



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Centro de Estudios de Postgrado

Trabajo Fin de Máster

**ESTUDIO Y ANÁLISIS
HIDRÁULICO Y ENERGÉTICO
DEL RIEGO DE LA FINCA
“BARBEIRAS”**

Alumno/a: Andrade Capela da Silva Carrilho, Diogo

Tutor/a: Prof. D. Perez Latorre, Francisco Jose
Dpto.: INGENIERÍA MECÁNICA Y MINERA

Junio, 2017



ESTUDIO Y ANÁLISIS HIDRÁULICO Y ENERGÉTICO DEL RIEGO DE LA FINCA "BARBEIRAS"

Esta memoria constituye el Trabajo Fin de Máster y se presenta a la Comisión Evaluadora en Jaén a 5 de Julio del año 2017.

Fdo. *Diogo Carrilho*

**FRANCISCO JOSE PEREZ LATORRE, PROFESOR
TITULAR DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
MECÁNICA Y MINERA DE LA UNIVERSIDAD DE JAÉN.**

Como **TUTOR** de D. Diogo Andrade Capela da Silva Carrilho, en el Máster Universitario en Olivar y Aceite de Oliva, durante el curso 2016-2017

INFORMA: Que el presente trabajo fin de máster, ***Estudio y Análisis hidráulico y energético del riego de la finca "Barbeiras"***, ha sido realizado en la población de Casa Branca y en la finca "Barbeiras", para la obtención del Título de Máster Universitario en Olivar y Aceite de Oliva por la Universidad de Jaén, bajo la dirección de lo Prof. D. Francisco Jose Perez Latorre.

Jaén, Julio de 2017

Firma

Fdo.

**PEREZ LATORRE
FRANCISCO
JOSE -
26465293K**

Firmado digitalmente por PEREZ
LATORRE FRANCISCO JOSE - 26465293K
Nombre de reconocimiento (DN): c=ES,
serialNumber=26465293K, sn=PEREZ
LATORRE, givenName=FRANCISCO
JOSE, cn=PEREZ LATORRE FRANCISCO
JOSE - 26465293K
Fecha: 2017.06.28 13:17:34 +02'00'

ÍNDICE

Centro de Estudios de Postgrado.....	1
MÁSTER UNIVERSITARIO EN OLIVAR Y ACEITE DE OLIVA.....	1
Centro de Estudios de Postgrado.....	1
FDO.	2

Índice de figuras y tablas

Figuras:

- Fig.1. Producción media de la campaña de 2000/01 hasta 2015/16 de los 8 mayores productores del mundo.

- Fig. 2. Producción, Exportación e Importación de aceite de oliva, en Portugal durante el periodo de 90/91 a 14/15.
- Fig. 3. Área de olivar por densidad en Portugal en el año 2011.
- Fig. 4. Área de olivar por edad en Portugal en el año 2011.
- Fig. 5. Variedad Galega Vulgar.
- Fig. 6. Variedad Cobrançosa.
- Fig. 7. Zonas oleícolas de Portugal.
- Fig. 8. Olivar en estudio vista aérea.
- Fig. 9. Olivar en estudio.
- Fig. 10. Variedad Frantoio.
- Fig. 11. Variedad Cobrançosa.
- Fig. 12. Columna litológica de los sondeos presentes.
- Fig. 13. La finca “Barbeiras”.
- Fig. 14. Filtro hidrociclone.
- Fig. 15. Programación de riego.
- Fig. 16. Gráfico del calendario de riego.
- Fig. 17. Red de tuberías de la finca “Barbeiras”.
- Fig. 18. Modelo y motor de la bomba 1.
- Fig. 19. Curva de rendimiento de la bomba 1.
- Fig. 20. Curva de la bomba 1 (Q/H).
- Fig. 21. Modelo y motor de la bomba 2.
- Fig. 22. Curva de rendimiento de la bomba 2.
- Fig. 23. Curva de la bomba 2 (Q/H).
- Fig. 25. Curva de rendimiento de la bomba 3
- Fig. 26. Curva de la bomba 3 (Q/H).
- Fig. 27. Modelo y motor de la bomba 4.
- Fig. 28. Curva de rendimiento de la bomba 4.
- Fig. 29. Curva de la bomba 4 (Q/H).
- Fig. 30. Modelo y motor de la bomba 5.
- Fig. 31. Curva de rendimiento de la bomba 5.
- Fig. 32. Curva de la bomba 5 (Q/H).

Tablas:

- Tabla 1. Pérdida de carga (bar)/ Caudal (m³/h).
- Tabla 2. Radiación extraterrestre.
- Tabla 3. Método FAO.
- Tabla 4. Método de utilización de la reserva del suelo.
- Tabla 5. Datos climáticos.
- Tabla 6. Calendario de riego.
- Tabla 7. Demanda y presión de las conexiones, antigua.
- Tabla 8. Características antiguas de las tuberías.
- Tabla 9. Demanda y presión de las conexiones, nueva.
- Tabla 10. Características de las nuevas tuberías.
- Tabla 11. Altura y caudal de las bombas con las tuberías antiguas.
- Tabla 12. Altura y caudal de las bombas con las tuberías nuevas.
- Tabla 13. Estimación ahorro del canon de riego por el agua no consumida.
- Tabla 14. Estimación ahorro energético por los Kw no consumidos.
- Tabla 15. Modificación de la tubería AB.
- Tabla 16. Modificación de la tubería BC.
- Tabla 17. Incremento coste bomba 1.
- Tabla 18. Beneficio bomba 1.
- Tabla 19. Incremento coste bomba 2.
- Tabla 20. Beneficio bomba 2.
- Tabla 21. Incremento coste bomba 3.
- Tabla 22. Beneficio bomba 3.
- Tabla 23. Incremento coste bomba 4.
- Tabla 24. Beneficio bomba 4.
- Tabla 25. Incremento coste bomba 5.
- Tabla 26. Beneficio bomba 5.
- Tabla 27. Cuadro resumen gastos /ingresos de la inversión realizada (año 1).

1. RESUMEN

En la Europa, un tercio del consumo de agua es utilizado en el sector agrícola. La agricultura influye tanto en la cantidad de agua consumida como en la calidad de agua disponible.

En los países con climas áridos y semiáridos de la Europa, 80% del agua consumida por la agricultura es utilizada en el riego.

El uso inadecuado de los recursos hídricos en la agricultura buscando altas productividades es uno de los factores que han contribuido para la utilización inadecuada de la misma, con consecuencias indeseables para el medio ambiente. En este contexto es fundamental, en los días de hoy, la adopción de técnicas racionales de manejo conservacionista del suelo y del agua para la sostenibilidad en la agricultura, de forma que, para ser mantenidos, a lo largo del tiempo, estos recursos con cantidades y calidades suficientes para la manutención de niveles satisfactorios de productividad (WUTKE et al., 2000).

Portugal empezó el siglo XXI con una procura anual de agua en el territorio continental estimada en cerca de 7.500 millones m³, en el conjunto de los tres sectores: urbano, agrícola y industrial. El sector agrícola es, en términos de volumen, el mayor consumidor de (>80%) (PNA 2002).

En la agricultura en Portugal, en el año de 2002, se gastó 6.500 millones de m³ (PNA 2002). Con estas cifras es posible tener la idea de lo que representa la agricultura en términos de uso del agua, así hay que tomar medidas.

Hay que tomar una estrategia de mejorar el consumo del agua, regar bien no es lo mismo que echar agua.

En el presente trabajo se va hacer un estudio hidráulico y energético para evaluar un sistema de riego instalado en un olivar de la finca “Barbeiras” que está localizada en Portugal. Lo que se pretende es ver sí el uso del agua y energía es eficiente, y caso no lo sea, lo que se podría cambiar para hacer el sistema más eficiente y sostenible.

Con los estudios realizados en el presente trabajo, fue posible obtener soluciones con las cuales se puede ahorrar agua y energía, mejorando el uso sostenible y haciendo más eficiente la gestión del recurso agua.

Las mejoras contempladas en este trabajo se amortizan antes del segundo año desde que se realiza la inversión.

Hoy en día se ha que ser responsable a la hora de utilizar un recurso precioso como es el agua, en este trabajo se ha demostrado que es posible utilizarla de forma eficiente, con un bueno manejo y con una buena programación de riego.

ABSTRACT

In Europe, one-third of water consumption is destined to the agricultural sector. As such, agriculture simultaneously impacts on the quantity of water used and on the quality of the available water.

In European countries with arid and semi-arid climates, 80% of water used in agriculture is meant for irrigation.

The inadequate use of hydric resources in agriculture, stemming from a desire for increased production, is one of the issues contributing to the broader phenomenon of water wastefulness, which negatively impacts the environment. In today's context, it is fundamental that rational and conservationist methods be employed when managing soil and water resources, so as to promote agricultural sustainability and ensure that, over time, the quantity and quality of these resources continue to sustain satisfactory production levels.

At the dawn of the 21st century, demand for water in mainland Portugal was estimated to round 7.500 million cubic meters annually, concentrated in the urban, agricultural, and industrial sectors. In terms of volume, the agricultural sector was the most impactful, accounting for over 80% of total water consumption – in 2002 alone, the Portuguese agricultural sector used up 6.500 million cubic meters of water.

These figures underline the impact of agriculture on water consumption, as well as the need to take action and implement more sustainable strategies in the allocation of hydric resources.

This hydro-energetic study will focus on the assessment of the irrigation system implemented in an olive grove in the 'Barbeiras' steading, located in mainland Portugal, with the purpose of determining its efficiency in allocating water and energy resources. Should it be found to be lacking in efficiency, the study will go on to suggest ways in which the system could be improved, so as to maximize efficiency and ensure sustainability.

In the course of this study, a number of solutions were developed which may help to save water and energy, so as to promote a more sustainable and efficient allocation and management of such resources.

All recommendations were developed two years following the initial investment.

Nowadays, the utilization of such precious resources as water requires a great deal of responsibility. Taking this into consideration, the present study will demonstrate how it is possible to allocate resources more efficiently, through good management and the implementation of an adequate irrigation system.

2. JUSTIFICACIÓN

En los países del sur de Europa, como Grecia, España, Portugal, Italia, Chipre y sur de Francia, las condiciones climáticas son áridas y semiáridas, lo que lleva a que se

para asegurar las cosechas de numerosos productos agrícolas se tenga que hacer riego para obtener buenas producciones (estrategias de garantía alimentaria). Así, el 80% del agua utilizada en la agricultura es destinada al riego.

Un tercio de las tierras de la superficie de la tierra, han sido clasificadas como áridas o semiáridas, y casi la mitad de los países están directamente afectados de alguna manera por los problemas relacionados con la aridez (Simmers, 2003). El aumento de la zona de riego en muchas zonas áridas y semiáridas es una respuesta a la necesidad de una mayor producción de alimentos con el fin de cubrir las necesidades de una población creciente (Ryan *et al.*, 2012).

El agua es un bien esencial para la vida humana, el uso eficiente es una responsabilidad de todos nosotros.

El riego localizado por goteo es el más popular para aplicar agua en el olivar, debido principalmente al hecho de que la mayoría de los cultivos se encuentran en zonas áridas y semiáridas, donde el agua para el riego es escasa (Fernández *et al.*, 2003), siendo el sistema localizado el más ampliamente utilizado (Morales-Sillero *et al.*, 2013). El incremento durante los últimos años de tierras de cultivo de olivar regadas, hace crucial optimizar el uso del agua en este cultivo (Palomo *et al.*, 2002). La producción de aceitunas se incrementa en gran medida con el riego, especialmente en las zonas y años de baja precipitación (Orgaz y Fereres, 2008)

En Portugal el olivar de riego representaba en 2013 26,6% de la área ocupada por culturas de riego y en 2015 aumentó para 31,92 %, siendo la cultura con más área de riego en Portugal en los últimos años. Apenas 20% de los olivares Portugueses tienen riego, siendo 95% de riego localizado.

En 2012 la superficie de olivar en Portugal para producción de aceite de oliva tenía la siguiente configuración de densidades de árboles por ha (% relativas a la superficie total de hectáreas de olivar existentes):

- a) <140 árbol/ha (46%),
- b) 140-399 árbol/ha (45%) y
- c) >400 árbol/ha (9%).

La edad de los olivares tiene la siguiente distribución:

- a) <5 años (9%),
- b) 5-11 años (15%),
- c) 12-49 años (17%)
- d) >50 años (58%).

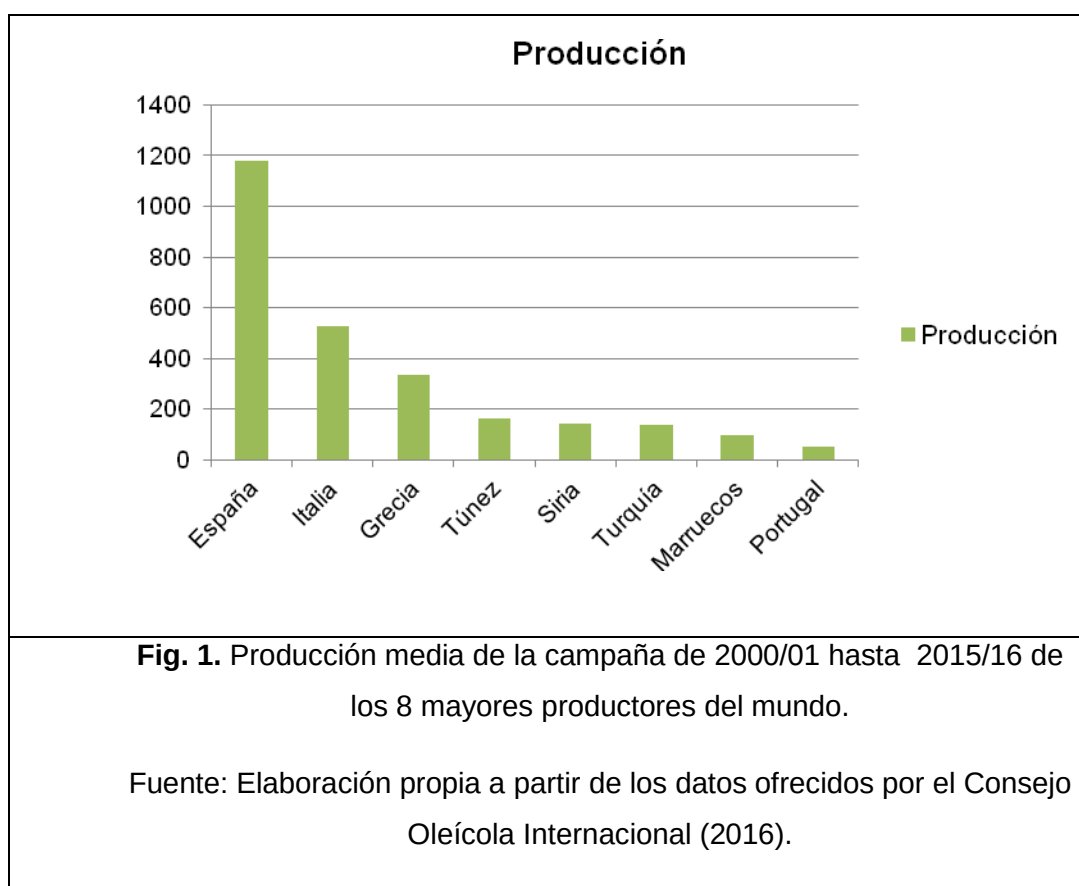
Se plantea un ejemplo real de una finca concreta en Portugal, se realiza un análisis de la misma desde el punto de vista hidráulico y energético, a partir del cual se estudian ambas cuestiones proponiéndose soluciones concretas y se valoran las soluciones propuestas.

