempo muy grande sobre una superficie muy extensa. Superpuesto a este ciclo geológico, hay erosión a unas escalas temporales y espaciales más reducidas, debida a la intervención de los seres vivos, y en especial al hombre, por lo que es denominada erosión antrópica.

La erosión se mide en toneladas de tierra que se pierden por hectárea durante un año (tn/ha/año). La erosión se puede clasificar en erosión hídrica, agente peligrosamente erosivo y erosión eólica. La erosión hídrica es aquella provocada por el agua, bien sea por la lluvia o por los sistemas de riego, que corre sobre la superficie descubierta de vegetación, arrastrando la tierra y sus nutrientes. Por otro lado, la erosión eólica es aquella provocada por la acción del viento, que arrastra partículas de tierra cuando las rachas de viento son fuertes.

Para el cálculo de la erosión se utiliza la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo Revisada (RUSLE, Revised Universal Soil Loss Equation):

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P$$

donde:

A: pérdidas de suelo por unidad de superficie en un periodo

R: índice de erosividad de la lluvia

K: índice de erosibilidad del suelo

L: factor longitud de ladera

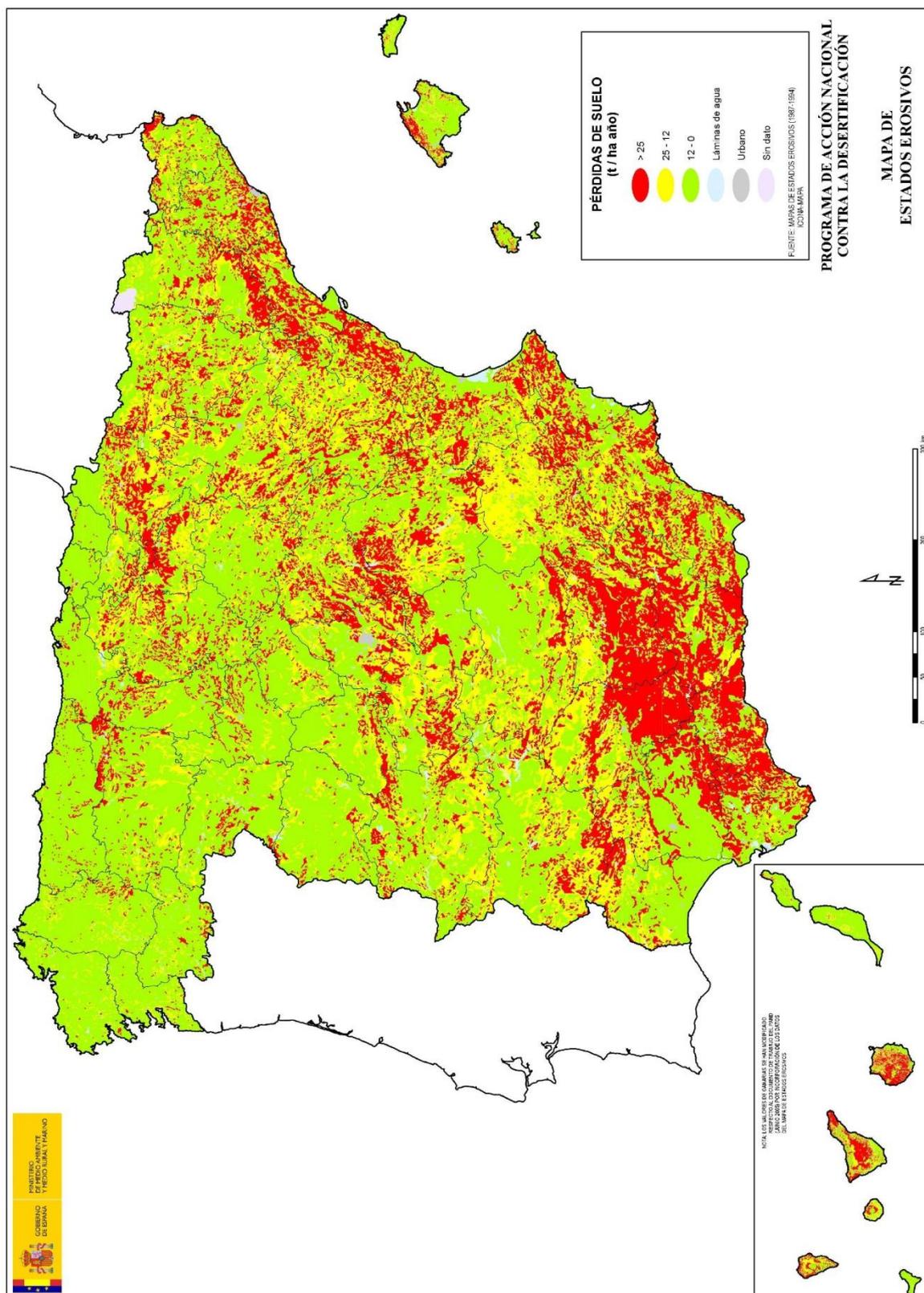
S: factor pendiente

C: factor de cubierta del suelo

P: factor de prácticas de conservación de suelos

En España son destacables los Mapas de Estados Erosivos realizados por el Instituto para la Conservación de la Naturaleza (ICONA) entre los años 1987-1994. Poco tiempo después dicho instituto desaparecería, creándose el primer Ministerio de Medio Ambiente español. El Mapa 4.1 refleja como los niveles erosivos más preocupantes se concentran en Andalucía, principalmente en el Valle del Guadalquivir.

Tras los estudios de ICONA en materia de erosión de suelos, se inicia el proyecto del Instituto Nacional de Erosión de Suelos (INES) 2002-2012, que tiene como objetivo realizar un estudio exhaustivo y minucioso de la erosión ocasionada en el suelo a nivel provincial. Este proyecto estaba previsto que finalizara en 2012, pero por diversos motivos aun no se han podido finalizar los estudios en todas las provincias, teniendo como nuevo horizonte de finalización el año 2018. Hasta la presente fecha estas son las provincias que han publicado sus resultados: Madrid, Murcia, Lugo, A Coruña, Ourense, Pontevedra, Asturias, Navarra, La Rioja, Illes Balears, Cantabria, Girona, Tarragona, Lleida, Barcelona, Cáceres, Badajoz, Santa Cruz de Tenerife, Las Palmas de Gran Canaria, Alicante, Jaén, Córdoba, Málaga, Almería, Cádiz, Granada, Sevilla, Huelva, Zamora, Valladolid, León, Ávila, Segovia, Palencia, Salamanca y Burgos.



**Mapa 4.1. Estados erosivos a nivel nacional**

*Fuente: Elaborado por ICONA. Mapas de Estados Erosivos*

## 4.2. PRODUCTIVIDAD AGRÍCOLA VS EROSIÓN

Al analizar la erosión del suelo, varios estudios parecen coincidir en que la cubierta vegetal es el factor a modificar para reducir los procesos erosivos. Se entiende por cubierta vegetal, a la cobertura de plantas salvajes o cultivadas que crecen sobre una superficie de suelo.

Durante las últimas décadas, son varios los autores que coinciden en que la cubierta vegetal es el factor fundamental a modificar para ralentizar la erosión del suelo. Ya en 1991, Moreira, en su libro "*Capacidad de uso y erosión de suelos*", repasaba los factores que intervienen sobre la erosión, llegando a la conclusión de que hay factores que tienen gran incidencia sobre el desgaste del suelo pero que son de difícil y costosa modificación, como la lluvia, la capacidad intrínseca del terreno para ser erosionado o la pendiente, factor muy determinante a la hora de calificar la capacidad erosiva de un terreno.

Sólo la cubierta vegetal se muestra como el factor que está en la mano del hombre transformar sin grandes problemas. De hecho, ha sido la transformación de este factor en dirección negativa, la que ha provocado situaciones de erosión acelerada que, a lo largo de siglos, ha dado lugar a los procesos de desertificación propios de algunos puntos de la geografía del sur y sureste peninsular. La actuación del hombre sobre este mismo factor, en una dirección positiva, puede ser la única capaz de controlar los procesos erosivos acelerados que se ciernen sobre muchas de las tierras de Andalucía, (Moreira, 1994).

Aunque aún no se sabe el verdadero daño que el ser humano está provocando sobre el suelo con sus actuaciones, ya estamos sufriendo las primeras consecuencias económicas de la erosión, y una de las principales consecuencias es la pérdida de fertilidad de la tierra.

El hombre intenta siempre maximizar la productividad agrícola buscando el máximo beneficio económico de la tierra. Una práctica muy común hoy día es el monocultivo, por tanto, la tierra tiene siempre el mismo ciclo de producción, lo que provoca que esté el resto del año vacía, favoreciendo la erosión hídrica. Además, el monocultivo no permite al suelo recuperar sus nutrientes de manera natural, obligando a los agricultores a utilizar fertilizantes químicos para sacar adelante su cosecha, con el sobrecoste que ello conlleva.

La pérdida de fertilidad, está llevando en muchos casos al abandono de las tierras. Si a esto sumamos las pérdidas de tierra provocadas por cárcavas a orillas de ríos y arroyos, el hombre cada vez tiene menos suelo productivo. Así, España ha visto reducida su superficie de tierras de cultivo en un 3,34% durante el periodo 2008-2014.

Otro problema ambiental de primer orden provocado por la erosión es la colmatación de embalses. La Junta de Andalucía ya propuso en 2012 un Borrador del Plan Andaluz de Control de de la Desertificación en la que abordaba este problema, aunque no lo calificaba como un problema prioritario.

Realmente es difícil de cuantificar la colmatación de los embalses, ya que coloquialmente siempre se habla del porcentaje de ocupación del embalse pero, como bien cuenta el artículo de Gustavo Hermoso, *Embalses de barro* en el diario El País, los embalses están llenos precisamente de eso, de barro y sedimentos que han sido arrastrados por el agua y que se van estancando en el fondo de los embalses.

Por la falta de datos exactos sobre batimetrías realizadas en embalses, no podemos cuantificar el problema a fecha de hoy, pero en el borrador anteriormente mencionado, la junta de Andalucía realizó un estudio sobre varios embalses andaluces y con las pérdidas de capacidad por culpa de la colmatación.

La Tabla 4.2 muestra el año de entrada en explotación de varios embalses andaluces y como ha mermado su capacidad desde entonces, algunos incluso han llegado al final de su vida útil por culpa de los sedimentos alojados en el fondo.

