



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO ESTUDIO Y PROPUESTA DE MEJORA DE ESTACIÓN DE BOMBEO

Autor: Rafael Gómez-Aparici Vega

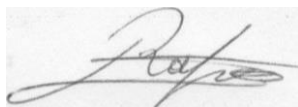
Director: Íñigo Sanz Fernández

Madrid

Julio de 2020

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
Estudio y propuesta de mejora de estación de bombeo
en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2020/2019 es de mi autoría, original e inédito y
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es plagio de otro, ni
total ni parcialmente y la información que ha sido tomada
de otros documentos está debidamente referenciada.

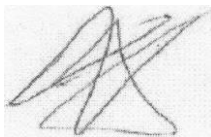
Fdo.: Rafael Gómez-Aparici Vega Fecha: 15/07/2020



Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Íñigo Sanz Fernández Fecha: 16/07/2020





GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO ESTUDIO Y PROPUESTA DE MEJORA DE ESTACIÓN DE BOMBEO

Autor: Rafael Gómez-Aparici Vega

Director: Íñigo Sanz Fernández

Madrid

Julio de 2020

ESTUDIO Y PROPUESTA DE MEJORA DE ESTACIÓN DE BOMBEO

Autor: Gómez-Aparici Vega, Rafael.

Director: Sanz Fernández, Íñigo.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

1. Introducción

Se va a estudiar una instalación de bombeo, perteneciente a una explotación agrícola, utilizada para el abastecimiento de agua para el riego de esta. Esta explotación presenta una serie de costes que encarecen su explotación de los cuales repercuten en la competitividad de sus productos, además de tener unos recursos de agua limitados que restringen su capacidad de producción.

Así pues, el proyecto consiste en realizar un análisis de la viabilidad de implementar mejoras en la instalación de bombeo seleccionada, ya sea en forma de modernización de partes de la instalación, como en forma de optimización de los regímenes de trabajo tanto de extracción como de riego que permitan el mejor aprovechamiento de los recursos existentes con el menor coste posible. Para ello será necesario identificar los diferentes costes que tiene la explotación para seleccionar aquellos que se van a intentar reducir y proponer para ello las hipótesis que se van a estudiar implementar para lograr dichos objetivos.

Una vez identificadas dichas hipótesis se estudiará el impacto que produce cada una en conseguir los objetivos propuestos y la viabilidad de implementarlas de forma conjunta estudiando en que grado interfieren unas con otras. Debido a la más que probable inviabilidad de implementar todas al mismo tiempo ya que el buscar reducir un tipo de coste puede acabar incrementando otro, se habrá de estudiar en que grado se deberá implementar cada una para conseguir un resultado que minimice el coste global final de toda la explotación.

2. Descripción del modelo

Para la elección de una nueva bomba se han tomado una serie de bombas candidatas tomándose distintos puntos de trabajo de sus respectivas curvas de funcionamiento, además debido a que se busca reducir el coste implementando ciertas medidas que presentan cierta conflictividad unas con otras se ha decidido utilizar un modelo de optimización MIP en GAMS que balancee estas medidas buscando el punto de mayor beneficio para la explotación. Este modelo se encargará de determinar qué modelo de bomba y en que punto de funcionamiento y que parámetros de funcionamiento ofrecen la mayor reducción de coste global tanto como reduciendo el coste energético

Una vez el programa proponga una solución se tomarán los datos propuestos y se ejecutaran en una simulación de la red en Epanet (*ver ilustración 1*) para comprobar que esa opción es viable desde el punto de vista hidráulico.

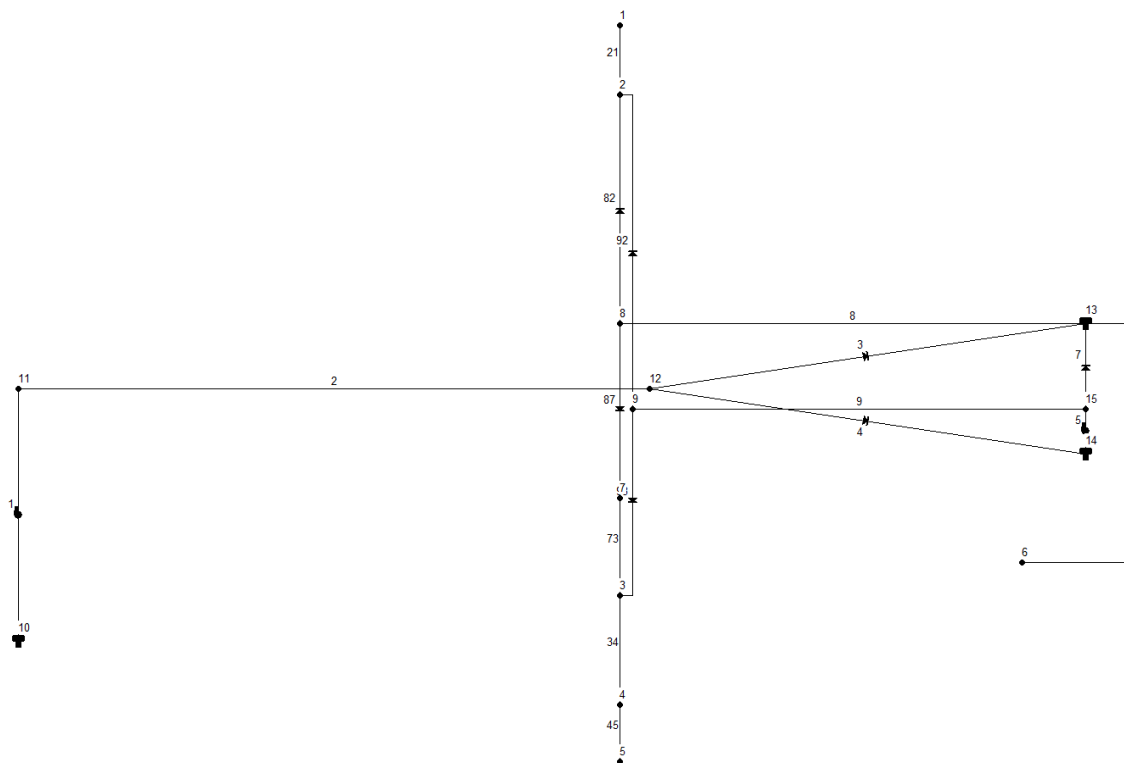


Ilustración 1: Plano esquemático de la red para la simulación

3. Resultados

Del modelo GAMS se han obtenido dos resultados atendiendo a los posibles escenarios en los que se puede encontrar la explotación dependiendo de la resolución que se produzca de una petición de actualización de la concesión de agua disponible. Esto hace variar la propuesta óptima, aunque en ambos casos se deduce que el mejor modelo para actualizar la bomba sería el modelo Grundfos SP 1100S 2500-6A con el régimen de trabajo expuesto en las *ilustraciones 2 y 3* cada una representando a cada escenario.

Estos resultados han sido comprobados en la simulación de Epanet pudiéndose ejecutar ambas sin problemas dando por válidos los resultados.

	Horas valle	Horas llano	Horas punta	Horas totales	Volumen almacenado en embalse 1	Volumen almacenado en embalse 2	Volumen evaporado en embalse 1	Volumen evaporado en embalse 2
Enero	5	0	0	5	0	7525,4	0	491,3827
Febrero	76	0	0	76	0	7581,8	0	491,6689
Marzo	174	0	0	174	0	7525,4	0	491,6689
Abril	168	0	0	168	0	7525,4	0	491,3827
Mayo	271	0	0	271	0	7590,597	0	491,7135
Junio	325	29	0	354	0	7637,584	0	492,2829
Julio	336	14	0	350	0	7525,4055	0	491,952
Agosto	336	124	0	460	0	7536,96	0	491,4413
Septiembre	166	0	0	166	0	7525,4	0	491,4413
Octubre	105	0	0	105	0	7580	0	491,6598
Noviembre	13	0	0	13	0	7595,2	0	492,0114
Diciembre	5	0	0	5	0	7525,4	0	491,7369
Total	1980	167	0	2147			0	5900,3423

Ilustración 2: Solución propuesta para el escenario 1

	Horas valle	Horas llano	Horas punta	Horas totales	Volumen almacenado en embalse 1	Volumen almacenado en embalse 2	Volumen evaporado en embalse 1	Volumen evaporado en embalse 2
Enero	5	0	0	5	0	7525,4055	0	491,6431
Febrero	76	0	0	76	0	7584,0054	0	491,6801
Marzo	174	0	0	174	0	7527,5843	0	491,6911
Abril	304	0	0	304	0	35847,6582	0	635,1461
Mayo	336	0	0	336	0	49140,2829	0	846,3553
Junio	325	0	0	325	0	42738,5273	0	881,3306
Julio	336	0	0	336	0	33631,7915	0	802,6158
Agosto	336	0	0	336	0	7600,1042	0	624,2673
Septiembre	166	0	0	166	0	7579,0999	0	492,0343
Octubre	105	0	0	105	0	7664,2151	0	492,3597
Noviembre	13	0	0	13	0	7678,5656	0	492,8646
Diciembre	5	0	0	5	0	7576,7201	0	492,4205
Total	2181	0	0	2181			0	7234,4085

Ilustración 3: Solución propuesta para el escenario 2

4. Conclusiones

Con estos resultados se consiguen los resultados deseados de minimizar el consumo eléctrico, así como reducir la cantidad de agua perdida aumentando de esta manera los beneficios anuales de la explotación. Tras realizar un análisis económico en los que se tiene en cuenta la inversión que se debe acometer para realizar el proyecto con una vida de 25 años se obtiene que la inversión es rentable en ambos escenarios, por ello se puede decir que este proyecto es totalmente viable, y lo que es más importante, es rentable.

STUDY AND PROPOSAL FOR IMPROVEMENT OF PUMPING STATION

Author: Gómez-Aparici Vega, Rafael.

Supervisor: Sanz Fernández, Íñigo.

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

PROJECT SUMMARY

1. Introduction

This project will study a pumping installation property of an agrobusiness exploitation, used to supply water for irrigation. This exploitation has a series of costs that make its operation more expensive, which have an impact on the competitiveness of its products, in addition to having limited water resources that restrict its production capacity.

Thus, the project consists of carrying out an analysis of the feasibility of implementing improvements in the selected pumping installation, either in the form of modernization of parts of the installation, or in the form of optimizing the working regimes for both extraction and irrigation that allows the best use of existing resources at the lowest possible cost. For this, it will be necessary to identify the different costs that the exploitation has in order to select those that must be focused on reducing and to propose for it the hypotheses that are going to be studied to achieve said objectives. Once these hypotheses have been identified, the impact that each one produces in achieving the proposed objectives and the feasibility of implementing them jointly will be studied, studying to what degree they interfere with each other. Due to the more than probable infeasibility of implementing all of them at the same time and since seeking to reduce one type of cost may end up increasing another, it will be necessary to study to what degree each one should be implemented to achieve a result that minimizes the final overall cost of all exploitation.

2. Model description

For the selection of a new pump, a series of candidate pumps have been taken taking different work points from their respective operating curves, since in order to reduce the cost by implementing certain measures that present certain conflicts with each other, it has been decided to use a GAMS MIP optimization model that balances these measures looking for the point of greatest profit for the exploitation. This model will determine which pump model and at what point of operation and which operating parameters offer the greatest reduction in overall cost, both by reducing energy costs and optimizing water use, thereby increasing production, and increasing profits.

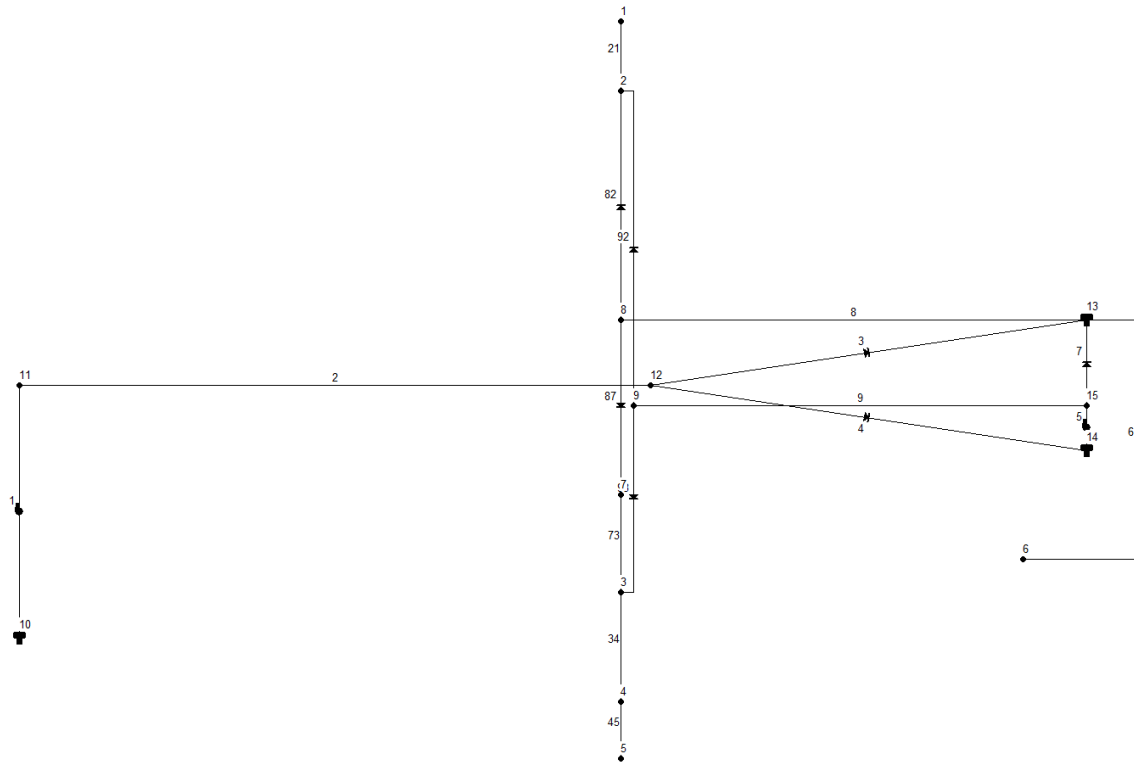


Illustration 1: Schematic plan of the installation

3. Results

Two results have been obtained from the GAMS model, considering the possible scenarios in which the exploitation can be found, depending on the resolution of a request to update the available water concession. This varies the optimal proposal, although in both cases it follows that the best model to upgrade the pump would be the Grundfos SP 1100S 2500-6A model with the operating regime shown in illustrations 2 and 3 representing each scenario.