El motivo para concebir, el presente trabajo es aprender y quedar con la capacidad para evaluar los sistemas de riego, ya que hoy en día cada vez más existe la tendencia para hacer la revisión de las obras hidráulicas desde un punto de vista hidráulico y energético para conseguir un óptimo en el manejo del agua y de la energía.

3. ANTECEDENTES

El aceite siempre estuvo presente en la vida diaria de los portugueses: en la lamparilla de los pobres y en el candelabro de los ricos, en la mesa leve del campesino y en los solemnes templos de los viejos cultos.

Portugal está entre los 8 mayores productores de aceite de oliva del mundo. Además la producción sigue una tendencia ascendente en los últimos años, figura 1, de esta forma en el periodo comprendido entre la campaña de los años 1990/91 hasta la campaña de los años 2015/16 aumentó de 20 mil toneladas hasta 109 mil toneladas, aumentó en 89 mil toneladas de aceite de oliva producido debido al aumento de la área oleícola nacional con olivares de super-intensivos e intensivos, con variedades más productivas y con mayor rendimiento en aceite.



La exportación tuvo un aumento gradual con la producción, aumentando más a partir de la campaña 2006/07, ya la importación si mantiene constante, excepto algunos años en que la producción disminuye, debido a las características de vecería del olivo, no a una disminución de las hectáreas.

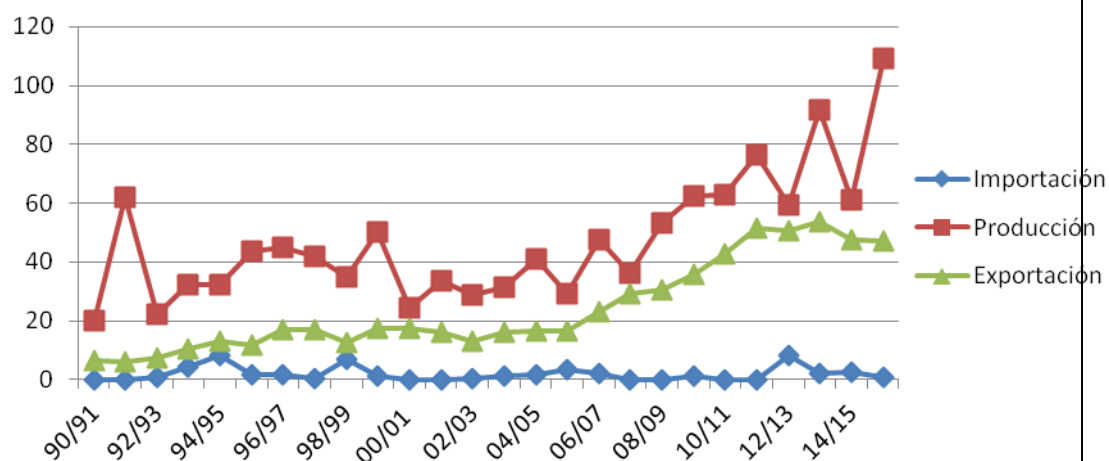


Fig. 2. Producción, Exportación e Importación de aceite de oliva, en Portugal durante el periodo de 90/91 a 14/15.

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos ofrecidos por el Consejo Oleícola Internacional (2016).

A nivel normativo y de regulación del sector, en 1998 fue aprobado el plano para la dinamización de la olivicultura en Portugal. Como resultado de dicha normativa, en los años 2005 y 2006 se verificaran crecimientos significativos tanto de nuevas áreas plantadas como un aumento de densidad de árboles por hectárea. Estos aumentos están conjugados con los aprovechamientos hidrológicos de la región del Alentejo (región con mayor área oleícola nacional), siendo el proyecto del Alqueva lo más importante para esta evolución.

En 2012 la superficie de olivar en Portugal para producción de aceite de oliva tenía la siguiente configuración de densidades de árboles por ha (% relativas a la superficie total de hectáreas de olivar existentes):

<140 árbol/ha (46%),

140-399 árbol/ha (45%) e

>400 árbol/ha (9%).

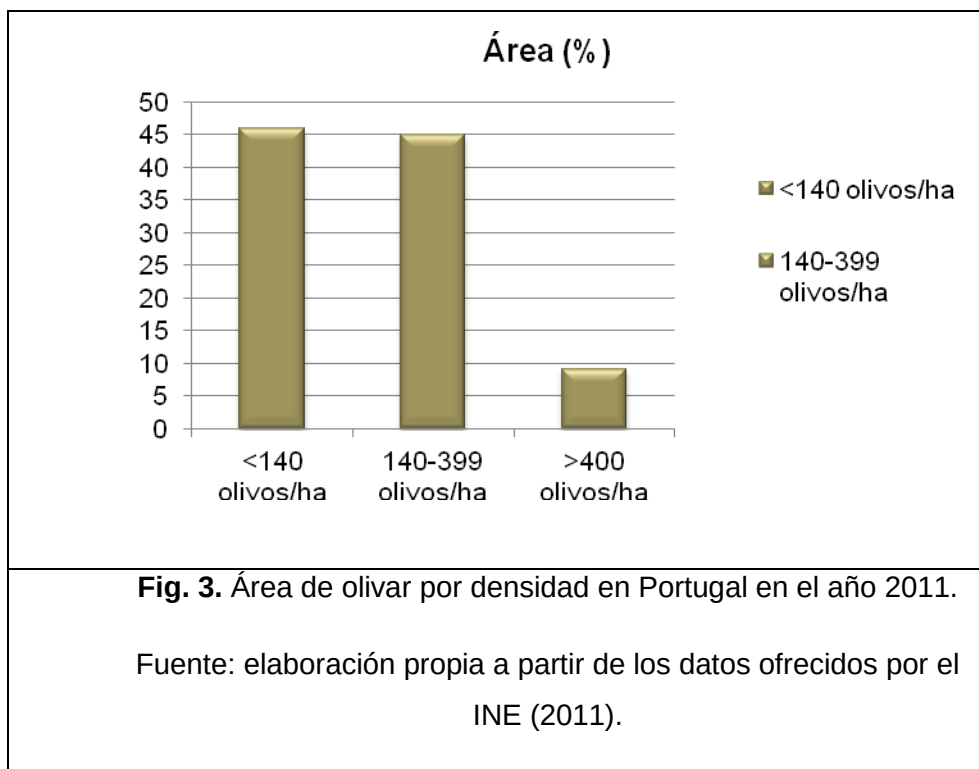
La edad de los olivares tiene la siguiente distribución:

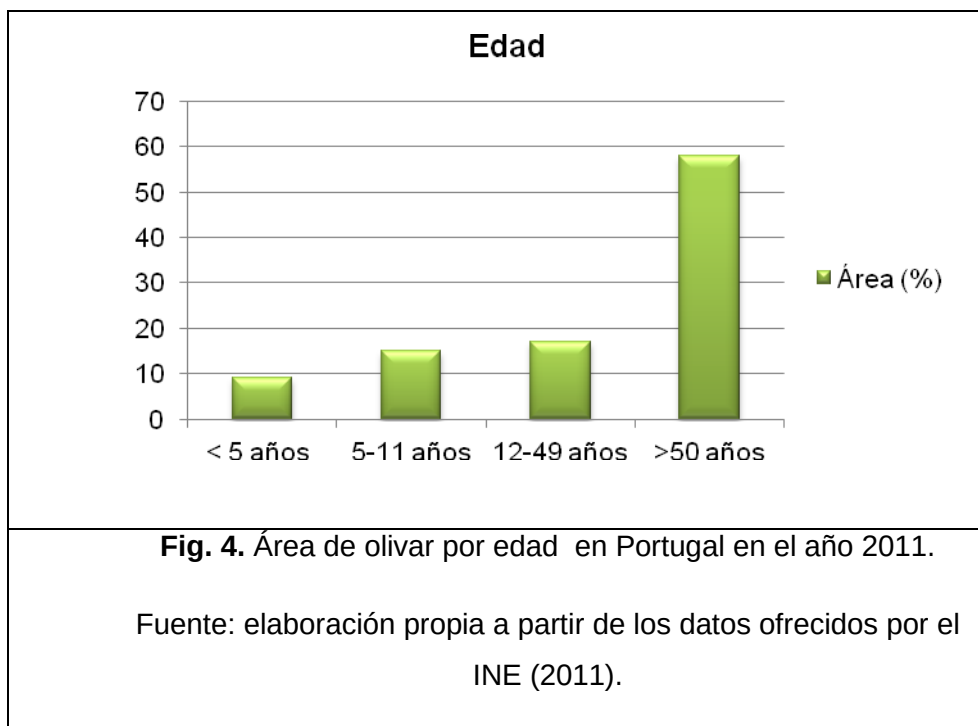
<5 años (9%),

5-11 años (15%),

12-49 años (17%) e

>50 años (58%).





Desde el punto de vista de las variedades, en Portugal, en los olivares más antiguos (>50años) la variedad varía de zona para zona, por ejemplo, en la Zona del Norte Alentejano la variedad más cultivada es la Galega Vulgar.

Relativamente a las variedades de olivos con mayor extensión en Portugal encontramos la Galega Vulgar con aceite de excelente calidad, teniendo un bajo rendimiento en aceite (14 a 18%) (CEPAAL, 2012). Variedades más productivas y con mayor porcentaje de aceite tienen ganancia significativo en Portugal, como son los casos de la Conbrançosa, Arbequina, e Picual (DRAP Centro, 2012)

La Galega vulgar es una variedad Portuguesa, de elevada rusticidad, muy productiva y de elevada alternancia, entrada en producción precoz, vigor elevado, elevada resistencia del fruto al desprendimiento y caída acentuada en el fin de la maduración, época de maduración media, rendimiento en aceite bajo (<18%). Variedad incluida en el DOP de las regiones “Azeites da Beira Alta”, “Azeites da Beira Baixa”, “Azeites do Ribatejo”, “Azeites do Alentejo Interior”, “Azeites de Moura” y “Azeites do Norte Alentejano”.



Fig. 5. Variedad Galega Vulgar.

Fuente: "O GRANDE LIVRO DA OLIVEIRA E DO AZEITE".

La Conbrançosa es una variedad Portuguesa, productiva y regular, baja capacidad de enraizamiento, vigor medio, entrada en producción media, baja resistencia del fruto al desprendimiento y queda natural reducida, época de maduración media (2ª quincena de Noviembre), rendimiento medio en aceite (18-22%), cultivar incluida en las DOP de la región " Azeites do Norte Alentejano".



Fig. 6. Variedad Cobrançosa

Fuente: "O GRANDE LIVRO DA OLIVEIRA E DO AZEITE".

En Portugal el olivar de riego en 2015 representaba 31,92 % del área ocupada con culturas con riego, siendo la cultura con más área de riego en Portugal en los últimos años.

Solamente 20% de los olivares tiene riego, siendo 95% de riego localizado.

La mayoría de los olivares tradicionales suceden de explotaciones de pequeña dimensión y poca mecanización, con bajo recurso a regadío y con elevados costes de producción.