Embalse	Año de entrada en explotación	Capacidad Inicial (hm <sup>3</sup> )	Capacidad total última batimetría (hm <sup>3</sup> )	Perdida de capacidad (% del volumen inicial)	Pérdida de Capacidad media anual (% del vol. Inicial/año)	Años para alcanzar el fin de la vida útil del embalse
Bembézar	1963	347,00	342,101	1,41	0,046	1060
Bermejales	1958	104,00	102,605	1,34	0,067	703
Bornos	1961	215,00	200,185	6,89	0,238	170
Cala	1927	59,00	55,397	6,11	0,107	393
Cubillas	1956	21,00	18,701	10,95	0,322	110
Doña Aldonza	1955	23,00	0,561	97,56	4,435	*
Gergal	1979	36,00	34,695	3,63	0,604	61
Guadalén	1954	173,00	167,958	2,91	0,066	708
Guadalmellato	1965	163,00	146,677	10,01	0,371	99
La Bolera	1967	56,00	53,172	5,05	0,421	85
La Breña	1935	116,00	100,131	13,68	0,244	139
La Minilla	1956	60,00	56,360	6,07	0,217	186
Pedro Marín	1954	19,00	1,107	94,17	4,095	*
Puente Nuevo	1972	286,70	281,734	1,73	0,079	606
Torre del Águila	1947	70,00	64,357	8,06	0,179	225
Conde de Guadalhorque	1921	77,61	66,561	14,24	0,203	166
Guadalhorque	1972	134,40	130,430	2,95	0,155	293
La Viñuela	1986	170,00	168,201	1,06	0,132	363
Limonero	1983	25,00	23,320	6,72	0,517	79

\*: Ya han alcanzado el final de su vida útil

**Tabla 4.2. Efecto de la erosión en algunos embalses andaluces**

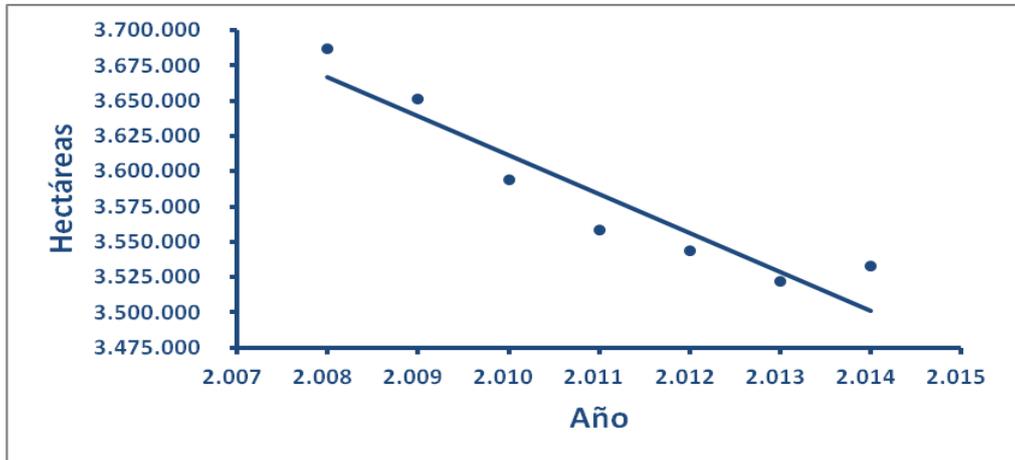
*Fuente: Elaborado por la Junta de Andalucía. Plan Andaluz de Control de la Desertificación*

### 4.3. LA PÉRDIDA DE SUPERFICIE DE CULTIVO EN ANDALUCÍA

Si analizamos la superficie cultivable en Andalucía en el periodo 2008-2014 (Gráfico 4.3), podemos comprobar cómo en la comunidad autónoma andaluza se han perdido más de 150.000 hectáreas de tierras de cultivo, aproximadamente el 4,2%. Esto nos lleva a preguntarnos: ¿la actividad agrícola llevada a cabo en España es sostenible en el tiempo?

Debido a que la geografía Española es muy diversa y no todas las superficies poseen la misma capacidad de erosión, este problema debe ser atajado a pequeña escala. Centrándonos en la comunidad andaluza, analizaremos las pérdidas de tierra sufridas por las 4 principales provincias en cuanto a superficie de cultivo se refiere:

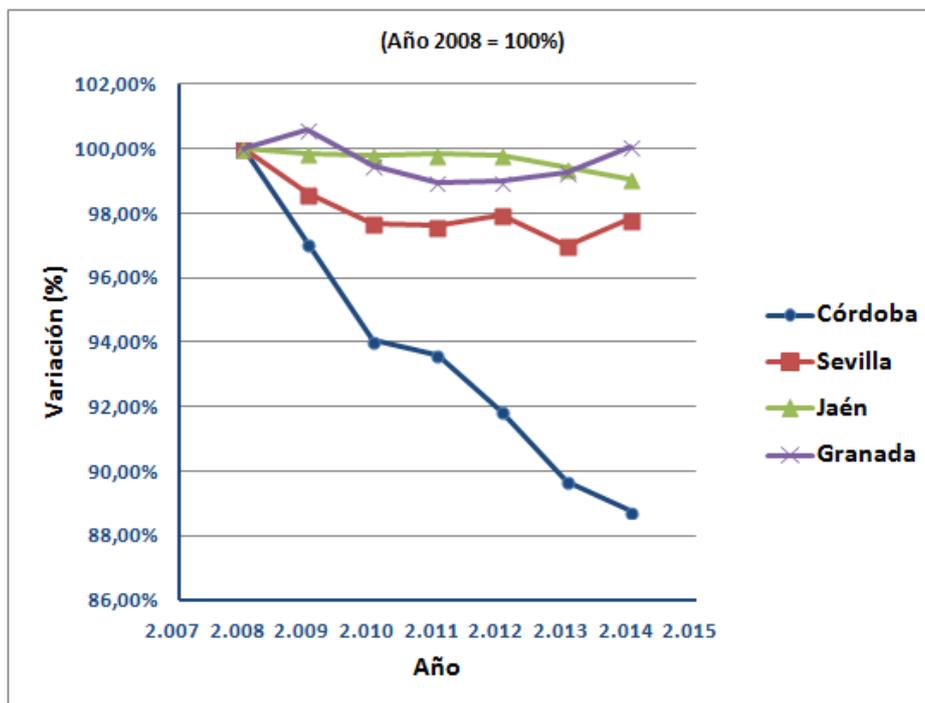
Sevilla, Córdoba, Jaén y Granada. Estas 4 provincias concentran en 2014 más del 75% de la superficie de cultivo de Andalucía. Además estas provincias son las que mayor territorio erosionado tienen según el mapa de estados erosivos mostrado anteriormente. En esta primera criba quedan descartadas las provincias de Cádiz, Huelva, Almería y Málaga, buscando maximizar el terreno a analizar e intentando reducir el estudio a la provincia óptima.



**Gráfico 4.3. Superficie de tierra cultivable en Andalucía**

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de ESYRCE 2008-2014

El Gráfico 4.4 muestra la variación de superficie cultivable en esas 4 provincias en el periodo 2008-2014. Sevilla, Jaén y Granada logran mantenerse por encima del 96% su superficie, en cambio, la provincia de Córdoba ha visto como su superficie ha mermado en más de un 10%. Córdoba ha perdido en este periodo un total de 83.070 hectáreas, suponiendo aproximadamente el 54% de las mermas de Andalucía. Por ello, Córdoba será en adelante la provincia en la que nos centraremos más detenidamente en este trabajo.



**Gráfico 4.4. Evolución de la variación de superficie de cultivo**

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de ESYRCE 2008-2014



# CAPÍTULO 5

## SUBVENCIONES

### 5.1. POLÍTICA AGRARIA COMÚN

La PAC gestiona las subvenciones que se otorgan a los agricultores y ganaderos de la Unión Europea.

Nace en 1957 con la firma del Tratado de Roma, y su principal objetivo era garantizar alimentos a precios asequibles, protegiendo los intereses de los agricultores frente a terceros países. Básicamente se trataba de subvencionar a los agricultores según su productividad y abrir la circulación de productos agrícolas dentro de la CEE.

Desde entonces la PAC ha ido sufriendo numerosas reformas para seguir paliando los problemas que han ido surgiendo a lo largo de las últimas décadas en relación a la actividad agraria y el medio ambiente. La última reforma de la PAC fue aprobada en noviembre de 2013 y más adelante se puntualizarán los principales cambios.

#### 5.1.1. Objetivos de la PAC

Últimamente existe un pensamiento de rechazo hacia la PAC por gran parte de la población ajena a vida rural, tachándola de ser una política obsoleta, costosa y sin sentido, que lo único que hace es beneficiar a los agricultores. En cambio, el Fondo Español de Garantía Agraria (FEGA), que es el organismo encargado de regular la PAC en nuestro país, nos determina cuáles son los objetivos que busca la PAC en la actualidad:

- **Objetivos básicos:**
  - ✓ Asegurar una oferta estable de alimentos sanos y asequibles a la población de la Unión Europea.
  - ✓ Proporcionar un nivel de vida razonable a los agricultores comunitarios, permitiendo, al mismo tiempo, la modernización y el desarrollo de la industria agroalimentaria.
  - ✓ Asegurar que todas las regiones de la Unión Europea puedan mantener su agricultura.
- **Objetivos complementarios:**
  - ✓ Procurar el bienestar de la sociedad rural.
  - ✓ Mejorar la calidad de los alimentos y su grado de inocuidad.
  - ✓ Asegurar la protección del medio ambiente en beneficio de las futuras generaciones.
  - ✓ Mejorar las condiciones sanitarias de los animales y su bienestar.

#### 5.1.2. Reforma de la PAC 2014 – 2020

La principal diferencia en la nueva PAC es que se sustituye el Pago Único, que se venía dando a los agricultores por hectárea de superficie agrícola, por un Pago Básico que se irá regulando dentro de cada zona rural, de manera que todos obtengan la misma ayuda por hectárea dentro de una zona concreta. El año 2014 se utilizó como año de transición y referencia para determinar la cuantía de las nuevas ayudas.

Además de este Pago Básico, se puede obtener una ayuda complementaria denominada Pago Verde o Greening. Los agricultores que quieran obtener dicha ayuda deberán cumplir unos requisitos y realizar prácticas beneficiosas para el medio ambiente y el clima.

Las prácticas a realizar son:

- ✓ Diversificación de cultivos.
- ✓ Mantenimiento de pastos permanentes.
- ✓ Mantenimiento de superficies de interés ecológico.

Podrán cobrar la ayuda al Pago Verde sin necesidad de realizar las anteriores prácticas aquellos agricultores que cumplan al menos uno de los siguientes requisitos:

- ✓ Su explotación no supere las 10 hectáreas.
- ✓ Su producción sea ecológica.
- ✓ Sus cultivos sean leñosos.
- ✓ Que una parte importante de su explotación se destine al cultivo del arroz, se dedica a barbecho o tiene pastos permanentes.

También existen unas Ayudas Asociadas a determinados cultivos, que son realmente costosos para el agricultor y sin las cuales sería inviable mantener su cultivo. Los cultivos que tienen ayuda asociada son: el arroz, el algodón, la remolacha, las legumbres, los frutos de cascara, el tomate para industria y cultivos proteicos para alimentación animal.

Además de las subvenciones mencionadas anteriormente, existen numerosas ayudas adicionales que el agricultor puede solicitar fuera del marco de la PAC. Éstas se publican en el BOE o en los Boletines Oficiales de cada Comunidad Autónoma.

