



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

MAXIMIZAR EL BENEFICIO ECONÓMICO DE UNA EXPLOTACIÓN AGRARIA
EN SECANO.

EL CASO DE LA DISTRIBUCIÓN DE ÁRBOLES DE FRUTOS SECOS.

Autor/es

Galindo Paracuellos, Diego

Director/es

Arturo Ramos

Facultad de Economía y Empresa. Universidad de Zaragoza. 2019

RESUMEN

El consumo de frutos secos en España es muy superior a la producción nacional. El mercado de los frutos secos está experimentando una revolución tecnológica tanto por su elevada demanda en el mercado como por la moderación de sus precios.

Actualmente, existe una gran tendencia hacia la intensificación del cultivo y la reducción de sus costes de producción, siendo muy importante en estos cultivos la forma de recolección y todo lo que conlleva el secado y su consiguiente pos cosecha. Entre otros, los precios de los frutos secos vienen determinados por las producciones anuales en los principales países productores que son: EE. UU (almendra, pistacho y nuez), Irán (pistacho), Turquía (avellano), y China (nuez y castaña) y las cotizaciones euro/dólar.

Proponemos, una vez conocidos los datos de costes y precios de la competencia, analizar la maximización del beneficio económico mediante la plantación de diferentes tipos de árboles que producen frutos secos en explotaciones de secano. Gracias a este estudio se obtendrá la información necesaria a la hora de elegir qué tipo de árbol plantar en la zona de Alcalá de Moncayo, localidad situada en la provincia de Zaragoza.

ABSTRACT

The consumption of nuts in Spain is much higher than the national production. The nut market is experiencing a technological revolution both because of its high demand in the market and because of the moderation of its prices.

Currently, there is a great tendency towards intensification of the crop and the reduction of its production costs, being very important in these crops the way of harvesting and all that entails drying and its subsequent post-harvest. Among others, the prices of nuts are determined by annual productions in the main producing countries that are: EE. UU (almond, pistachio and walnut), Iran (pistachio), Turkey (hazelnut), and China (walnut and chestnut) and euro / dollar quotes.

We propose, once the cost and price data of the competition are known, the maximization of the economic benefit will be analyzed by planting different types of trees that produce nuts in farms in dry land. Thanks to this study, the necessary information will be obtained when choosing what type of tree to plant in the area of Alcalá de Moncayo, a town located in the province of Zaragoza.

Índice

1. Introducción.....	1
1.1 La llegada de los frutos secos a España.....	2
1.2 El sector en cifras.....	4
2. Contextualización.....	7
2.1 El sector de los frutos secos en España	7
2.2 Tipología y clasificación de los frutos secos	8
2.2.1 Almendro (Prunus Dulces	8
2.2.2 Avellano (Corylus Avellana).....	10
2.2.3 Nogal (Junglans regia).....	11
2.2.4 Pino Piñonero (Pinus pinea)	14
2.2.5 Pistachero (Pistacia vera).....	15
2.2.6 Castaño (Castanea)	16
3. Marco teórico	17
3.1 Objetivos y metodología.....	18
3.2 Función objetivo	23
3.3 Análisis del problema lineal	24
4. Especificación del problema en tierras de secano	25
4.1 Estimación y desarrollo del problema	25
4.2 Resultados, Análisis de sensibilidad e interpretación	31
6- Conclusiones	36

7- Bibliografía	38
-----------------------	----

Índice de figuras

Tabla 1 Producción anual media según años.....	4
Tabla 2 Países productores de frutos secos (2011-2014).	5
Tabla 3 Hectáreas dedicadas a los diferentes tipos de cultivos.	6
Tabla 4 Producción, previsión y variación de almendras en España.....	10
Tabla 5 Evolución y producción de las superficies de almendro, avellano y nogal en España.....	13
Tabla 6 Producción en España.	17
Tabla 7 Distribución del presupuesto disponible.	19
Tabla 8 Maquinaria agraria necesaria.....	19
Tabla 9 Precio unitario y total de cada árbol y número de árboles que entran por hectárea.....	20
Tabla 10 Precios y marcas de abono utilizados para cada uno de los cultivos.....	20
Tabla 11 Marco de plantación.	21
Tabla 12 Precio de la tierra.....	22
Tabla 13 Precio y gasoil empleado.....	22
Tabla 14 Total de horas de poda.....	23
Tabla 15 Horas de maquinaria empleadas en cada cultivo.....	23
Tabla 16 Conjunto de variables del problema.	26
Tabla 17 Conjunto de restricciones para secano.	27

1. Introducción

España es uno de los países que destaca por disfrutar de una rica y variada gastronomía, apreciada en todo el mundo al entenderse como garantía de calidad. Existen algunos alimentos en los que este país destaca enormemente, formando parte de los mayores productores y exportadores de éstos. Algunos ejemplos de estos alimentos son: el queso, el jamón serrano, el aceite de oliva, el vino y en estos últimos años también los frutos secos. Estos últimos serán los protagonistas del estudio, como puede comprobarse en Moreiras et al. (2009), Carbajal, A., and R. Ortega. "La dieta mediterránea como modelo de dieta prudente y saludable (2001) y "Dieta Mediterránea." (2015).

Los frutos secos presentan excepcionales cualidades organolépticas (sabor, composición y textura), nutritivas, capacidad de conservación y diversidad de utilizaciones. Las evidencias científicas sobre sus beneficios para la salud están cada vez más demostradas. Demostrándose esta información en Dussaillant, Catalina, et al. "Evidencia actual sobre los beneficios de la dieta mediterránea en salud." (2016).

Las conocidas relaciones frutos secos-salud y frutos secos-dieta mediterránea, están teniendo una incidencia muy positiva en los consumidores de países desarrollados y son un factor decisivo para el incremento de su consumo a nivel mundial. Por otra parte, son fáciles de consumir y de iniciar su ingesta. Según comenta Salas-Salvadó, Jordi. En Frutos secos, salud y culturas mediterráneas. Editorial Glosa, SL, 2005.

El sector de los frutos secos va teniendo un peso cada vez más importante en la industria agroalimentaria y, por consiguiente, también en la economía nacional. En este trabajo se propone analizar, con la metodología matemática de *programación lineal*, la maximización del beneficio económico obtenido con la producción de los frutos secos utilizando una serie de recursos disponibles.

Los datos utilizados en el estudio los han facilitado agricultores tanto del pueblo como agricultores de la comarca de Tarazona y el Moncayo.

Alcalá de Moncayo es un municipio de la provincia de Zaragoza que se encuentra ubicado geográficamente en la comarca de Tarazona y el Moncayo y situado a unos 800 metros de altura sobre el nivel del mar.

Su clima en invierno cuenta con temperaturas bajas y abundantes precipitaciones mientras que en verano se dan pocas precipitaciones y las temperaturas se mantienen frescas, lo que favorece la producción de frutos secos y repercute positivamente en la economía de la Comarca, que ha encontrado en el sector un nicho de mercado.

Después de definir las principales características de los diferentes frutos secos en España, se procederá al planteamiento del problema y a su resolución.

Se espera que este estudio ayude a la toma de decisiones de los agricultores y cooperativas de la zona de cara a decidir qué tipo de fruto seco plantar para llevar a cabo su producción y su comercialización en España. El trabajo comenzará con una breve reseña histórica que conduce a la panorámica actual del sector de los frutos secos en España.

1.1 La llegada de los frutos secos a España

La mayor parte de los resultados reflejados en este epígrafe han sido extraídos de la dirección web de NUTS Alicante, establecimiento especializado en Frutos Secos y alojada en <http://www.nutsalicante.es>.

Se dice que el origen de los frutos secos en nuestra dieta se tiene que buscar en los albores de la agricultura tradicional. Se escuchan rumores sobre su recolección ya que fueron los primeros pobladores humanos hace más de 780.000 años.

Hace miles de años que el ser humano se ha alimentado de las diferentes variedades de frutos secos que existen, ya que proporcionan un amplio número de nutrientes que son muy importantes para la vida y su alto poder energético los convierte en un alimento enormemente valioso, rico en proteínas y minerales.

Gracias al desarrollo de las técnicas de conservación y de secado de frutos secos es posible poder consumirlos durante todos los meses del año, incluso en invierno cuando las temperaturas son frías, lo que garantizaba el aporte de nutrientes.