These results have been verified in the Epanet simulation, both being able to run without problems, giving valid results.

	Hours in rate 1	Hours in rate 2	Hours in rate 3	Total Hours	Stored volume in the first reservoir	Stored volume in the second reservoir	Evaporated volume in the first reservoir	Evaporated volume in the second reservoir
January	5	0	0	5	0	7525,4	0	491,3827
February	76	0	0	76	0	7581,8	0	491,6689
March	174	0	0	174	0	7525,4	0	491,6689
April	168	0	0	168	0	7525,4	0	491,3827
May	271	0	0	271	0	7590,597	0	491,7135
June	325	29	0	354	0	7637,584	0	492,2829
July	336	14	0	350	0	7525,4055	0	491,952
August	336	124	0	460	0	7536,96	0	491,4413
September	166	0	0	166	0	7525,4	0	491,4413
October	105	0	0	105	0	7580	0	491,6598
November	13	0	0	13	0	7595,2	0	492,0114
December	5	0	0	5	0	7525,4	0	491,7369
Total	1980	167	0	2147			0	5900,3423

Illustration 2: Solution for the first setting

	Hours in rate 1	Hours in rate 2	Hours in rate 3	Total hours	Stored volume in the first reservoir	Stored volume in the second reservoir	Evaporated volume in the first reservoir	Evaporated volume in the second reservoir
January	5	0	0	5	0	7525,4055	0	491,6431
February	76	0	0	76	0	7584,0054	0	491,6801
March	174	0	0	174	0	7527,5843	0	491,6911
April	304	0	0	304	0	35847,6582	0	635,1461
May	336	0	0	336	0	49140,2829	0	846,3553
June	325	0	0	325	0	42738,5273	0	881,3306
July	336	0	0	336	0	33631,7915	0	802,6158
August	336	0	0	336	0	7600,1042	0	624,2673
September	166	0	0	166	0	7579,0999	0	492,0343
October	105	0	0	105	0	7664,2151	0	492,3597
November	13	0	0	13	0	7678,5656	0	492,8646
December	5	0	0	5	0	7576,7201	0	492,4205
Total	2181	0	0	2181			0	7234,4085

Illustration 3: Solution for the second setting

4. Conclusions

With these results, the main objectives have been fulfilled, minimizing electricity consumption, as well as reducing the amount of water lost, thus increasing the annual benefits of exploitation. After carrying out an economic analysis that takes into account the investment that must be undertaken to carry out the project with a lifespan of 25 years, it is obtained that the investment is profitable in both scenarios, therefore it can be said that this project is totally viable , and most importantly, it is profitable.

Índice

1. Presentación y justificación del proyecto:.....	14
2. Descripción de las tecnologías:	14
3. Antecedentes y situación actual:	16
3.1 Instalación actual:	17
3.2 Necesidades de riego:	19
3.3 Concesión:	21
3.4 Problemas actuales:.....	21
4. Propuesta:.....	22
4.1 Objetivos:.....	22
4.2 Hipótesis:	22
4.3 Datos:	23
5. Modelo desarrollado:.....	27
5.1 Sets:.....	27
5.1.1 Parámetros:	27
5.1.2 Escalares:	27
5.1.3 Parámetros dependientes:	28
5.2 Variables:	28
5.2.1 Variables positivas:	28
5.2.2 Variables enteras:	29
5.2.3 Variables binarias:	29
5.2.4 Variables sin restricciones:	29
5.3 Restricciones:	30
5.4 Modelos:	32
6. Análisis de resultados:.....	33
6.1 Primer escenario:	33
6.2 Segundo escenario:	34
6.3 Viabilidad de las propuestas:	36
7. Estudio económico:	37
7.1 Presupuesto:	37
7.2 Cálculo económico:	37
7.2.1 Primer escenario:	38
7.2.2 Segundo escenario:	39

8. Bibliografía y fuentes:	40
ANEXO I: CÓDIGO MODELO GAMS	41
ANEXO II: OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE	52
ANEXO III: PLANOS	53

1. Presentación y justificación del proyecto:

Se va a estudiar una instalación de bombeo, perteneciente a una explotación agrícola, utilizada para el abastecimiento de agua para el riego de esta. Esta finca presenta una serie de costes que encarecen su explotación los cuales repercuten en la competitividad de sus productos, además de tener unos recursos de agua limitados que restringen su capacidad de producción.

Así pues, el proyecto consiste en realizar un análisis de la viabilidad de implementar mejoras en la instalación de bombeo seleccionada, ya sea en forma de modernización de partes de la instalación, como en forma de optimización de los regímenes de trabajo tanto de extracción como de riego que permitan el mejor aprovechamiento de los recursos existentes con el menor coste posible. Para ello será necesario identificar los diferentes costes que presenta para seleccionar aquellos que se van a intentar reducir y proponer para ello las hipótesis que se estudiarán implementar para lograr dichos objetivos.

Una vez identificadas dichas hipótesis se estudiará el impacto que produce cada una en conseguir los objetivos propuestos y la viabilidad de implementarlas de forma conjunta estudiando en que grado interfieren unas con otras. Debido a la más que probable inviabilidad de implementar todas al mismo tiempo ya que el buscar reducir un tipo de coste puede acabar incrementando otro, se habrá de estudiar en que grado se deberá implementar cada una para conseguir un resultado que minimice el coste global final de toda la explotación.

2. Descripción de las tecnologías:

Actualmente para la extracción de agua de un pozo de gran profundidad como el que presenta esta explotación la opción mas viable es la instalación de una bomba sumergible de gran profundidad o tipo “lápiz”, las cuales como su nombre indica tienen la capacidad de trabajar inmersas en un fluido gracias a la impermeabilidad de todos los accionamientos eléctricos. Al estar sumergidas en el fluido se sirven de la presión generada por la propia presión ejercida por la altura del fluido para captar el agua por el extremo de succión en lugar de tener que aspirar el fluido lo cual aumenta enormemente su rendimiento.

Estas bombas consisten en varios impulsores centrífugos trabajando en serie en posición vertical lo que les da a estas su característica forma alargada que las vuelve ideales para su instalación en pozos donde el espacio es reducido. A diferencia del resto de bombas que elevan el fluido creando un vacío mediante aspiración y que dependen de la presión atmosférica, las bombas sumergibles gracias a los impulsores producen un aumento de presión en la parte inferior del depósito que impulsa el fluido hasta la superficie lo cual hace que estos modelos sean tremendamente eficientes a la hora de extraer fluidos a gran profundidad.

Los principales fabricantes de bombas de este tipo en el mundo son Ebara que es una empresa japonesa que lleva operando de 1912, Flowserve una empresa estadounidense con sede en Texas establecida en 1997 y Grundfos que es un fabricante danés y la mas grande de los tres. Todas estas tienen presencia en el mercado español, aunque la última tiene la ventaja de pertenecer al mercado europeo.

Actualmente estas bombas son utilizadas mayormente en tratamiento de aguas residuales que utilizan bombas sumergibles como bombas trituradoras que reducen el material a partículas para facilitar así su transporte a la salida. También se utilizan en la industria de la minería tanto como para eliminar fluidos de áreas a gran profundidad o para la extracción de depósitos de gas natural. Además de ser la opción de preferencia para los pozos de agua y las perforaciones petrolíferas ya que en ambos casos los depósitos se encuentran a una gran profundidad.

3. Antecedentes y situación actual:

La instalación que se va a estudiar pertenece a la comunidad de Regantes “Los Calderones”, la cual se trata de una explotación hortofrutícola centrada en la plantación de frutales y hortalizas de temporada. La explotación se realiza en una superficie de 98,09 hectáreas localizada en el término municipal de Mula (Murcia). Se mantiene gracias a una concesión administrativa de aguas subterráneas de 448547 m³ anuales concedida por parte de la Confederación Hidrográfica del Segura, que se obtienen a través de la captación de agua de pozo situado a unos 3,7 kilómetros de la finca (*ver figura 1*).

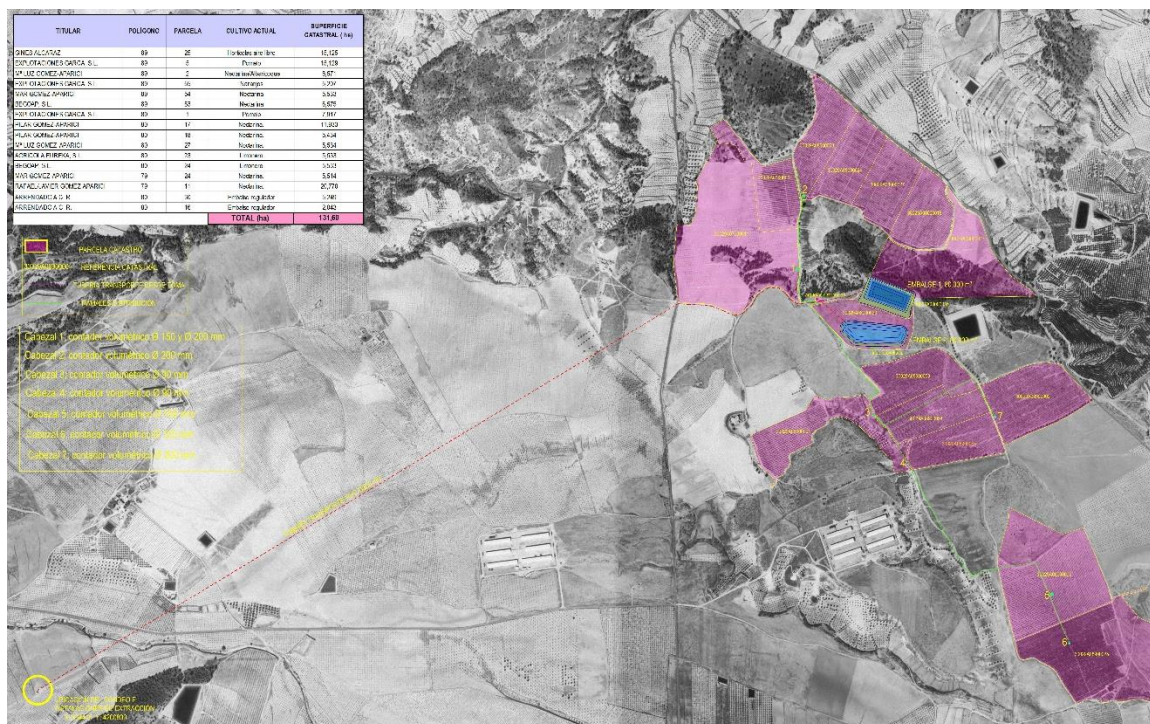


Figura 1: Foto de plano topográfico de la finca con las instalaciones actuales.

3.1 Instalación actual:

La instalación existente para la captación, almacenamiento y utilización de dicha agua consta de un pozo con su respectiva bomba, una red de transporte hasta los embalses situados una finca y una red de distribución para efectuar el riego por gravedad a partir de los embalses (ver figura 2).

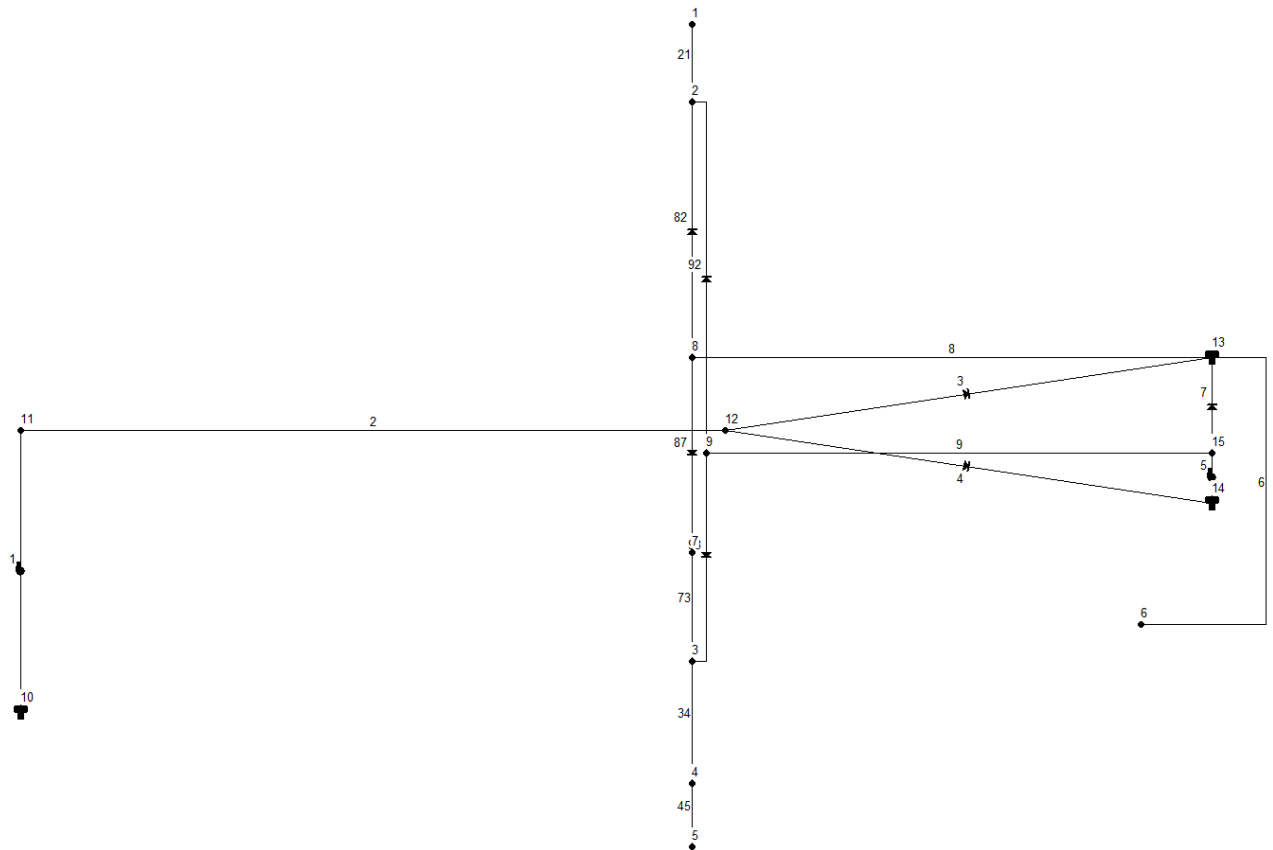


Figura 2: Plano de la red con numeración de los nudos y líneas

Los diferentes datos referentes a la instalación actual son:

- Información técnica del pozo (nudo 10):

Profundidad: 424 m

Agua estática: 245 m

Agua dinámica: 248 m

Diámetro pozo: 350 mm

Entubado: Tubo ranurado

Tubería de extracción agua: 150 mm

- Bomba (línea 1):

Se trata de la bomba adjunta en el anexo X que trabajando con una altura de impulsión de 245m ofrece un caudal de 144 m³/h a un rendimiento del 77.9% absorbiendo una potencia de 123 kW, dicha bomba se comanda mediante variador de frecuencia y está conectada a la línea eléctrica a través de un transformador de 250 KW + Cuadro eléctrico de protección variador.