## CAPÍTULO 6

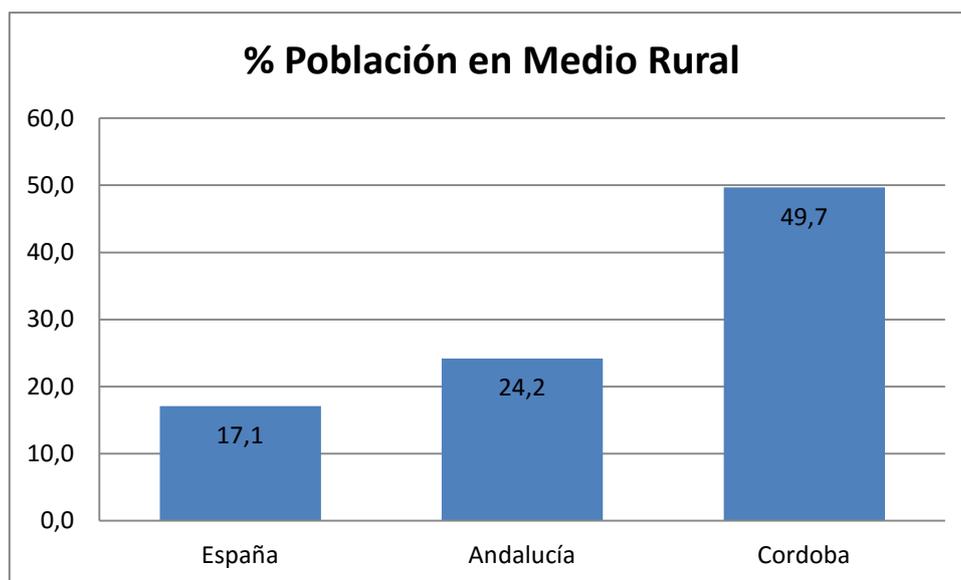
### CASO CONCRETO DE LA PROVINCIA DE CÓRDOBA

#### 6.1. INDICADORES DEL SECTOR AGROALIMENTARIO EN CÓRDOBA

En este apartado trasladamos a la provincia de Córdoba el análisis socioeconómico realizado en el Capítulo 3.

##### **Territorio y población:**

Córdoba cuenta a 1 de Enero de 2015 con una población total de 795.611 habitantes, lo que supone el 9,47% del total de la población andaluza en dicha fecha. Esta población se reparte en 75 municipios de los cuáles tan solo Córdoba (327.362), Lucena (42.697) y Puente Genil (30.167) superan los treinta mil habitantes. En la provincia de Córdoba el 49,7% de la población vive en este medio frente al 24,2% que lo hace de media en Andalucía.



**Gráfico 6.1. Porcentaje de población en Medio Rural en Córdoba**

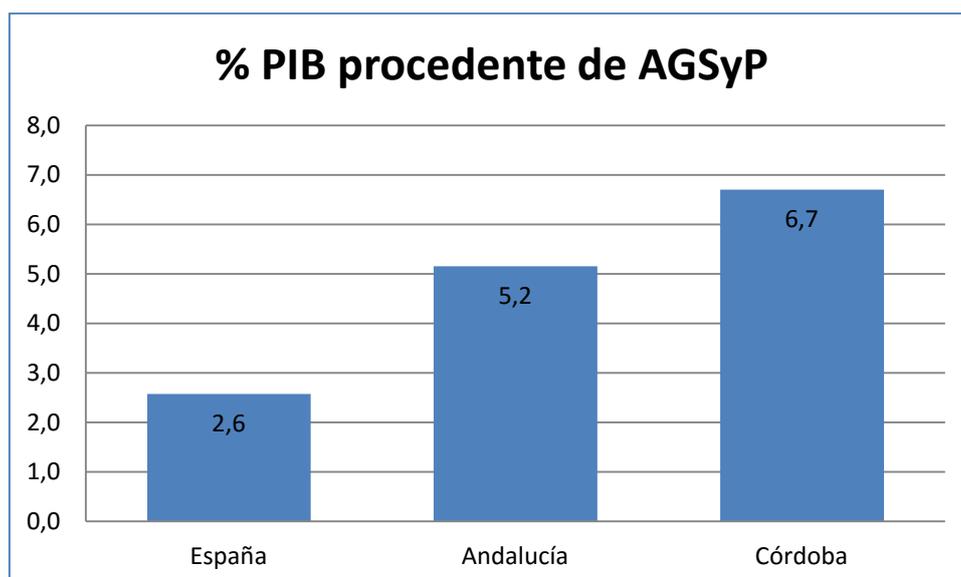
*Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Instituto Nacional de Estadística*

En términos de superficie, podemos decir que de los 13.550 km<sup>2</sup> de superficie que tiene la provincia, 11.772 km<sup>2</sup> son zonas rurales, es decir, el 86,9% del territorio.

##### **Aportación del sector agrario al PIB:**

En términos de PIB provincial solo disponemos de los datos publicados por el Instituto Nacional de Estadística hasta el año 2013.

El PIB de dicho año en la provincia de Córdoba fue de 12.735.913.000 euros, viniendo el 9,2% del PIB de Andalucía de esta provincia. Si comparamos el VAB agrario de Córdoba con el VAB agrario andaluz, tenemos que Córdoba supera en 1,5 puntos la media andaluza, siendo la aportación del sector agrario al total del PIB generado en Córdoba el 6,7%.

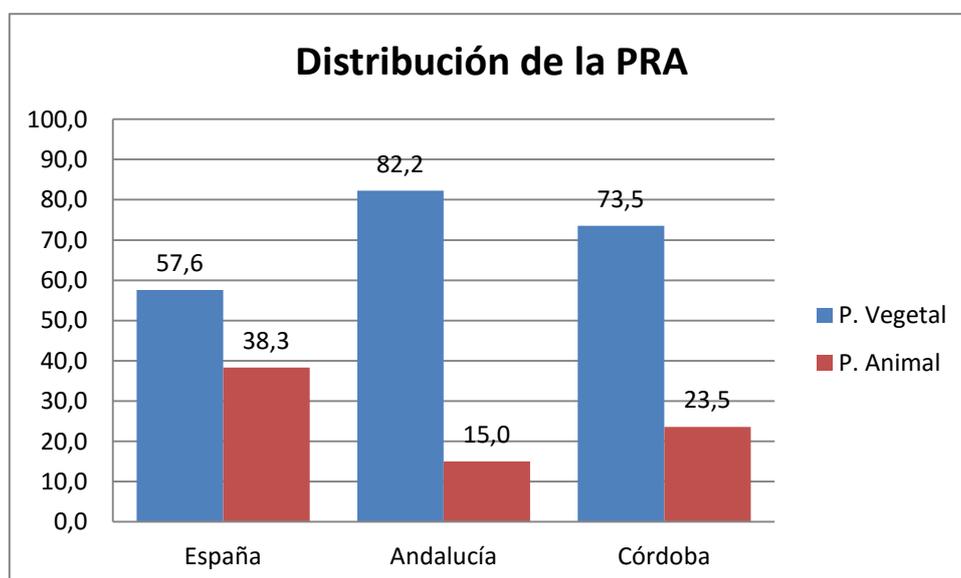


**Gráfico 6.2. Porcentaje del PIB procedente del sector AGSyP en Córdoba**

*Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Instituto Nacional de Estadística*

### **Producción de la Rama Agraria:**

La PRA de Córdoba en 2014 alcanzó los 1.339,93 millones de euros, es decir, el 12,6% de la PRA de Andalucía. En la provincia de Córdoba, al igual que Andalucía en general, la mayor parte de la Producción de la Rama Agraria proviene de la producción vegetal, suponiendo ésta el 73,5%, donde cabe destacar la producción de aceite de oliva.



**Gráfico 6.3. Distribución de la Producción de la Rama Agraria en Córdoba**

*Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Junta de Andalucía*

MACROMAGNITUDES AGRARIAS PROVINCIALES AÑO 2014 (DATOS PROVISIONALES). ( Metodología SEC-95 )  
(Valores corrientes a precios básicos en Millones de €)

	CÓRDOBA		ANDALUCÍA		% CÓRDOBA / ANDALUCÍA		CÓRDOBA	ANDALUCÍA
	2014	2013	2014	2013	2014	2013	% respecto total PRA	
Valores corrientes a precios básicos (millones de euros)								
<b>A. PRODUCCION RAMA AGRARIA</b>	1.339,93	9.573,30	10.627,34		12,6%		100,0%	100,0%
<b>A.1. PRODUCCION VEGETAL</b>	985,07	7.679,90	8.738,71		11,3%		73,5%	82,2%
1 Cereales	98,11	534,70	543,29		18,1%		7,3%	5,1%
2 Plantas Industriales	43,24	313,20	332,82		13,0%		3,2%	3,1%
3 Plantas Forrajeras	7,62	89,70	81,57		9,3%		0,6%	0,8%
4 Hortalizas, Plantones, Flores y Plantaciones	104,37	3.361,20	3.315,28		3,1%		7,8%	31,2%
5 Patata	4,94	121,90	73,64		6,7%		0,4%	0,7%
6 Frutas	252,14	2.423,70	2.057,59		12,3%		18,8%	19,4%
7 Vino y mosto	5,77	26,90	15,14		38,1%		0,4%	0,1%
8 Aceite de oliva	464,83	788,20	2.301,12		20,2%		34,7%	21,7%
9 Otros	4,04	20,30	18,24		22,2%		0,3%	0,2%
<b>A.2. PRODUCCION ANIMAL</b>	315,52	1.609,90	1.596,99		19,8%		23,5%	15,0%
A.3. PRODUCCION DE SERVICIOS	13,19	100,00	105,95		12,5%		1,0%	1,0%
A.4. ACTIVIDADES SECUNDARIAS NO AGRARIAS	26,15	183,60	185,69		14,1%		2,0%	1,7%
<b>B. CONSUMOS INTERMEDIOS</b>	538,51	3.648,20	3.802,93		14,2%			
<b>C = (A - B) VALOR ANADIDO BRUTO</b>	801,42	5.925,10	6.824,41		11,7%		59,8%	64,2%
% respecto Renta Agraria								
D. AMORTIZACIONES	146,91	816,20	841,62		17,5%		15,1%	11,1%
F. OTRAS SUBVENCIONES	328,49	1.660,50	1.665,44		19,7%		33,9%	22,0%
G. OTROS IMPUESTOS	12,58	89,60	93,47		13,5%		1,3%	1,2%
<b>I = (C-D+F-G) RENTA AGRARIA</b>	970,42	6.679,80	7.554,76		12,8%		100,0%	100,0%

(1) Incluye: Uva de mesa y uva transformación que elaboran las industrias

(2) Incluye: Aceituna de mesa y aceituna almazara que transforman las industrias

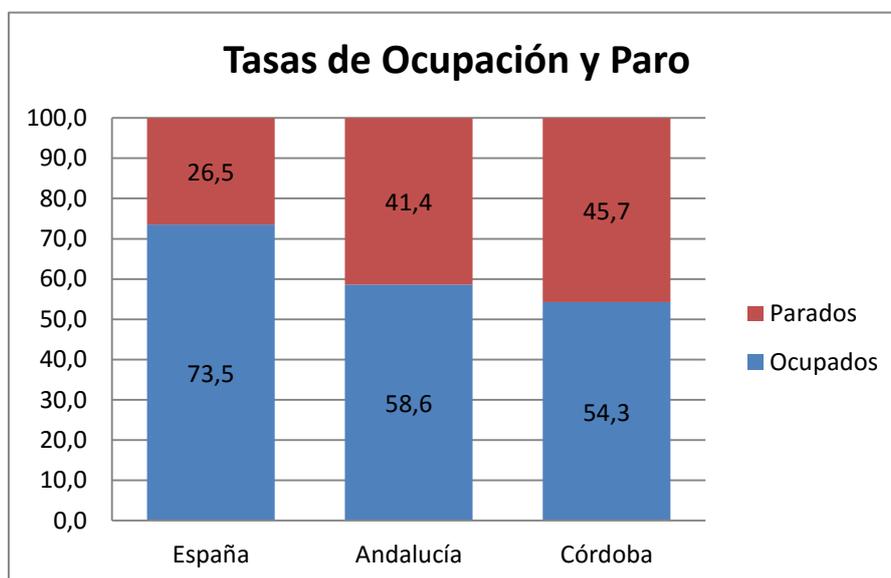
\* Para la estimación de las macromagnitudes agrarias del año t se considera la producción de aceite de oliva de la campaña t-1/t, dado que dicha producción se comercializa a partir de los meses de enero y febrero del año t.