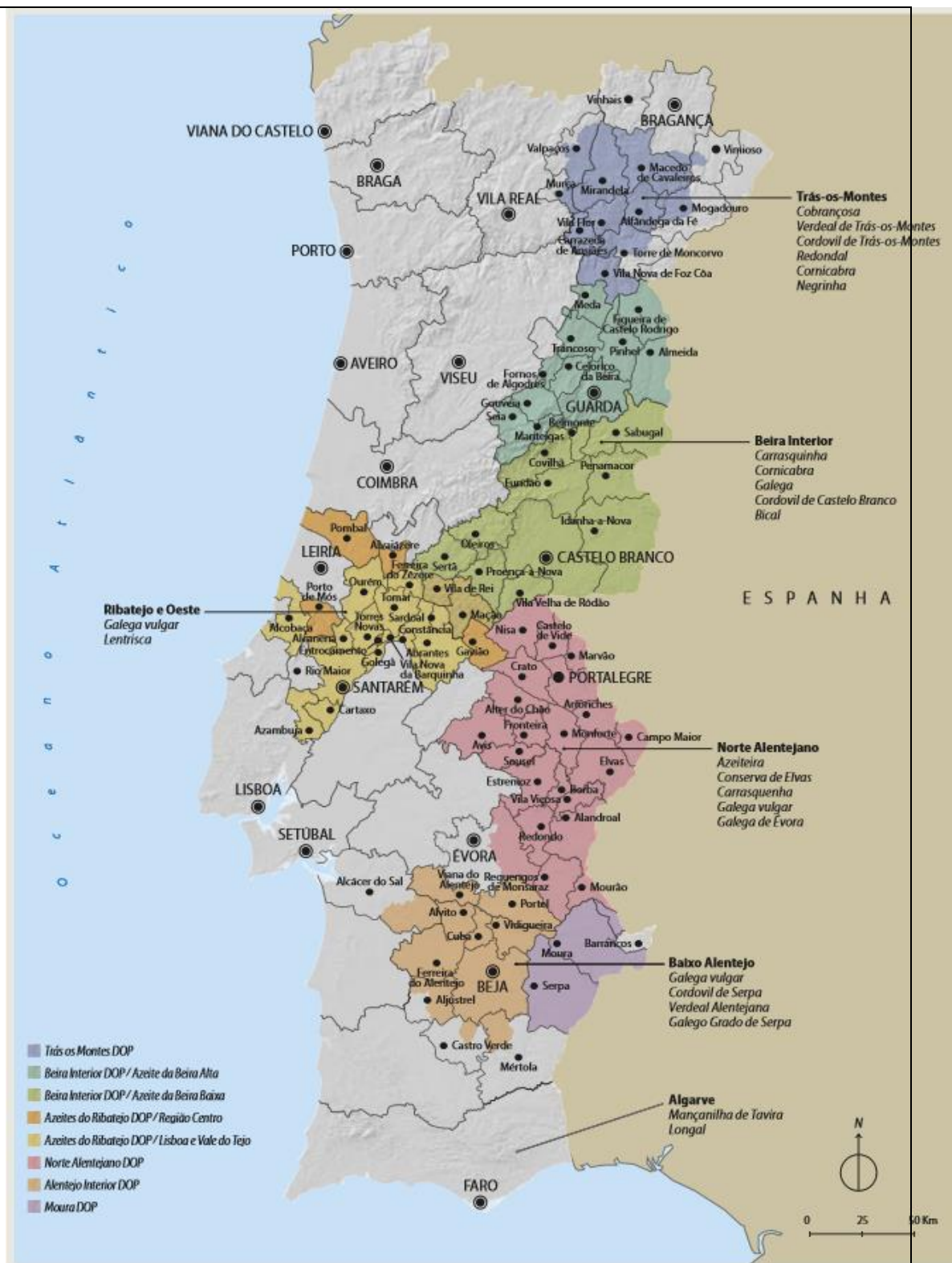


Fig. 7. Zonas oleícolas de Portugal.

Fuente: “ O GRANDE LIVRO DA OLIVEIRA E DO AZEITE” JORGE BOHM.

Portugal está dividido en 6 regiones oleícolas, en algún de los casos la variedad es diferente de región, siendo que algunas variedades están presentes en varias regiones, por ejemplo la Galega Vulgar está presente en la mayoría de las regiones, siendo la variedad más cultivada en Portugal.

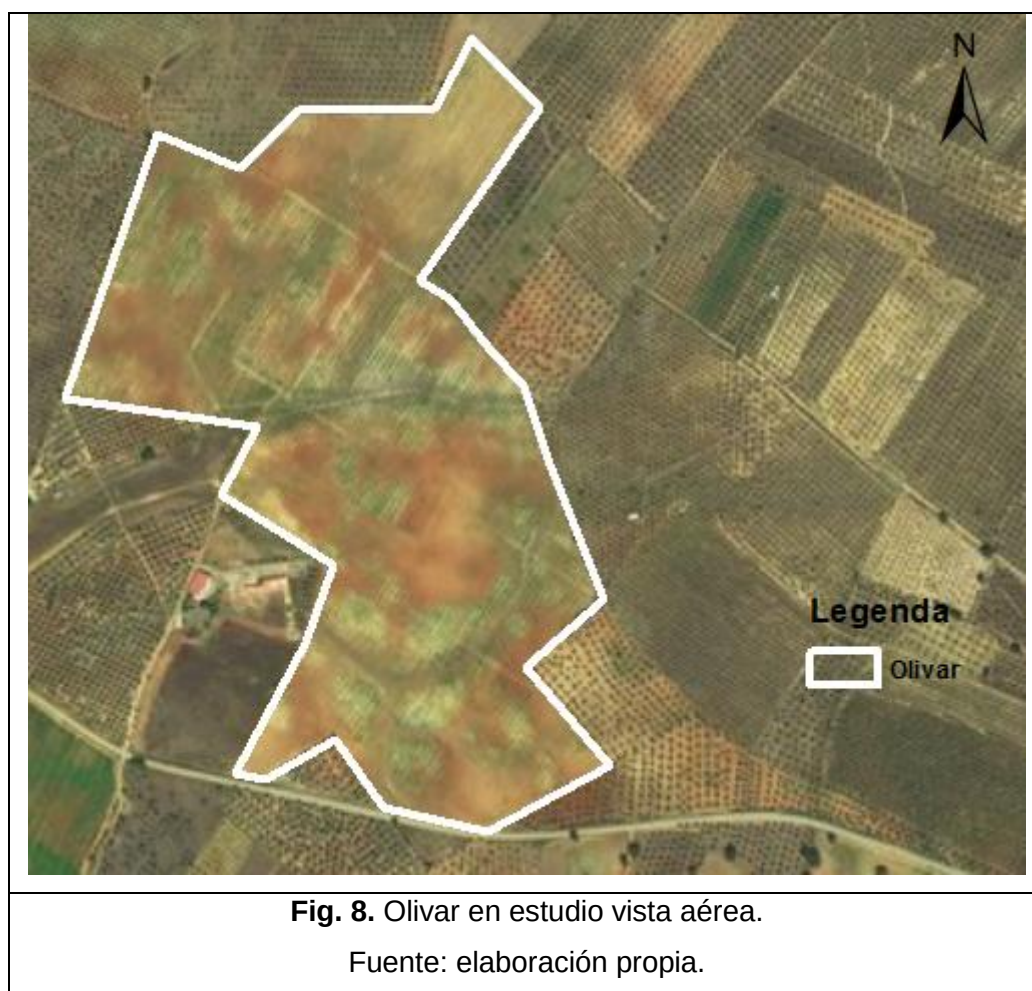
Con las nuevas plantaciones super-intensivas e intensivas, el área olivícola con Galega Vulgar va disminuir ya que es una variedad con bajo rendimiento en aceite, los agricultores optan por variedades con más rendimiento en aceite, aunque el aceite producido con esta variedad sea de excelente calidad.

Dentro de las distintas regiones existe aún la Denominaciones de Origen Protegida, en Portugal existen 8 DOP, como está ilustrado en la figura 3. Las áreas geográficas fueran delimitadas teniendo en cuenta los suelos, los climas característicos y las variedades de aceituna de cada zona.

4. SITUACIÓN ACTUAL

4.1. DESCRIPCIÓN DE LA FINCA

La finca donde se realizará el presente estudio se denomina “Barbeiras”, está localizada en Portugal, en la región del Alentejo, en el distrito de Portalegre, municipio de Sousel (dicho municipio representa 3,1% del área olivícola nacional) (A. Garcia, 1993). La zona del Alentejo representa 49% del área olivícola de Portugal (INE, 2009), luego se encuentra en la región con más vocación para la producción oleícola.



En la finca está plantado un olivar con tres años, tiene 33 hectáreas con un marco de plantación en tresbolillo y una densidad de 207 olivos/ha. El marco de plantación se realizó en tresbolillo bajo criterios agronómicos tales como, aumentar la eficacia

de la recolección y para hacer con que entre los olivos no se produzcan sombreamientos.

En el manejo de la finca encontramos con un olivar de producción integrada, el control de plantas herbáceas se hace químicamente y físicamente, en la línea se hace con herbicida y en la entre-línea se hace con desbrozadora. La recolección se realiza con vibrador con paraguas.



Fig. 9. Olivar en estudio.

Fuente: elaboración propia.

El olivar tiene dos variedades, la variedad Frantoio (70%) y la Conbrançosa (30%).

La variedad Frantoio es una variedad proveniente de la región Central de Italia, muy rustica, tiene una capacidad de enraizamiento elevada, entrada en producción media, muy productiva y regular, rendimiento medio en aceite (18-22%), época de maduración tardía, elevada resistencia del fruto al desprendimiento, tiene un vigor medio y produce un aceite estable y frutado.



Fig. 10. Variedad Frantoio.

Fuente: elaboración propia.

La Conbrançosa es una variedad Portuguesa, productiva y regular, baja capacidad de enraizamiento, vigor medio, entrada en producción media, baja resistencia del fruto al desprendimiento y queda natural reducida, época de maduración media (2ª quincena de Noviembre), rendimiento medio en aceite (18-22%), cultivar incluida en las DOP de la región “ Azeites do Norte Alentejano”.



Fig. 11. Variedad Cobrançosa.

Fuente: elaboración propia.

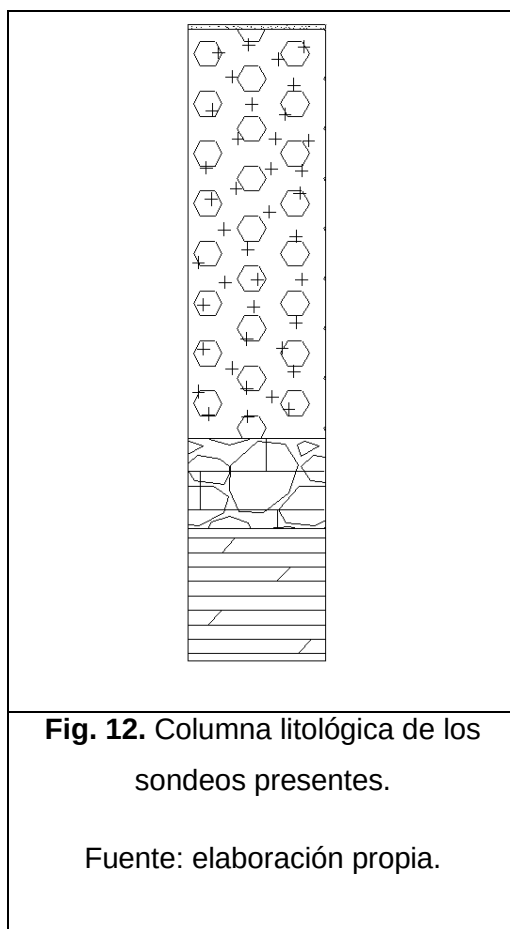
El riego es directo, utilizando tubería superficial con goteros autocompensantes de un caudal de 2,2L/h y con una distancia de 1m. Por hora, un olivo puede disponer de 15,4 litros de agua.

El riego está dividido en 5 subsectores: 1 (4,4 ha); 2 (5,6 ha); 3 (6 ha); 4 (8,6 ha) y 5 (7,8). El riego se hace por dos veces, riega el sector A que está formado por los subsectores 1, 2 y 3 (16 ha) y después riega el sector B que está formado por los subsectores 4 y 5 (16,4). El sector A tiene una demanda base de 14 l/s y el sector B 14,3 l/s.

4.2. ORIGEN DEL AGUA

Perfil tipo del sondeo

En la figura 12 se puede ver el perfil litológico de los sondeos presentes en la finca.



4.2.1. Sondeos

El origen del agua proviene de cinco sondeos:

- Sondeo 1:
 - Profundidad: 100 m
 - Nivel estático del agua: 60 m
 - Nivel dinámico: 80 m
 - Bomba instalada: 7,5 Kw; Prof.: 85 m
 - Caudal extraído: 3,6 l/s
 - Tipo de tubería de impulsión del agua: 3 pulgadas

- Sondeo 2:
 - Profundidad: 100 m
 - Nivel estático del agua: 60 m
 - Nivel dinámico: 80 m
 - Bomba instalada: 9,2 Kw; 90 m
 - Caudal extraído: 4,6 l/s
 - Tipo de tubería de impulsión del agua: 3 pulgadas

- Sondeo 3:
 - Profundidad: 100 m
 - Nivel estático del agua: 60 m
 - Nivel dinámico: 80 m
 - Bomba instalada: 5,5 Kw; Prof.: 90 m
 - Caudal extraído: 3,1 l/s
 - Tipo de tubería de impulsión del agua: 3 pulgadas

- Sondeo 4:
 - Profundidad: 100 m
 - Nivel estático del agua: 60 m
 - Nivel dinámico: 80 m
 - Bomba instalada: 3 Kw; Prof.: 70 m
 - Caudal extraído: 1,9 l/s

- Tipo de tubería de impulsión del agua: 2,5 pulgadas

- Sondeo 5:
 - Profundidad: 100 m
 - Nivel estático del agua: 60 m
 - Nivel dinámico: 80 m
 - Bomba instalada: 1,5 Kw; Prof.: 90 m
 - Caudal extraído: 1,3 l/s
 - Tipo de tubería de impulsión del agua: 2 pulgadas

El caudal total es de 14,5 l/s, dependiendo del nivel estático del agua y de la época del año.

Los sondeos están localizadas en dos zonas distintas, en la zona A está en el sondeo 1 y 2, y en la zona B está en el sondeo 3,4 y 5. En la figura 8 se puede ver las dos zonas y la red de tuberías.

La red de tuberías es compuesta por la tubería AB y BC. La tubería AB tiene una longitud de 473 metros y un diámetro de 90 mm, la tubería BC tiene una longitud de 398 metros y un diámetro de 110 mm, ambas las tuberías son de PVC. En el presente trabajo vamos evaluar se son los diámetros más indicados.