Actualmente es cuando tenemos acceso a una gran variedad de frutos secos que se cultivan a lo largo y ancho del globo, hay muchos que nos eran desconocidos hace tan sólo unos años, y que tenemos un conocimiento más profundo de sus beneficios tanto nutritivos como para nuestra salud, y es cuando realmente podemos sacarles todo el partido.

Hoy en día, los frutos secos se convierten a una gran alternativa a la plantación de otros frutales y cuentan con posibilidades en: una producción ecológica, lucha contra la despoblación rural, la lucha con el cambio climático y el mantenimiento del propio paisaje. En España se cuenta con la suerte de que la calidad de los frutos secos es muy buena frente a la de otros países que también son productores. Se pueden encontrar que producciones de almendras, nueces y sobre todo los pistachos pueden llegar a obtener precios superiores a las importaciones.

Todos los frutos secos cuentan con un componente saludable que ayuda a favorecer su consumo. Aunque estén dentro de un grupo de alimentos que cuentan con muchas calorías son necesarios en nuestra vida diaria para poder llevar una dieta equilibrada, su consumo habitual en pequeñas cantidades se asocia a nuestra salud.

Su importancia en la dieta y la cocina mediterránea es reconocida mundialmente, siendo la calidad final de producto y su trazabilidad otro aspecto fundamental para el sector de los frutos secos españoles como se puede apreciar en Durá Travé & Castroviejo Gandarias (2011).

En la gráfica de la figura 1 se ilustra la evolución del consumo per cápita de frutos secos en España entre 2010 y 2018 (en kilogramos). En la misma se puede observar que en los años 2010, 2011 y 2012 se produce un descenso del consumo y a partir del año 2013 el consumo per cápita de frutos secos comienza a ascender de forma progresiva.

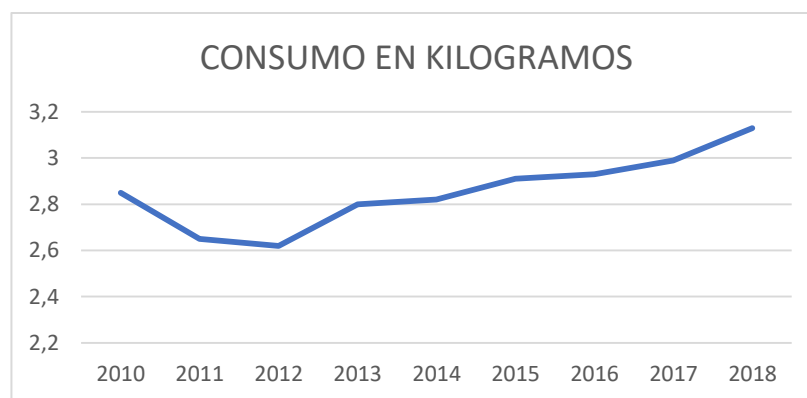


Ilustración 1.1 Evolución del consumo en Kg. De frutos secos. Fuente: Mercasa

De forma desagregada y según datos del INC (Instituto Nacional de Cultura) (2016-2017) el consumo de los españoles (en kg per cápita) de estos cuatro frutos secos es: almendra (1,36), avellana (0,25), pistacho (0,21) y nuez (0,19).

1.2 El sector en cifras

Se introducen en este apartado algunas cifras relativas al sector de los frutos secos. Se centra así la importancia económica del estudio desarrollada en este trabajo. La producción mundial de almendra, avellana y nuez siempre ha sido fuerte mientras que la del pistacho, castaña y piñón se ha incrementado notablemente en los últimos 30 años.

En el cuadro 1 se puede apreciar la evolución de la producción mundial de almendra, avellana, nuez, pistacho, castaña y piñón en los últimos 6 cuatrienios (frutos en cáscara, toneladas en avellana, nuez y pistacho y frutos en grano, toneladas en almendra).

Tabla 1 Producción anual media según años

Fruto	85-99	91-95	96-2000	01-05	06-10	11-14	Incremento %
Almendra	468.880	481.850	577.152	735.536	1.001.465	1.608.714	243
Avellana	573.905	636.169	709.238	752.745	895.551	807.535	41
Nuez	878.995	1.015.105	1.183.492	1.523.682	2.365.730	3.462.731	268
Pistacho	228.784	362.986	432.589	489.943	770.306	934.116	308
Castaña	275.925	300.190	460.500	540.700	680.503	827.265	300
Piñón	213.904	361.859	468.238	652.745	710.553	806.534	298

*Entre los períodos 1985-1990 y 2011-2014 / Fuente: Artículo técnico Cultivo / Frutos secos Biblioteca Horticultura

En el cuadro 2 se recoge la información de los principales países productores de frutos secos y el porcentaje de participación en la producción mundial registrada en el cuatrienio 2011-2014. Se incluyen sólo países con participación significativa.

España es un gran productor de almendra y castaña, y en menor medida, de avellana mientras que las producciones de nuez y pistacho son aún bajas. Se importan cantidades variables en función de cada fruto y según las cosechas anuales.

Tabla 2 Países productores de frutos secos (2011-2014).

Países	Almendra (2)	Avellana (1)	Nuez (1)	Pistacho (1)	Castaña (1)	Piñón (1)
Afganistán	1,2	-	0,4	-	-	-
Azerbaiyán	-	3,8	-	-	-	-
Australia	5	-	-	-	-	-
Chile	1,2	0,9	1,3	-	-	-
China	1,3	2,8	48,8	7,9	34	-
EEUU	65,8	4,3	13,1	23,6	3,1	0,5
España	6	1,9	0,4	-	5,5	65
Francia	-	1,1	1	-	2,7	-
Georgia	-	4,1	-	-	-	-
Grecia	0,7	-	0,7	1	-	-
India	-	-	1,1	-	-	-
Irán	3	2,7	12,7	49,2	-	-
Italia	2,4	12,5	-	-	22,1	1
Marruecos	2,9	-	-	-	-	-
Siria	-	-	-	5,2	-	-
Rumania	-	-	0,9	-	-	-
Tayikistán	1,5	-	-	-	-	-
Turquía	2	64,7	5,7	11,5	7,2	-
Turkmenistán	1,1	-	-	-	-	-
Ucrania	-	-	3,1	-	-	-

*(-) No hay datos.

Fuente: Artículo técnico Cultivo / Frutos secos Biblioteca Horticultura (1) (producción en cáscara) y (2) (producción en grano, necesaria para el caso del almendro, en que hay una importante diferencia entre los rendimientos grano/cáscara de las variedades cultivadas en EE.UU., Australia y en la Cuenca Mediterránea). Artículo técnico Cultivo / Frutos secos Biblioteca Horticultura

En el Cuadro 3 se recogen en los datos básicos sobre distribución superficial, evolución de las superficies y las producciones por especies en España durante los últimos años. El almendro (527.029 ha) y el avellano (13.591 ha) son cultivos tradicionales, ampliamente difundido el primero y localizado casi exclusivamente en Tarragona el segundo. Ambos cultivos, especialmente el almendro, tienen una indudable importancia social y económica. Una parte importante de la almendra y avellana producida se destina a la exportación.

En el cuadro 3 se refleja la distribución de la superficie dedicada al almendro, avellano, nogal, pistachero, castaño y pino piñonero en España en 2014.

Tabla 3 Hectáreas dedicadas a los diferentes tipos de cultivos.

Tipo de Cultivo	Superficie en plantación regular (ha)	N.º de árboles diseminados
Almendro	527.029	645.417
Avellano	13.591	230.236
Nuez	8.116	336.232
Pistacho	7.334	210.548
Castaña	12.000	270.856
Pino	452.195	548.785

Fuente: MAPAMA, Anuario de Estadística Agroalimentaria 2016.

Aunque en España existe una gran población de nogales diseminados a lo largo de su geografía, la superficie ocupada por plantaciones regulares, iniciadas en los años 1970, se ha incrementado mucho recientemente (oficialmente existen según MAPAMA 8.116 ha, pero se estiman actualmente en casi 12.000 ha); muchas de ellas son jóvenes. La producción española de nuez es de unas 14.000 t y es un cultivo en lenta pero continua expansión. Esta producción es todavía insuficiente para satisfacer la demanda del mercado interior.