Tabla 6.4. Cuentas Regionales de la Agricultura

Fuente: Elaboración propia a partir de datos INE. Macromagnitudes Agrarias Provinciales año 2014

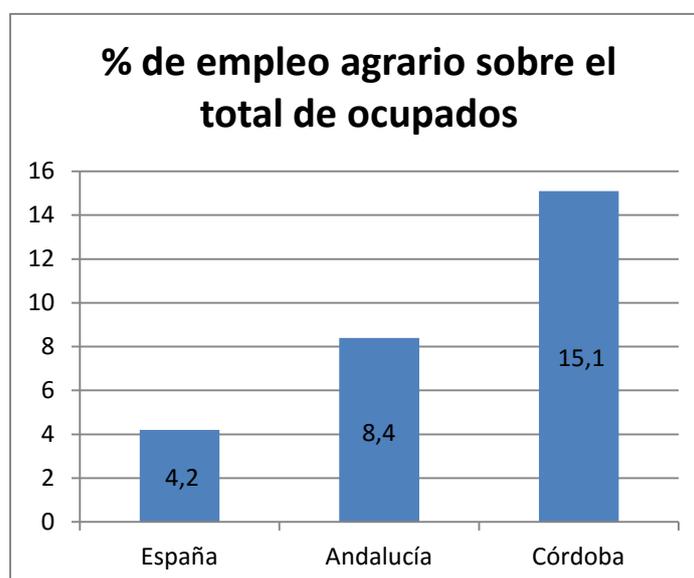
**Mercado de trabajo en el sector agrario:**

El sector agrario toma también gran importancia en la economía de los cordobeses, pues el peso del empleo agrario sobre el empleo total en 2014 fue del 15,1%, muy por encima de la media andaluza, que para ese año se situó en el 8,4%.



**Gráfico 6.5. Tasas de Ocupación y Paro en Córdoba**

*Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Informe Anual del Sector Agrario en Andalucía 2014*



**Gráfico 6.6. Peso del empleo agrario sobre el empleo total en Córdoba**

*Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Informe Anual del Sector Agrario en Andalucía 2014*

## 6.2. APROVECHAMIENTO Y USO DEL SUELO

Córdoba, con una superficie total de 1.377.131 hectáreas, es la segunda provincia andaluza en superficie. Al cultivo agrícola se destinan 656.057 ha, casi la mitad de la superficie.

Como se puede apreciar en la Tabla 6.6, en 2014 más del 75% de las tierras de cultivo se repartieron principalmente entre 3 tipos de cultivo: olivar (343.923 ha), trigo (103.423 ha) y girasol (56.027 ha). Esto no es de extrañar, pues son cultivos que no necesitan de constante riego para obtener una gran productividad y debido a que el 83,14% de las tierras andaluzas son de secano, los agricultores ven reducidas sus opciones a la hora de escoger un cultivo.

No hay que olvidar cultivos que, aunque no representen un alto porcentaje sobre el total de la superficie provincial, tienen gran importancia en zonas concretas de la provincia, como el naranjo en la zona de Palma del Río, los viñedos en la zona de Montilla y Moriles o el ajo en la zona de Montalbán.

Principales cultivos de Córdoba	2014		
	Hectáreas	% Superficie	Principal variedad y zona de cultivo
<b>Olivar</b>	343.923	52,42%	Aceituna de Almazara en Secano
<b>Trigo</b>	103.423	15,76%	Trigo Duro en Secano
<b>Girasol</b>	56.027	8,54%	Girasol en Secano
<b>Avena</b>	15.655	2,39%	Avena en Secano
<b>Naranjo</b>	9.980	1,52%	Naranja Navelina en Regadío
<b>Algodón</b>	7.495	1,14%	Algodón en Regadío
<b>Maíz</b>	7.272	1,11%	Maíz en Regadío
<b>Cebada</b>	6.677	1,02%	Cebada de 2 Carreras en Secano
<b>Viñedo</b>	5.827	0,89%	Uva transformación en Secano
<b>Ajo</b>	3.538	0,54%	Ajo Spring en Regadío
<b>Resumen de los 10 principales cultivos</b>	<b>559.817</b>	<b>85,33%</b>	
<b>SECANO</b>	545.427	83,14%	
<b>REGADIO</b>	110.559	16,85%	
<b>INVERNADERO</b>	71	0,01%	
<b>TOTAL TIERRAS CULTIVO</b>	<b>656.057</b>	<b>100,00%</b>	

**Tabla 6.7. Principales cultivos presentes en Córdoba en 2014**

*Fuente: Elaboración propia a partir de datos de ESYRCE 2014*

### 6.3. PROBLEMAS DE LA AGRICULTURA EN CÓRDOBA

La Red de Información Ambiental de Andalucía (Rediam) con la colaboración de la Universidad de Córdoba, ha realizado un estudio denominado “Generación de escenarios futuros ambientales para Andalucía en el contexto del cambio global como apoyo a actividades de planificación y toma de decisiones” con cinco escenarios diferentes y las consecuencias que tendría en el horizonte temporal hasta el año 2035. Uno de los escenarios hace referencia a la continuidad del uso que se hace actualmente de la tierra sin modificaciones importantes. El estudio determina un aumento de la agricultura intensiva hasta el final del horizonte temporal, es decir, se aumentará aquella agricultura que hace un uso intensivo de mano de obra, insumos y capital buscando la mayor productividad posible de la superficie de cultivo. En contra, se reducirá la agricultura extensiva, que es aquella que no maximiza la productividad del suelo a corto plazo, haciendo uso de los recursos naturales presentes en el lugar y reduciendo la utilización de fertilizantes químicos y riegos. Esto provocará el abandono de tierras, que serán ocupadas principalmente por matorral.

Otro problema presente en la agricultura cordobesa es la baja rentabilidad de los cultivos de regadío. El regadío de Córdoba es el menos rentable de Andalucía, principalmente porque en Córdoba los cultivos que mayor rentabilidad proporcionan en este tipo de suelo, la fresa y los horticolas de invernadero, tienen un escaso peso en los cultivos de la provincia. A esto debemos sumar el hecho de que siendo la segunda provincia en cuanto a capacidad de almacenamiento de agua se refiere, se sitúa en la cuarta posición en superficie de regadío, con tan solo 110.559 hectáreas (16,85%).

Miguel Cobos, presidente de la Unión de Pequeños Agricultores (UPA), en una entrevista al diario ABC (en línea) mantiene que “los altos costes que tiene mantener el regadío hace irrentables muchos cultivos”. Al respecto, señala que “los costes de energía y la implantación de una tarifa única nos está perjudicando, ya que estamos pagando en enero, cuando no se riega, lo mismo que en agosto, lo que supone un sobrecoste”.

A pesar de la baja rentabilidad del regadío, Córdoba ha incrementado en un 17% su superficie de regadío en los últimos 4 años. La razón es el auge del olivar de regadío, que consume poca agua y es más rentable que otras alternativas, además del sorprendente aumento de almendros de regadío, un cultivo con poca presencia hasta la fecha en los campos cordobeses pero las expectativas indican que pronto irrumpirá en la lista de los 10 principales cultivos de la provincia, ya que ha triplicado su rentabilidad en los últimos años, y se está convirtiendo en una alternativa para quienes cultivan algodón, girasol y cereales con una baja rentabilidad, según indica Cobos.

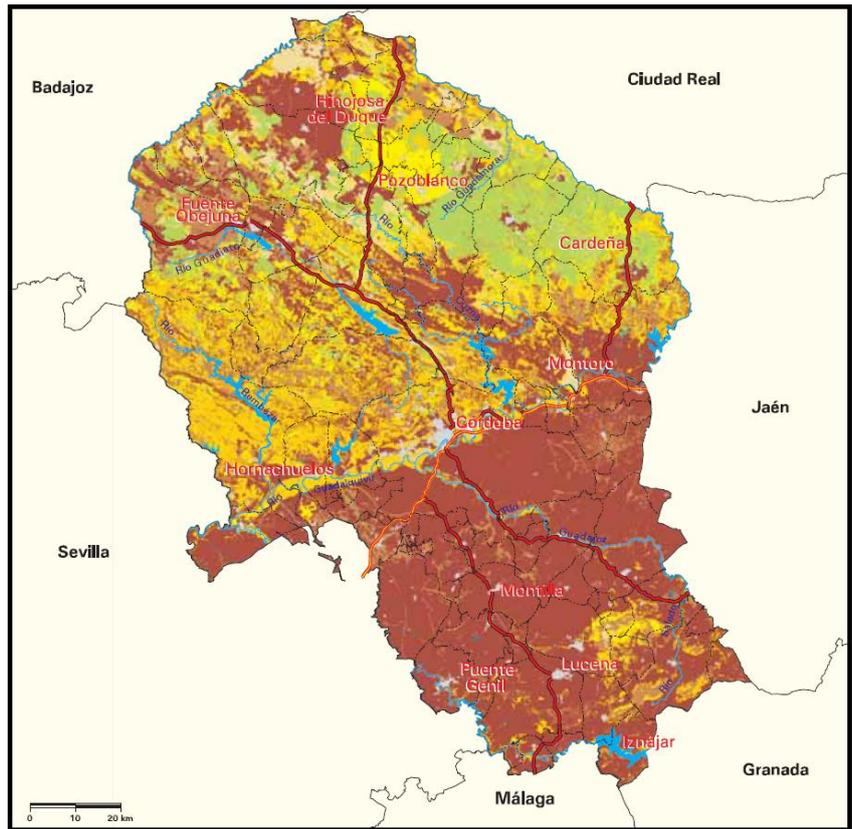
Comparando el mapa de la provincia de Córdoba clasificado según la erosión del suelo y el mapa de vegetación, ambos proporcionados por el primer Inventario Nacional de Erosión de Suelos 2002-2012 a nivel provincial, se ve claramente reflejado como aquellas zonas dedicadas a la producción agraria, principalmente la mitad sur de la provincia, han alcanzado ya unos niveles de erosión muy graves. Las pérdidas de suelo en las zonas agrarias se sitúan en torno a las 41,64 tn/ha/año.