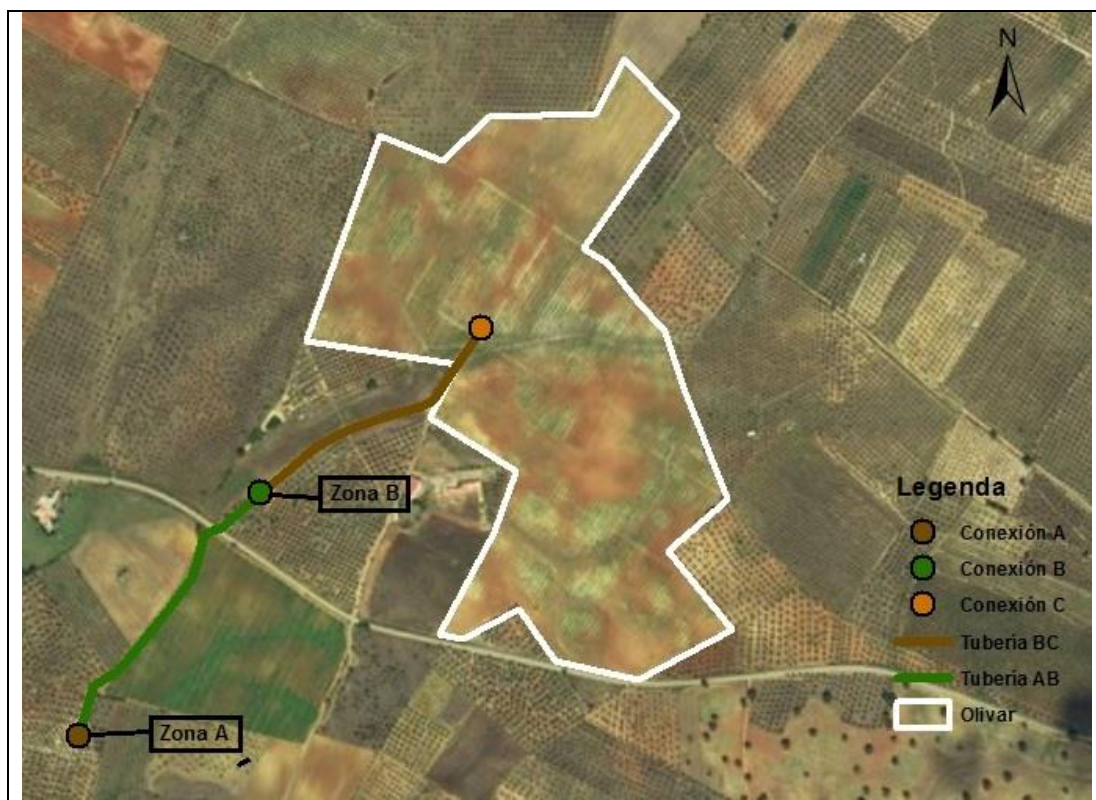


Fig. 13. La finca “Barbeiras”.

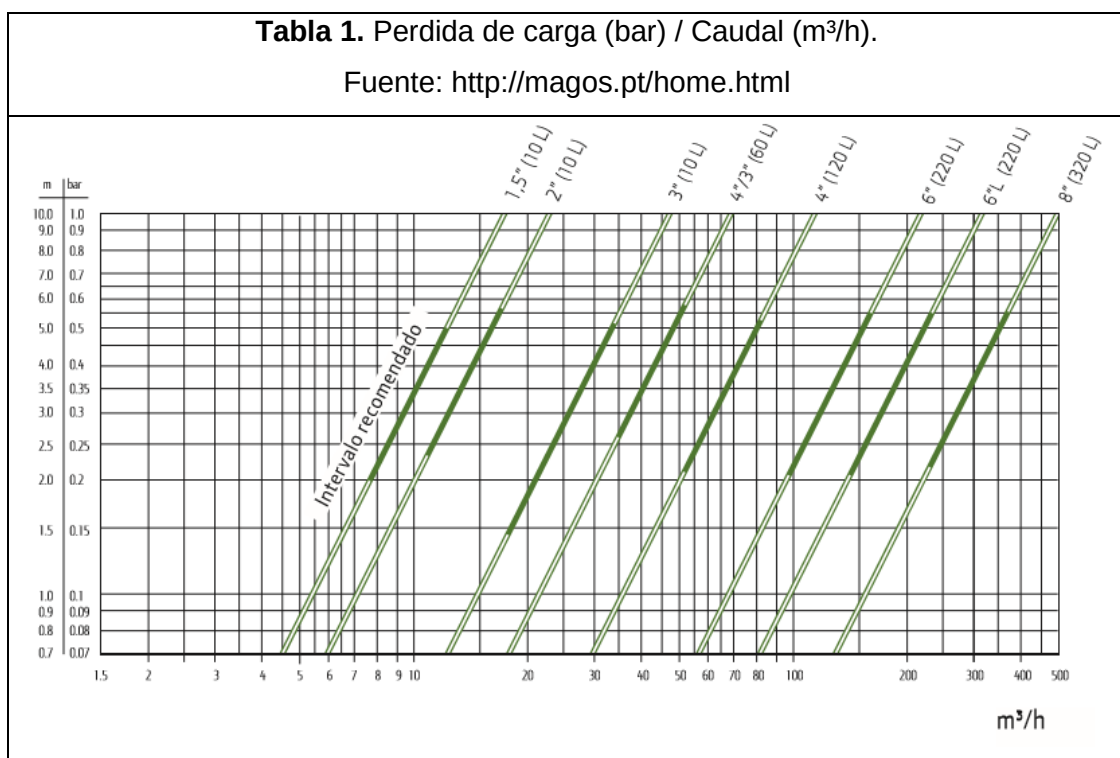
Fuente: elaboración propia.

4.2.2. Tratamiento del agua

El tratamiento de agua se hace utilizando dos hidrociclones de la marca JOHN DEERE, modelo F1000, uno en cada zona de sondeos (A y B). La frecuencia de lavado es de 48 horas, dependiendo de la cantidad de partículas que contenga el agua. Si la pérdida de carga es muy elevada el lavado del filtrado se hace de 48 h, pero, si la pérdida de carga es elevada si tiene que aumentar la frecuencia del lavado.



Con los filtros vamos tener una pérdida de carga de aproximadamente de 0.4 bar en la zona A que tiene un caudal medio de 8,2 l/s (29,5 m³/h) y 0.2 bar en la zona B que tiene un caudal medio de 6,3 l/s (22,7 m³/h).



5. ESTUDIOS PREVIOS

5.1. NECESIDADES HÍDRICAS

El olivar de estudio se encuentra en la finca “Barbeiras”, está localizada en Portugal, en la región del Alentejo.

Al estar en zona cuyo clima entra en la categoría de Mediterráneo el cual se caracteriza por tener las precipitaciones concentradas en una época del año conjugadas con temperaturas bajas, y en el resto del año tiene temperaturas elevadas y casi nula pluviometría.

En las regiones de clima Mediterráneo, en el verano las plantas están sujetas a temperaturas elevadas, intensidad de radiación solar elevadas y humedades relativas bajas. Estas condiciones son inductoras de crecimiento y productividad, pero también de condiciones de déficit y stress hídrico.

El olivo, por ser una planta mediterránea milenaria, es una especie bien adaptada a las condiciones del clima mediterráneo, en que las hojas toleran bajos potenciales hídricos foliares y los tejidos hidratan rápidamente después de pérdidas considerables de agua.

En las condiciones climáticas de la región Mediterránea, la situación de confort hídrico y productividad máxima de las culturas, incluido el olivo, solo es posible con riego, en la mayoría de los años, ya que hay años con más precipitaciones y es posible obtener buenas producciones. Así, tenemos que saber cuándo regar, cuánto regar, o sea, cuantificar las necesidades hídricas del cultivo en las determinadas épocas.

5.2. MÉTODO FAO

Para determinar las necesidades hídricas del cultivo, tenemos que obtener la estimativa de la evapotranspiración del olivo (ET_c) que es obtenida recorriendo al

procedimiento clásico de la FAO que hace uso del coeficiente de cultivo (Kc) y de la evapotranspiración de referencia (ET₀). El coeficiente de cultivo (Kc), generalmente está calculado, representa el efecto de las características del cultivo específico en las necesidades hídricas y es obtenido experimentalmente. Las necesidades de riego son obtenidas multiplicando el ET₀ por el Kc (ET_c = Kc *ET₀).

Cuando no se dispone de una estación meteorológica cercana y representativa de la finca que vamos regar, en la programación del riego el valor de la ET₀ podría estimarse con bastante aproximación aplicando la expresión de Hargreaves (Orgaz y Fereres, 2001; Mantovani y col., 1993; Vanderlinden y col., 1999):

$$ET^0 = 0,0023 \times R_a \times (T_m + 17,8) \times \sqrt{T_{max} - T_{min}}$$

En la que ET₀ es la evaporación de referencia en mm/día; T_m, T_{max}, T_{min} son las temperaturas medias (°C) de las máximas, las mínimas y las medias durante un determinado periodo de tiempo; R_a es la radiación extraterrestre, expresada en mm/día, parámetro que para diferentes latitudes N está tablado para los distintos meses del año. En la tabla 2 se puede ver los valores de la radiación extraterrestre, para el presente estudio la latitud utilizada fue 38°N.

Tabla 2. Radiación extraterrestre.

Fuente: FAO Riego y Drenaje nº 24.

Latitud	Ra (mm / día)											
	E	F	M	A	My	Jn	Jl	Ag	S	O	N	D
30°N	8,8	10,7	13,1	15,2	16,5	17,0	16,8	15,7	13,9	11,6	9,5	8,3
32°N	8,3	10,2	12,8	15,0	16,5	17,0	16,8	15,6	13,6	11,2	9,0	7,8
34°N	7,9	9,8	12,4	14,8	16,5	17,1	16,8	15,5	13,4	10,8	8,5	7,2
36°N	7,4	9,4	12,1	14,7	16,4	17,2	16,7	15,4	13,1	10,6	8,0	6,6
38°N	6,8	9,0	11,8	14,5	16,4	17,2	16,7	15,3	12,8	10,0	7,5	6,1
40°N	6,4	8,6	11,4	14,3	16,4	17,3	16,7	15,2	12,5	9,6	7,0	5,7
42°N	5,9	8,1	11,0	14,0	16,2	17,3	16,7	15,0	12,2	9,1	6,5	5,2
44°N	5,3	7,6	10,6	13,7	16,1	17,2	16,6	14,7	11,9	8,7	6,0	4,7

Las necesidades hídricas del método FAO son la suma de todos los meses con ETc -PE positiva, Febrero – Octubre, que da un valor de 292 mm. Así es posible saber qué cantidad de agua tenemos que añadir en cada mes al cultivo para mantener la producción y desarrollo. En la tabla 3 están representados los valores que son relativos al método FAO.

Tabla 3. Método FAO.			
Fuente: elaboración propia.			
MES	ETc (mm)	PE (mm)	ETc - PE (mm)
Enero	37	47	-10
Febrero	42	39	3
Marzo	54	32	22
Abril	56	29	27
Mayo	59	35	25
Junio	56	0	56
Julio	52	0	52
Agosto	52	0	52
Septiembre	52	0	52
Octubre	53	50	3
Noviembre	45	54	-9
Diciembre	35	66	-31
TOTAL	594	352	292

5.3. MÉTODO DE UTILIZACIÓN DE LA RESERVA DEL SUELO

Para programar el riego resulta conveniente expresar el contenido de agua del suelo en términos de déficit de agua en el suelo (DAS) o cantidad de agua que le falta al suelo para estar lleno (capacidad de campo).

El cálculo del DAS permite programar los riegos adoptando como regla de decisión que el DAS ha de ser siempre inferior a un valor umbral, denominado déficit de agua

en el suelo permisible (DASP), valor por debajo del cual la producción probablemente se vea afectada por el déficit hídrico.

El DASP depende de las condiciones de las características hidrofísicas del suelo, que a su vez dependen de su textura y de la profundidad del suelo explorado por las raíces.

Sin embargo, si a efectos de programación de riegos consumiéramos el agua del suelo en su totalidad acabaríamos por causar estrés hídrico al cultivo, por lo que no llegaríamos a obtener la máxima productividad potencial. Por esta razón hay que definir el nivel umbral de agotamiento del perfil, valor por debajo del cual llegaría a producirse una reducción drástica de la transpiración del cultivo. A este nivel umbral se denomina nivel de agotamiento permisible (NAP), que se define como el contenido de agua en suelo con el que probablemente no se vea afectada la producción del cultivo, aunque se asume una restricción de su crecimiento.

En el olivar adulto, debido a la naturaleza perenne del cultivo, al buen desarrollo de su sistema radical y a su ET_c relativamente baja, podría agotarse el perfil hasta un 75% de máxima cantidad de agua que puede almacenarse en el suelo ($NAP=0,75$) sin que su producción se viera afectada. Así, para la programación de riego, tuvimos en cuenta que la reserva real de agua en el suelo no podría bajar de 25% del déficit de agua en el suelo permisible (DASP).

Tabla 4. Método de utilización de la reserva del suelo.						
Fuente: elaboración propia.						
MES	ETc (mm)	PE (mm)	RIEGO		Reserva (mm)	Reserva real (mm)
			l/ol.día	mm		
Enero	37	47	0	0	124	124
Febrero	42	39	0	0	121	121
Marzo	54	32	0	0	99	99
Abril	56	29	0	0	72	72
Mayo	59	35	45	26	74	74
Junio	56	0	75	42	60	61
Julio	52	0	92	53	62	62
Agosto	52	0	92	53	63	63
Septiembre	52	0	77	43	54	54
Octubre	53	50	46	26	77	77
Noviembre	45	54	0	0	86	86
Diciembre	35	66	0	0	117	117
TOTAL	594	352	243			

En la tabla 4 están ilustrados los valores obtenidos en el método de utilización de la reserva del suelo, en este caso la cantidad de agua gastada es de 243 mm.

Si comparamos los datos del gasto actual de agua en el olivar por hectárea (292 mm) con la propuesta de este trabajo que es utilizar el suelo como reserva de agua si llegar a niveles críticos, (243 mm), existe una diferencia de 49 mm, que son 490 m³ por hectárea al año, que representa el volumen de agua que sería posible ahorrar con la alteración del método de riego, sin comprometer la producción y el desarrollo del cultivo.

Si tenemos en cuenta que la finca tiene una extensión de 33 hectáreas, en la totalidad de la finca sería posible ahorrar 16170 m³ de agua al año.

6. ESTUDIOS REALIZADOS

6.1. PROGRAMACIÓN DE RIEGO

Los cálculos de las necesidades hídricas para el olivar intensivo de la finca “Barbeiras” se hicieron con recurso a la “Programación del Riego y la Fertilización del Olivar” disponible en la Web de la Junta de Andalucía en el apartado de Agricultura y Pesca, Servifapa.

Se ha realizado bajo este programa para validar los resultados obtenidos en el apartado anterior y contrastar que lo que se planteó de forma “manual” se considera adecuado bajo un programa de programación de riego.



Fig. 15. Programación de riego.

Fuente: <http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/servifapa/servifapa/riego>

Para hacer el cálculo de las necesidades hídricas y los respectivos calendarios de riego hay que poner los datos de la finca, como por ejemplo: marco de plantación, densidad de plantación, diámetro y altura del olivo, y la edad de la plantación.