- Conexión del pozo con la finca:

Están conectados mediante tubería D200 PVC 10 atm con una longitud de 5.5 Km que conecta con los dos embalses (línea 2).

1: Embalse regulador de tierra y lámina plástica, de 76.000 m³ y arquetas de maniobra y distribución a los ramales secundarios. Recientemente renovado desde que sales las tuberías que abastecen el riego de la explotación (nudo 13).

2: Embalse regulador de tierra y lámina plástica, de 74.000 m³ conectado al embalse anterior. De nueva construcción localizado en una cota ligeramente inferior al anterior conectado en la salida con la instalación de riego ya existente, así como con el embalse anterior. A la salida de este embalse se ha colocado un baipás que permite arrancar una bomba de caudal de 125 m³/h a 25 m.c.a. para abastecer correctamente ciertas tomas de riego, así como para transferir agua al embalse anterior, esta bomba se alimenta a través de una instalación fotovoltaica para autoabastecimiento propia (nudo 14).

- Instalación de riego localizado en el conjunto de la explotación:

Consta de una instalación de redes terciarias y porta goteros, 7 cabezales de riego y 8 contadores volumétricos (según sector).

- Cabezal 1.- Contador volumétrico (2); Ø 150 y 200 mm.
- Cabezal 2.- Contador volumétrico; Ø 200 mm.
- Cabezal 3.- Contador volumétrico; Ø 90 mm.
- Cabezal 4.- Contador volumétrico; Ø 90 mm.
- Cabezal 5.- Contador volumétrico; Ø 150 mm.
- Cabezal 6.- Contador volumétrico; Ø 125 mm.
- Cabezal 7.- Contador volumétrico; Ø 200 mm.

Fuente: Informe realizado por “bpm Ingeniería” para la comunidad de regantes “Los Calderones”.

3.2 Necesidades de riego:

El agua total demandada mensualmente se corresponde a la suma de la demanda de las distintas parcelas que comprenden la comunidad de regantes como se muestran en la *figura 3*.

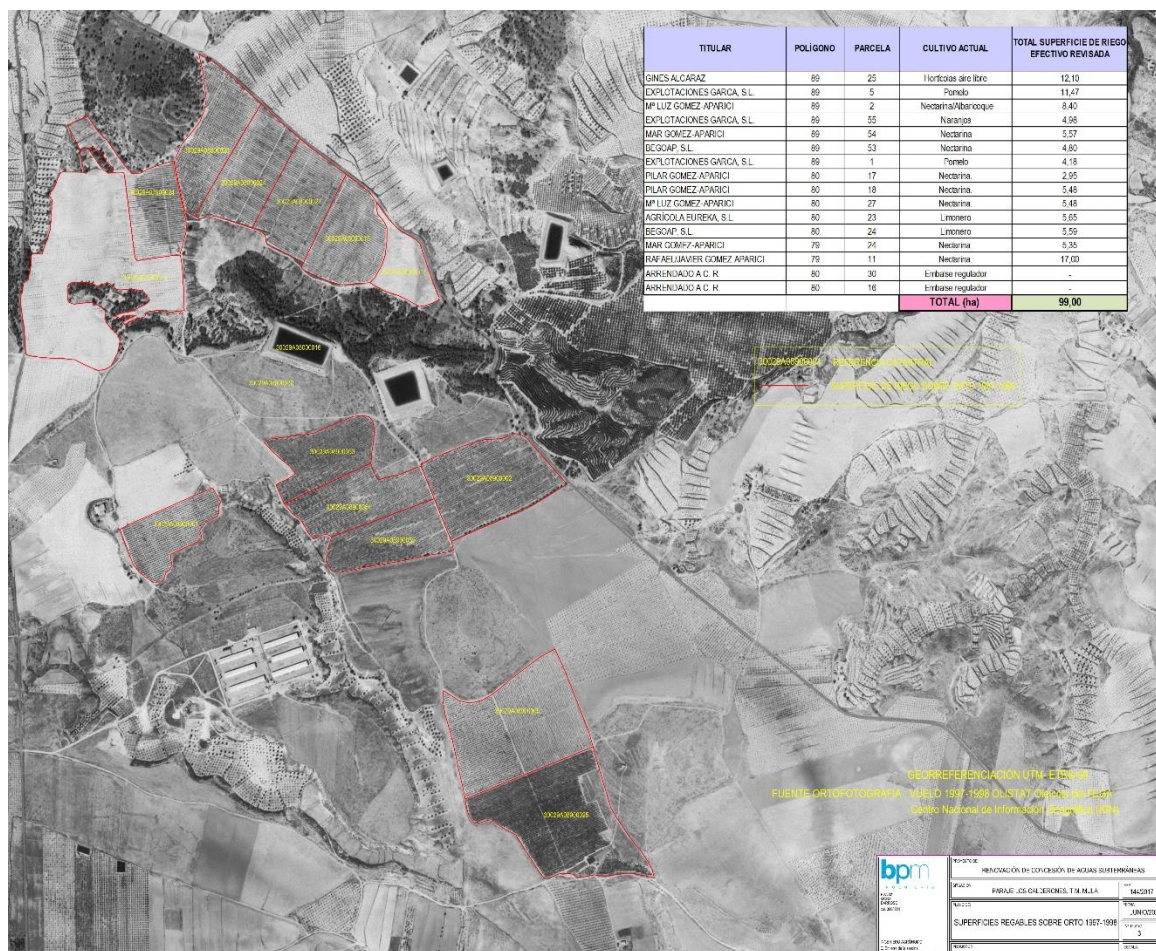


Figura 3: Plano topográfico con la distribución de parcelas.

Esta demanda mensual se corresponde con la demandada de las necesidades dependiendo del tipo de plantación en cada parcela en relación con sus necesidades variables en función del mes en el que se encuentre, concentrándose la mayor parte de la demanda total de la finca entre los meses de mayo y agosto en los que se encuentra el 68% del agua total demandada anualmente como se puede observar en la *tabla 2: turnos de riego*. También debe tenerse en cuenta la cantidad que le corresponde a cada parcela según la distribución proporcional que se realiza de la concesión anual repartida entre la porción de superficie que representa cada una. Esta distribución se ve reflejada en la *tabla 1*.

TITULAR	FINCAS EN EXPLOTACIÓN:		SUPERFICIE REGADIO (Ha)	CAUDAL SOLICITADO (m3)	DERECHOS POLÍTICOS
Rafael Gomez Aparici	79	11	8,3487	39418,32	0,087
Javier Gomez Aparici	79	11	8,3487	41422,144	0,087
Explotaciones Garca, S.L.	89	5	11,107	51118,23	0,111945033
Explotaciones Garca, S.L.	89	55	4,9167	24145	0,049554348
Ginés Alcaraz	89	25	11,65	59070,63	0,1231
Mª Luz Gomez Aparici	80	27	5,5335	25830,35	0,054886959
	89	2	8,5707	40007,99	0,085013041
Pilar Gomez Aparici	80	18	5,5335	27174,95	0,057692792
	80	17	2,7534	13521,92	0,028707208
Mar Gomez Aparici	89	54	5,5333	20062,93	0,054897725
BEGOAP,S.L.	89	53	6,5753	18950	0,059514806
explotaciones Garca S.L.	89	1	3,9816	19553	0,040129679
Mar Gomez Aparici	79	24	5,5136	19991,5	0,054702275
BEGOAP,S.L.	80	24	5,5335	21104,43	0,050085194
Agricola Eureka, S.L.	80	23	5,5335	27175,02	0,055770941
TOTAL			99,433	448546,414	1

Tabla 1: Volumen anual por parcela

ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	CAUDAL TOTAL
0	0,05	0,1	0,1	0,15	0,15	0,15	0,2	0,06	0,04	0	0	39418,32
0	1970,916	3941,832	3941,832	5912,748	5912,748	5912,748	7883,664	2365,0992	1576,7328	0	0	41422,144
0	2071,1072	4142,2144	4142,2144	6213,3216	6213,3216	6213,3216	8284,4288	2485,32864	1656,88576	0	0	51118,23
352,71558	322,04466	3481,14942	2750,15916	3215,33478	6205,74948	8945,685	10223,64	8915,01408	5162,9382	1191,05406	352,71558	51118,2
166,6005	152,1135	1644,2745	1299,001	1518,7205	2931,203	4225,375	4829	4210,888	2438,645	562,5785	166,6005	24145
0	0	0	0	5907,063	17721,189	17721,189	17721,189	0	0	0	0	59070,63
0	1291,5175	2583,035	2583,035	3874,5525	3874,5525	3874,5525	5166,07	1549,821	1033,214	0	0	25830,35
0	2000,3995	4000,799	4000,799	6001,1985	6001,1985	6001,1985	8001,598	2400,4794	1600,3196	0	0	40007,99
0	1358,7475	2717,495	2717,495	4076,2425	4076,2425	4076,2425	5434,99	1630,497	1086,998	0	0	27174,95
0	676,096	1352,192	1352,192	2028,288	2028,288	2028,288	2704,384	811,3152	540,8768	0	0	13521,92
0	1003,1465	2006,293	2006,293	3009,4395	3009,4395	3009,4395	4012,586	1203,7758	802,5172	0	0	20062,93
0	947,5	1895	1895	2842,5	2842,5	2842,5	3790	1137	758	0	0	18950
134,9157	123,1839	1331,5593	1051,9514	1229,8837	2373,7342	3421,775	3910,6	3410,0432	1974,853	455,5849	134,9157	19553
0	999,575	1999,15	1999,15	2998,725	2998,725	2998,725	3998,3	1199,49	799,66	0	0	19991,5
0	1055,2215	2110,443	2110,443	3165,6645	3165,6645	3165,6645	4220,886	1266,2658	844,1772	0	0	21104,43
0	1358,751	2717,502	2717,502	4076,253	4076,253	4076,253	5435,004	1630,5012	1087,0008	0	0	27175,02
654,23178	15330,31976	35922,93862	34567,06696	56069,93508	73430,80878	78512,9571	95616,3398	34215,51852	21362,81836	2209,21746	654,23178	448546,384

Tabla 2: Turnos de riego

3.3 Concesión:

La concesión de la que es beneficiaria actualmente la comunidad de regantes cuenta con las características:

Inscripción: Sección A, Tomo 3, Hoja 477 del Registro de Aguas (Subterráneas)
Titular: C.R. LOS CALDERONES
Acuífero: 07.22.080 Sierra Espuña
Paraje: Finca Casa Quemada T.M.: Mula
Volumen máximo anual: 448.547 m³
Clase y Afección: regadío
Superficie Regable: 91,3302 ha
Dotación: 4911 m³ /ha·año
Nº captaciones: 1 sondeo Coordenadas UTM: X;634600 Y;4201000
Caudal instantáneo: 25 l/s
Caudal medio equivalente: 14,22 l/s
Profundidad del sondeo: 414 m Diámetro: 395 mm Tubería metálica Ø 250 mm
Pot. nominal bomba: 134,226 kW motor Iveco-Aifo contador volumétrico Welter;

Esta concesión fue aprobada en 1997 con 25 años de vigencia lo cual implica que se haya tenido que tramitar su renovación para poder continuar con el aprovechamiento de aguas a partir de 2022. Esta petición de renovación ha sido aprovechada para pedir la ampliación de la superficie regable actualmente de 91,3302, ya que, tras una revisión topográfica reciente de las parcelas de cultivo, realizada en 2017 con tecnología GPS, se ha constatado una diferencia al alza, de forma que la superficie real regable autorizada por la concesión es de 99 hectáreas, que es la superficie que se está aprovechando actualmente.

La superficie regable está situada en la Unidad de Demanda Agraria (UDA), definida por el Plan Hidrológico de la Demarcación del Segura 2015-2021 como UDA-64: *regadíos mixtos subterráneos, residuales y desalinizados del Bajo Guadalentín*. Esto implica que de aprobarse la ampliación de la superficie regable a 99 hectáreas se obtendría un volumen teórico de 476098 m³/año frente a los 448.547 actuales.