Esta erosión es diferente según el tipo de cultivo y según el tipo de pendiente donde se encuentre, siendo la pendiente un factor muy importante a la hora de medir la erosión, pues a mayor pendiente, mayor es el grado de erosión que provoca un cultivo concreto. La expresión “Córdoba la llana”, hace referencia al relieve que posee la provincia, caracterizado por grandes llanuras, pues el 56% de la superficie de cultivo no supera el 10% de pendiente, no llegando a superar el 20% de pendiente el 86% de la superficie. Por tanto, es preocupante que siendo una provincia tan llana, los niveles erosivos medios se encuentren tan altos.

Las diferentes características agrícolas de la provincia de Córdoba expuestas en este capítulo permiten justificar su elección como centro del estudio que realizamos en el capítulo 7, ya que siendo una provincia eminentemente agrícola, tiene una gran pérdida de suelo que va a repercutir a medio plazo en un cambio en el perfil de los cultivos.

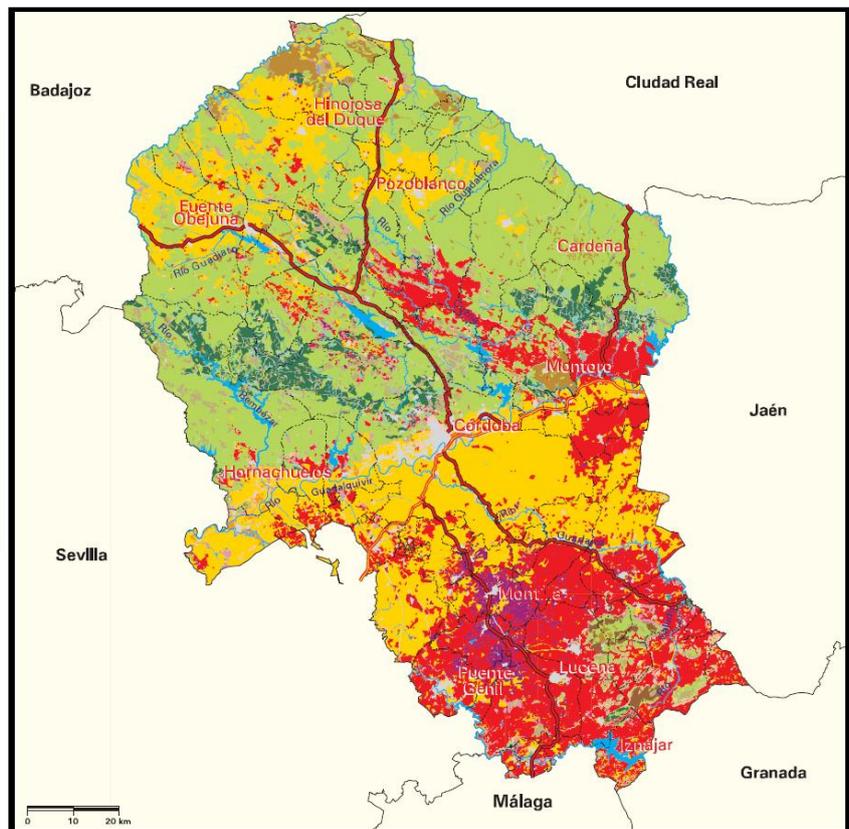
CUALIFICACIÓN DE LA EROSIÓN

Cualificación de la erosión	
	Nula
	Muy leve
	Leve
	Moderada - leve
	Moderada - grave
	Grave
	Muy grave
	Láminas de agua superficiales y humedales
	Superficies artificiales



VEGETACIÓN Y USO DEL SUELO

Vegetación y usos del suelo	
Forestal arbolado:	
	Con predominio de coníferas
	Con predominio de frondosas
	Mixto
	Plantaciones forestales (eucalipto y chopo)
Forestal desarbolado:	
	Matorral
	Herbaza
	Desiertos y semidesiertos de vegetación
Cultivos agrícolas	
	Cultivos herbáceos
	Frutales
	Olivar
	Viñedo
	Praderas y pastizales
	Otros cultivos
Otras superficies	
	Láminas de agua superficiales y humedales
	Superficies artificiales



Mapa 6.8. Cualificación de la erosión sufrida en Córdoba vs Vegetación y uso del suelo

Fuente: Elaborado por Inventario Nacional de Erosión de Suelos - Córdoba 2006





Sin embargo, normalmente las empresas no tienen un único objetivo, sino varios, por lo que debemos plantear el problema por medio de la programación lineal multiobjetivo.

## 7.2. LA PROGRAMACIÓN LINEAL MULTI OBJETIVO

La programación lineal multiobjetivo parte de la base de la programación lineal clásica pero con la particularidad de que la función objetivo se compone de varias funciones. Esto se transforma en una ventaja para el decisor, pues añade más realismo al planteamiento del problema, lo que permite tomar una decisión más acorde a sus objetivos. El problema se puede expresar como:

$$\begin{aligned} & \text{Max } \{ f_1(x), f_2(x), \dots, f_p(x) \} \\ & \text{s.a. } x \in X \end{aligned}$$

Lo usual es que no exista una solución única que optimice a todas las funciones objetivo, sino que cada función objetivo tiene una solución óptima, la programación multiobjetivo proporciona las soluciones eficientes denominadas soluciones no dominadas u óptimos de Pareto. Estos óptimos son soluciones factibles, de tal manera que no hay otras soluciones factibles que puedan mejorar los resultados de un objetivo sin perjudicar el resultado de al menos otro de los objetivos restantes. El propósito de la programación lineal multiobjetivo es generar ese conjunto eficiente de soluciones.

Con dos variables de decisión, el problema se puede resolver de manera gráfica, en cambio, cuando existen más de dos variables de decisión, es necesaria la ayuda de técnicas multiobjetivo para aproximarse al conjunto eficiente.

Las técnicas más usadas son:

- Método de programación por objetivos ponderados.
- Método de las restricciones.
- Método de programación por metas

Para que un problema pueda ser resuelto por medio de la programación lineal multiobjetivo debe reunir una serie de condiciones:

- ✓ Los objetivos deben estar definidos y expresados matemáticamente.
- ✓ Los recursos que formarán parte de las restricciones deben estar definidos y expresados en términos cuantitativos.
- ✓ Las variables del problema deben estar relacionadas linealmente.

## 7.3. APLICACIÓN A LA AGRICULTURA SOSTENIBLE

Para mostrar la aplicación, se planteará un problema de programación lineal multiobjetivo a partir de un modelo de agricultura sostenible. El problema responde a las necesidades de cualquier agricultor concienciado con la conservación del medio ambiente. En este caso se fijaran determinados datos, como las características del terreno, la extensión del mismo y el capital disponible que podrán ser adaptados a posteriori a cualquier otro caso particular.

### 7.3.1. Planteamiento del problema

Un agricultor de la campiña sur cordobesa quiere planificar la rotación de cultivos que va a llevar a cabo las dos próximas campañas agrarias en base a dos objetivos.

- ✓ Por un lado, desea maximizar el beneficio bruto, de manera que escoja aquella rotación de cultivos que mayor margen bruto generará entre las dos campañas, siendo consciente de que este es variable cada año en función de

varios factores que escapan a su control (clima, plagas de insectos y enfermedades, mercado, etc.).

- ✓ Por otro lado, pretende minimizar la erosión producida en el suelo cada año, de manera que este se conserve en buenas condiciones de producción el mayor tiempo posible.

El capital y superficie disponibles limitarán el número de soluciones eficientes, estas serán las restricciones de nuestro problema.

A continuación detallamos los datos del caso práctico:

- ✓ El agricultor posee una explotación agraria de **25** hectáreas de superficie que se reparten de la siguiente manera:
  - **Terreno tipo A:** la litofacies<sup>1</sup> de este tipo de suelo es **formaciones superficiales no consolidadas** y su pendiente media es del **1%**. El agricultor cuenta con 14 hectáreas, de las cuáles:
    - **8** hectáreas son de secano.
    - **6** hectáreas son de regadío y poseen “derechos de algodón”, es decir, tiene derecho a cobrar la subvención específica destinada al cultivo del algodón.
  - **Terreno tipo B:** la litofacies del suelo es **formaciones superficiales no consolidadas** y pendiente media del **9%**. El agricultor cuenta con 11 hectáreas de este tipo de terreno.
    - **7** hectáreas son de secano.
    - **4** hectáreas son de regadío y poseen derechos de algodón.
- ✓ El agricultor no quiere invertir más de **900 €/ha/año** en costes directos de producción (insumos, mano de obra contratada y maquinaria), por lo que el capital disponible para los costes directos de las dos próximas campañas es de **45.000 €**.
- ✓ Las alternativas de rotación de cultivos más comunes de la región son:

CAMPAÑA	SECANO		REGADÍO			
Campaña 1	<i>Trigo duro</i>	<i>Cebada</i>	<i>Algodón</i>	<i>Algodón</i>	<i>Maíz</i>	<i>Algodón</i>
Campaña 2	<i>Girasol</i>	<i>Girasol</i>	<i>Algodón</i>	<i>Maíz</i>	<i>Maíz</i>	<i>Trigo duro</i>

Tabla 7.1. Alternativas de rotación de cultivos

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, estas serán las alternativas de rotación de cultivos que tendremos en cuenta a la hora de realizar el estudio.

Todos los datos resaltados son los que pueden ser adaptados a cualquier otro caso particular.

Las siguientes tablas recogen los datos referentes a los costes de producción de cada tipo de cultivo y de la erosión provocada por estos.

<sup>1</sup> Litofacies: conjunto de características litológicas (texturales, estructurales y mineralógicas) presentes en las rocas sedimentarias, que permiten caracterizar el ambiente sedimentario en el que se depositaron.