- Datos del cultivo

Para que los cálculos de las necesidades hídricas fueran hechos con una preceptiva de futuro, o sea, la altura y el diámetro del olivos que colocamos en los datos de entrada fueran de árboles con cerca de 10 años (3,5 metros de diámetro y 3 metros de altura), para que sea posible estimar cuales van ser la necesidades hídricas del olivar en un futuro y evaluar el sistema de riego tiene capacidad para mantener los olivos en su estado óptimo.

- Análisis foliares

Con las análisis foliares que teníamos de la finca rellenamos los valores en la parte de las análisis foliares. Algunos de los nutrientes no están en las cantidades deseables, el nitrógeno está elevado y tenemos carencias de potasio y boro que son dos nutrientes muy importante. El potasio desempeña una labor importante en el transporte de azúcares en la planta, mejora el tamaño y calidad de los frutos, el olivo necesita de grandes cantidades, todavía más se la cosecha anterior fue elevada. El boro es importante para que los olivos no tengan problemas en la floración y en el cuajado.

- Datos climatológicos

Los datos climatológicos fueron sacados de la Web “Instituto Português do Mar e da Atmosfera” y “Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos”.

Tabla 5. Datos climáticos. Fuente: elaboración propia a partir de los datos ofrecidos por “Instituto Português do Mar e da Atmosfera” y “Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos”.			
MES	ETo mm/mes	Lluvia mm/mes	Nº días lluvia
Enero	36	51	10
Febrero	51	42	15
Marzo	86	34	17
Abril	99	30	12
Mayo	129	37	8
Junio	168	7	3
Julio	185	2	1
Agosto	170	4	2
Septiembre	120	22	5
Octubre	72	55	11
Noviembre	45	60	16
Diciembre	30	75	10
TOTAL	1 191	419	110

- Características edáficas.

Después de obtener los datos climatológicos, tuvimos que saber las características edafológicas de la finca en estudio. El suelo presente en la finca es un suelo con textura Franco-Arcilloso, con una profundidad media de 1 metro, compuesto por 31,8% de arcilla, 50,5% de arena y 17,7% de limo.

- Sectores de riego

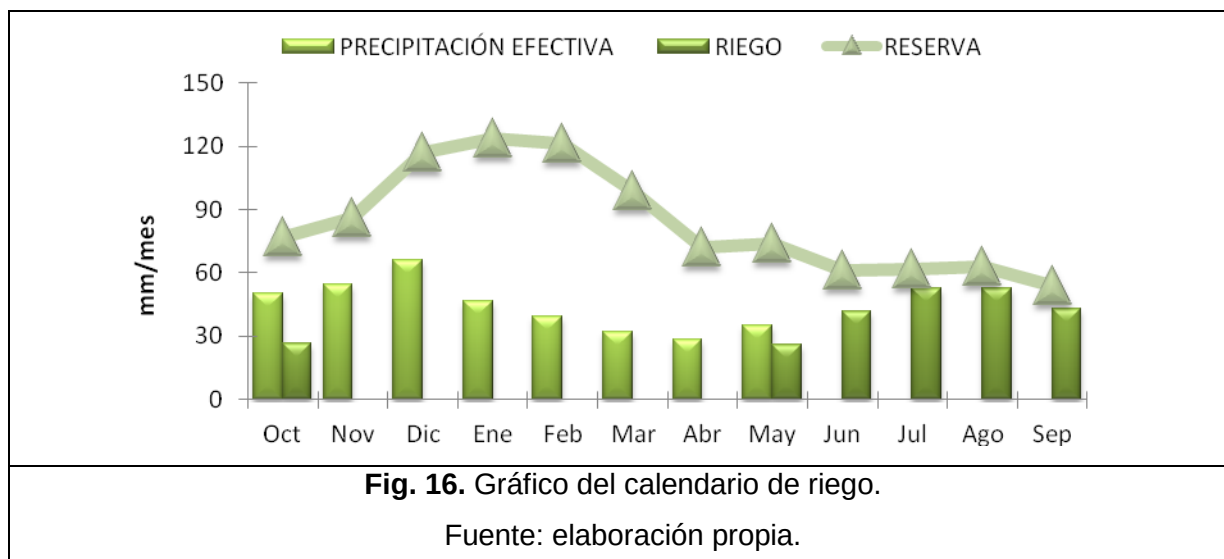
El riego se hace por dos sectores, sector A (16,4 ha) y el sector B (16 ha), se hacen 5 riegos por semana, cada olivo tiene 7 emisores con un debito de 2,2 litros por hora. El sistema de riego, estimase que tiene una eficiencia de 90%.

Con todos los datos, indicados anteriormente, procedemos a la programación de riego. La programación de riego se va hacer teniendo en cuenta la capacidad del suelo para almacenar agua, para que se haga un uso sostenible del agua.

Para la programación de riego, tuvimos en cuenta que la reserva real de agua en el suelo no podría bajar de 25% del déficit de agua en el suelo permisible (DASP), ya que por la naturaleza perenne del cultivo, podría agotarse el perfil hasta un 75% de máxima cantidad de agua que puede almacenarse en el suelo ($NAP = 0,75$) sin que su producción se viera afectada.

En el mes de Mayo optamos por hacer riegos de 3 horas diarios, en Junio aumentamos para 5 horas, a partir de Julio hasta Agosto el olivar riega 6 horas por día, en Septiembre bajamos para 5 horas, ya en Octubre, para terminar, bajamos para 3 horas de riego. El riego fue hecho teniendo en cuenta la reserva real, de forma a que esta nunca bajase a los 34 mm, para provenir que la producción y desarrollo del olivo no sea afectado por el estrés hídrico.

Tabla 6. Calendario de riego.						
Fuente: elaboración propia.						
MES	ETc (mm)	PE (mm)	RIEGO		Reserva (mm)	Reserva real (mm)
			l/ol.día	mm		
Enero	37	47	0	0	124	124
Febrero	42	39	0	0	121	121
Marzo	54	32	0	0	99	99
Abril	56	29	0	0	72	72
Mayo	59	35	45	26	74	74
Junio	56	0	75	42	60	61
Julio	52	0	92	53	62	62
Agosto	52	0	92	53	63	63
Septiembre	52	0	77	43	54	54
Octubre	53	50	46	26	77	77
Noviembre	45	54	0	0	86	86
Diciembre	35	66	0	0	117	117
TOTAL	594	352	243			



Inicialmente el riego se hacía por el método de la FAO, teniendo en cuenta la evapotranspiración del cultivo, siendo que no se contabilizaba la reserva natural del suelo, no se hacía un uso eficiente del agua. Se hacía el riego con base en las necesidades del cultivo en cada momento sin tener en cuenta el agua almacenada en el suelo.

El riego que nosotros planteamos se hace conjugando la evapotranspiración del cultivo, las precipitaciones y la reserva real del suelo, sabiendo que si la reserva de agua en el suelo llega a menos de 25%, el desarrollo de los olivos es afectado y por consecuencia vamos tener pérdidas de producción. Así, tenemos que hacer una buena gestión de los riegos para que los olivos no sean afectados y que tengan las condiciones óptimas para tener máxima producción y desarrollo.

Con este método, utilizando la reserva natural del suelo, sería posible ahorrar agua y energía, ya que las bombas tenían que trabajar menos horas al año. En términos de ahorro de agua tendríamos un ahorro de 490 m³/ha. Si tenemos en cuenta que la finca tiene una extensión de 33 hectáreas, en la totalidad de la finca sería posible ahorrar 16170 m³ de agua al año.

Para aumentar todavía más la eficiencia del uso del agua, sería conveniente la adquisición de una sonda para medir la cantidad de agua en el suelo, y así programar los riegos con datos más reales.

Hacer una buena gestión del agua es muy importante actualmente, tanto en términos económicos como en términos ambientales. Es una responsabilidad de los agricultores utilizar los recursos naturales de forma eficiente y responsable.

6.2. HIDRÁULICO

El estudio hidráulico fue hecho con recurso a un programa denominado de “EPANET”.

En el programa inserimos los datos de la red de riego, de las tuberías introducimos el diámetro, la longitud, la rugosidad y su cota; de las bombas, la altura de impulsión, el caudal y su curva característica. Con estos datos fue posible hacer los estudios hidráulicos y ver si la red de riego era eficiente o no.

6.2.1. Características de la red existente



En la figura 17 es posible ver como es la red de tubería de la finca “Barbeiras”.

En la red de riego existente la “Tubería AB” tiene un diámetro de 90 mm y la “Tubería BC” 110 mm. Con las características de la red de tuberías existentes se realizó el estudio hidráulico.

Tabla 7. Demanda y presión de las conexiones, antigua.		
Fuente: elaboración propia.		
ID Nudo	Demanda (l/s)	Presión (m)
Conexión C	14,5	28,57
Conexión B	0	43,53
Conexión A	0	52,43

Tabla 8. Características antiguas de las tuberías.				
Fuente: elaboración propia.				
ID Línea	Diámetro interno (mm)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	Perdida Unitária (m/Km)
Tubería AB	84,4	8,16	1,46	23,03
Tubería BC	103	14,5	1,74	25,04

Con la red existente tenemos perdidas de carga de 1.1 bar y 1 bar, que son pérdidas muy elevadas. Las elevadas pérdidas se deben por el incorrecto diámetro de las tuberías. Además, la presión que llega a la “Conexión C” que es el cabezal de riego, no es suficiente para hacer un riego eficiente, ya que en los puntos más desfavorables la presión no va ser suficiente para que los goteros emitan 2,2 l/h, el que va perjudicar el desarrollo y producción de los olivos en esa zona.

El diámetro de las tuberías no fue bien calculado, se tenía que cambiar el diámetro para reducir la velocidad y por su vez las pérdidas de presión.

6.2.2. Características de la red nueva

De forma a reducir las pérdidas de carga hicimos simulaciones en el programa “EPANET” para encontrar una solución para aumentar la eficiencia de la red de riego y así ahorrar agua y energía.

Tabla 9. Demanda y presión de las conexiones, nueva.		
Fuente: elaboración propia.		
ID Nudo	Demanda (l/s)	Presión (m)
Conexión C	14,5	38,75
Conexión B	0	46,84
Conexión A	0	49,28

Tabla 10. Características de las nuevas tuberías.				
Fuente: elaboración propia.				
ID Línea	Diámetro interno (mm)	Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	Pérdida Unitaria (m/Km)
Tubería AB	103	8,47	1,02	9,39
Tubería BC	131	14,5	1,08	7,77

Para mejorar la eficiencia había que cambiar la “Tubería AB” para una tubería con un diámetro de 110 mm y la “Tubería BC” para 160 mm, tendríamos que aumentar los diámetros de las tuberías.

Las alteraciones que nosotros proponemos van a reducir pérdidas de carga de 1.1 y 1 bar para 0.4 y 0.3 bar, o sea, se reducirían las pérdidas de carga para más de la mitad. La presión en la “Conexión C” aumentó de 2.9 bares para 3.9, aumentó 1 bar, lo que nos va permitir regar los sectores A y B de forma uniforme y eficiente.

6.3. ENERGÉTICO

En este estudio vamos evaluar las bombas que hay en cada uno de los sondeos, teniendo en cuenta las características de los sondeos, de las bombas existentes y de las tuberías de la red de riego, para saber se son las bombas más indicadas o no, caso no lo sean vamos proponer un solución para mejorar y así reducir el consumo energético.

En las tablas 11 y 12 es posible dar cuenta de las alteraciones que sufrió la necesidad de altura de las bombas con la alteración de las tuberías. Los caudales se mantuvieron, pero las alturas disminuirán.

Tabla 11. Altura y caudal de las bombas con las tuberías antiguas. Fuente: elaboración propia.		
	H	Q
Bomba 1	92,65	3,6
Bomba 2	124	4,6
Bomba 3	102,6	3,1
Bomba 4	85	1,9
Bomba 5	73,4	1,3

Tabla 12. Altura y caudal de las bombas con las tuberías nuevas. Fuente: elaboración propia.		
	H	Q
Bomba 1	83,16	3,6
Bomba 2	112	4,6
Bomba 3	95,7	3,1
Bomba 4	68,43	1,9
Bomba 5	55,3	1,3

- Bomba 1

La bomba 1 es una E4XPD60/25+MCR410 de la marca “caprari” con 7,5 Kw, qué consigue un caudal de 3,6 l/s con un rendimiento de 58%.

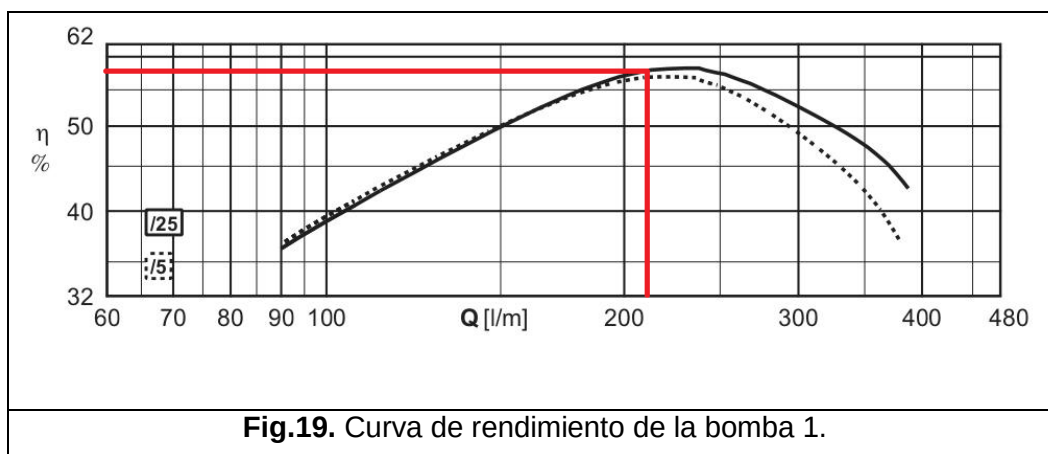
Después de la evaluación, llegamos a la conclusión que había que disminuir los impulsores, con lo cual disminuíamos la potencia del motor. Así, lo que se propone será quitar 7 impulsores en exceso (pasar de 25 para 18) y cambiar el motor. Cambiamos un motor de 7,5 Kw para un motor de 5,5 Kw, o sea, ahorramos 2 Kw por hora de riego. La bomba nueva sería la E4XPD60/18+MCR475.