Sin embargo, también se ha aprovechado para pedir el cambio de la parcela de la Unidad de Demanda Agraria UDA-64 a la UDA-44: *Cabecera del Pliego. Mixtos*, debido a la mayor proximidad geográfica que guarda con esta. Este cambio expandiría el volumen de agua anual a los 498.174 m³/año lo cual, de ser concedido, expandiría ampliamente la capacidad y flexibilidad de la producción anual de la comunidad de regantes reduciendo sus problemas de aprovechamiento actuales.

3.4 Problemas actuales:

Uno de los problemas que presenta la explotación es el elevado precio que paga por el litro de agua siendo de 0,31€/m³ lo que es ligeramente superior al precio medio de la zona que ronda los 26 céntimos por metro cúbico. Esto produce que sus precios de producción sean superiores lo que reduce su competitividad.

Además de esto la cantidad de agua demandada para el riego es de 448.546 m³ mientras que la cantidad máxima que se puede extraer debido a la concesión es de 448.547m³, esto implica que debido a que se producen pérdidas en la instalación debido mayormente a la evaporación que se produce en los embalses no es posible satisfacer la demanda de riego lo que implica una pérdida de la producción anual.

4. Propuesta:

4.1 Objetivos:

El primer objetivo principal va a consistir en reducir el coste de extracción del agua equiparándolo a los precios de mercado de su entorno reduciendo así el coste de operación de la explotación aumentando el beneficio total.

El segundo objetivo se va a centrar en la reducción de demanda de agua de riego que se queda sin cubrir para lo cual se buscará reducir la cantidad de agua evaporada en los embalses igualando de esta forma en la mayor medida posible la cantidad de agua regada con la cantidad de agua extraída consiguiendo así aumentar la producción de la finca.

4.2 Hipótesis:

El mayor coste operación de la instalación reside en pagar la factura eléctrica que supone alimentar la bomba, por ello, el primer paso va a ser estudiar en que grado se podría reducir el consumo eléctrico con la instalación de una más moderna.

Después se propondrán unos horarios de trabajo acordes con la bomba elegida que permitan satisfacer la demanda de agua intentando trabajar el mayor tiempo posible en los horarios con tarifas de luz más reducidas.

Como la demanda de agua varia notablemente entre los distintos meses del año se contemplará la opción de almacenar agua en los embalses en los meses de menos demanda para así evitar el tener que incrementar las horas de uso en los meses de verano lo que forzaría a trabajar también en los horarios con precios de electricidad más elevados.

Por último, se buscará minimizar la cantidad de agua que se pierde por evaporación debido a estar almacenada al aire libre en los embalses lo que implica almacenar la menor cantidad de agua necesaria. Con esto se reduciría la demanda de agua y su respectivo coste energético además de reducir la posibilidad de que la cantidad de agua demandada sea mayor que la cantidad máxima de extracción anual marcada por la concesión administrativa de aguas subterráneas de la Confederación Hidrográfica del Segura lo que ocasionaría que no se pudieran satisfacer completamente las necesidades de riego con su consecuente pérdida de producción.

Debido a que no es posible cumplir todos estos objetivos al mismo tiempo ya que muchos entran en conflicto con otros se deberá buscar la opción que mejor los combine para obtener el menor coste anual posible. Para ello se modelarán en un sistema de optimización lineal utilizando en programa GAMS que se puede encontrar en el *anexo1 código modelo GAMS*.

4.3 Datos:

Para la selección de las bombas se han buscado bombas sumergibles de tipo lápiz ya que son las mejores para este tipo de trabajo. Se han seleccionado 36 posibles candidatas que son capaces de proporcionar una altura de impulsión de 245m y se han obtenido sus condiciones de funcionamiento de sus curvas de funcionamiento que se encuentran en la página del fabricante de donde se obtiene su caudal y rendimiento en dicho punto, así como su potencia máxima, estos datos están reflejados en la *tabla 3*.

Los modelos marcados con un (2) corresponden con modelos en los que el punto con mayor caudal no correspondía con el de mayor rendimiento posible para la altura dada por lo que para estos modelos se han tomado dos puntos: el de máximo caudal y el de máximo rendimiento que es el que se indica con un (2).

Modelo		Max Potencia (Cv)	Caudal (GPM)	Rendimiento
230S	500-14	50	108	56
	500-15	50	152	66
	500-16	50	180	71
	600-17	60	210	75
	600-18	60	227	76
	600-19	60	240	77
	750-20 (2)	75	245	77
	750-20	75	255	76,5
	750-22 (2)	75	245	77
	750-22	75	278	74
300S	500-13	50	104	46
	600-14	60	150	57
	600-15	60	180	63
	750-16	75	214	69
	750-17	75	240	73
	750-18	75	263	76
385S	750-9	75	130	48
	750-10	75	220	64
	1000-11	100	300	73
	1000-12	100	350	76
	1000-13	100	390	77
475S	1000-9	100	190	54
	1000-10	100	275	66
	1000-11	100	358	74
	1000-12	100	430	77
	1250-13 (2)	125	450	78
	1250-13	125	480	77

625S	1250-6	125	225	57
	1250-7AA	125	340	68
	1500-7A	150	420	73
	1500-7	150	480	76
1100S	1750-5A	175	440	56
	2000-5	200	550	64
	2500-6AA	250	760	75
	2500-6A	250	840	79
	2500-6	250	920	81

Tabla 3: Datos bombas

Para el precio de las tarifas eléctricas se han tomado los de Iberdrola que es la compañía contratada actualmente que tiene coste de euro por kWh de 0.145314 €/kWh en punta, 0.122516 €/kWh en llano y 0.101251 €/kWh en valle según las tarifas de facturación de Iberdrola que es la empresa contratada actualmente. Estos precios se distribuyen como se expone en la *tabla 4*. A todo esto, hay que añadirle los impuestos que se aplican que son, el impuesto de electricidad que es de un 4.864% y el iva que es del 21%.

Nótese que los horarios cambian entre las estaciones de primavera y verano frente a otoño e invierno, sin embargo, los cambios solo afectan a la distribución de las tarifas sin alterar el número total de horas correspondiente a cada una por lo que el gasto eléctrico no se ve afectado.

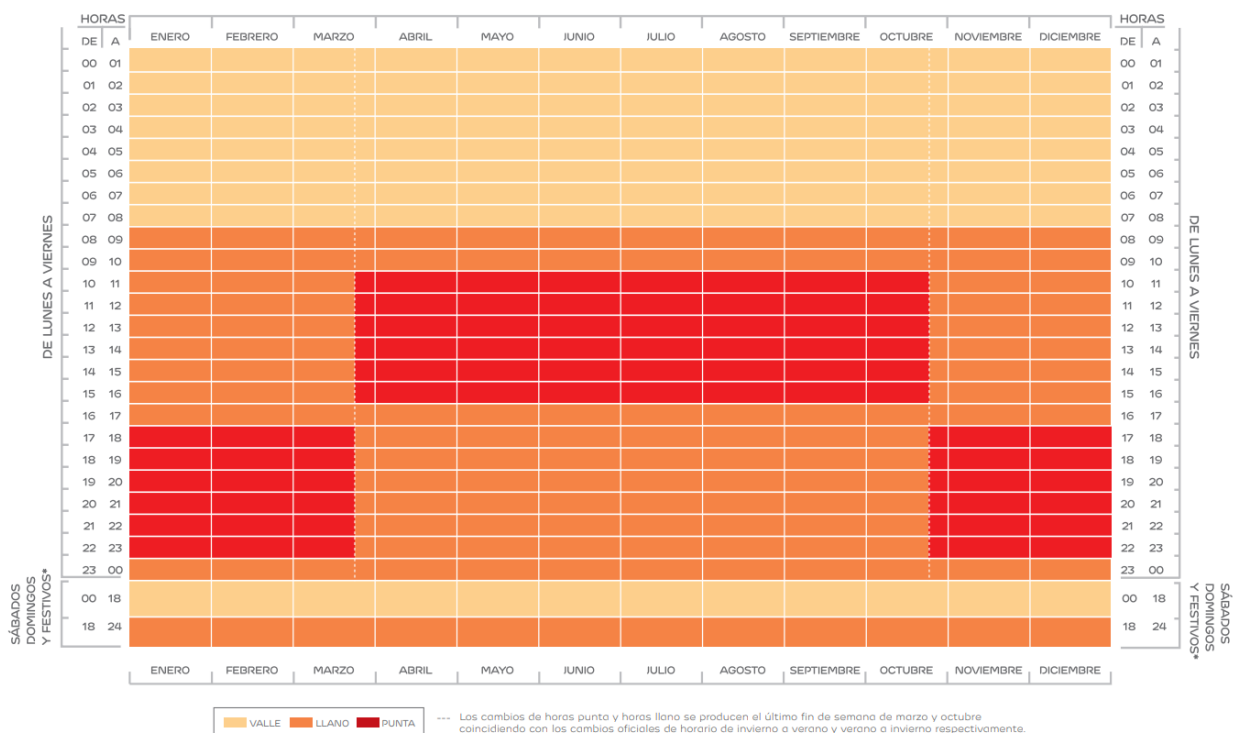


Tabla 4: distribución anual de periodos de facturación

Los datos con las dimensiones de los dos embalses se han obtenido del informe de “bpm Ingeniería” los datos para los cálculos de evaporación del agua como el coeficiente de tanque y el cálculo de la evapotranspiración anual, así como el agua correspondiente a la concesión se han tomado de la “Justificación del embalse a realizar” de “OTK soluciones”.

Para el cálculo de la producción anual se utilizan los datos de “Resultados técnico-económicos Frutales Andalucía, Aragón, Castilla-La Mancha, Extremadura, Murcia y Comunidad Valenciana”. De aquí se han obtenido la producción media de los distintos tipos de cultivos en €/hectárea y sabiendo la extensión de cada cultivo en la finca como se puede ver en la figura 4, se puede calcular cual sería la producción anual si se cumplieran con toda la demanda de riego.

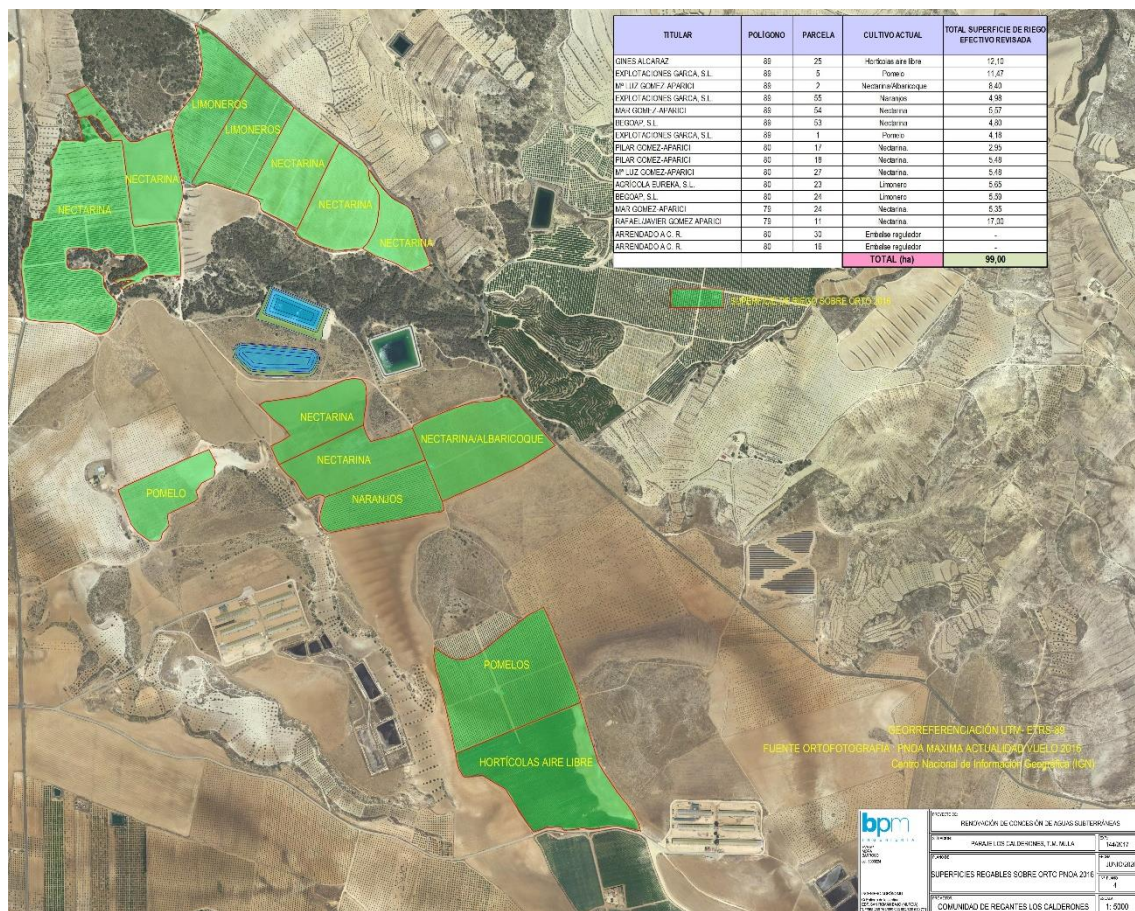


Figura 4: Distribución de los tipos de cultivos en las parcelas

Para el cálculo de la cantidad de agua perdida por evaporación de forma mensual se utilizará la fórmula: $Ev = S * Kp * Ep / 12$

Donde Ev es la evaporación anual, S es la superficie expuesta al aire de las balsas de riego, Kp que es el coeficiente de tanque y Ep que es la evapotranspiración anual del área de estudio, por ello se dividirá entre 12 para hallar la evapotranspiración mensual.