CULTIVOS DE SECANO	TRIGO DURO	GIRASOL	CEBADA
Insumos (€/Ha)	278,00	118,00	76,67
Maquinaria (€/Ha)	263,50	189,50	132,67
Mano de Obra asalariada (€/Ha)			
<b>COSTES DIRECTOS DE PRODUCCION (€/Ha)</b>	<b>541,50</b>	<b>307,50</b>	<b>209,33</b>
RENDIMIENTO (Kg/Ha)	2971,50	1200,00	2500,00
PRECIO (€/Tn)	288,86	444,65	199,94
<b>INGRESOS BRUTOS (€/Ha)</b>	<b>858,33</b>	<b>533,58</b>	<b>499,84</b>
<b>BENEFICIO BRUTO (€/Ha)</b>	<b>316,83</b>	<b>226,08</b>	<b>290,51</b>

**Tabla 7.2. Ficha de costes de producción para los cultivos de secano**

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Observatorio de precios y mercados de la Junta de Andalucía

CULTIVOS DE REGADÍO	ALGODÓN	MAIZ	TRIGO DURO
Insumos (€/Ha)	998,86	1329,50	615,00
Maquinaria (€/Ha)	589,86	581,00	366,50
Mano de Obra asalariada (€/Ha)	73,81	224,50	135,50
<b>COSTES DIRECTOS DE PRODUCCION (€/Ha)</b>	<b>1662,53</b>	<b>2135,00</b>	<b>1117,00</b>
Rendimiento (Kg/Ha)	3908,56	11800,00	4739,00
Precio (€/Tn)	407,00	209,88	288,855
<b>INGRESOS BRUTOS (€/Ha)</b>	<b>1590,78</b>	<b>2476,58</b>	<b>1368,88</b>
Subvenciones específicas	1180,57		
<b>BENEFICIO BRUTO (€/Ha)</b>	<b>1108,82</b>	<b>341,58</b>	<b>251,88</b>

**Tabla 7.3. Ficha de costes de producción para los cultivos de regadío**

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de ECREA y del Observatorio de precios y mercados de la Junta de Andalucía

ALTERNATIVA	TIPO DE SUPERFICIE	EROSION
<b>Trigo Duro / Girasol</b>	Terreno tipo A	2,53
	Terreno tipo B	29,29
<b>Cebada / Girasol</b>	Terreno tipo A	2,50
	Terreno tipo B	28,96
<b>Algodón / Algodón</b>	Terreno tipo A	1,36
	Terreno tipo B	15,80
<b>Algodón / Maíz</b>	Terreno tipo A	2,29
	Terreno tipo B	26,54
<b>Maíz / Maíz</b>	Terreno tipo A	2,71
	Terreno tipo B	31,37
<b>Algodón / Trigo Duro</b>	Terreno tipo A	0,79
	Terreno tipo B	9,10

**Tabla 7.3. Erosión provocada por cada alternativa (tn/ha/año)**

Fuente: Elaboración propia a partir de datos INES – Córdoba e ICONA

En el Anexo I se encuentra la metodología llevada a cabo para obtener las anteriores fichas. En el Anexo II se encuentra la metodología llevada a cabo para obtener los datos de erosión anteriores.

### 7.3.2. Presentación del problema matemático

Una vez enunciado el problema económico, procedemos a la formulación matemática del problema:

#### Objetivo:

$$\text{Max } \sum (MB_i \cdot x_i) \text{ y Min } \sum (E_i \cdot x_i)$$

Donde:

$MB_i$  = Margen bruto de la alternativa  $i$

$x_i$  = Hectáreas cultivadas de alternativa  $i$

$E_i$  = Erosión de la alternativa  $i$

#### Restricciones:

Debemos tener en cuenta que la erosión que provoca cada alternativa de cultivos en el suelo varía según la tipología del terreno. Como el terreno tipo B no es de regadío, los cultivos de regadío solamente se podrán cultivar en el terreno tipo A.

$$x_{TG\_A} + x_{CG\_A} = T_{A\_SECANO}$$

$$x_{TG\_B} + x_{CG\_B} = T_{B\_SECANO}$$

$$x_{AA\_A} + x_{AM\_A} + x_{MM\_A} + x_{AT\_A} = T_{A\_REGADÍO}$$

$$x_{AA\_B} + x_{AM\_B} + x_{MM\_B} + x_{AT\_B} = T_{B\_REGADÍO}$$

$$\sum (C_i \cdot x_i) \leq 45.000 \text{ €}$$

$$x_i \geq 0$$

Donde:

$x_{TG\_A}$  = Hectáreas de la rotación Trigo duro/Girasol en terreno tipo A

$x_{TG\_B}$  = Hectáreas de la rotación Trigo duro/Girasol en terreno tipo B

$x_{CG\_A}$  = Hectáreas de la rotación Cebada/Girasol en terreno tipo A

$x_{CG\_B}$  = Hectáreas de la rotación Cebada/Girasol en terreno tipo B

$x_{AA\_A}$  = Hectáreas de la rotación Algodón/Algodón en terreno tipo A

$x_{AA\_B}$  = Hectáreas de la rotación Algodón/Algodón en terreno tipo B

$x_{AM\_A}$  = Hectáreas de la rotación Algodón/Maíz en terreno tipo A

$x_{AM\_B}$  = Hectáreas de la rotación Algodón/Maíz en terreno tipo B

$x_{MM\_A}$  = Hectáreas de la rotación Maíz/Maíz en terreno tipo A

$x_{MM\_B}$  = Hectáreas de la rotación Maíz/Maíz en terreno tipo B

$x_{AT\_A}$  = Hectáreas de la rotación Algodón/Trigo duro en terreno tipo A

$x_{AT\_B}$  = Hectáreas de la rotación Algodón/Trigo duro en terreno tipo B

$C_i$  = Capital necesario para llevar a cabo la alternativa  $i$

El problema quedaría como:

$$\begin{aligned}
 & (\text{Max } \sum (MB_i \cdot x_i), \text{ Min } \sum (E_i \cdot x_i)) \\
 \text{s. a. } & x_{TG\_A} + x_{CG\_A} = 8 \\
 & x_{TG\_B} + x_{CG\_B} = 7 \\
 & x_{AA\_A} + x_{AM\_A} + x_{MM\_A} + x_{AT\_A} = 6 \\
 & x_{AA\_B} + x_{AM\_B} + x_{MM\_B} + x_{AT\_B} = 4 \\
 & \sum (C_i \cdot x_i) \leq 45.000 \\
 & x_i \geq \theta
 \end{aligned}$$

### 7.3.3. Resolución del problema matemático por medio del método de las restricciones

Para resolver el problema se va a utilizar el método de las restricciones. Consiste en transformar el problema anterior en un problema con una sola función objetivo e introduciendo el resto de las funciones como restricciones. Para poder transformar una función objetivo en una restricción, será necesario imponer un valor máximo y mínimo preestablecido.

$$\left. \begin{aligned}
 & \text{Max } \{f_1(x), \dots, f_r(x)\} \\
 & \text{s.a. } x \in X
 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \begin{aligned}
 & \text{Max } f_k(x) \\
 & \text{s.a. } f_j(x) \geq b_j \quad j=1, \dots, k-1, k+1, \dots, r \\
 & x \in X
 \end{aligned}$$

Cuando el objetivo de la función a introducir como restricción es de minimizar, el sentido de la desigualdad cambia.

En nuestro problema, optimizaremos la función que maximiza el margen bruto, por ser el principal objetivo que tiene cualquier actividad económica, e introduciremos la función que minimiza la erosión en una restricción.

Para decidir qué erosión máxima quiere alcanzar en la tierra hay que tener en cuenta el valor máximo y mínimo que puede tomar esta para las restricciones establecidas. En este caso, dicho valor debe pertenecer al intervalo (10.554, 14.3233).

De este modo, el problema quedaría como:

$$\begin{aligned}
 & \text{Max } \sum (MB_i \cdot x_i) \\
 \text{s. a. } & x_{TG\_A} + x_{CG\_A} = 8 \\
 & x_{TG\_B} + x_{CG\_B} = 7 \\
 & x_{AA\_A} + x_{AM\_A} + x_{MM\_A} + x_{AT\_A} = 6 \\
 & x_{AA\_B} + x_{AM\_B} + x_{MM\_B} + x_{AT\_B} = 4 \\
 & \sum (C_i \cdot x_i) \leq 45.000 \\
 & \sum (E_i \cdot x_i) \leq b \\
 & x_i \geq \theta
 \end{aligned}$$

Donde  $b \in (10.5544, 14.3233)$

El problema se ha resuelto utilizando el programa matemático LINGO de software libre en su versión 15.0.

## 7.3.4. Resultados

Capital	Erosión	Terreno tipo A Litofacies: formaciones superficiales no consolidadas Pendiente: 1 %						Terreno tipo B Litofacies: formaciones superficiales no consolidadas Pendiente: 9 %						Márgen bruto	Capital real	Erosión real	Rentabilidad de la inversión
		Secano 8 ha			Regadío 6 ha			Secano 7 ha			Regadío 4 ha						
		X <sub>TG,A</sub>	X <sub>CG,A</sub>	X <sub>AA,A</sub>	X <sub>AM,A</sub>	X <sub>MM,A</sub>	X <sub>AT,A</sub>	X <sub>TG,B</sub>	X <sub>CG,B</sub>	X <sub>AA,B</sub>	X <sub>AM,B</sub>	X <sub>MM,B</sub>	X <sub>AT,B</sub>				
≤ 10,60		8		2		4		7			4		23069,73	36638,81	10,60000	62,97%	
≤ 10,80	8		6				7	0,37			3,63		27025,25	41680,22	10,80000	64,84%	
≤ 11,00	8		6				7	1,12			2,88		27664,75	42087,33	11,00000	65,73%	
≤ 11,20	8		6				7	1,86			2,14		28304,26	42494,44	11,20000	66,61%	
≤ 11,40	8		6				7	2,61			1,39		28943,77	42901,55	11,40000	67,47%	
≤ 11,60	8		6				7	3,36			0,64		29583,28	43308,66	11,60000	68,31%	
≤ 11,80	8		6				2,06	4,94					30190,05	44344,88	11,80000	68,08%	
≤ 12,00	5,03	2,97	6				7				4		30241,95	45000,00	11,86164	67,20%	
≤ 13,00	5,03	2,97	6				7				4		30241,95	45000,00	11,86164	67,20%	
≤ 14,00	5,03	2,97	6				7				4		30241,95	45000,00	11,86164	67,20%	

Tabla 7.4. Ordenamiento óptimo de la explotación para diferentes niveles erosivos

Fuente: Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos con el programa LINGO

La tabla de resultados anterior muestra las soluciones óptimas de ordenamiento de la explotación agraria dentro del intervalo de erosión mínima y máxima. El agricultor debe decidir al margen bruto que está dispuesto renunciar en favor de la conservación del suelo de su explotación. Además se ha incluido en la tabla las columnas: Capital real, Erosión real y Rentabilidad de la inversión. Estas también podrán ser tomadas en cuenta por el agricultor a la hora de tomar una decisión.

Para analizar los resultados vamos a suponer que el agricultor decide llevar a cabo el ordenamiento nº 5 para su explotación. En el Anexo III podemos ver todos los parámetros que nos muestra la herramienta LINGO para este caso.