En la finca se hacen 560 horas de riego al año, sería posible, con la alteración del motor y reducción de los impulsores, ahorrar 1120 Kw al año, vamos ahorrar energía.

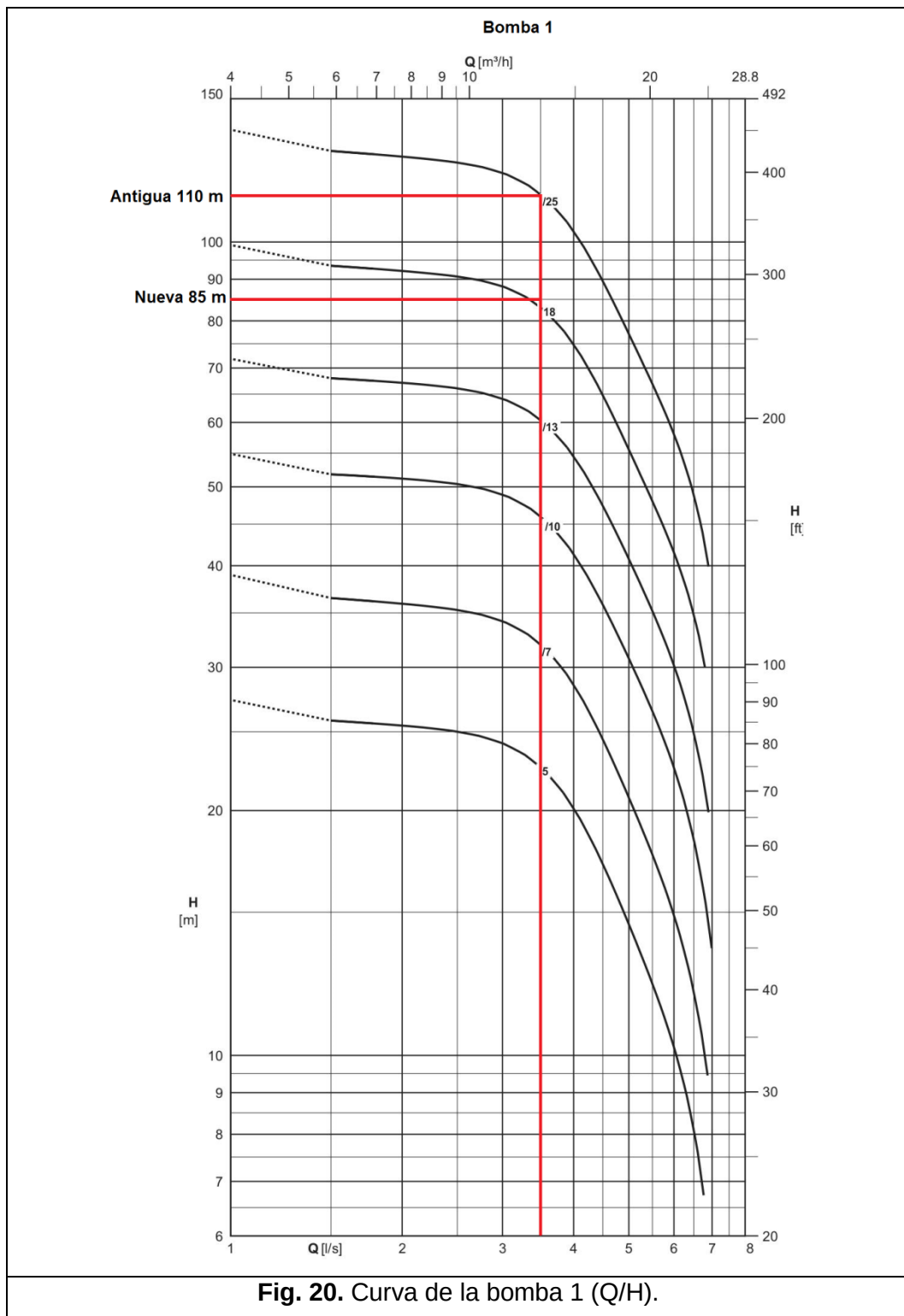
	[kW]
E4XPD60/18+MCR475	5,5
E4XPD60/25+MCR410	7,5

Fig. 18. Modelo y motor de la bomba 1.

El rendimiento, que están representado en la figura 19, se mantuvo igual ya que el caudal se mantuvo también, con un valor de 58 %, que es un buen rendimiento, cerca del rendimiento óptimo de la bomba.



En la figura 20 Se puede ver la reducción de la necesidad de altura de la bomba 1 (de 110m para 85 m) permitiendo así el cambio del motor y consecuente reducción de potencia.



- Bomba 2

La bomba 2 es de la marca “caprari” y el modelo E6XD40/16+MAC612A con 9,2 Kw que bombea 4,6 l/s con un rendimiento de 75%.

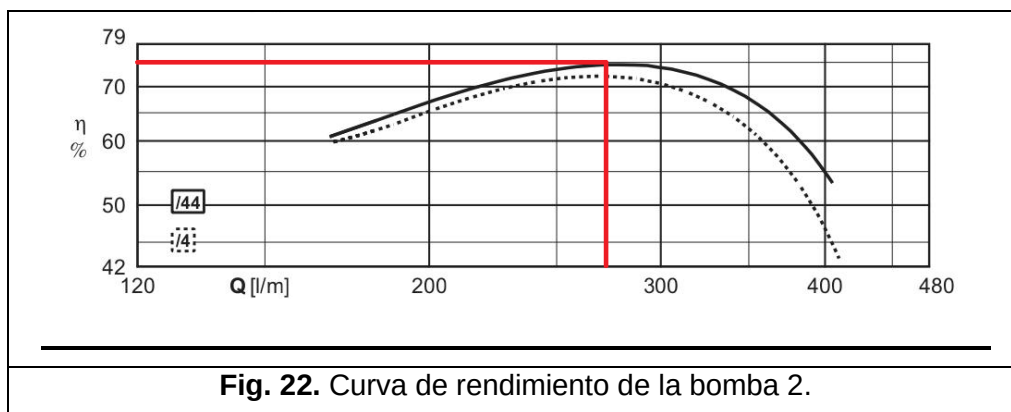
La bomba 2 tiene una potencia grande demás, hay que quitar 3 impulsores (pasar de 16 para 13) para reducir la potencia de la bomba y cambiar el motor para un motor de 7,5 Kw, así reduciríamos 1,7 Kw. Al año podríamos ahorrar 952 Kw, reduciendo el gasto energético de la finca.

La bomba nueva sería la E6XD40/13+MAC610A.

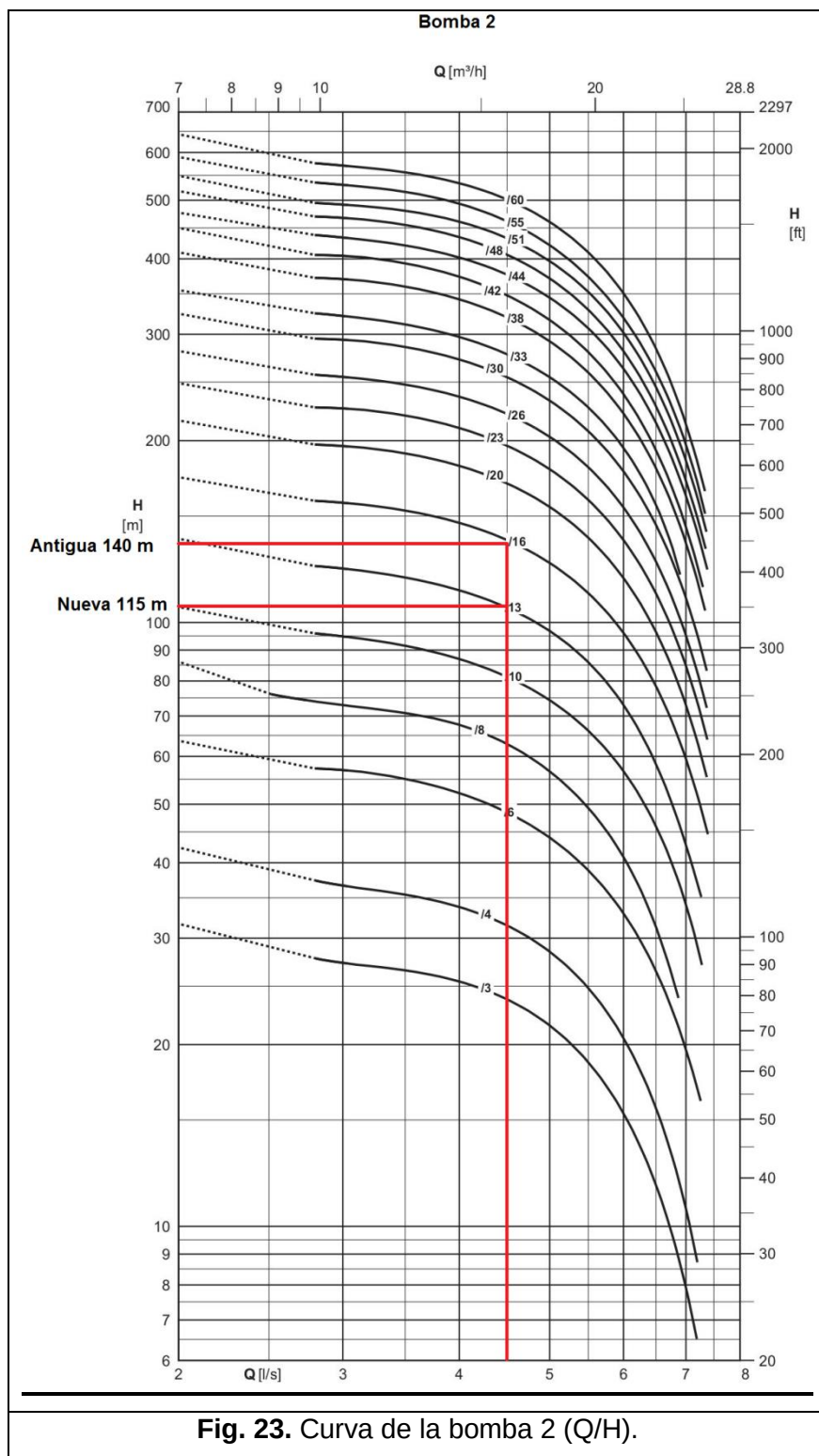
	[kW]
E6XD40/13+MAC610A	7,5
E6XD40/16+MAC612A	9,2

Fig. 21. Modelo y motor de la bomba 2.

El rendimiento de la bomba 2 está representado en figura 22, este se mantuvo igual una vez que el caudal se mantuvo también. Un rendimiento de 75% es bueno ya que está muy cerca del rendimiento óptimo de la bomba.



En la figura 23 Se puede observar la reducción de la necesidad de altura (de 140 m para 115m) que tuvo origen en el cambio de las tuberías, y con esto quitar impulsores y cambiar para un motor con menos potencia, reduciendo así la energía gastada en el riego.



- Bomba 3

La bomba 3 existente es de la marca “caprari” y el modelo E6XD35/13+MCR475 con 5,5 Kw, bombea un caudal de 3,1 l/s con un rendimiento de 74%.

En la bomba 3 quitamos 2 impulsores (de 13 para 11), reduciendo la potencia de la bomba.

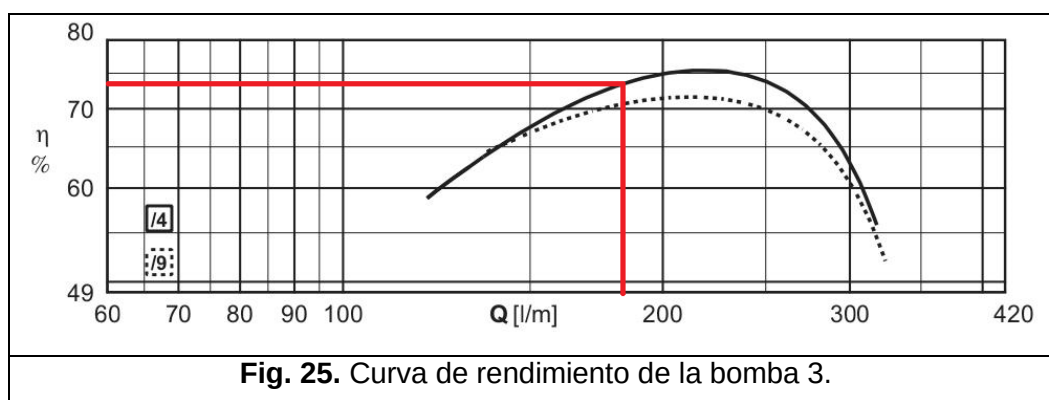
En este caso el motor se mantuvo ya que es el mismo en ambos los modelos, o sea, no hubo reducción de kilowatts, apenas de impulsores.

La bomba nueva sería la E6XD35/11+MAC67A.