El cultivo del pistachero es más reciente en España y, al igual que el nogal, se encuentra en proceso de expansión (oficialmente existen según MAPAMA 7.334 ha, pero se estima la existencia de unas 10.000-12.000 ha).

Por otra parte, los frutos secos son cultivos totalmente mecanizados y no perecederos, lo que facilita la gestión de grandes explotaciones, especialmente si se compara con las plantaciones de fruta dulce, donde la disponibilidad de mano de obra es un factor limitante.

2. Contextualización

Haciendo referencia a la primera parte del trabajo, los frutos secos son un bien que poco a poco se han ido introduciendo en España, lo que hace que el sector de los frutos secos en general tenga un potencial económico importante.

Lo primero que se va a desarrollar en esta memoria es una contextualización convirtiéndose en una pequeña base para poder seguir adecuadamente el estudio realizado y ayudando también a la comprensión de todos los datos que se van a emplear a lo largo de este trabajo.

Para comenzar y entrar en materia se comienza con un repaso de la situación actual con respecto a todo el sector de los frutos secos en España contando con todos los datos oficiales ofrecidos por las Instituciones responsables.

Seguidamente y, ya que el sector de los frutos secos tiene un gran nivel de oferta en el mercado, se dará a conocer todos los diferentes árboles con sus respectivos frutos secos que producen y seguidamente se clasificará cada uno de ellos.

También, para que se entienda mejor se ayudará a obtener una visión más objetiva de la situación de mercado, explicando y reflejando datos de los diferentes cultivos en cifras, en cultivos de secano.

2.1 El sector de los frutos secos en España

En el presente trabajo se van a considerar las especies que tienen mayor importancia en España: almendro, avellano, pistacho, nogal, castaño y pino piñonero. Como ya se ha comentado anteriormente, en los últimos años se ha venido observando un importante incremento en el consumo de los frutos secos, debido principalmente a los estudios que los relacionan con beneficios para la salud y la dieta mediterránea (Salas-Salvadó, 2005).

Según la base de datos de consumo del MAPAMA, en el año 2016 los hogares españoles consumieron 129,5 millones de kg de frutos secos, que supuso un gasto total de 945,7 millones de euros, lo cual representó un incremento del 20% en el consumo en el último decenio y un incremento de un 61,8% del gasto total en este periodo. El consumo per cápita de frutos secos fue en el año 2016 de 2,93 kg, con un gasto de 21,57 euros/persona y año. Los frutos secos más consumidos fueron nueces (0,65 kg/persona y año), castañas (0,28 kg), piñones (0,24 kg), almendras (0,21 kg), pistachos (0,13 kg) y avellanas (0,05 kg).

2.2 Tipología y clasificación de los frutos secos

Existe una gran variedad de tipos de frutos secos, así como múltiples maneras de clasificarlos, por lo que es importante mencionar algunas de las más utilizadas a fin de establecer una base que facilite su diferenciación, y que a su vez sirva de referencia durante el estudio.

Esta situación viene como consecuencia de una gran cantidad y variedad de los diferentes frutos secos, condiciones meteorológicas, suelos, y todos los cuidados que conlleva cada tipo de cultivo. A continuación, se enumeran y explican las diferentes características de los árboles de frutas secas que se van a analizar en el trabajo para llevar a cabo la plantación.

2.2.1 ALMENDRO (*PRUNUS DULCES*)

Nuestro país se encuentra en la tercera posición dentro de los productores de todo el mundo, cuenta con un volumen de producción del 4,5 % del nivel mundial, y cuenta con un gap bastante amplio sobre California (80,3 %) y un poco más pequeño con Australia (7,7%) (ABA, 2017).

Tanto en California como Australia, sus plantaciones se encuentran plantadas en suelos fértiles de regadío y cuentan con unas labores de laboreo importantes. Como consecuencia, con todos estos cuidados llevadas a cabo en las plantaciones, las producciones obtenidas se mueven en torno a 2.500-3.500 kg/ha de almendra en grano. En nuestro país, contamos con unas producciones medias por hectárea de 180kg.

Otros países productores son Italia, Irán, Marruecos, Tayikistán, Turkmenistán, Afganistán, Grecia, Turquía, Chile, tal y como puede verse explicado en el cuadro 2.

Pocos años atrás, en nuestro país, la mayoría las plantaciones se ubicaban casi siempre en suelos pobres y en tierras de secano (90%), y contaban con variedades de floración temprana, muy sensibles a las heladas tardías, y con un nivel de polinización muy malo.

Las dos variedades que son más apreciadas comercialmente serían la ‘Largueta’ y la almendra ‘Marcona’. Durante estos últimos años el almendro se ha convertido en un cultivo que se ha puesto de moda tanto en regadío como en secano. Se utilizan plantones injertados y formados a un solo pie con una separación entre ellos de en torno a 6,5m x 6,5m. Todos estos datos hacen referencia a Iannamico, Luis, en su libro "Cultivo de Almendro." Ediciones INTA (2015).

Otro aspecto que contribuye a la expansión del cultivo son las buenas expectativas comerciales tanto a corto como a medio plazo (su demanda se incrementa constantemente y su producción mundial se ha doblado en los últimos 20 años), debido principalmente al crecimiento del consumo de frutos secos y la incidencia del consumo en nuevos países, muchos de ellos asiáticos. (Batlle et al., 2017).

Por otra parte, Europa y España son importadores netos de almendras. España dispone de una industria procesadora y comercializadora capaz y desarrollada que importa almendra, la transforma y reexporta productos elaborados con mayor valor añadido.

En la tabla 4, se muestra la producción, previsión y variación de la almendra en España. Se puede apreciar que Andalucía, Aragón, C. La Mancha son las comunidades que superan las 10.000 toneladas de producción mientras que Baleares, Cataluña, La Rioja, Murcia, Extremadura y La Comunidad Valenciana cuentan con producciones más bajas.

Tabla 4 Producción, previsión y variación de almendras en España.

C. Autónoma	Producción 2018 (toneladas)	Previsión 2019 (toneladas)	Variación 2018-2019 (%)	Variación (2014-2018)
Andalucía	11.500	14.950	30.00	28.15
Aragón	18.588	16.706	-10.12	6.68
Baleares	1.250	1.050	-16.00	-20.23
C. La Mancha	11.666	7.954	-31.82	9.08
Cataluña	4.563	6.533	43.17	60.76
La Rioja	250	400	60.00	-36.16
Murcia	5.520	5.000	-9.42	-7.01
Extremadura	2000	2.795	39.75	179.50
C. Valenciana	6.500	6.890	6.00	22.55
Resto	190	190	0.00	-1.91
TOTAL	62.027	62.568	0.71	18.29

Fuente: Mesa Nacional de Frutos Secos

2.2.2 AVELLANO (*CORYLUS AVELLANA*)

En estos últimos años las producciones de avellanas se han establecido, probablemente esto se debe a la reducción de la cosecha en Turquía, ya que representa un 65% de la producción total. Hay diferentes países productores como, por ejemplo: Italia (12,5%) y EE UU (4,3%) y, en menor grado, Azerbaiyán (3,7%), Georgia (4,1%), Irán (2,7%), China (2,8%), España (1,9%) y Chile (0,9%), datos que quedan reflejados en el cuadro número 2.

La producción en España se encuentra establecida en Tarragona con un 85%, ubicadas en pequeñas áreas de Girona, Castellón, País Vasco, Navarra y Asturias.

Este tipo de cultivo en España ha sufrido una pequeña crisis, ya que en Turquía hay un nivel de producción muy elevado, donde cuentan con unos costes de producción que están por debajo de los españoles y al estar situado en su principal zona productora (Tarragona), se ha reducido considerablemente la superficie, que ha pasado de 37.700 ha en 1985 a 13.591 ha en 2014, información que queda reflejada en los cuadros 3 y 4.

El cultivo del avellano se desarrolla muy bien en climas templados y con pluviometrías superiores a 800 mm/año. El avellano no soporta muy bien las temperaturas elevadas en verano y prefiere suelos con profundidad superior a 50 cm, fértiles de textura ligera o franca, pH de 6 a 7,5 y con bajos contenidos en caliza.