Debido a que el embalse no es cilíndrico, sino que presenta una forma de tronco de pirámide invertido, a medida que aumenta el volumen almacenado y con ello la altura, aumenta también el área del agua expuesta.

$$- V = \frac{h}{3} * (Abs + Abi + \sqrt{Abs * Abi})$$

Donde V es el Volumen de agua almacenada en el embalse, h es la altura del nivel del agua en el tanque, Abs es la superficie de agua en la parte superior del embalse y Abi siendo el área de la base del embalse.

Como la pendiente del embalse es lineal el incremento de su apotema también lo será por ello se puede decir que la raíz del área aumenta de forma lineal con la altura obteniendo la siguiente expresión:

$$- \sqrt{Abs} = \sqrt{Abi} + h * m$$

Donde m es la pendiente que tiene la pared del embalse que se halla al conocer la altura máxima del embalse y su superficie en ese punto.

Con estas ecuaciones y sabiendo que m y Abi se mantienen siempre constantes se puede obtener la expresión de la superficie superior en función del volumen almacenado siendo:

$$- V = \frac{(\sqrt{Abs} - \sqrt{Abi})}{3 * m} * (Abs + Abi + \sqrt{Abs * Abi})$$

El problema con esta expresión es que claramente no es lineal lo cual imposibilitaría utilizarla en un modelo de optimización lineal como MIP, por ello se va a aproximar esta función con una función lineal, haciendo esto se obtiene la siguiente expresión:

$$- Abs = (Abs_{max} - Abi) * \frac{V}{V_{max}} + Abi$$

Con esta aproximación se obtiene un error máximo del 5,28% cuando el embalse se encuentra a un volumen de 35000m³ (ver figura 4), mientras que cuanto más próximo a el punto de vaciado o al de llenado (74651,96m³) más precisa es la aproximación.

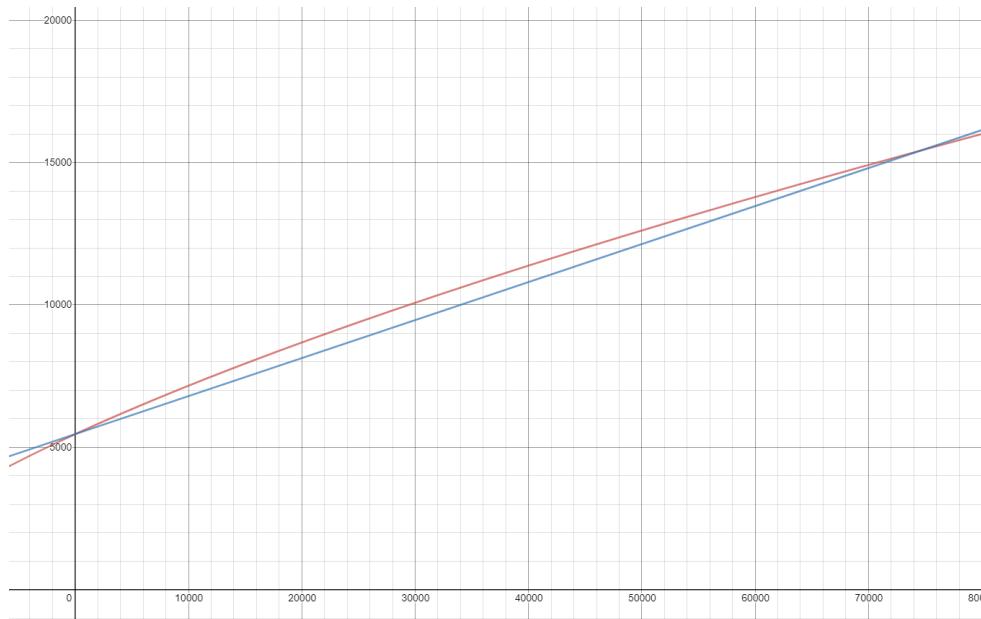


Figura 5: Representación del área real con la aproximación lineal

5. Modelo desarrollado:

Todos los cálculos se han realizado a través del modelo de optimización lineal en GAMS anteriormente mencionado en el que se intentan balancear los distintos objetivos de reducción de coste para obtener el sistema con el menor coste de operación posible. Para ello se han utilizado los datos mencionados anteriormente, así como los de las partes de la instalación actual que se piensan mantener junto con las necesidades de riego actuales y los datos referentes a la concesión tanto la actual como la revisión solicitada.

Como se tienen 3 escenarios posibles en el corto plazo dependiendo cual sea la resolución de la petición de renovación de la concesión de agua, se han realizado 3 modelos distintos obteniendo la mejor configuración para cada uno de ellos pudiendo así elegir una vez se haya resuelto la que corresponda. Todo el código está contenido en el anexo 1.

Explicación del modelo GAMS:

5.1 Sets:

Se han definido dos sets, el set i que identifica a cada bomba y que tiene un tamaño de 37 que corresponde a las 36 bombas candidatas más la bomba actualmente instalada, y el set j que indica el mes con un tamaño de 12.

5.1.1 Parámetros:

Dentro de los parámetros se encuentran: los escalares que son datos puntuales, los que dependen del set i que se corresponden con los datos de cada bomba como en caudal y el rendimiento y los que dependen del set j que se refieren a datos que varían con el mes como la demanda de agua.

5.1.2 Escalares:

- hps: Las horas punta que hay en cada semana.
- hls: Las horas llano a la semana.
- hvs: Las horas valle a la semana.
- CA: Concesión de agua actual en m^3 .
- CB: Posible concesión de agua en el futuro en m^3 .
- CC: Posible concesión de agua en m^3 .
- A: Altura del pozo en pies.
- pp: Precio electricidad punta en €/kWh.
- pl: Precio electricidad llano en €/kWh.
- pv: Precio electricidad valle en €/kWh.
- ie: Impuesto electricidad.
- iva: el iva en España.
- T: Horas esperadas de funcionamiento de una bomba.
- Ppcv: Precio aproximado por caballo de vapor.
- Vmax1: Volumen máximo que se puede almacenar en el primer embalse en m^3 .
- Vmax2: Volumen máximo que se puede almacenar en el segundo embalse en m^3 .
- Abp1: Área de la base del primer embalse en m^2 .
- Abp2: Área de la base del segundo embalse en m^2 .
- Abg1: Área superior del primer embalse en m^2 .
- Abg2: Área superior del segundo embalse en m^2 .

- Kp: El coeficiente de tanque.
- Ep: La evapotranspiración anual.
- Pro: Producción anual total en euros.

5.1.3 Parámetros dependientes:

- Q(i): El caudal en GPM (galones por minuto) que ofrece cada bomba con una altura de impulsión de 245 metros.
- R(i): El rendimiento que ofrece cada bomba a las condiciones de altura y caudal anteriores.
- Cv(i): La potencia máxima de cada bomba en caballos de vapor.
- W(i): La potencia en julios que consume cada bomba con las condiciones anteriores calculada como $Q(i)*A*100/(R(i)*3960)$ lo cual nos da la potencia en cv (caballos de vapor) por lo que posteriormente se multiplica por 745.7/1000 para obtenerla en kW.
- Rieg(j): El riego total en m³ que necesita el total de la comunidad cada mes.
- d(j): Los días que tiene cada mes.
- hp(j): las horas punta que tiene el mes j calculado como las horas punta que tiene una semana multiplicado por el número de semanas que tendría cada mes $hp(j) = hps*d(j)/7$.
- hl(j): las horas llano que tiene el mes j calculado como las horas punta que tiene una semana multiplicado por el número de semanas que tendría cada mes $hl(j) = hls*d(j)/7$.
- hv(j): las horas valle que tiene el mes j calculado como las horas punta que tiene una semana multiplicado por el número de semanas que tendría cada mes $hv(j) = hvs*d(j)/7$.
- Pr(i): El precio de cada bomba hallado como $Ppcv*Cv$.

5.2 Variables:

Se han utilizado 4 tipos de variables, las positivas que tienen que ser mayores que 0, las binarias que solo pueden tener un valor de 0 o 1, las enteras que no pueden contener decimales las cuales se utilizarán para contabilizar las horas activas y las que no tienen restricción que pueden tomar cualquier valor.

5.2.1 Variables positivas:

- S1(j): Superficie en m² de evaporación del primer embalse en el mes j.
- S2(j): Superficie en m² de evaporación del segundo embalse en el mes j.
- V1(j): Volumen en m³ almacenado en el primer embalse al terminar el mes j.
- V2(j): Volumen en m³ almacenado en el segundo embalse al terminar el mes j.
- Vext1(j): Volumen en m³ de agua extraída hacia embalse 1 en mes j.

- Vext2(j): Volumen en m^3 de agua extraída hacia embalse 2 en mes j.
- Vreg1(j): Volumen en m^3 de agua regado desde el embalse 1 en mes j.
- Vreg2(j): Volumen en m^3 de agua regado desde el embalse 2 en mes j.
- Ev1(j): Volumen en m^3 evaporado en embalse 1 en mes j.
- Ev2(j): Volumen en m^3 evaporado en embalse 2 en mes j.
- Pen(j): Cantidad de producción perdida en el mes j debido a insuficiencia de agua para regar en el mes j calculada en euros.
- H(i,j): Horas de funcionamiento de la bomba seleccionada en cada mes.
- Amr(i) : Amortización anual de cada bomba.

5.2.2 Variables enteras:

- p(i,j): Horas trabajando en punta de la bomba seleccionada en cada mes.
- l(i,j): Horas trabajando en llano de la bomba seleccionada en cada mes.
- v(i,j): Horas trabajando en valle de la bomba seleccionada en cada mes.

5.2.3 Variables binarias:

- X(i): Indica si la bomba i ha sido seleccionada (valor de 1) o si no (valor de 0).
- Delta1(j): variable auxiliar utilizada para modelar correctamente las restricciones.
- Delta2(j): variable auxiliar utilizada para modelar correctamente las restricciones.

5.2.4 Variables sin restricciones:

- Text: volumen total de agua extraído al año con la bomba y los patrones de extracción y llenado de los embalses seleccionados medido en m^3 .
- VFO1 y VFO2: valor de las funciones objetivo que representan el coste en euros de funcionamiento anual de la instalación y es la variable que se busca minimizar.
- CE: Coste eléctrico de la instalación en un año.
- CO: Coste debido a la producción perdida por falta de riego.
- Med1(j): Media de volumen de agua que hay almacenada en el primer embalse durante el mes j.
- Med2(j): Media de volumen de agua que hay almacenada en el segundo embalse durante el mes j.

5.3 Restricciones:

- OF1: $VFO1 \geq CE + CO$;
OF2: $VFO2 \geq CE + CO + \text{SUM}(I, \text{Amr}(i))$;
Estas restricciones dan valor a las funciones objetivo asignándoles el valor de la suma del coste de electricidad más el coste de oportunidad además del coste de amortización en el segundo caso.
- SOLO_UNA_BOMBA: $\text{SUM}(i, X(i)) \leq 1$;
Esta restricción impone que solo se pueda elegir una bomba.
- HORAS_MES(i,j): $H(i,j) = p(i,j) + l(i,j) + v(i,j)$;
Esta restricción sirve para dar valor a la variable H que es la que contabiliza las horas totales trabajadas al mes sin importar en que tarifa, esto es necesario para hallar la cantidad de agua que extrae la bomba.
- MAX_HORAS_P(i,j): $p(i,j) \leq hp(j) * X(i)$;
MAX_HORAS_L(i,j): $l(i,j) \leq hl(j) * X(i)$;
MAX_HORAS_V(i,j): $v(i,j) \leq hv(j) * X(i)$;
Estas tres restricciones imponen que las horas trabajadas en cada tarifa no pueden ser mayores que las horas que hay disponibles de cada tipo al mes.
- MAX_VOL_DEP1(j): $V1(j) \leq V_{\max 1}$;
MAX_VOL_DEP2(j): $V2(j) \leq V_{\max 2}$;
Estas dos restricciones impiden que se almacene más agua en los embalses de la que estos pueden albergar.
- MEDIA_VOLUMEN1(j): $\text{Med1}(j) \geq (V1(j) + V1(j-1)) / 2$;
MEDIA_VOLUMEN2(j): $\text{Med2}(j) \geq (V2(j-1) + V2(j)) / 2$;
Estas restricciones se utilizan para calcular la media de agua que ha tenido cada embalse a lo largo de un mes como la media de volumen de agua al final del mes anterior y el volumen al final de este.
- FUNCION_DELTA1(j) $\text{Med1}(j) \leq V_{\max 1} * \text{Delta1}(j)$;
FUNCION_DELTA2(j) $\text{Med1}(j) \leq V_{\max 2} * \text{Delta1}(j)$;
Esto se utiliza para que el valor de Delta solo pueda ser 0 cuando la media de agua almacenada en el embalse haya sido de 0 a lo largo de un mes siendo obligatoriamente 1 en el resto de las circunstancias.
- SUP_DEP1(j): $S1(j) \geq (\text{Abg1} - \text{Abp1}) * \text{Med1}(j) / V_{\max 1} + \text{Abp1} * \text{Delta1}(j)$;
SUP_DEP2(j): $S2(j) \geq (\text{Abg2} - \text{Abp2}) * \text{Med2}(j) / V_{\max 2} + \text{Abp2} * \text{Delta1}(j)$;
Estas restricciones calculan la superficie que evaporación media que han tenido los embalses a lo largo del mes a través de la función linealizada explicada anteriormente.
- EVAPORACION_DEP1(j): $\text{Ev1}(j) \geq S1(j) * Kp * Ep / 12$;
EVAPORACION_DEP2(j): $\text{Ev2}(j) \geq S2(j) * Kp * Ep / 12$;

Esta restricción calcula el agua que se evapora al mes como producto de la superficie expuesta de cada embalse por el coeficiente de tanque y la evapotranspiración anual dividido entre 12.