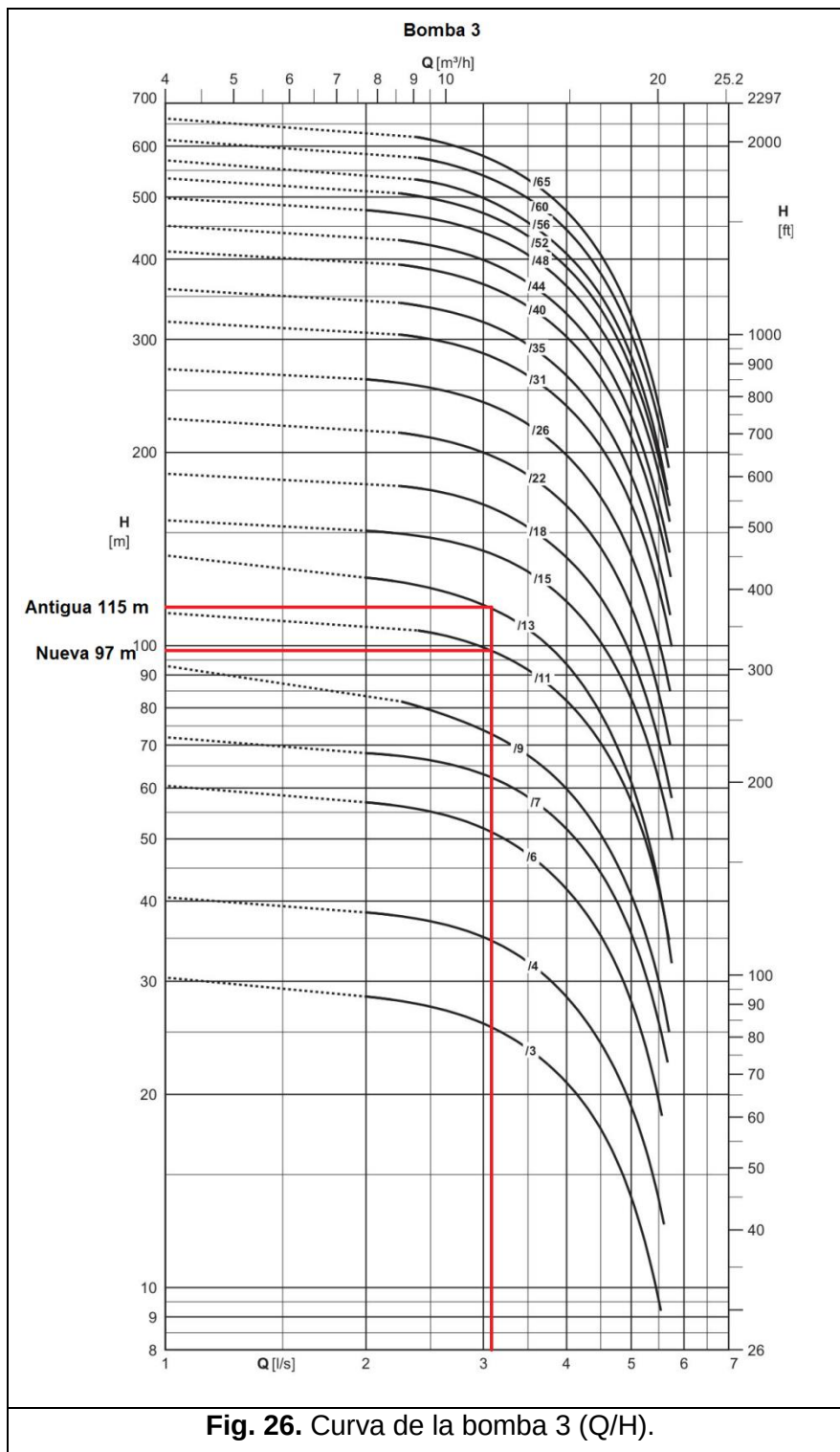
	[kW]
E6XD35/11+MAC67A	5,5
E6XD35/13+MCR475	5,5

Fig. 24. Modelo y motor de la bomba 3.

El rendimiento de la bomba 3 está representado en la figura 25, se mantuvo igual una vez que el caudal se mantuvo también. Es un buen rendimiento, cerca del rendimiento óptimo.



En la figura 26 es posible observar la reducción de las necesidades de altura de la bomba (de 115m para 97m), debido a la alteración de el diámetro de las tuberías de la red de riego.



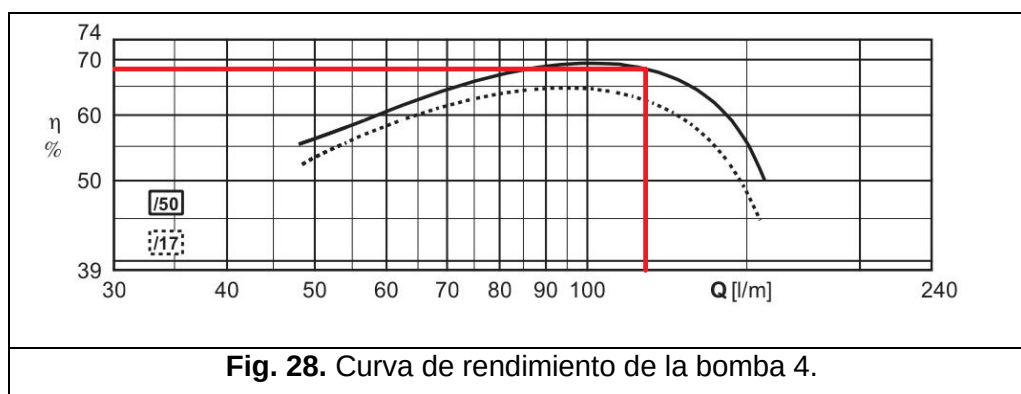
- Bomba 4

La bomba 4 es de la marca “caprari” y modelo E6XD25/13+MCH43 con 3 Kw, con un caudal de 1,9 l/s y un rendimiento de 68%.

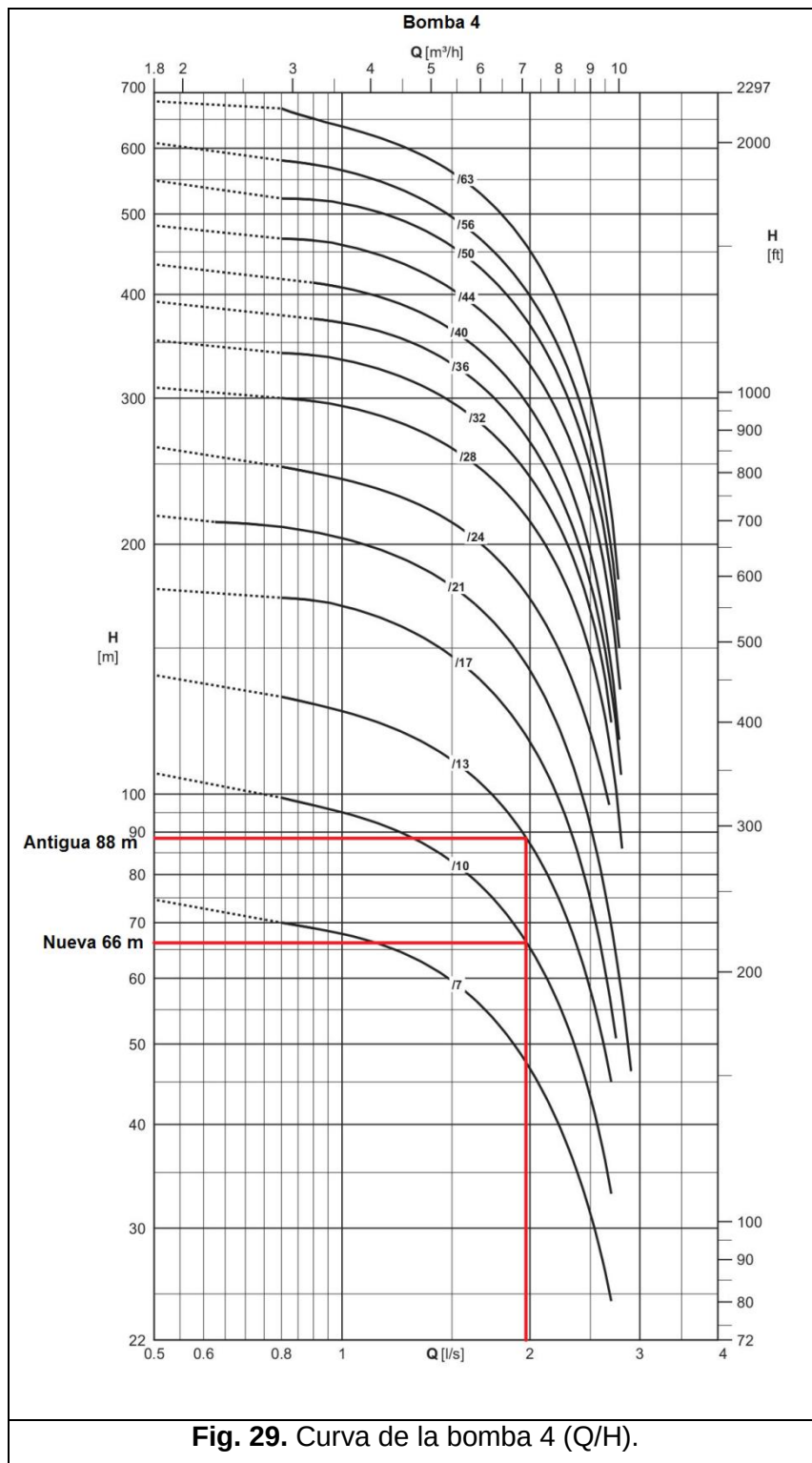
Después de analizar la reducción de la necesidad de altura de la bomba 3 vimos que se podría quitar 3 impulsores (de 13 para 10) y cambiar el motor para un motor de 2,2 Kw, con lo cual disminuíamos el gasto energético. La bomba nueva sería la E6XD25/10+MCH43 de 2,2 Kw. Con esta alteración ahorraríamos 0,8 Kw por hora, al año se riegan 560 horas, o sea, tendríamos un ahorro al año de 448 Kw.

	[kW]
E6XD25/10+MCH43	2,2
E6XD25/13+MCH44	3

Fig. 27. Modelo y motor de la bomba 4.



En la figura 29 Se puede ver la reducción de necesidad de altura de la bomba 4, de 88 m para 66 m.



- Bomba 5

La bomba 5 es de la marca “caprari” y modelo E6XD20/12+MCH42 con 1,5 Kw que permite un caudal de 1,3 l/s y un rendimiento de 59%.

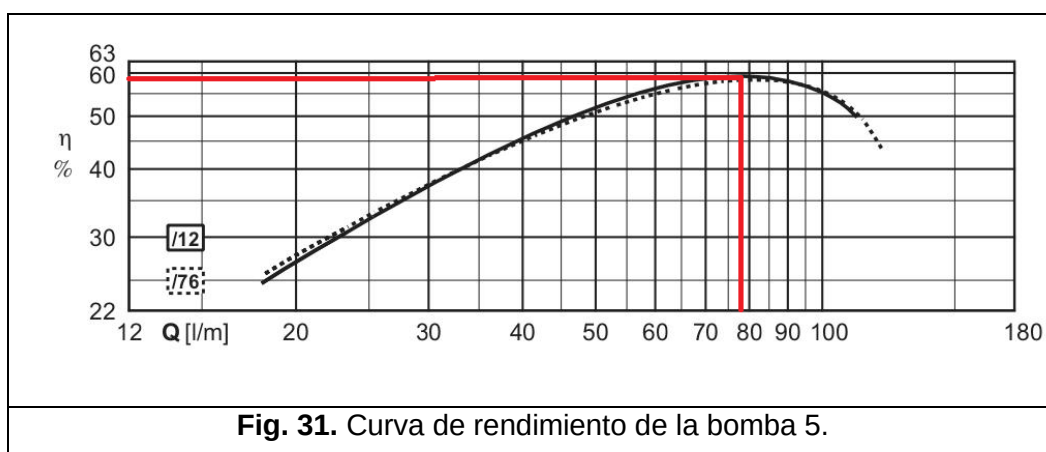
La solución que se encontró fue reducir 3 impulsores y cambiar el motor, para un motor de 1,1 Kw. Sería posible ahorra 0,4 Kw, al año correspondería a 224 kw.

La bomba nova sería el modelo E6XD20/9+MCH415.

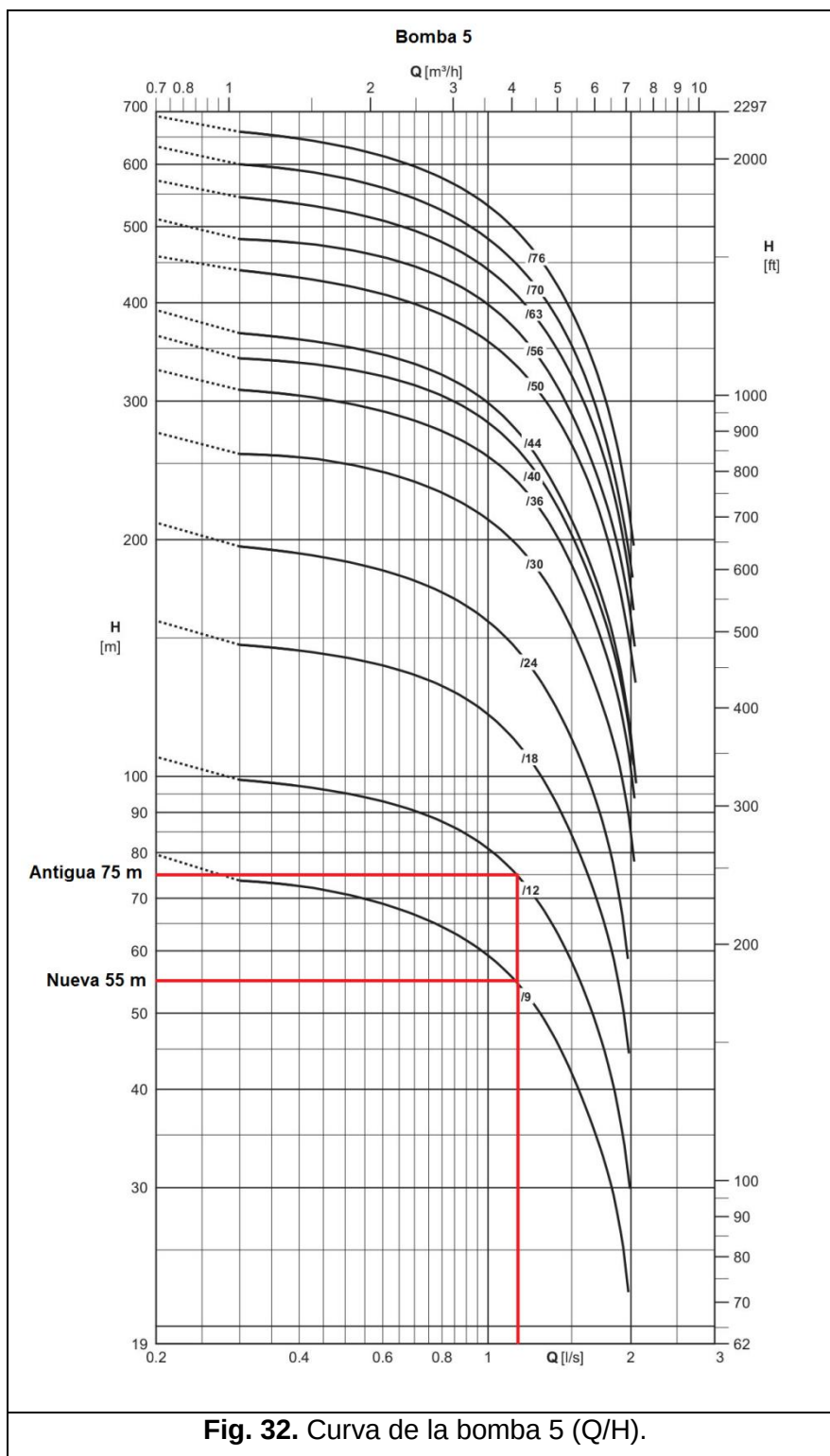
	[kW]
E6XD20/9+MCH415	1,1
E6XD20/12+MCH42	1,5

Fig. 30. Modelo y motor de la bomba 5.