La variedad que más abunda en España es la 'Negret'. Otras variedades plantadas son: la italiana 'Tonda di Giffoni', que se adapta bien a las condiciones catalanas, y la variedad local 'Pauetet', que es muy apreciada por el sector. Dicha información se recoge en el libro de Tous, J., M. Rovira, and J. Plana. "Cultivo del avellano." *Fruticultura Profesional* 11 (1987): 115-123.

La producción de avellanas en España se encuentra en un proceso de innovación y cambio tecnológico (material vegetal y diseño de plantación). Se utilizan plantones injertados y formados a un solo pie con una separación entre ellos de en torno a 6m x 6m.

2.2.3 NOGAL (*JUNGLANS REGIA*)

Según López, Rafael Retes, et al. "Análisis de rentabilidad del cultivo de nogal pecanero en la costa de Hermosillo." (2014) en nuestro país, el cultivo del nogal es un cultivo alternativo muy productivo por unas razones: es un tipo de árbol que se adapta muy bien a todos los tipos de climas de diferentes áreas y el fruto que da está muy bien cotizado en el mercado, teniendo un precio muy estable, donde los últimos 25 años se ha mantenido arriba.

La nuez como fruto seco es un producto tanto de secano como de regadío, con unas necesidades que pueden estimarse en secano entre 3.500 y 6.000 m³ por cada hectárea al año de agua y respecto a la zona de regadío serían necesarios entre 5.000 y 10.000 m³ por cada hectárea al año de agua para que la producción sea la estimada.

Todos estos datos dependen y pueden variar según la zona de plantación que sea y la latitud en la que está dicha plantación. Sin embargo, como casi todos los frutos secos, no permiten que haya tiempos de encharcamientos prolongados durante varios meses por lo que este cultivo prefiere suelos permeables, pero no tolera suelos arcillosos.

El nogal es uno de los árboles que necesita acumular una serie de horas de frío para producir su producción. Las horas-frío son horas donde la temperatura se encuentra por debajo de 7°C para poder evitar los desarreglos en todo el periodo de floración.

Unos de los factores importantes es adaptar la formación de los nogales a sus características varietales, a la intensificación de toda su producción y al buen diseño de las plantaciones, para poder reducir al máximo todo el período que tienen improductivo. Durante todos estos años el cultivo de este fruto seco ha ido avanzando mucho, lo que le ha hecho convertirse en un cultivo muy rentable.

Con respecto al fruto, aparte de producir un fruto que sea de buen tamaño, también tiene que ser de muy buena calidad. Como consiguiente también lleva unos cuidados en el proceso post-cosecha, pelado y secado, los cuales hacen que el fruto se convierta en un producto de calidad en el mercado ya que los consumidores habituales de nuestro país cada vez son más exigentes.

En la península la variedad más popular y la que tiene un cultivo más tecnológico respecto a otros países es la 'Chandler'. Se utilizan plantones injertados y formados a un solo pie con una separación entre ellos de en torno a 7,5m x 7,5m.

En el cuadro 4 se puede observar cómo evolucionan las superficies de almendro, avellano y nogal (miles de hectáreas) y cuáles son las producciones de frutos con cáscara (miles de toneladas) de avellano y nogal, y la producción de fruto en grano (miles de toneladas) de almendro en España:

A continuación, se muestra una tabla reflejando los datos de superficie y producción de almendro, avellano y nogal entre el periodo de 1971-2014.

Tabla 5 Evolución y producción de las superficies de almendro, avellano y nogal en España.

AÑOS	Almendro		Avellano		Nogal	
	Ha	Kg/ha	Ha	Kg/ha	Ha	Kg/ha
71-75	366.4	70.6	28.1	19.3	0.6	8.4
76-80	483.4	72.8	33.7	28.6	0.8	9.6
81-85	531.6	79.5	36.0	23.4	1.5	7.8
86-90	571.2	73.7	33.6	23.2	4.7	8.6
91-95	593.8	73.7	28.6	18.9	3.4	8.6
96-00	631.7	82.3	26.1	19.8	2.7	9.7
01-05	639.5	63.8	21.5	23.2	5.4	10.4
2006	578.7	94.8	19.9	24.8	6.5	9.5
2007	563.8	56.9	16.8	16.1	7.1	9.5
2008	566.9	54.6	15.4	24.3	7.4	11.7
2009	562.6	82.0	14.5	10.3	7.8	13.3
2010	546.8	67.3	13.8	15.1	7.9	13.5
2011	536.3	63.9	14.1	17.6	8.4	13.8
2012	529.5	64.2	13.9	14.6	7.9	6.9
2013	534.1	43.3	13.8	15.3	7.8	14.2
2014	527	59.4	13.6	13.5	8.1	15.5

Fuente: MAPAMA, Anuario de Estadística Agroalimentaria 2016.

2.2.4 PINO PIÑONERO (*PINUS PINEA*)

Este árbol puede llegar hasta los 30 metros de altura, cuenta con un tronco columnar que en la parte superior se divide en varias ramas de un grosor parecido, formando una copa espesa y ancha, con la forma aparejada típica de los árboles que necesitan mucha luz. La corteza tiene una textura acorchada y escamada y tiene un color pardo gris o pardo rojizo.

Sus hojas son alargadas en forma de aguja y están dispuestas en parejas, son rígidas y miden entre 10-18 cm de largo según nos cuenta ROMERO, Felipe, et al. (1886).

El macho cuenta con flores que aparecen dentro de una pequeña piña de (1-1,5 cm) y son de color amarillo. El periodo de floración suele ser de abril a mayo. Cuando las flores femeninas se polinizan se crean las piñas que suelen ser de un tamaño de entre 10 y 15 cm.; éstas contienen las semillas comestibles conocidas como piñones, cubiertas de una dura cáscara de color marrón oscuro.

En cuanto al hábitat se puede comentar que esta especie se trata de una conífera propia de zonas de inviernos suaves y veranos secos y cálidos y puede aparecer en todos los tipos de bosques. Este árbol necesita una cantidad de pluviometría de unos 700 mm al año, pero si llueve o se riega más sus frutos alcanzan mejores calibres y son de mejor calidad. Es un árbol, que ya hace tiempo ha sido cultivado por su producción de piñones, muy cotizados en gastronomía.

El pino piñonero no necesita los suelos sueltos y arenosos de la península, siempre que el clima no sea muy severo. Crece desde el nivel del mar hasta los 1.000 m de altitud. Su distribución la podemos encontrar en el sur de Europa y sudoeste de Asia. En nuestra Península está muy repartido por muchos sitios, pero se cría naturalmente sobre todo en el centro, sur y este, si bien hay repoblaciones para su explotación en muchos lugares.

2.2.5 PISTACHERO (*PISTACIA VERA*)

Según recoge García, Francisco J. Vargas, Miguel A. Romero Romero, and Ignacio Batlle Caravaca, en "Aspectos básicos del cultivo del pistachero: situación, problemática y perspectivas." (1999). El pistachero es un árbol pequeño del género Pistacia, se puede decir que el pistacho es uno de los frutos secos más golosos de mercado.

En el cuadro 2 se pueden apreciar cuales son los principales países productores: Irán (49,4%), EE UU (California) (22,5%), Turquía (12,2%) y Siria (5,8%). Muchos datos de otras fuentes sitúan a la producción californiana por encima de la iraní. Sin embargo, se puede apreciar que, en China, Grecia, Italia, Afganistán, Túnez, Australia se obtienen producciones de pistachos menores.

En los países que más expansión ha tenido el cultivo del pistacho es en California, Irán y Turquía. Donde más se ha plantado este cultivo en España es en Castilla-La Mancha y Andalucía. Las hectáreas que se estiman actualmente son de 10.000.000.

En muchas de estas zonas puede ser perfectamente un cultivo alternativo a otro que ya había plantados como puede ser, los cereales y la viña y además gracias al incremento de plantación de este fruto seco se puede ayudar a mantener la vida tradicional en muchos de los municipios. En España se consume casi todo tostado y salado como "snack". Nuestro país cuenta con una producción estimada pequeña de aproximadamente unas 3000 toneladas.