Para la primera campaña, el agricultor tendría que sembrar 8 ha de trigo duro en el terreno tipo A de seco, 6 ha de algodón en el terreno tipo A de regadío, 7 ha de cebada en el terreno tipo B de seco y 4 ha de algodón en el terreno tipo B de regadío. Para la segunda campaña, el agricultor sembraría 8 ha de girasol en el terreno tipo A de seco, 6 ha de algodón en el terreno tipo A de regadío, 7 ha de girasol en el terreno tipo B de seco, 2,61 ha de algodón en el terreno tipo B de regadío y 1,39 ha de trigo duro en el terreno tipo B de regadío. El margen bruto obtenido y las pérdidas totales de suelo en cada uno de sus terrenos individualmente después de las dos campañas es el siguiente:

	Terreno tipo A		Terreno tipo B	
	Secano	Regadío	Secano	Regadío
<b>Margen bruto</b>	4343,28 €	13305,84 €	3616,13 €	7678,52 €
<b>Promedio</b>	271,46 €/ha/año	1108,82 €/ha/año	258,30 €/ha/año	959,81 €/ha/año
<b>Pérdida</b>	40,49 tn	16,38 tn	405,41 tn	107,76 tn
<b>Promedio</b>	2,53 tn/ha/año	1,36 tn/ha/año	28,96 tn/ha/año	13,47 tn/ha/año

**Tabla 7.5. Margen bruto y erosión por terrenos individuales**

*Fuente: Elaboración propia*

Los terrenos de regadío son los que mayores beneficios le reportan, gracias principalmente a la subvención específica que la PAC otorga por el cultivo de algodón. Además, reduce aproximadamente a la mitad la erosión sufrida respecto a sus homólogos de seco.

Con esta decisión, el agricultor obtendría un margen bruto de 28.943,77 € y una erosión media de 11,4 tn/ha/año al final de las dos campañas. Para ello necesita invertir una 42.901,55 € y obtendría una rentabilidad del 64,47%. La solución es única, por lo tanto, no existe otro ordenamiento de la explotación que garantice los mismos resultados de erosión y margen bruto.

En este caso, una hectárea más de todos los tipos de terreno salvo el tipo B de seco, le reportaría un aumento del margen bruto, siendo el que más le reportaría el tipo A de regadío (con derechos de algodón).

## **CAPÍTULO 8**

### **CONCLUSIONES**

El proceso erosivo del suelo está estrechamente relacionado con el uso y aprovechamiento que se hace del mismo, siendo especialmente grave en aquellas zonas donde el sector agrario tiene más arraigo. Este proceso puede minimizarse si se hace un correcto ordenamiento de los cultivos para cada tipo de tierra. Además, el cuidado y conservación de la principal materia prima del sector agrario no está reñido con la posibilidad de alcanzar altas rentabilidades económicas, sino más bien lo contrario, pues a medio y largo plazo repercutirá positivamente en el rendimiento productivo de la tierra.

En la tarea de planificar el reordenamiento de una zona no es fácil, pues la cantidad de factores que influyen la convierten en una tarea metódica y laboriosa. Por lo tanto, la planificación de un reordenamiento hay que llevarla a cabo a pequeña escala, analizando todas las características geográficas, litológicas y climatológicas de cada zona.

Tal como indican todas las magnitudes socio-económicas analizadas, Córdoba es una provincia muy dependiente del sector agrario, por lo cual es de vital importancia elaborar un plan de reordenamiento territorial de cultivos que permitan seguir practicando la actividad agrícola eficientemente, respetando el medio ambiente y obteniendo el mayor rendimiento de sus tierras.

Los resultados indican que los terrenos de regadío reducen aproximadamente a la mitad sus pérdidas de suelo, sea cual sea la pendiente del terreno. Una de las causas que está provocando que la erosión en Córdoba sea especialmente peligrosa es la escasa cantidad de tierras de regadío que posee, pese a ser la segunda provincia Andaluza en cuanto a capacidad de almacenamiento de agua se refiere. Esto invita a pensar que una inversión en infraestructura de regadío en la provincia podría ralentizar el problema erosivo que sufre actualmente. Además, en las fichas de costes de producción se observa como los cultivos de regadío demandan mayor empleo que los cultivos de secano, lo que ayudaría a rebajar la tasa de paro en la provincia.

Gracias a la inversión en infraestructura hidrológica, el escenario previsto por el estudio de la REDIAM y la UCO para el año 2035 podría posponerse en el tiempo, pues la falta de esta es lo que está provocando el aumento de cultivos intensivos en los terrenos de regadío como solución a la baja rentabilidad que ofrecen la mayoría de los cultivos extensivos de secano.

En el caso práctico analizado no existe limitación de siembra de cultivo de algodón, pero existen infinidad de casos en los que los agricultores tendrán tierras de regadío sin derechos de algodón, lo que implicaría buscar cultivos alternativos al algodón que sean rentables y a la vez poco erosivos.

De los datos se deduce que el cultivo del maíz parece una mala opción como sustituto del algodón, principalmente por sus altos costes de producción, su baja rentabilidad y el factor erosivo asociado a dicho cultivo.

La UE se están fomentando prácticas favorables para la conservación del medio ambiente en general y del suelo en particular, existe una gran desinformación al respecto, principalmente porque aun no se le ha dado la importancia que merece. Esta falta de conocimiento real del estado erosivo en que se encuentran sus tierras, provoca que los agricultores estén reacios a efectuar las prácticas de conservación recomendadas.

Por último, se confirma que la programación multiobjetivo es una herramienta matemática que sirve de apoyo en el mundo empresarial de cualquier sector, pues su funcionalidad permite hacer un uso eficiente de los recursos que limitan la producción.

## Bibliografía

- Analistas Económicos de Andalucía (2015): *Informe anual del sector agrario en Andalucía 2014*, Fundación Unicaja.
- Castillo, C.; Mora Luque, J.A.; Taguas, E.V.; Gómez Calero, J.A. (2013): "Algunas notas sobre la erosión de suelos en la provincia de Córdoba", *Arvícola: Cuaderno de campo del Guadalquivir a su paso por Córdoba*, Nº 4, 7-17.
- Costa, J.C.; Calvo, M.J.; González, J.B.; Del Pino, J.O.; Santiago, A. (2002): "Plan andaluz de control de la desertificación en Andalucía", VI Congreso Nacional del Medio Ambiente, Madrid (España).
- D. J. (2015): "Los cultivos de regadío se marchitan en Córdoba", *Sevilla.ABC.es*, 29 de noviembre, [http://sevilla.abc.es/andalucia/cordoba/sevi-cultivos-regadio-marchitan-cordoba-201511292130\\_noticia.html](http://sevilla.abc.es/andalucia/cordoba/sevi-cultivos-regadio-marchitan-cordoba-201511292130_noticia.html) (Consultado: 17/04/16).
- 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*", Agricultura ecológica en secano: soluciones sostenibles en ambientes mediterráneos, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 7 (1), 13-18.
- Duran, V.H.; Rodríguez, C.R.; Cuadros, S.; Francia J.R. (2014): "Impacto de la erosión y escorrentía en laderas de agroecosistemas de montaña mediterránea", *Ecosistemas*, 23 (1), 66-72.
- FEGA (2016): "La PAC y los Fondos Europeos Agrícolas", *FEGA.es*, [http://www.fega.es/es/PwfGcp/es/financiacion\\_de\\_la\\_pac/la\\_pac\\_y\\_los\\_fondos\\_europeos\\_agricolas/index.jsp](http://www.fega.es/es/PwfGcp/es/financiacion_de_la_pac/la_pac_y_los_fondos_europeos_agricolas/index.jsp) (Consultado: 03/05/16).
- Gutiérrez M. (2007): "El papel del hombre en la creación y destrucción del relieve", *Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, Vol. 101 Nº 1, 211-226.
- Hermoso, G. (2011): "Embalses de barro", *El País.com*, 1 de Noviembre, [http://sociedad.elpais.com/sociedad/2011/10/25/actualidad/1319493607\\_850215.html](http://sociedad.elpais.com/sociedad/2011/10/25/actualidad/1319493607_850215.html) (Consultado: 18/05/16).
- Hurtado, F. (1994): "Programación lineal multiobjetivo aplicado a sistemas campesinos: simulación de efectos medioambientales", Instituto de Investigación Universidad y Región IIUR, Cusco-Perú, 8-21.
- ICONA (2001): Mapas de Estados Erosivos, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
- INES (2006): Inventario Nacional de Erosión de Suelos 2002 - 2012. Comunidad Autónoma de Andalucía. Córdoba 2006, Dirección General para la Biodiversidad. Ministerio de Medio Ambiente.
- Ivorra, C. : Optimización con LINGO, Universitat de València. Apuntes.
- Junta de Andalucía (2015): Observatorio de precios y mercados. Online. <http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/observatorio/servlet/FrontController?ec=default>
- MAGRAMA (2009): Encuesta sobre superficies y rendimientos de cultivos. Resultados 2008, Secretaría General Técnica, Subdirección General de Estadística. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
- MAGRAMA (2010): Encuesta sobre superficies y rendimientos de cultivos. Resultados 2009, Secretaría General Técnica, Subdirección General de Estadística. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
- MAGRAMA (2011): Encuesta sobre superficies y rendimientos de cultivos. Resultados 2010, Secretaría General Técnica, Subdirección General de Estadística. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

- MAGRAMA (2012): Encuesta sobre superficies y rendimientos de cultivos. Resultados 2011, Secretaría General Técnica, Subdirección General de Estadística. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
- MAGRAMA (2013): Encuesta sobre superficies y rendimientos de cultivos. Resultados 2012, Secretaría General Técnica, Subdirección General de Estadística. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
- MAGRAMA (2013): Resultados técnico-económicos de Cultivos Herbáceos 2012, Subdirección General de Análisis, Prospectiva y Coordinación, Subsecretaría. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
- MAGRAMA (2014): Encuesta sobre superficies y rendimientos de cultivos. Resultados 2013, Secretaría General Técnica, Subdirección General de Estadística. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
- MAGRAMA (2014): Resultados técnico-económicos de Cultivos Herbáceos 2013, Subdirección General de Análisis, Prospectiva y Coordinación, Subsecretaría. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
- MAGRAMA (2015): Dossier Autonómico. Comunidad Autónoma de Andalucía 2014, Subdirección General de Análisis, Prospectiva y Coordinación, Subsecretaría. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
- MAGRAMA (2015): Encuesta sobre superficies y rendimientos de cultivos. Resultados 2014, Secretaría General Técnica, Subdirección General de Estadística. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
- MAGRAMA (2015): Resultados técnico-económicos de Cultivos Herbáceos 2014, Subdirección General de Análisis, Prospectiva y Coordinación, Subsecretaría. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
- MAGRAMA (2016): “Aceite de Oliva y Aceituna de Mesa”, *MAGRAMA.gob.es*, <http://www.magrama.gob.es/es/agricultura/temas/producciones-agricolas/aceite-oliva-y-aceituna-mesa/aceite.aspx> (Consultado: 05/05/16).
- MAGRAMA (2016): Renta Agraria Año 2016. Segunda Estimación. Enero 2016, Secretaría General Técnica, Subdirección General de Estadística. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
- Moreira, J.M. (1994): “*Capacidad de uso y erosión de suelos. Aproximación a una valoración económica de la erosión de Andalucía*”, *Paralelo 37*, Nº 16, 107-114.
- Real Decreto 1075/2014, de 19 de diciembre, sobre la aplicación a partir de 2015 de los pagos directos a la agricultura y a la ganadería y otros regímenes de ayuda, así como sobre la gestión y control de los pagos directos y de los pagos al desarrollo rural. (B.O.E. núm. 307, de 20 de diciembre)
- Ríos, S.J.; Guzmán, W.; Fachín, L. (2007): “La agricultura en el departamento de San Martín: ¿Un sector de alternativas económicamente rentables a costa del medio ambiente?”, *SEPIA XII*, Lima (Perú).
- Romero, C.; Rehman, T. (1986): “*La programación multiobjetivo y la planificación agraria: algunas consideraciones teóricas*”, *Agricultura y Sociedad*, Nº 40, 9-35.
- Ruz, J. (2014): “Un estudio prevé para 2035 una reducción en Córdoba de la agricultura extensiva”, *EiDiadeCordoba.es*, 16 de marzo, <http://www.eldiadecordoba.es/article/cordoba/1730265/estudio/preve/para/una/reduccion/cordoba/la/agricultura/extensiva.html> (Consultado: 28/04/16).
- Soler, S. (2014): “Programación lineal multiobjetivo: caso práctico aplicado a una compañía aérea”, *Universidad de Murcia*, Murcia, 6-25.