- VOLUMEN_DEP1(j): $V1(j) = V1(j-1) + Vext1(j) - Vreg1(j) - Ev1(j)$;
 VOLUMEN_DEP1(j): $V1(j) = V1(j-1) + Vext1(j) - Vreg1(j) - Ev1(j)$;
 Esto calcula el volumen almacenado en el tanque al finalizar el mes como la suma del volumen almacenado el mes anterior más el agua extraída destinada a ese embalse menos el agua regada desde ese embalse menos el agua evaporada en ese mes.
- PENALIZACION(j): $Pen(j) \geq Rieg(j) - Vreg1(j) - Vreg2(j)$;
 Esta restricción calcula cuanto volumen de agua se ha quedado sin regar en un determinado mes.
- COSTE_OPORTUNIDAD: $CO = Pro * SUM(j, Pen(j)) / SUM(j, Rieg(j))$;
 Esto se utiliza para dar valor a la variable CO que se corresponde con la cantidad de producción perdida por falta de riego se calcula como la producción anual esperada multiplicada por el cociente entre el agua que no se ha regado y el agua total demandada.
- VOLUMEN_EXT(j): $Vext1(j) + Vext2(j) \leq SUM(i, Q(i) * 0.227125 * H(i, j))$;
 Esto da valor al volumen de agua extraído en cada mes como el caudal de cada bomba convertido en m³/h multiplicado por el número de horas que ha trabajado esa bomba a lo largo del mes.
- VOL_EXTRAIDO: $SUM(j, Vext1(j) + Vext2(j)) = Text$;
 Esta restricción da valor a la variable Text que es el volumen total de agua extraído a lo largo del año.
- CONCESIONA: $Text \leq CA$;
 Esto impone que el agua total extraída al año sea menor que la capacidad máxima impuesta por la concesión en el caso A.
- CONCESIONA: $Text \leq CB$;
 Esto impone que el agua total extraída al año sea menor que la capacidad máxima impuesta por la concesión en el caso B.
- CONCESIONA: $Text \leq CC$;
 Esto impone que el agua total extraída al año sea menor que la capacidad máxima impuesta por la concesión en el caso C.
- VOL_MIN(j): $V1(j) + V2(j) \geq (Vmax1 + Vmax2) * 5 / 100$;
 Esta restricción obliga a que siempre haya almacenado al menos un 5% de la capacidad total de almacenamiento para asegurar el suministro en horas en las que la bomba esta inactiva así como seguridad en caso de que ocurra un imprevisto que deshabilite la bomba durante un tiempo.

- **COSTE_ELECTRICO:** $CE = \sum((i,j), (p(i,j)*pp + l(i,j)*pl + v(i,j)*pv) * W(i)) * iva * ie;$
Esto calcula el coste eléctrico total anual multiplicando el consumo por hora de la bomba por el número de horas que ha estado funcionando multiplicadas por sus respectivas tarifas.
- **AMORTIZACION(i):** $Amr(i) = Pr(i) * \sum(j, H(i,j)) / T; +$
Esto calcula cuanto sería el coste de amortización anual de cada bomba.

5.4 Modelos:

- **MODEL TFG1A**
Este modelo minimiza la variable VFO1 utilizando los datos de la concesión A, lo que implica que nos dará los resultados para el primer escenario.
- **MODEL TFG1B**
Este modelo minimiza la variable VFO1 utilizando los datos de la concesión B, lo que implica que nos dará los resultados para el segundo escenario.
- **MODEL TFG1C**
Este modelo minimiza la variable VFO1 utilizando los datos de la concesión C, lo que implica que nos dará los resultados para el tercer escenario.
- **MODEL TFG2A**
Este modelo minimiza la variable VFO2 utilizando los datos de la concesión A, lo que implica que nos dará los resultados para el primer escenario.
- **MODEL TFG2B**
Este modelo minimiza la variable VFO2 utilizando los datos de la concesión B, lo que implica que nos dará los resultados para el segundo escenario.
- **MODEL TFG2C**
Este modelo minimiza la variable VFO2 utilizando los datos de la concesión C, lo que implica que nos dará los resultados para el tercer escenario.

6. Análisis de resultados:

Se han obtenido 3 resultados en función de si se concede la ampliación de superficie regable solicitada en la revisión de la concesión y de si se logra también el cambio de dotación de la UDA-64 a la UDA-44.

Debido a que los dos últimos escenarios dan lugar al mismo resultado ya que en ningún caso se llega a sobrepasar el volumen máximo del segundo caso se van a comentar sus resultados como si fueran uno solo ya que la solución propuesta y los costes son los mismos.

6.1 Primer escenario:

En el caso de que no se conceda la ampliación de la superficie regable y se mantenga un volumen máximo de 448.547 m³/año el menor coste posible se obtendría utilizando la bomba 36 que se corresponde con el modelo Grundfos SP 1100S 2500-6A que trabajaría 2147 horas al año distribuidas según se ve en la *tabla 5*, lo que da lugar un gasto anual de 48.922,14€ en coste de electricidad.

	Horas valle	Horas llano	Horas punta	Horas totales	Volumen almacenado en embalse 1	Volumen almacenado en embalse 2	Volumen evaporado en embalse 1	Volumen evaporado en embalse 2
Enero	5	0	0	5	0	7525,4	0	491,3827
Febrero	76	0	0	76	0	7581,8	0	491,6689
Marzo	174	0	0	174	0	7525,4	0	491,6689
Abril	168	0	0	168	0	7525,4	0	491,3827
Mayo	271	0	0	271	0	7590,597	0	491,7135
Junio	325	29	0	354	0	7637,584	0	492,2829
Julio	336	14	0	350	0	7525,4055	0	491,952
Agosto	336	124	0	460	0	7536,96	0	491,4413
Septiembre	166	0	0	166	0	7525,4	0	491,4413
Octubre	105	0	0	105	0	7580	0	491,6598
Noviembre	13	0	0	13	0	7595,2	0	492,0114
Diciembre	5	0	0	5	0	7525,4	0	491,7369
Total	1980	167	0	2147			0	5900,3423

Tabla 5: Propuesta de trabajo para el escenario 1 con bomba nueva

Con el horario de extracción anterior se obtiene el volumen que queda almacenado en los embalses al final de cada mes (*ver tabla 5*). Con esto se obtiene el volumen perdido por evaporación al mes que resulta en una pérdida de 5.900,345 m³ al año, que al no poder ser utilizados para regar ya que se extraen los 448.547 máximos producen que se tenga una pérdida por coste de oportunidad de 14.139,15€ siendo el coste total anual de 63.061,29€.

Si se decidiera no cambiar la bomba los horarios más eficientes serían los siguientes (ver *tabla 6*), con un coste de anual de 52.566,76€. Con este horario y los volúmenes almacenados que produce se estarían perdiendo 5.926,276 m³ por evaporación con un coste de 14.201,3€ lo que produce un coste anual total de 66.768,06€.

	Horas valle	Horas llano	Horas punta	Horas totales	Volumen almacenado en embalse 1	Volumen almacenado en embalse 2	Volumen evaporado en embalse 1	Volumen evaporado en embalse 2
Enero	8	0	0	8	0	7600,5015	0	492,1162
Febrero	110	0	0	110	0	7617,6669	0	492,2321
Marzo	253	0	0	253	0	7633,6707	0	492,4005
Abril	243	0	0	243	0	7565,7655	0	492,137
Mayo	336	57	0	393	0	7594,8447	0	491,94
Junio	325	188	0	513	0	7542,8105	0	491,8234
Julio	336	229	0	565	0	9884,8104	0	503,4464
Agosto	336	274	0	610	0	7525,4055	0	503,358
Septiembre	241	0	0	241	0	7525,4055	0	491,3827
Octubre	152	0	0	152	0	7554,2248	0	491,5289
Noviembre	19	0	0	19	0	7589,1202	0	491,8523
Diciembre	8	0	0	8	0	7594,8398	0	492,0585
Total	2367	748	0	3115			0	5926,276

Tabla 6: Propuesta de trabajo para el escenario 1 sin cambio de bomba

6.2 Segundo escenario:

Tanto en el caso de que solo se conceda la ampliación de la superficie regable (476.098 m³/año) como en el caso en el que además se obtenga el cambio de dotación (498.174 m³/año) el menor coste posible se obtendría utilizando también la bomba 36 correspondiente con el modelo Grundfos SP 1100S 2500-6A que pasaría a trabajar 2181 horas al año esta vez todas en horario valle distribuidas según se ve en la *tabla 7*, lo que da lugar un gasto anual de 48.898,07€ en coste de electricidad que es ligeramente inferior al del caso anterior a pesar de trabajar durante mas horas ya que esta vez se trabaja en la tarifa más barata posible.

Con el horario de extracción anterior se obtiene el volumen que queda almacenado en los embalses al final de cada mes (ver *tabla 7*). Con esto se obtiene el volumen perdido por evaporación al mes que resulta en una pérdida de 7.234,4085 m³ al año lo que produce que el volumen total extraído sea de 455.730,855m³ anuales, que en este caso al no superarse en el límite de extracción no produciría ninguna pérdida de producción.

	Horas valle	Horas llano	Horas punta	Horas totales	Volumen almacenado en embalse 1	Volumen almacenado en embalse 2	Volumen evaporado en embalse 1	Volumen evaporado en embalse 2
Enero	5	0	0	5	0	7525,4055	0	491,6431
Febrero	76	0	0	76	0	7584,0054	0	491,6801
Marzo	174	0	0	174	0	7527,5843	0	491,6911
Abril	304	0	0	304	0	35847,6582	0	635,1461
Mayo	336	0	0	336	0	49140,2829	0	846,3553
Junio	325	0	0	325	0	42738,5273	0	881,3306
Julio	336	0	0	336	0	33631,7915	0	802,6158
Agosto	336	0	0	336	0	7600,1042	0	624,2673
Septiembre	166	0	0	166	0	7579,0999	0	492,0343
Octubre	105	0	0	105	0	7664,2151	0	492,3597
Noviembre	13	0	0	13	0	7678,5656	0	492,8646
Diciembre	5	0	0	5	0	7576,7201	0	492,4205
Total	2181	0	0	2181			0	7234,4085

Tabla 7: Propuesta de trabajo para los escenarios 2 y 3 con bomba nueva

Si se decidiera no cambiar la bomba los horarios más eficientes serían los siguientes (ver *tabla 8*), con un coste de anual de 51.697,68€. Con este horario y los volúmenes almacenados que produce se estarían perdiendo 15.411,9851m³ por evaporación con un volumen total extraído de 455.730,855m³. Como se puede ver el volumen extraído menos el volumen evaporado da 440.318,87m³ que es menor que la cantidad de agua demandada por los cultivos, esto se debe a que en estas condiciones para extraer agua se tendría que trabajar en una tarifa muy elevada lo que produce que no le sea rentable y que sea preferible regar menos con su consecuente pérdida de producción de 1.425,02€ poniendo el coste total anual en 53122,7€.

	Horas valle	Horas llano	Horas punta	Horas totales	Volumen en embalse 1	Volumen en embalse 2	Volumen evaporado en emb 1	Volumen evaporado en emb 2
Enero	336	0	0	336	2785,2178	74651,96	435,43	951,722
Febrero	304	0	0	304	29472,0735	74651,96	585,2109	1172,7973
Marzo	336	0	0	336	39985,1861	74651,96	774,2661	1172,7973
Abril	325	0	0	325	50164,9648	74651,96	879,4302	1172,7973
Mayo	336	0	0	336	40423,6849	74651,96	881,6587	1172,7973
Junio	325	0	0	325	11931,8409	74651,96	687,3528	1172,7973
Julio	336	0	0	336	0	54899,4213	481,9143	1172,7973
Agosto	336	0	0	336	0	7525,4055	0	731,8341
Septiembre	241	0	0	241	0	7525,4055	0	491,5513
Octubre	152	0	0	152	0	7558,6362	0	491,3827
Noviembre	19	0	0	19	0	7593,487	0	491,5513
Diciembre	172	0	0	172	0	31095,4538	0	491,8969
Total	3218	0	0	3218			4725,263	10686,7221

Tabla 8: Propuesta de trabajo para los escenarios 2 y 3 sin cambio de bomba

Se han introducido los parámetros de cada una de las 4 propuestas (tanto en las que se decide cambiar la bomba como en las que no), en un programa de simulación y análisis de sistemas de distribución de fluidos (Epanet) para comprobar que las propuestas son viables con las cotas en las condiciones de distribución en las que tendrían que trabajar atendiendo a las diferentes cotas de los nudos de distribución como la longitud de las líneas y sus pérdidas de carga. Para ello se ha utilizado la distribución mostrada en la figura 3 introduciendo los parámetros pertinentes en cada caso.