Por todo lo que necesita, el pistacho es un fruto seco que se adapta muy bien al clima continental del interior que se da en la Península Ibérica, frío invernal y calor estival. Se adapta bien a terrenos calizos, pedregosos y mal a los compactos. Es un tipo de cultivo muy rústico en cuanto a necesidades de suelo y de agua, pero cosechas elevadas solo se pueden alcanzar en buenas condiciones de cultivo y con buenos trabajos de laboreo.

Prolifera mejor en ambientes secos, y necesita condiciones extremas de frío invernal y de calor estival el pistacho en uno de los cultivos que tarda en entrar en producción entre 6 y 7 años en secano y 5 y 6 años en regadío.

Si lo plantamos en regadío, la plena producción la puede llegar a alcanzar sobre los 10-12 años. El volumen de producción medio debería encontrarse en secano en torno a 1.250 kg/ha y en regadío tendría que ser mínimo de 1.500, llegando incluso a unas 2.500kg/ha. En nuestro país la mayoría de los cultivos de este fruto seco son en secano, pero la mayor rentabilidad se alcanza en regadío.

Los marcos de plantación más utilizados son en torno a 6.5m x 6.5m y al ser una planta dioica requiere el uso de polinizadores (aproximadamente 12,5%). También hay que hacer referencia a que este tipo de cultivo requiere de una serie de horas-frío por debajo de 7°C. Estas plantaciones requieren de la plantación de un macho por cada ocho hembras ya que necesita haber una polinización para que el fruto se cree. Así la variedad femenina más utilizada hasta ahora es la 'Kerman', exigente en frío, solapa con 'Peters' que serían los machos.

2.2.6 CASTAÑO (*CASTANEA*)

La palabra castaño, deriva del latín castanea y este a su vez del griego kastanon. El fruto seco que produce este árbol es el que se conoce como castaña. Este tipo de árbol se caracteriza por su gran longevidad ya que pertenece a la familia de las fagáceas, sus hojas se caen en invierno y es originario de climas templados ubicados en el hemisferio norte.

Este árbol es alto llegando a alcanzar en algunos casos los 25 metros con respecto al suelo. Cuenta con una copa amplia y redondeada con varias ramas y en cuanto a su tronco podemos decir que es gordo.

Sus hojas son grandes de color verde oscuro del tamaño de 20 cm de longitud y 5 cm de anchura. Este árbol es de hoja caduca y su periodo de foliación se produce desde finales de abril hasta mediados de junio y sobre noviembre se produce su caída. Stoian, Dietmar (2004).

Como especie termófila que es, necesita luz y bastante cantidad de agua a principios de octubre-noviembre. Requiere suelos ricos en ácido mientras que no soporta la cal en el terreno donde se vaya a plantar. Vive en climas mediterráneos, es decir, un tipo de clima más fresco y lluvioso que los de la tierra baja.

Cuenta con flores muy curiosas que son flores unisexuales, tanto masculinas como femeninas separadas dentro del mismo árbol en amentos o glomérulos que se disponen en vertical de 10 a 15 cm de largo.

Su periodo de floración es en junio y se propaga gracias al viento y a los insectos que lo transportan de árbol en árbol. Es cuando en otoño empieza a aparecer lo que se conoce como castaña. Cada una de las castañas está cubierta por una piel rojiza, brillante por fuera y terciopelo en la parte interna. En el interior encontramos la castaña, ésta está recubierta por una segunda piel muy fina, difícil de separar, y que le confiere un cierto sabor amargo.

Tabla 6 Producción en España.

Área	Hectáreas	Toneladas
Galicia	21.556	7.390
Castilla y León	17.126	7.327
Andalucía	2.628	1.955
Extremadura	8.845	1.383
Asturias	58.433	140
Castilla-La Mancha	91	64
Navarra	2.090	-
Cataluña	17.231	-
País Vasco	537	-
Total	128.537	18.259

Fuente: La Horticultura Española (2001)

3. Marco teórico

En este punto de la memoria se va a detallar todo el estudio relacionado con los frutos secos. Se lleva a cabo el planteamiento y resolución de un problema de programación lineal que cuenta con 6 variables, que en este caso son, los metros cuadrados ó hectáreas dedicadas a los diferentes tipos de cultivos de frutos secos con sus respectivas restricciones.

A continuación, se desarrollará y resolverá el problema con el fin de conocer todos los datos posibles para llegar a la conclusión de qué tipo de fruto seco es más rentable económicamente en el campo de Alcalá de Moncayo.

3.1 Objetivos y metodología

Este trabajo cuenta con un claro objetivo que es plantear y resolver mediante un problema de programación lineal un problema económico que consiste en determinar el número de hectáreas de terreno que se puede dedicar al cultivo de diferentes árboles de frutos secos para maximizar el beneficio económico de la explotación. Gracias a la resolución del problema de programación lineal podremos analizar una serie de resultados que nos ayudarán a la hora de elegir el tipo árbol que es mejor plantar.

Una de las bases que se lleva a cabo este método es identificar los posibles escenarios del proyecto de plantación, los cuales se clasifican en los siguientes:

- Opción pesimista: es la peor visión de la inversión, es decir, es el resultado en caso del fracaso total del proyecto.
- Opción Probable: Este resultado sería el más probable con el que supondríamos en el análisis de la inversión, debe ser objetivo y basado en la mayor información posible.
- Opción Optimista: Siempre existe la posibilidad de lograr más de lo que proyectamos, el escenario optimista normalmente es el que se presenta para motivar al que invierte en la plantación a correr el riesgo.

Gracias a todos estos datos podemos analizar que en 6 inversiones donde estaríamos dispuestos a invertir una misma cantidad, el grado de riesgo y las producciones se pueden comportar de manera muy diferente.

Algunos de los objetivos específicos para poder realizar el estudio de este problema son los siguientes:

- Búsqueda y obtención de todos los precios de los plantones, de la maquinaria, del terreno.

- Calcular los recursos, horas de poda, maquinaria necesaria, de los diferentes tipos de cultivos que se van a plantar para poder realizar el estudio.
- Analizar a través de la resolución del problema simplex que cultivo merece más la pena plantar para poder maximizar el beneficio.

Para el planteamiento de este problema lineal se han utilizado datos reales obtenidos y proporcionados por los agricultores y personas conocidas tanto de la Comarca de Tarazona y El Moncayo como de diferentes pueblos del territorio aragonés y de alguna parte de España. Otros datos son fruto de la experiencia familiar.

- El presupuesto estimado para la elaboración del estudio es de 855.000 € y se divide en las siguientes partidas:

Tabla 7 Distribución del presupuesto disponible.

Compra del terreno	300.000 €
Compra de la planta	500.000 €
Compra de los productos fitosanitarios	20.000 €
Compra del abono	15.000 €
Compra de maquinaria	20.000 €

- Para poder llevar a cabo la plantación y las consiguientes acciones de laboreo y preparado de la tierra se ha tenido que comprar una serie de maquinaria agraria y otras herramientas detalladas en la tabla 8:

Tabla 8 Maquinaria agraria necesaria.

Tractor CASE 2140 PRO	10.000 €
Atomizador (1.000 litros)	4.500 €
Remolque	1.000 €
Cultivador y nave (Herencia)	- €

Cabe destacar que tanto el precio de la nave como el cultivador para labrar la tierra ha sido de 0 € ya que es herencia familiar. Los datos que se van a detallar a continuación hacen referencia a la plantación de **una hectárea** de los diferentes cultivos cultivados en tierras de secano.

- Se ha tenido que ir preguntado en varios invernaderos el precio unitario de los diferentes plantones que se van a plantar para realizar el estudio, cuyo precio unitario y el precio total de árboles que entran en una hectárea es el siguiente:

Tabla 9 Precio unitario y total de cada árbol y número de árboles que entran por hectárea.

	Precio Unidad	Árboles por hectárea	Total €
Pistacho	15 €	225	3.375 €
Avellano	14 €	256	3.584 €
Castaño	10 €	196	1.960 €
Nogal	14 €	169	2.366 €
Pino	12 €	400	4.800 €
Almendro	2,5 €	256	640 €

Haciendo referencia a todos los recursos necesarios para que la plantación se lleve a cabo cabe destacar que:

- El abono empleado para cada uno de los diferentes cultivos es de la marca:

Tabla 10 Precios y marcas de abono utilizados para cada uno de los cultivos.