## Anexo I

## METODOLOGIA PARA LA OBTENCIÓN DE LAS FICHAS DE COSTES DIRECTOS DE PRODUCCIÓN

CULTIVOS DE SECANO	TRIGO DURO				GIRASOL				CEBADA			
	2011	2014	Media	2011	2014	Media	2012	2013	2014	Media		
	INSUMOS (€/Ha)	285,00	271,00	278,00	113,00	123,00	118,00	113,00	108,00	9,00	76,67	
MAQUINARIA (€/Ha)	257,00	270,00	263,50	185,00	194,00	189,50	133,00	133,00	132,00	132,67		
M. O. ASALARIADA (€/Ha)												
COSTES DIRECTOS DE PRODUCCION (€/Ha)	542,00	541,00	541,50	298,00	317,00	307,50	246,00	241,00	141,00	209,33		
RENDIMIENTO (kg/Ha)	2900,00	3043,00	2971,50	1200,00	1200,00	1200,00	2500,00	2500,00	2500,00	2500,00		
PRECIO (€/Tn)	261,72	315,99	288,86	426,44	462,86	444,65	238,23	184,70	176,88	199,94		
INGRESOS BRUTOS (€/Ha)	758,99	961,56	858,33	511,73	555,43	533,58	595,58	461,75	442,20	499,84		
BENEFICIO BRUTO (€/Ha)	216,99	420,56	316,83	213,73	238,43	226,08	349,58	220,75	301,20	290,51		

CULTIVOS DE REGADÍO	ALGODÓN				MAIZ				TRIGO DURO			
	2012	2013	2014	Media	2012	2014	Media	2011	2014	Media		
	INSUMOS (€/Ha)	905,99	1073,15	1017,44	998,86	1295,00	1364,00	1329,50	631,00	599,00	615,00	
MAQUINARIA (€/Ha)	567,86	654,28	547,43	589,86	563,00	599,00	581,00	359,00	374,00	366,50		
M. O. ASALARIADA (€/Ha)	69,65	73,30	78,49	73,81	255,00	194,00	224,50	135,00	136,00	135,50		
COSTES DIRECTOS DE PRODUCCION (€/Ha)	1543,50	1800,73	1643,36	1662,53	2113,00	2157,00	2135,00	1125,00	1109,00	1117,00		
RENDIMIENTO (kg/Ha)	3612,85	3838,26	4274,57	3908,56	11000,00	12600,00	11800,00	5000,00	4478,00	4739,00		
PRECIO (€/Tn)	420,20	483,90	318,90	407,00	246,82	172,94	209,88	261,72	315,99	288,855		
INGRESOS BRUTOS (€/Ha)	1518,12	1849,66	1363,16	1590,78	2715,02	2179,04	2476,58	1308,60	1415,00	1368,88		
SUBVENCIONES	1307,93	1314,78	918,99	1180,57								
BENEFICIO BRUTO (€/Ha)	1282,55	1363,71	638,79	1108,82	602,02	22,04	341,58	183,60	306,00	251,88		

Para la obtención de las fichas de costes se han usado dos bases de datos. La base de datos del observatorio de precios y mercado de la Junta de Andalucía se ha usado como fuente principal y como base de datos secundario el Estudio de Costes y Rentas de las Explotaciones Agrarias para cultivos herbáceos (ECREA) realizado por el MAGRAMA.

- TRIGO DURO, GIRASOL, CEBADA Y MAIZ: Se ha calculado la media de todos los años disponibles publicados en el Observatorio de precios y mercados de la Junta de Andalucía.
- ALGODÓN: No se encuentran datos relativos a los costes de producción del algodón en del Observatorio de precios y mercados. Los datos se han obtenido como la media de los tres últimos años disponibles (2012, 2013 y 2014) publicados en el Estudio de Costes y Rentas de las Explotaciones Agrarias para cultivos herbáceos realizado por el MAGRAMA.



## Anexo II

### METODOLOGIA PARA LA OBTENCIÓN DE LA EROSIÓN DE CADA UNA DE LAS ALTERNATIVAS DE ROTACION DE CULTIVOS POR EL METODO RUSLE

Para conocer la erosión que provoca cada alternativa de cultivos, resolvemos la formula RUSLE adaptada a las características del terreno a analizar:

Lo primero que debemos tener en cuenta es la localización del mismo: Campiña Sur de Córdoba, municipio de Puente Genil.

- Factor R: Situando la posición del terreno sobre el Mapa 3.1.4 del INES - Córdoba 2006 se observa que para esa zona el factor R toma el valor 100.
- Factor K: De igual manera situamos el terreno en el Mapa 3.1.10 del INES – Córdoba 2006 y se observa que el terreno pertenece a formaciones superficiales no consolidadas. La Tabla 3.3.1 del inventario vemos que el valor medio del factor K para ese tipo de suelo es de 0.309.
- Factor LS: Se calcula para cada terreno según la longitud de ladera y pendiente, usando la siguiente fórmula:

$$x = \left( \frac{X}{22.13} \right)^m (0.065 + 0.045s + 0.0065s^2)$$

Donde:

X: longitud de ladera

s: inclinación en porcentaje

m: constante que depende de s

$$\frac{s}{m}$$

$$>= 5 \quad 0.5$$

$$3-5 \quad 0.4$$

$$1-3 \quad 0.3$$

$$<=1 \quad 0.2$$

- De esta manera obtenemos que el factor LS toma el valor 0.183 para el terreno tipo A de longitud de ladera 100m y pendiente 1%.
- Para el terreno tipo B, de igual ladera (es la longitud de ladera media de toda la zona de Puente Genil y pendiente 9%.
- valor medio para ese tipo de suelo es de 0.309
- Factor C: lo tomamos del libro de Moreira, J.M. Capacidad y uso del suelo, donde viene una tabla con los valores que debe tomar el factor C en la provincia de Córdoba para las alternativas de cultivo que vamos a estudiar.
- Factor P: lo obtenemos de la tabla 3.3.3 del INES – Córdoba 2006. Las prácticas de conservación realizadas en la zona son: cultivo a nivel. Con este tipo de prácticas el factor P toma el valor 0.838 de media.

ALTERNATIVA	EXPLOTACIÓN DE SECAÑO						EXPLOTACIÓN DE REGADÍO					
	TRIGO DURO / GIRASOL		CEBADA / GIRASOL		ALGODÓN / ALGODÓN		ALGODÓN / MAIZ		MAIZ / MAIZ		ALGODÓN / TRIGO DURO	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
Longitud de ladera (m)	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Pendiente (%)	1%	9%	1%	9%	1%	9%	1%	9%	1%	9%	1%	9%
FACTOR R (LUVIA)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
FACTOR K (SUELO)	0,309	0,309	0,309	0,309	0,309	0,309	0,309	0,309	0,309	0,309	0,309	0,309
FACTOR LS (TOPOGRAFIA)	0,183	2,118	0,183	2,118	0,183	2,118	0,183	2,118	0,183	2,118	0,183	2,118
FACTOR C (CULTIVOS)	0,534	0,528	0,528	0,484	0,288	0,484	0,572	0,166	0,166	0,166	0,166	0,166
FACTOR P (PRACTICAS CONSERVACION)	0,838	0,838	0,838	0,838	0,838	0,838	0,838	0,838	0,838	0,838	0,838	0,838
EROSIÓN = R x K x LS x C x P (tn /ha/año)	2,53	29,29	2,50	28,96	1,36	15,80	2,29	26,54	2,71	31,37	0,79	9,10



## Anexo III

### EJEMPLO DE LOS DATOS QUE MUESTRA LINGO PARA EL CASO SUPUESTO

Para describir las variables en LINGO, solamente se han utilizado los subíndices.

```
Lingo Model - Metodo Restricciones
!FUNCION OBJETIVO;
[MARGEN_BRUTO]      max = 542.91*(TG_A+TG_B)+516.59*(CG_A+CG_B)+2217.64*(AA_A+AA_B)+
                    1450.40*(AM_A+AM_B)+683.17*(MM_A+MM_B)+1360.70*(AT_A+AT_B);
!s.a.;

[TERRENO_TIPO_A_DE_SECANO]      TG_A+CG_A=8;
[TERRENO_TIPO_A_DE_REGADIO]     AA_A+AM_A+MM_A+AT_A=6;
[TERRENO_TIPO_B_DE_SECANO]      TG_B+CG_B=7;
[TERRENO_TIPO_B_DE_REGADIO]     AA_B+AM_B+MM_B+AT_B=4;

[CAPITAL]                       849.00*(TG_A+TG_B)+516.83*(CG_A+CG_B)+3325.06*(AA_A+AA_B)+
                    3797.53*(AM_A+AM_B)+4270.00*(MM_A+MM_B)+2779.53*(AT_A+AT_B)<=45000;

[EROSION]                       (2.53*TG_A+29.29*TG_B+2.50*CG_A+28.96*CG_B+1.36*AA_A+15.80*AA_B+
                    2.29*AM_A+26.54*AM_B+2.71*MM_A+31.37*MM_B+0.79*AT_A+9.1*AT_B)/25<=11.4;
```

Variable	Value	Reduced Cost
TG_A	8.000000	0.000000
TG_B	0.000000	15.88749
CG_A	0.000000	22.48296
CG_B	7.000000	0.000000
AA_A	6.000000	0.000000
AA_B	2.608955	0.000000
AM_A	0.000000	886.1884
AM_B	0.000000	2140.902
MM_A	0.000000	1707.137
MM_B	0.000000	3525.896
AT_A	0.000000	784.0361
AT_B	1.391045	0.000000
Row	Slack or Surplus	Dual Price
MARGEN_BRUTO	28943.77	1.000000
TERRENO_TIPO_A_DE_SECANO	0.000000	219.3192
TERRENO_TIPO_A_DE_REGADIO	0.000000	2043.694
TERRENO_TIPO_B_DE_SECANO	0.000000	-3187.437
TERRENO_TIPO_B_DE_REGADIO	0.000000	196.7964
CAPITAL	2098.447	0.000000
EROSION	0.000000	3197.537