El rendimiento permanecería el mismo, ya que no ocurrió alteración, o sea, se mantenía en 59%, que es muy bueno, una vez que está cerca de el rendimiento óptimo de la bomba.



El cambio de diámetro de la red de tuberías llevo a una reducción de la necesidad de altura de la bomba 5, se disminuyo 20 m, de 75 m para 55 m.



7. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se han realizado 3 estudios, la programación de riego, el estudio hidráulico y el estudio energético. El motivo de hacer los tres estudio fue evaluar el sistema de riego que estaba instalado en la finca “Barbeiras” de forma a percibir cual era la calidad de riego, o sea, comprender se uso del agua y energía es sostenible y eficiente.

7.1. PROGRAMACIÓN DE RIEGO

En la programación de riego proponemos adoptar el método de utilización de la reserva natural del suelo en vez del método FAO.

En el método FAO se gastaban 292 mm de agua y en el método de utilización de la reserva natural del suelo se gastaban 243 mm.

Con la alteración del método de programación de riego sería posible ahorrar 49 mm, que son 490 m³/ha, y en la totalidad de la finca ahorraríamos 16170 m³ al año, que es una cantidad de agua significativa.

Con el método de utilización de la reserva natural del suelo reduciríamos las horas de riego, con lo cual reduciríamos las horas de trabajo de las bombas, ahorro de energía.

- Estimación económica de la nueva aplicación de programación de riego.

Para ello se realizan los siguientes cálculos:

1. Estimación ahorro del canon de riego por el agua no consumida.

2. Estimación ahorro energético por los Kw no consumidos, para ello se estiman para un consumo medio las horas de funcionamiento del sistema de bombeo durante y se aplica un precio medio del Kw/ hora¹

Cuadro resumen aplicación estrategias de uso de suelo en la programación de riego:

1.

Tabla 13. Estimación ahorro del canon de riego por el agua no consumida. Fuente: elaboración propia.			
	m ³	Canon/m ³	Total de ahorro anual €
Ahorro agua/año	16170	0.025 € /m ³	404 €

2.

Tabla 14. Estimación ahorro energético por los Kw no consumidos. Fuente: elaboración propia.					
	Volumen de agua m ³	Caudal equivalente en 120 días a 8 horas de riego	Kw consumidos para el caudal estimado	Kw totales anuales	Ahorro anual
Ahorro energético/año	16170	4.67 l/s	7.5	7200	720 €

7.2. ESTUDIO HIDRÁULICO

En el estudio hidráulico vimos que el dimensionamiento de los diámetros de las tuberías no estaba correcto, teníamos pérdidas de presión de 1,1 bar en la tubería AB y de 1 bar en la tubería BC.

¹ 0.1 € / Kw

Lo que proponemos sería cambiar la tubería AB, actualmente con 90 mm, para una tubería de 110 mm, reduciría la velocidad del agua de 1,46 m/s para 1,02 m/s, bajando la pérdida de presión de 1 bar para 0,4 bar.

La tubería BC, actualmente con 110 mm, tendría que se cambiar para una tubería con 160 mm, y así se reducía la velocidad del agua de 1,74 m/s para 1,08 m/s y la pérdida de presión de 1 bar para 0,3 bar.

Con la red de tuberías existente la presión que llega a la conexión C (olivar) no es suficiente para hacer un riego uniforme, ya que en el punto más crítico los goteros no debitaban 2,2 l/h, porque no había presión suficiente.

Con la alteración de tuberías, la presión en la conexión C aumentó de 3 bar para 4 bar, lo que ya permite hacer un riego uniforme.

Para mejorar la eficiencia de la red de tuberías tendríamos que cambiar los diámetros de las tuberías AB y BC, y ya sería posible hacer un riego uniforme, sin elevadas pérdidas de energía.

En el caso de la estimación económica de las medidas hidráulicas, supondrán un gasto en forma de inversión, que se realizará una sola vez en la vida útil de la instalación, a diferencia de los ahorros energéticos que se trasladan de forma anual.

Cuadro resumen aplicación estrategias de modificaciones hidráulicas:

Tabla 15. Modificación de la tubería AB. Fuente: elaboración propia.				
Diámetro Tubería nueva	m.l.	Coste tubería €/m.l.	Coste zanja e instalación €/m.l.	Coste total sustitución €
110 mm	473	2.83	0.8 €/m.l.	1717

Tabla 16. Modificación de la tubería BC Fuente: elaboración propia.				
Diámetro Tubería nueva	m.l.	Coste tubería €/m.l.	Coste zanja e instalación €/m.l.	Coste total sustitución €
160 mm	398	5.83 €/m.l.	0.82	2646,7

7.3. ESTUDIO ENERGÉTICO

En el estudio energético evaluamos las bombas que tenía cada sondeo, de forma a percibir se las bombas eran o no las más indicadas.

Con la alteración propuesta para el diámetro de tuberías fue posible bajar la necesidad de altura de todas las bombas, ya que la velocidad del agua y las pérdidas de carga disminuyeran.

La bomba 1 tenía impulsores en demasía, quitamos 7 impulsores que estaban en exceso, elegimos otro motor con menos 2 Kw y así ahorramos 1120 Kw al año, teniendo en cuenta las horas de riego con la programación del método de utilización de la reserva natural del suelo.

En la bomba 2 quitamos también impulsores (3) y cambiamos el motor de 9,2 Kw para un motor de 7,5 Kw, ahorrando 1, Kw por hora y 952 Kw al año.

La bomba 3 tenía el motor indicado, solamente le quitamos 2 impulsores. En este caso no ahorramos Kilowatts.

La bomba 4 y 5 son las bombas más pequeñas.

La 4 tenía 13 impulsores, quitamos 3, quedando con 10. El motor tenía 3 Kw, lo cambiamos por un con 2,2 Kw reduciendo 0,8 Kw por hora, al año 448 Kw.

Ya en la bomba 5, reducimos 3 impulsores y cambiamos el motor de 1,5 Kw para un motor con 1,1 Kw. Sería posible ahorrar 224 Kw al año.

En general, con las alteraciones propuestas, en termos de bombas, habría la posibilidad de ahorrar 2744 Kilowatts al año.

La energía contratada para la finca son 47 Kw, que tiene un valor de 51 euros, con la reducción de 2744 Kw al año, sería posible ahorrar 2978 euros al año en energía.

Para la valoración de la aplicación de las modificaciones propuestas, se ha realizado lo siguiente:

1. Incremento de coste, se valora el coste de un nuevo motor, la instalación del mismo y la de retirada de impulsores. Esta valoración se realiza de una sola vez y es un gasto único,

2. Beneficio, el ahorro energético en Kw que será todos los años desde que se realice la modificación, se valora en principio el año 1

Cuadros resumen aplicación estrategias energéticas:

- Bomba 1:

Tabla 17. Incremento coste bomba 1. Fuente: elaboración propia.			
Motor nuevo Kw	Coste de motor nuevo (€)	Coste de instalación y retirada de impulsores €	Coste total (€)
5,5	824	150	974

Tabla 18. Beneficio bomba 1. Fuente: elaboración propia.				
	Caudal medio (l/s)	Kw ahorrados para el caudal medio	Kw totales anuales	Ahorro anual (€)
Ahorro energético/año	3,6	2	1120	1215

- Bomba 2:

Tabla 19. Incremento coste bomba 2. Fuente: elaboración propia.			
Motor nuevo Kw	Coste de motor nuevo (€)	Coste de instalación y retirada de impulsores €	Coste total (€)
7,5	1250	200	1450

Tabla 20. Beneficio bomba 2. Fuente: elaboración propia.				
	Caudal medio (l/s)	Kw ahorrados para el caudal medio	Kw totales anuales	Ahorro anual (€)
Ahorro energético/año	4,6	1,7	952	1033

- Bomba 3:

Tabla 21. Incremento coste bomba 3. Fuente: elaboración propia.			
Motor nuevo Kw	Coste de motor nuevo (€)	Coste de instalación y retirada de impulsores €	Coste total (€)
		150	150

Tabla 22. Beneficio bomba 3. Fuente: elaboración propia.				
	Caudal medio (l/s)	Kw ahorrados para el caudal medio	Kw totales anuales	Ahorro anual (€)
Ahorro energético/año	3,1	0	0	0

- Bomba 4:

Tabla 23. Incremento coste bomba 4. Fuente: elaboración propia.			
Motor nuevo Kw	Coste de motor nuevo (€)	Coste de instalación y retirada de impulsores €	Coste total (€)
2,2	410	125	535

Tabla 24. Beneficio bomba 4. Fuente: elaboración propia.				
	Caudal medio (l/s)	Kw ahorrados para el caudal medio	Kw totales anuales	Ahorro anual (€)
Ahorro energético/año	1,9	0,8	448	486

- Bomba 5:

Tabla 25. Incremento coste bomba 5. Fuente: elaboración propia.			
Motor nuevo Kw	Coste de motor nuevo (€)	Coste de instalación y retirada de impulsores €	Coste total (€)
1,1	342	100	442

Tabla 26. Beneficio bomba 5. Fuente: elaboración propia.				
	Caudal medio (l/s)	Kw ahorrados para el caudal medio	Kw totales anuales	Ahorro anual (€)
Ahorro energético/año	1,3	0,4	224	243

Una vez valorado cada una de las acciones a acometer se puede reflejar de forma simple la conveniencia de la acción viendo la evolución temporal de los gastos e ingresos de las actuaciones propuestas.

En el caso que nos ocupa se ha realizado una estimación simple de carácter económico, sin tener en cuenta amortizaciones, pues las ventajas de la inversión ya son claras a partir del segundo año de vida útil de las instalaciones y maquinaria reemplazada.

Tabla 27. Cuadro resumen gastos /ingresos de la inversión realizada (año 1). Fuente: elaboración propia.			
BENEFICIO €/AÑO		INVERSIÓN €/ AÑO 0	
Ahorro del canon de riego por el agua no consumida.	404	Modificación tubería A-B	1717
Ahorro energético por los Kw no consumidos.	720	Modificación tubería B-C	2646,7
Ahorro energético bomba 1.	1215	Inversión bomba 1	974
Ahorro energético bomba 2.	1033	Inversión bomba 2	1450
Ahorro energético bomba 4.	486	Inversión bomba 3	150
Ahorro energético bomba 5.	243	Inversión bomba 4	535
		Inversión bomba 5	442
Ahorro total	4101	Inversión total	7914,7

Este cuadro resumen muestra en el lado izquierdo aquellas acciones de ahorro que se repetirán todos los años, luego el año 02 también obtendremos un beneficio de 4101 €, el año tres igual, etc,

Sin embargo, en el lado derecho muestra la inversión que se realizará el primer año (año 0) y ya no se repite.

Así en el año 0 se realizará la inversión de 7914,7 €

En el año 01 obtendremos un beneficio de 4101 €

En el año 02 obtendremos un beneficio de 4101 €...

Luego ya antes del año 02 se amortizará claramente la inversión.

Teniendo en cuenta que el olivar es un cultivo perene, la cantidad de energía y agua ahorrada anualmente son muy importantes y si hablamos desde el punto de vista económico se demuestra una muy rápida amortización de la inversión y una ganancia constante a lo largo de los años.

La agricultura no puede ser una imagen de antiguamente, debe sí, ser una apuesta en un futuro sostenible.

8. BIBLIOGRAFIA

- <http://magos.pt/home.html>
- <http://sir.dgadr.pt>
- <http://snirh.apambiente.pt/>
- <http://www.internationaloliveoil.org/estaticos/view/131-world-olive-oil-figures>
- <http://www.ipma.pt>
- <http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/servifapa/servifapa/riego>
- <https://www.eea.europa.eu/pt/articles/a-agua-na-agricultura>
- https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpgid=ine_main&xpid=INE
 - [Morales-Sillero A., García J.M., Torres-Ruiz J.M., Montero A., Sánchez-Ortiz A., Fernández J.E., 2013. Is the productive performance of olive trees under localized irrigation affected by leaving some roots in drying soil? Agriculture Water Management 123:79-92](#)
 - [Orgaz, F., Fereres, E., 2008. Riego. In: Barranco, D., Fernández-Escobar, R., Rallo, L. \(Eds.\), El cultivo del olivo. Ediciones Mundi-Prensa, Junta de Andalucía, pp. 337 362.](#)
 - [Palomo M.J., Moreno F., Fernández J.E., Díaz-Espejo A., Girón I.F., 2002. Determining water consumption in olive orchards using the water balance approach. Agricultural Water Management 55:15-35.](#)
- [Programa Desenvolvimento Rural do Continente 2014-2020 – Diagnóstico](#)
 - [PROGRAMA NACIONAL PARA O USO EFICIENTE DA ÁGUA Implementação 2012 – 2020](#)
 - [Ryan J, Ibrikci H, Delgado A, Torrent J, Sommer R Rashid A \(2012\) Significance of phosphorus for agriculture and the environment in the West Asia and North Africa region. Adv Agron 114: 91–153.](#)
 - [Simmers I \(2003\). Hydrological processes and water resources management. In Understanding Water in a Dry Environment: Hydrological Processes in Arid and Semiarid Zones. Simmers I \(ed\), Balkema Publishers: Chapter 1, Rotterdam, the Netherlands, 1–14.](#)
- [WUTKE, E.B. et al. Propriedades do solo e o sistema radicular do feijoeiro irrigado em rotação de culturas. Revista Brasileira de Ciência do Solo , v.24, p.621-633, 2000.](#)