	Marca de abono	Precio saco 40 KG	Precio saco 50 KG	Precio de 1 kg de abono
Pistacho	D-CODER TOP 1	24,00 €	-	0,60 €
Avellano	FERTIBERIA ABONO COMPLEJO 12-24-12	23,2 €	-	0,58 €
Castaño	FERBERIA ABONO COMPLEJO 15-15-15	27,70 €	-	0,69 €
Nogal	FERTINAGRO DURASOP ACTIBIÓN	-	35,40 €	0,70 €
Pino	D-CODER TOP	22,90 €	-	0,57 €
Almendro	FERTINAGRO RENOVATION FUERZA	-	32,5 €	0,65 €

En cuanto al abono, hace falta resaltar que como máximo se puede emplear 1 kg/árbol ya que cada árbol necesita 1 kg de abono para obtener la mayor producción, no por más abono produce más sino al contrario, es perjudicial, llegando incluso a secar el árbol.

- Los productos fitosanitarios empleados son diferentes para cada uno de los cultivos ya que todos no tienen las mismas enfermedades:
 - Pistacho → herbicida roundop + abono foliar supractil + Mc Bioestimulantes + confidor = 25€+25€+276€+45€= 371 €
 - Avellano → herbicida roundop + abono foliar supractil + Mc Bioestimulantes + azufre = 25€+25€+276€+15€= 341 €
 - Castaño → herbicida roundop + abono foliar supractil + Mc Bioestimulantes+ cobre = 25€+25€+276€+30€ = 356 €
 - Nogal → herbicida roundop + abono foliar supractil + Mc Bioestimulantes + carpocapsa = 25€+25€+276€+59.95€ = 385,95 €
 - Pino piñonero → herbicida roundop + abono foliar supractil + Mc Bioestimulantes + aceite de parafina = 25€+25€+276€+100€ = 426 €
 - Almendro → herbicida roundop + abono foliar supractil + Mc Bioestimulantes + dimetoato = 25€+25€+276€+27€ = 353 €
- La plantación se realiza siguiendo el siguiente marco de plantación:

Tabla 11 Marco de plantación.

	Marco de plantación	Árboles por hectárea
Pistacho	6,5 m x 6,5 m	225
Avellano	6 m x 6 m	256
Castaño	7 m x 7m	196
Nogal	7,5m x 7,5 m	169
Pino	5 m x 5 m	400
Almendro	6 m x 6 m	256

- El precio de las tierra cultivable en Alcalá de Moncayo es el siguiente:

Tabla 12 Precio de la tierra

	Precio de la tierra / hectárea
Secano	1.800 €

Para realizar todas las acciones de laboreo tenemos contratadas a 3 personas, las cuales viven en Alcalá de Moncayo, trabajan 96 horas al año. Cada trabajador trabaja 32 horas con un máximo de 8 horas al día, cobrando 8 € a la hora y cuyo salario total será de 256 €.

- Las horas empleadas por los trabajadores se dividen en las siguientes actividades:
 - Regar (utilizando el remolque) → Se hace 4 veces al año y se emplean 3 horas.
 - Abonar → Se hace 1 vez al año y se emplea 1 hora en desarrollar la actividad.
 - Sulfatar → Se hace 2 veces al año y se emplea 1 hora cada vez en desarrollar la actividad.
 - Labrar → Se labra 8 veces al año y cada vez se emplean 3 horas para realizar la actividad.
 - Podar → La poda se realiza 1 vez al año y cada árbol tiene unas horas de poda estimadas.
- Con respecto al gasoil, se puede decir que el gasoil empleado y su respectivo precio de 0,7 €/litro es el siguiente:

Tabla 13 Precio y gasoil empleado.

Precio litro de gasóleo	0,7 €
Gasoil empleado	150 litros
Precio del gasóleo empleado	105 €

- Haciendo referencia a las horas de poda que necesitan los diferentes árboles se puede ver que son las siguientes:

Tabla 14 Total de horas de poda.

	Minutos por árbol	Total, horas de poda por hectárea
Pistacho	10 min	37 h
Avellano	12 min	51 h
Castaño	10 min	32 h
Nogal	15 min	62 h
Pino	5 min	20 h
Almendro	9 min	38 h

- En cuanto a las horas empleadas de maquinaria se puede decir que son las siguientes:

Tabla 15 Horas de maquinaria empleadas en cada cultivo.

H/cultivo	Pistacho	Avellano	Castaño	Nogal	Pino	Almendro
Tractor	4 h	3 h	5 h	6 h	5 h	5 h
Cultivador	4 h	3 h	5 h	4 h	5 h	5 h
Atomizador	1 h	2 h	3 h	5 h	3 h	3 h
Remolque	2 h	2 h	4 h	4 h	1 h	3 h
Total (h)	11 h	10 h	17 h	19 h	14 h	16 h

3.2 Función objetivo

Esta memoria trata sobre la maximización de una explotación de frutos secos y no está de más poder recordar algunos conceptos matemáticos utilizados para la elaboración de este, que a su vez cuentan con una gran importancia a la hora de poder entender todo el estudio realizado.

En matemáticas, se puede decir que una optimización o programación matemática es un proceso donde se selecciona cuál es el mejor elemento (siempre con respecto a algún criterio) sobre un conjunto de elementos disponibles.

Cuando hablamos de un problema de optimización hacemos referencia a maximizar o minimizar una función objetivo eligiendo una serie de valores y computando el valor de la función.

Todo esto se verá detallado a continuación en el planteamiento de un problema de programación lineal resuelto gracias al método del simplex.

3.3 Análisis del problema lineal

Se ha tomado de referencia el libro de Jarne, G. J., Pérez-Grasa, I., & Constante, E. M. (1997). Para desarrollar el problema de programación lineal sujeto a una serie de restricciones.

Cuando se habla de programación lineal se hace referencia al campo de la programación matemática dedicado a maximizar o minimizar, también llamado optimización de una función lineal, a la cual llamamos función objetivo, de tal forma que las variables de dicha función estén sujetas a una serie de restricciones expresadas mediante un sistema de ecuaciones o inecuaciones que también son lineales. El método usado en este estudio de maximización de frutos secos en las tierras de Alcalá de Moncayo (Zaragoza) es el Método Simplex de doble fase estudiado en el Grado en ADE.

Todas las variables utilizadas en el estudio son números reales mayores o iguales a cero con el fin de poder obtener una solución óptima.

En caso de que se requiera que el valor resultante de las variables sea un número entero, el procedimiento de resolución se denomina *Programación entera*.

Y en cuanto a las restricciones puedes ser de la forma:

$$A_j = \sum_{i=1}^N a_{i,j} \times X_i$$

$$B_j \leq \sum_{i=1}^N b_{i,j} \times X_i$$

$$C_j \geq \sum_{i=1}^N c_{i,j} \times X_i$$

Donde:

A = Valor conocido a ser respetado estrictamente;

B = Valor conocido que debe ser respetado o puede ser superado;

C = Valor conocido que no debe ser superado;

j = Número de la ecuación, variable de 1 a M (número total de restricciones);

a; **b**; **y**, **c** = Coeficientes técnicos conocidos;

X = Incógnitas, de 1 a N;

i = Número de la incógnita, variable de 1 a N.

Los tres tipos de restricciones pueden darse simultáneamente en el mismo problema.

4. Especificación del problema en tierras de secano

4.1 Estimación y desarrollo del problema

Pasamos a hablar sobre la función objetivo para realizar la plantación en tierra de secano: se cuenta con 100 hectáreas de terreno cultivable (explotación tipo, su resultado se puede interpretar como un porcentaje que puede aplicarse a otros tamaños de parcela) y es donde nos preguntamos cuántas hectáreas de terreno se pueden o se deben dedicar al cultivo de diferentes árboles que producen frutos secos para maximizar el máximo beneficio de la explotación.

Para llevar a cabo la plantación de estos cultivos el banco concede un préstamo de 855.000 € para poder comenzar a realizar la actividad y que se divide de la siguiente manera:

Contamos con 300.000 € para la compra del terreno, 500.000 € para la compra de las plantas, 20.000 € para la compra de productos fitosanitarios y otros, 15.000 € restantes para la compra del abono necesario y 20.000 € para la compra de maquinaria.