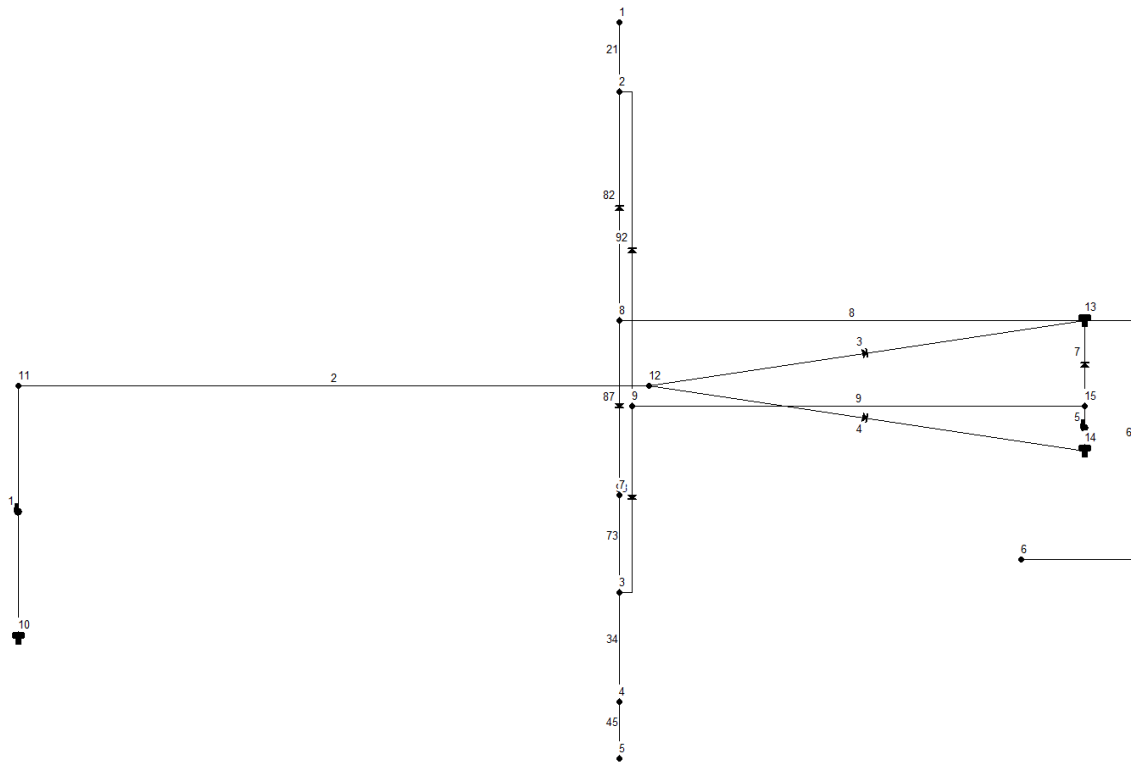


Figura 4: Plano esquemático de la red de distribución

Tras ejecutar la simulación se han obtenido que los 4 casos se han ejecutado con éxito indicando que se podrían implantar sin problemas y que representan en cada caso la mejor solución posible para minimizar los costes anuales de esta explotación.

7. Estudio económico:

7.1 Presupuesto:

Para ejecutar este proyecto los costes principales que habrá que invertir vendrán del precio de la nueva bomba y de la mano de obra necesaria para retirar la ya existente e instalar la nueva. El modelo de bomba seleccionado Grundfos SP 1100S 2500-6A tiene un coste de 22.500€ según las especificaciones obtenidas del fabricante. Para la mano de obra se ha estimado que se necesitara contratar a dos operarios que deberán trabajar durante un tiempo estimado de 40 horas para retirar la antigua e instalar el modelo nuevo, el precio de la mano de obra para ese tipo de trabajos en esa zona se estima que será de 48€ la hora por lo que el precio de la mano de obra ascenderá a 3.840€, obteniendo así una inversión total necesaria de 26.340€.

Aunque siguiendo las especificaciones del fabricante y el régimen de trabajo propuesto para la bomba seleccionada se obtendría una vida útil de 92 años lo cual no es un periodo razonable para esperar que se mantenga la instalación ese tiempo, por ello se estima que este proyecto presenta una vida de 25 años que es el tiempo razonable en el que se espera que las nuevas tecnologías vuelvan a hacer viable plantear cambiar la instalación de bombeo. Además de que 25 años es el periodo de vigencia de la concesión de aguas lo cual lo convierte en un periodo idóneo para estudiar actualizaciones en función de los cambios que se esperan que se produzcan en esta.

7.2 Cálculo económico:

Costes directos:

Costes de emplazamiento: precio de la bomba + mano de obra

$$CE = 22.500 + 2 \cdot 40 \cdot 48 = 26.340€$$

Costes de no emplazamiento: en este proyecto no se prevé tener ningún coste de este tipo ya que no se requiere adquirir terrenos, ni obra civil de ningún tipo.

$$\text{Costes directos} = CE + CNE; CD = 26.340€$$

$$\text{Costes indirectos: } CI = 0,25 \cdot CD = 6585€$$

$$\text{Inversión total: } INV = CE + CI = 32.925€$$

Inversión total: En este caso, al no tener coste de puesta en marcha ni intangibles ya que no se tienen gastos de licencias ni I + D, la inversión total se corresponderá con la inversión.

$$INV_t = INV = 32.925€$$

Para el cálculo del W ACC se prevé que toda la inversión sea cubierta con deuda a través de un préstamo con un tipo de interés de 2,81% a 25 años.

Para el cálculo de los ingresos y los pagos se debe diferenciar entre los dos casos posibles en función de la resolución de la petición de renovación de la concesión.

7.2.1 Primer escenario:

Los ingresos se calcularán como la diferencia de producción a causa de la diferencia de cantidad de agua disponible debido a la mejor eficiencia en el manejo de agua que se obtiene con la bomba nueva, aunque en este primer caso no es apenas significativo.

$$V = 14.201,3 - 14.139,15 = 62,15\text{€/año}$$

Para evaluar los gastos anuales se utiliza la diferencia entre los gastos con la nueva y los que se realizarían con la bomba actual, obteniendo de esta forma unos pagos anuales negativos ya que la principal ventaja del cambio de bomba es el ahorro energético.

$$F = 48.922,14 - 52.566,76 = -3.644,62\text{€/año}$$

No se tendrán en cuenta los gastos de mantenimiento ya que serán los mismos tanto para la bomba actual como para la nueva.

$$\text{Obteniendo así un margen bruto de: } MB = V - F = 3.706,77\text{€/año}$$

$$\text{Y un margen bruto de: } MN = MB - INV_t/N = 2.389,77\text{€/año}$$

Como la tasa de proyección y descuento se estiman iguales se utilizarán los valores simplificados:

$$Van = MB \cdot N - INV_t = 59.744,25\text{€}$$

$$PR = INV_t/MB = 8,8824 \text{ años.}$$

Para hallar el TIR se utilizará la siguiente ecuación utilizando un cálculo iterativo:

$$\frac{TIR}{1 - \frac{1}{(1 + TIR)^N}} = \frac{MB}{INV}$$

$$\text{De donde se obtiene: } TIR = 10,284\%$$

Como el VAN es mayor que 0, el PR es menor que la vida esperada del proyecto y el TIR es mayor que el WACC se puede decir que el proyecto es viable económicamente.

7.2.2 Segundo escenario:

Los ingresos se calcularán como la diferencia de producción a causa de la diferencia de cantidad de agua disponible debido a la mejor eficiencia en el manejo de agua que se obtiene con la bomba nueva, como con la nueva bomba no se deja de producir nada se tendrán como beneficios la parte que se deja sin producir de no cambiar la bomba.

$$V = 1.425,02 - 0 = 1.425,02\text{€/año}$$

Para evaluar los gastos anuales se utiliza la diferencia entre los gastos con el modelo nuevo y los que se realizarían con la bomba actual, obteniendo de esta forma unos pagos anuales negativos ya que la principal ventaja del cambio de bomba es el ahorro energético.

$$F = 48.898,07 - 51.697,68 = -2.799,61\text{€/año}$$

No se tendrán en cuenta los gastos de mantenimiento ya que serán los mismos tanto para la bomba actual como para la nueva.

$$\text{Obteniendo así un margen bruto de: } MB = V - F = 4.224,63\text{€/año}$$

$$\text{Y un margen bruto de: } MN = MB - INV_t/N = 2.907,63\text{€/año}$$

Como la tasa de proyección y descuento se estiman iguales se utilizarán los valores simplificados:

$$V_{an} = MB \cdot N - INV_t = 72.690,75\text{€}$$

$$PR = INV_t/MB = 7,79 \text{ años.}$$

Para hallar el TIR se utilizará la siguiente ecuación utilizando un cálculo iterativo:

$$\frac{\frac{TIR}{1 - \frac{1}{(1 + TIR)^N}}}{1} = \frac{MB}{INV}$$

$$TIR = 12,09\%$$

Como el VAN es mayor que 0, el PR es menor que la vida esperada del proyecto y el TIR es mayor que el W ACC se puede decir que el proyecto es viable económicamente, además de que en este escenario es más viable en todos los aspectos que en el anterior.

8. Bibliografía y fuentes:

Fuentes:

- Comunidad de regantes “Los Calderones”.
- Bymisa. Bombas sumergibles Grundfos Sp.
<http://www.bymisa.mx/producto/2040/Bombas+sumergibles+grundfos+SP.html>
- Iberdrola. Precios regulados electricidad y gas.
https://www.iberdrola.es/02sica/gc/prod/es_ES/hogares/docs/Triptico_tarifas2015.pdf

Bibliografía:

- bpm Ingeniería. (2019). Informe para la actualización y regularización de aprovechamientos agrícolas consolidados de la comunidad de regantes “Los Calderones”.
- OTK soluciones. (2014). Justificación del embalse a realizar.
- Ministerio de Agricultura, pesca y ganadería. (2018). Resultados técnico-económicos Frutales Andalucía, Aragón, Castilla-La Mancha, Extremadura, Murcia y Comunidad Valenciana.
https://www.mapa.gob.es/es/ministerio/servicios/analisis-y-prospectiva/Frutales_tcm30-481623.pdf
- Consejería de Agua, Agricultura, Ganadería y Pesca. (2018). Estructura de costes de las orientaciones productivas agrícolas de la región de Murcia frutales de hueso y cítricos.
[http://www.carm.es/web/pagina?IDCONTENIDO=19022&IDTIPO=246&RAS_TRO=c2889\\$m58245,58256,58865](http://www.carm.es/web/pagina?IDCONTENIDO=19022&IDTIPO=246&RAS_TRO=c2889$m58245,58256,58865)
- UN. Objetivos de desarrollo sostenible.
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>

ANEXO I: CÓDIGO MODELO GAMS

\$TITLE TFG

*Rafael Gómez-Aparici Vega

*25/06/2020

option reslim=10000;

option intVarUp=0;

SETS

i Nbomba /1*37/

j Mes /1*12/

;

Scalar

hps "Horas punta a la semana" /30/

hls "Horas llano a la semana" /62/

hvs "Horas valle a la semana" /76/

CA "Concesion de agua A" /448547/

CB "Concesion de agua B" /476098/

CC "Concesion de agua C" /498174/

A "Altura del pozo" /814/

pp "Precio electricidad punta" /0.145314/

pl "Precio electricidad llano" /0.122516/

pv "Precio electricidad valle" /0.101251/

ie "Impuesto electricidad" /1.0511269632/

iva "iva" /1.21/

T "horas esperadas" /2000000/

Ppcv "Precio por caballo" /90/

Vmax1 "Volumen max en dep 1" /75856.15/

Vmax2 "Volumen max en dep 2" /74651.96/

Abp1 "Area base pequeña 1" /5541.21/

Abp2 "Area base pequeña 2" /5458.55/

Abg1 "Area base grande 1" /15682.79/

Abg2 "Area base grande 2" /15426.3/

Kp "Coeficiente de tanque" /0.7/

Ep "Evapotranspiración anual" /1.3033/

Pro "Producción anual total" /1075008.6666/

;

PARAMETERS

Q(i) Caudal / 1 108

2 152

3 180

4 210

5 227

6 240
 7 245
 8 255
 9 245
 10 278
 11 104
 12 150
 13 180
 14 214
 15 240
 16 263
 17 130
 18 220
 19 300
 20 350
 21 390
 22 190
 23 275
 24 358
 25 430
 26 450
 27 480
 28 225
 29 340
 30 420
 31 480
 32 440
 33 550
 34 760
 35 840
 36 920
 37 634/
 Cv(i) Potencia max / 1 50
 2 50
 3 50
 4 60
 5 60
 6 60
 7 75
 8 75
 9 75
 10 75
 11 50
 12 60
 13 60
 14 75

15 75
 16 75
 17 75
 18 75
 19 100
 20 100
 21 100
 22 100
 23 100
 24 100
 25 100
 26 125
 27 125
 28 125
 29 125
 30 150
 31 150
 32 175
 33 200
 34 250
 35 250
 36 250
 37 0/
 R(i) Rendimiento / 1 56
 2 66
 3 71
 4 75
 5 76
 6 77
 7 77
 8 76.5
 9 77
 10 74
 11 46
 12 57
 13 63
 14 69
 15 73
 16 76
 17 48
 18 64
 19 73
 20 76
 21 77
 22 54
 23 66

24 74
 25 77
 26 78
 27 77
 28 57
 29 68
 30 73
 31 76
 32 56
 33 64
 34 75
 35 79
 36 81
 37 77.9/

Rieg(j) Necesidad de riego por mes /1 654.2
 2 15330.3
 3 35922.9
 4 34567.1
 5 56069.9
 6 73430.8
 7 78513.0
 8 95616.3
 9 34215.5
 10 21362.8
 11 2209.2
 12 654.2/

d(j) Dias en cada mes /1 31
 2 28
 3 31
 4 30
 5 31
 6 30
 7 31
 8 31
 9 30
 10 31
 11 30
 12 31/
 ;

parameter hp(j);
 hp(j) = hps*d(j)/7;
 parameter hl(j);
 hl(j) = hls*d(j)/7;


```

parameter hv(j);
hv(j) = hvs*d(j)/7;
parameter W(i);
W(i) = Q(i)*A*100*745.7/(1000*R(i)*3960);
parameter Pr(i);
Pr(i) = Ppcv*Cv(i);

```

VARIABLE

```

VFO1 "Valor de la funcion objetivo 1"
VFO2 "Valor de la funcion objetivo 2"
Text "Volumen total extraido"
CE "Coste electrico"
CO "Coste de oportunidad"
;

```

Integer Variables

```

p(i,j) "Horas trabajando en punta de i en el mes j"
l(i,j) "Horas trabajando en llano de i en el mes j"
v(i,j) "Horas trabajando en valle de i en el mes j"
;