En cuanto a la distribución del terreno sería la siguiente y en cuanto al objetivo principal es determinar el número de hectáreas dedicadas al cultivo de pistachos (x1), a cultivar avellanos (x2), castaños (x3), nogales (x4), pinos piñoneros (x5) y almendros (x6).

Tabla 16 Conjunto de variables del problema.

X1 Pistacheros	X2 Avellanos	X3 Castañeros	X4 Nogales	X5 Pinos Piñoneros	X6 Almendros
---------------------------	-------------------------	--------------------------	-----------------------	-----------------------------------	-------------------------

Haciendo referencia al beneficio económico que obtendrá el agricultor, se expresa como la diferencia que hay entre los ingresos y los costes. Los ingresos son los que preceden de la venta de la producción, es decir, precio de venta del fruto por cantidad de frutos vendidos. Y en cuanto a los costes se dividen en unos costes fijos y unos costes variables.

- Dentro de los **costes fijos** se incluyen:
 - Compra del terreno (100 hectáreas)
 - Compra del tractor, remolque, atomizador.

En el banco donde nos han concedido el préstamo un asesor financiero ha estimado que se debe recuperar la inversión en 5 años por lo que, para el primer año se supone que el agricultor tendrá como costes fijos una cantidad C_0 = euros ó miles de euros. Este valor no afectará al número de hectáreas dedicadas a cada cultivo que se obtiene al maximizar, pero sí al rendimiento económico de la explotación.

- Dentro de los **costes variables** se incluyen:
 - Compra de las plantas.
 - Gastos de gasoil.
 - Gastos de herbicida y otros productos fitosanitarios.
 - Gastos de poda.
 - Gasto de abono.
 - Otros gastos de laboreo como es la recogida, sulfatar, labrar, podar...
- Sabiendo todos estos datos que se han citado anteriormente la función objetivo en secano estará sujeta a **5 restricciones**.

Tabla 17 Conjunto de restricciones para secano.

R1	$x_1+x_2+x_3+x_4+x_5+x_6 \leq 100$	Número de hectáreas disponibles
R2	$15 \cdot x_1 + 14 \cdot x_2 + 10 \cdot x_3 + 14 \cdot x_4 + 12 \cdot x_5 + 2,50 \cdot x_6 \leq 225.300$	225.300 € para la compra de plantas
R3	$0,6 \cdot x_1 + 0,58 \cdot x_2 + 0,69 \cdot x_3 + 0,7 \cdot x_4 + 0,57 \cdot x_5 + 0,65 \cdot x_6 \leq 10.840$ -Los coeficientes representan el precio de 1kg de abono por árbol x hectárea -	10.840 € para la compra de abono
R4	$37 \cdot x_1 + 51 \cdot x_2 + 32 \cdot x_3 + 62 \cdot x_4 + 20 \cdot x_5 + 38 \cdot x_6 \leq 288 (96 \cdot 3)$ -Los coeficientes representan horas por ha-	Horas poda: 3 empleados, 96 horas
R5	$11 \cdot x_1 + 10 \cdot x_2 + 17 \cdot x_3 + 19 \cdot x_4 + 14 \cdot x_5 + 16 \cdot x_6 \leq 480 (60 \cdot 8)$	Horas de laboreo y preparación de la tierra (60 días, 8 horas al

		día)
--	--	------

- Se procede a la explicación de los coeficientes de la **función objetivo**:

= **Ingresos X1:** (225 árboles*10 €/kg*9 kg producción secano árbol) x1

= **Costes variables X1:**

$$15*225 = 3.375 \text{ €.}$$

105 € gasoil/hectárea.

371 € Gastos de herbicida y otros productos fitosanitarios.

Trabajos de laboreo, poda, sulfatar = 256 €.

Gasto de abono = 135 €

= **Ingresos X2:** (256 árboles*4 €/kg*11 kg producción secano árbol) x2

= **Costes variables X2:**

$$14*256 = 3.584 \text{ €.}$$

105 € gasoil/hectárea.

341 € Gastos de herbicida y otros productos fitosanitarios.

Trabajos de laboreo, poda, sulfatar = 256 €.

Gasto de abono = 148,48 €

= **Ingresos X3:** (196 árboles*1,8 €/kg*10 kg producción secano árbol) x3

= **Costes variables X3:**

10*196 = 1.960 €.

105 € gasoil/hectárea.

356 € Gastos de herbicida y otros productos fitosanitarios.

Trabajos de laboreo, poda, sulfatar = 256 €.

Gasto de abono = 135,24 €

= **Ingresos X4:** (169 árboles*5 €/kg*8 kg producción secano árbol) x4

= **Costes variables X4:**

14*169 = 2.366 €.

105 € gasoil/hectárea.

385,95 € Gastos de herbicida y otros productos fitosanitarios.

Trabajos de laboreo, poda, sulfatar = 256 €.

Gasto de abono = 118,3 €

= **Ingresos X5:** (400 árboles*35 €/kg*3 kg producción secano árbol) x5

= **Costes variables X5:**

12*400 = 4.800 €.

105 € gasoil/hectárea.

426 € Gastos de herbicida y otros productos fitosanitarios.

Trabajos de laboreo, poda, sulfatar = 256 €.

Gasto de abono = 228 €

= **Ingresos X6:** $(256 \text{ árboles} * 1,4 \text{ €/kg} * 11 \text{ kg producción secano árbol}) * 6$

= **Costes variables X6:**

$2,5 * 256 = 640 \text{ €}$.

105 € gasoil/hectárea.

353 € Gastos de herbicida y otros productos fitosanitarios.

Trabajos de laboreo, poda, sulfatar = 256 €.

Gasto de abono = 166,4 €

Maximizar

$(15496) X1 + (6317,52) X2 + (203,76) X3 + (3016,75) X4 + (35673) X5 + (1910) X6 - C0$
--

Sujeto a las 5 restricciones.

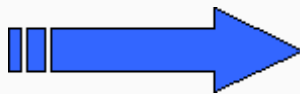
C0 no se incluye en el simplex, pero se restará cuando se calcule el beneficio económico.

4.2 Resultados, Análisis de sensibilidad e interpretación

Pasamos el problema a la forma estándar, añadiendo variables de holgura.

- Como la restricción 1 es del tipo ' \leq ' se agrega la variable de holgura X7.
- Como la restricción 2 es del tipo ' \leq ' se agrega la variable de holgura X8.
- Como la restricción 3 es del tipo ' \leq ' se agrega la variable de holgura X9.
- Como la restricción 4 es del tipo ' \leq ' se agrega la variable de holgura X10.
- Como la restricción 5 es del tipo ' \leq ' se agrega la variable de holgura X11.

$$\text{MAXIMIZAR: } Z = 15496 X_1 + 6317,52 X_2 + 203,76 X_3 + 3016,75 X_4 + 35673 X_5 + 1910 X_6$$



$$\text{MAXIMIZAR: } Z = 15496 X_1 + 6317.52 X_2 + 203.76 X_3 + 3016.75 X_4 + 35673 X_5 + 1910 X_6 + 0 X_7 + 0 X_8 + 0 X_9 + 0 X_{10} + 0 X_{11}$$

sujeto a:

$$1 X_1 + 1 X_2 + 1 X_3 + 1 X_4 + 1 X_5 + 1 X_6 \leq 100$$

$$3375 X_1 + 3584 X_2 + 1960 X_3 + 2366 X_4 + 4800$$

$$X_5 + 640X_6 \leq 225300$$

$$135 X_1 + 148,48 X_2 + 135,24 X_3 + 118,3 X_4 + 228$$

$$X_5 + 166,4X_6 \leq 10840$$

$$37 X_1 + 51 X_2 + 32 X_3 + 62 X_4 + 20 X_5 + 38 X_6 \leq$$

$$288$$

$$11 X_1 + 10 X_2 + 17 X_3 + 19 X_4 + 14 X_5 + 16 X_6 \leq$$

$$480$$

$$X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6 \geq 0$$

sujeto a:

$$1 X_1 + 1 X_2 + 1 X_3 + 1 X_4 + 1 X_5 + 1 X_6 + 1 X_7 = 100$$

$$3375 X_1 + 3584 X_2 + 1960 X_3 + 2366 X_4 + 4800 X_5 + 640 X_6 + 1$$

$$X_8 = 225300$$

$$135 X_1 + 148.48 X_2 + 135.24 X_3 + 118.3 X_4 + 228 X_5 + 166.4 X_6 +$$

$$1X_9 = 10840$$

$$37 X_1 + 51 X_2 + 32 X_3 + 62 X_4 + 20 X_5 + 38 X_6 + 1 X_{10} = 288$$

$$11 X_1 + 10 X_2 + 17 X_3 + 19 X_4 + 14 X_5 + 16 X_6 + 1 X_{11} = 480$$

$$X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_9, X_{10}, X_{11} \geq 0$$

- Pasamos a construir la primera tabla del método Simplex.

Tabla Inicial			15496	157938 / 25	5094 / 25	12067 / 4	35673	1910	0	0	0	0	0
Base	Cb	P0	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
P7	0	100	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
P8	0	225300	3375	3584	1960	2366	4800	640	0	1	0	0	0
P9	0	10840	135	3712 / 25	3381 / 25	1183 / 10	228	832 / 5	0	0	1	0	0
P10	0	288	37	51	32	62	20	38	0	0	0	1	0
P11	0	480	11	10	17	19	14	16	0	0	0	0	1
Z		0	-15496	-157938 / 25	-5094 / 25	-12067 / 4	-35673	-1910	0	0	0	0	0

Tabla Final			15496	157938 / 25	5094 / 25	12067 / 4	35673	1910	0	0	0	0	0
Base	Cb	P0	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
P7	0	428 / 5	-17 / 20	-31 / 20	-3 / 5	-21 / 10	0	-9 / 10	1	0	0	-1 / 20	0
P8	0	156180	-5505	-8656	-5720	-12514	0	-8480	0	1	0	-240	0
P9	0	37784 / 5	-1434 / 5	-10823 / 25	-5739 / 25	-1177 / 2	0	-1334 / 5	0	0	1	-57 / 5	0
P5	35673	72 / 5	37 / 20	51 / 20	8 / 5	31 / 10	1	19 / 10	0	0	0	1 / 20	0
P11	0	1392 / 5	-149 / 10	-257 / 10	-27 / 5	-122 / 5	0	-53 / 5	0	0	0	-7 / 10	1
Z		2568456 / 5	1009981 / 20	8464863 / 100	1421826 / 25	2151391 / 20	0	658687 / 10	0	0	0	35673 / 20	0

- La solución óptima es $Z = 2568456 / 5$

X1	0
X2	0
X3	0
X4	0
X5	$72 / 5$
X6	0

6- Conclusiones

Una vez analizado el diferente sector de los frutos secos con datos, estadísticas y opiniones de agricultores de la zona, hemos obtenido de todo ello una serie de conclusiones de aplicación práctica.

En cuanto a la realización del trabajo he encontrado alguna dificultad. La principal limitación en mi trabajo ha sido el planteamiento del problema de programación lineal ya que me he tenido que documentar y revisar mis apuntes de matemáticas I y II para poder realizar la memoria.

Para finalizar con este estudio sobre qué tipo de árbol de frutas secas cultivar, a continuación se van a presentar las conclusiones obtenidas a lo largo del mismo. El objeto de este último capítulo es analizar si se han cumplido los objetivos establecidos al comienzo, es decir, analizar mediante la programación lineal usando el método simplex para evaluar la importancia de los frutos secos en el mercado así como determinar qué tipo de cultivo merece la pena cultivar para poder obtener todo el rendimiento posible con los recursos necesarios.

Al principio de esta memoria se detalló que existe una gran variedad de frutos secos diferentes, pero finalmente se ha optado por la elección de plantar pistachos, avellanos, castaños, nogales, pinos piñoneros y almendros. Esto se debe a que entre los frutos secos producidos en España, suscitan en la actualidad un gran interés entre los consumidores debido fundamentalmente a las excelentes bondades alimenticias que poseen.

Pese a su alto valor calórico, es un hecho comprobado que forman parte de una dieta saludable. Tomando como base estas virtudes alimenticias, se ha hecho una importante promoción de estos frutos secos por parte de los productores especialmente de EE.UU. Gracias a esta labor, hoy por hoy, la demanda mundial sigue creciendo a más ritmo que la oferta. Ante este panorama y teniendo en cuenta los actuales precios de cotización, son muchos los agricultores que se están planteando el cultivo de estas especies de frutos secos.

La superficie nacional destinada a cada cultivo es muy dispar como se aprecia en las tablas explicadas en la memoria. Destacamos que las producciones son muy variables de una campaña a otra por diversos factores tanto climáticos como agronómicos. En el desglose por cultivos, los datos productivos que citamos están referenciados a producciones y tendencias medias más destacadas de los últimos años en España. El cultivo de estos frutos secos está sujeto a una serie de condicionantes agronómicas que el agricultor ha de conocer para decantarse por un cultivo u otro.

Se ha cumplido el objetivo principal de este trabajo que era elaborar un problema de programación lineal que explicara en su máxima medida que número de hectáreas se van a dedicar a la plantación de los diferentes tipos de cultivos sujetos a una serie de restricciones.

Si bien se comenzó el estudio valorando múltiples variables, finalmente han sido 6 las variables resultantes significativas para el modelo. Estas son: X1 Pistachero, X2 Avellano, X3 Castaño, X4 Nogal, X5 Pino Piñonero, X6 Almendro, todas ellas sujetas a las restricciones de las hectáreas disponibles, el precio de las plantas, abono, las horas de poda y las horas de laboreo y preparación de la tierra.

En cuanto al resultado obtenido mediante el método simplex podemos decir que el cultivo que hay que plantar para maximizar el beneficio es X5, que es, plantar 14,4 hectáreas de Pino Piñonero.

7- Bibliografía

1. Couceiro, José Francisco. "Frutos secos: almendro y pistachero." Cajamar, 2014.
2. Durá Travé, T., & Castroviejo Gandarias, A. (2011). Adherencia a la dieta mediterránea en la población universitaria. *Nutrición Hospitalaria*, 26(3), 602-608.
3. Dussaillant, Catalina, et al. "Evidencia actual sobre los beneficios de la dieta mediterránea en salud." *Revista médica de Chile* 144.8 (2016): 1044-1052.
4. García, Francisco J. Vargas, Miguel A. Romero Romero, and Ignacio Batlle Caravaca. "Aspectos básicos del cultivo del pistachero: situación, problemática y perspectivas." (1999).
5. Iannamico, Luis. "Cultivo de Almendro." *Ediciones INTA* (2015).
6. Jarne, G. J., Pérez-Grasa, I., & Constante, E. M. (1997). Matemáticas para la economía: álgebra lineal y cálculo diferencial. McGraw-Hill.
7. López, Rafael Retes, et al. "Análisis de rentabilidad del cultivo de nogal pecanero en la costa de Hermosillo." *Revista Mexicana de Agronegocios* 34 (2014): 872-882.
8. Moreiras, G. V., Torres, J. M. Á., Vives, C. C., de la Calle, S. D. P., & Moreno, E. R. (2009). Valoración de la dieta española de acuerdo con el Panel de Consumo Alimentario. *Distribución y consumo*, 19(105), 20-28.
9. ROMERO, Felipe, et al. *El pino piñonero en la provincia de Valladolid*. Imp. y Lib. de los Hijos de Rodriguez, 1886.
10. Salas-Salvadó, Jordi. *Frutos secos, salud y culturas mediterráneas*. Editorial Glosa, SL, 2005.
11. Salas-Salvadó, Jordi. *Frutos secos, salud y culturas mediterráneas*. Editorial Glosa, SL, 2005.
12. Stoian, Dietmar. "Cosechando lo que cae: la economía de la castaña (*Bertholletia excelsa* HBK) en la Amazonía boliviana." *Productos forestales, medios de subsistencia y conservación* 3 (2004): 89-116.
13. Tous, J., M. Rovira, and J. Plana. "Cultivo del avellano." *Fruticultura Profesional* 11 (1987): 115-123.