```

Positive Variables

```

S1(j) "Superficie de evaporación del dep 1 en el mes j"
S2(j) "Superficie de evaporación del dep 2 en el mes j"
V1(j) "Volumen almacenado en el dep 1 al terminar el mes j"
V2(j) "Volumen almacenado en el dep 2 al terminar el mes j"
Vext1(j)"Volumen de agua extraida hacia dep 1 en mes j"
Vext2(j)"Volumen de agua extraida hacia dep 2 en mes j"
Vreg1(j)"Volumen de agua regado desde dep 1 en mes j"
Vreg2(j)"Volumen de agua regado desde dep 2 en mes j"
Ev1(j) "Volumen evaporado en dep 1 en mes j"
Ev2(j) "Volumen evaporado en dep 2 en mes j"
Pen(j) "Penalizacion por falta de riego"
H(i,j) "Horas de funcionamiento en el mes j"
Amr(i) "Amortización anual"
;

```

Variables

```

Med1(j) "Media del volumen en dep 1 durante el mes j"
Med2(j) "Media del volumen en dep 2 durante el mes j"
;

```

BINARY VARIABLES

```

X(i) Si elegimos la bomba i
Delta1(j)

```

Delta2(j)

;

EQUATIONS

OF1

OF2

SOLO_UNA_BOMBA

HORAS_MES

MAX_HORAS_P

MAX_HORAS_L

MAX_HORAS_V

MAX_VOL_DEP1

SUP_DEP1

EVAPORACION_DEP1

VOLUMEN_DEP1

MAX_VOL_DEP2

SUP_DEP2

EVAPORACION_DEP2

VOLUMEN_DEP2

PENALIZACION

MEDIA_VOLUMEN1A

MEDIA_VOLUMEN1B

MEDIA_VOLUMEN2A

MEDIA_VOLUMEN2B

VOLUMEN_EXT

CONCESIONA

CONCESIONB

CONCESIONC

FUNCION_DELTA1

FUNCION_DELTA2

VOL_MIN

VOL_EXTRAIDO

APB_FUNC

AMORTIZACION

COSTE_ELECTRICO

COSTE_OPORTUNIDAD

;

OF1.. VFO1 =G= CE+CO;

OF2.. VFO2 =G= CE+CO+SUM(i,Amr(i));

SOLO_UNA_BOMBA.. SUM(i,X(i)) =L= 1;

HORAS_MES(i,j).. H(i,j) =E= p(i,j)+l(i,j)+v(i,j);

MAX_HORAS_P(i,j).. p(i,j) =L= hp(j)*X(i);

$\text{MAX_HORAS_L}(i,j) \dots l(i,j) \quad =L= \quad hl(j)*X(i);$
 $\text{MAX_HORAS_V}(i,j) \dots v(i,j) \quad =L= \quad hv(j)*X(i);$

 $\text{MAX_VOL_DEP1}(j) \dots V1(j) \quad =L= \quad V_{\max 1};$
 $\text{MEDIA_VOLUMEN1}(j) \dots \text{Med1}(j) \quad =G= \quad (V1(j)+V1(j-1))/2;$
 $\text{FUNCION_DELTA1}(j) \dots \text{Med1}(j) \quad =L= \quad V_{\max 1}*\Delta 1(j);$
 $\text{SUP_DEP1}(j) \dots S1(j) \quad =G= \quad (Abg1-$
 $Abp1)*\text{Med1}(j)/V_{\max 1}+Abp1*\Delta 1(j);$
 $\text{EVAPORACION_DEP1}(j) \dots Ev1(j) \quad =G= \quad S1(j)*Kp*Ep/12;$
 $\text{VOLUMEN_DEP1}(j) \dots V1(j) \quad =E= \quad V1(j-1)+V_{\text{ext}1}(j)-V_{\text{reg}1}(j)-Ev1(j);$

 $\text{MAX_VOL_DEP2}(j) \dots V2(j) \quad =L= \quad V_{\max 2};$
 $\text{MEDIA_VOLUMEN2}(j) \dots \text{Med2}(j) \quad =G= \quad (V2(j)+V2(j-1))/2;$
 $\text{FUNCION_DELTA2}(j) \dots \text{Med2}(j) \quad =L= \quad 9876543*\Delta 2(j);$
 $\text{SUP_DEP2}(j) \dots S2(j) \quad =G= \quad (Abg2-$
 $Abp2)*\text{Med2}(j)/V_{\max 2}+Abp2*\Delta 2(j);$
 $\text{EVAPORACION_DEP2}(j) \dots Ev2(j) \quad =G= \quad S2(j)*Kp*Ep/12;$
 $\text{VOLUMEN_DEP2}(j) \dots V2(j) \quad =E= \quad V2(j-1)+V_{\text{ext}2}(j)-V_{\text{reg}2}(j)-Ev2(j);$

 $\text{PENALIZACION}(j) \dots \text{Pen}(j) \quad =G= \quad \text{Rieg}(j)-V_{\text{reg}1}(j)-V_{\text{reg}2}(j);$
 $\text{COSTE_OPORTUNIDAD} \dots \text{CO} \quad =E=$
 $\text{Pro}*\text{SUM}(j,\text{Pen}(j))/\text{SUM}(j,\text{Rieg}(j));$

 $\text{VOLUMEN_EXT}(j) \dots V_{\text{ext}1}(j)+V_{\text{ext}2}(j) \quad =L= \quad \text{SUM}(i,Q(i)*0.227125*H(i,j));$
 $\text{VOL_EXTRAIDO} \dots \text{SUM}(j,V_{\text{ext}1}(j)+V_{\text{ext}2}(j))=E= \quad \text{Text};$
 $\text{CONCESIONA} \dots \text{Text} \quad =L= \quad \text{CA};$
 $\text{CONCESIONB} \dots \text{Text} \quad =L= \quad \text{CB};$
 $\text{CONCESIONC} \dots \text{Text} \quad =L= \quad \text{CC};$
 $\text{VOL_MIN}(j) \dots V1(j)+V2(j) \quad =G= \quad (V_{\max 1}+V_{\max 2})*5/100;$
 $\text{COSTE_ELECTRICO} \dots \text{CE} \quad =E=$
 $\text{SUM}((i,j),(p(i,j)*pp+l(i,j)*pl+v(i,j)*pv)*W(i)*iva*ie);$
 $\text{AMORTIZACION}(i) \dots \text{Amr}(i) \quad =E= \quad \text{Pr}(i)*\text{SUM}(j,H(i,j))/T;$

MODEL TFG1A
 /OF1,SOLO_UNA_BOMBA,HORAS_MES,MAX_HORAS_P,MAX_HORAS_L,MAX_HORAS_V,
 MAX_VOL_DEP1,
 SUP_DEP1,
 EVAPORACION_DEP1,
 VOLUMEN_DEP1,
 MAX_VOL_DEP2,
 SUP_DEP2,
 EVAPORACION_DEP2,
 VOLUMEN_DEP2,

PENALIZACION,
MEDIA_VOLUMEN1,
MEDIA_VOLUMEN2,
VOLUMEN_EXT,
CONCESIONA,
FUNCION_DELTA1,
FUNCION_DELTA2,
VOL_EXTRAIDO,
VOL_MIN,
COSTE_ELECTRICO,
COSTE_OPORTUNIDAD/;

MODEL TFG1B
/OF1,SOLO_UNA_BOMBA,HORAS_MES,MAX_HORAS_P,MAX_HORAS_L,MA
X_HORAS_V,
MAX_VOL_DEP1,
SUP_DEP1,
EVAPORACION_DEP1,
VOLUMEN_DEP1,
MAX_VOL_DEP2,
SUP_DEP2,
EVAPORACION_DEP2,
VOLUMEN_DEP2,

PENALIZACION,
MEDIA_VOLUMEN1,
MEDIA_VOLUMEN2,
VOLUMEN_EXT,
CONCESIONB,
FUNCION_DELTA1,
FUNCION_DELTA2,
VOL_EXTRAIDO,
VOL_MIN,
COSTE_ELECTRICO,
COSTE_OPORTUNIDAD/;

MODEL TFG1C
/OF1,SOLO_UNA_BOMBA,HORAS_MES,MAX_HORAS_P,MAX_HORAS_L,MA
X_HORAS_V,
MAX_VOL_DEP1,
SUP_DEP1,
EVAPORACION_DEP1,
VOLUMEN_DEP1,
MAX_VOL_DEP2,
SUP_DEP2,

EVAPORACION_DEP2,
VOLUMEN_DEP2,

PENALIZACION,
MEDIA_VOLUMEN1,
MEDIA_VOLUMEN2,
VOLUMEN_EXT,
CONCESIONC,
FUNCION_DELTA1,
FUNCION_DELTA2,
VOL_EXTRAIDO,
VOL_MIN,
COSTE_ELECTRICO,
COSTE_OPORTUNIDAD/;

MODEL TFG2A
/OF2,SOLO_UNA_BOMBA,HORAS_MES,MAX_HORAS_P,MAX_HORAS_L,MAX_HORAS_V,
MAX_VOL_DEP1,
SUP_DEP1,
EVAPORACION_DEP1,
VOLUMEN_DEP1,
MAX_VOL_DEP2,
SUP_DEP2,
EVAPORACION_DEP2,
VOLUMEN_DEP2,

PENALIZACION,
MEDIA_VOLUMEN1,
MEDIA_VOLUMEN2,
VOLUMEN_EXT,
CONCESIONA,
FUNCION_DELTA1,
FUNCION_DELTA2,
VOL_EXTRAIDO,
VOL_MIN,
AMORTIZACION,
COSTE_ELECTRICO,
COSTE_OPORTUNIDAD/;

MODEL TFG2B
/OF2,SOLO_UNA_BOMBA,HORAS_MES,MAX_HORAS_P,MAX_HORAS_L,MAX_HORAS_V,
MAX_VOL_DEP1,
SUP_DEP1,
EVAPORACION_DEP1,

VOLUMEN_DEP1,
MAX_VOL_DEP2,
SUP_DEP2,
EVAPORACION_DEP2,
VOLUMEN_DEP2,

PENALIZACION,
MEDIA_VOLUMEN1,
MEDIA_VOLUMEN2,
VOLUMEN_EXT,
CONCESIONB,
FUNCION_DELTA1,
FUNCION_DELTA2,
VOL_EXTRAIDO,
VOL_MIN,
AMORTIZACION,
COSTE_ELECTRICO,
COSTE_OPORTUNIDAD/;

MODEL TFG2C
/OF2,SOLO_UNA_BOMBA,HORAS_MES,MAX_HORAS_P,MAX_HORAS_L,MAX_HORAS_V,
MAX_VOL_DEP1,
SUP_DEP1,
EVAPORACION_DEP1,
VOLUMEN_DEP1,
MAX_VOL_DEP2,
SUP_DEP2,
EVAPORACION_DEP2,
VOLUMEN_DEP2,

PENALIZACION,
MEDIA_VOLUMEN1,
MEDIA_VOLUMEN2,
VOLUMEN_EXT,
CONCESIONC,
FUNCION_DELTA1,
FUNCION_DELTA2,
VOL_EXTRAIDO,
VOL_MIN,
AMORTIZACION,
COSTE_ELECTRICO,
COSTE_OPORTUNIDAD/;

SOLVE TFG1A MINIMIZING VFO1 USING MIP;
SOLVE TFG1B MINIMIZING VFO1 USING MIP;

SOLVE	TFG1C	MINIMIZING	VFO1	USING	MIP;
SOLVE	TFG2A	MINIMIZING	VFO2	USING	MIP;
SOLVE	TFG2B	MINIMIZING	VFO2	USING	MIP;
SOLVE	TFG2C	MINIMIZING	VFO2	USING	MIP;

ANEXO II: OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

La agenda 2030, aprobada en 2015 por la ONU, cuenta con 17 objetivos de desarrollo sostenible para, entre otras cosas, reducir la pobreza, combatir el cambio climático y la defensa del medio ambiente. Este proyecto puede ayudar a contribuir en la consecución de estos objetivos centrándose en 2 de ellos.

Agua y saneamiento:

Hoy en día siguen existiendo miles de millones de personas sin acceso a servicios básicos de saneamiento ni agua potable, todo esto en unas circunstancias globales como las actuales en las que la pandemia de la COVID-19 altamente contagiosa que requiere de una higiene adecuada está causando estragos en los países más subdesarrollados que se ven incapaces de para su avance.

Uno de los objetivos principales de este proyecto era el de optimizar los recursos de agua de los que disponía la explotación minimizando la cantidad de agua que se evaporaba anualmente mediante el estudio de los patrones de extracción y llenado de los embalses con lo que se ha logrado una reducción de hasta 8.177.576,6 de litros de agua al año lo cual ayudara a preservar las reservas de agua de una región como Murcia con constantes problemas de sequía.

Energía asequible y no contaminante:

El mundo debe avanzar hacia la consecución de una energía sostenible y no contaminante, para ello la eficiencia energética continúa mejorando y la energía renovable se abre paso consiguiendo grandes resultados en el sector eléctrico.

El segundo objetivo que se tenía con este proyecto trataba de mejorar el rendimiento energético de la instalación principalmente mediante el cambio de la bomba a una más moderna con unos parámetros de eficiencia mayores reduciendo notablemente la energía utilizada para la extracción de agua. Además, con la optimización de horarios para aprovecharse de las tarifas más bajas se está consiguiendo trabajar cuando la demanda general es muy baja lo que implica que la energía está siendo producida principalmente por fuentes renovables ya que los centrales de combustibles fósiles entran en funcionamiento una vez estas no dan abasto por lo que se está consiguiendo aumentar la porción de energía que se genera mediante fuentes renovables reduciendo así la contaminación.

ANEXO III: PLANOS

Listado de planos:

1. Planta general de instalaciones
2. Superficies Regables
3. Distribución de los cultivos

TITULAR	POLIGONO	PARCELA	CULTIVO ACTUAL	SUPERFICIE CATASTRAL (ha)
GINES ALCARAZ	89	25	Hortícolas aire libre	15,125
EXPLOTACIONES GARCA, S.L.	89	5	Pomelo	15,129
Mª LUZ GOMEZ-APARICI	89	2	Nectarina/Albaricoque	8,571
EXPLOTACIONES GARCA, S.L.	89	55	Naranjos	5,207
MAR GOMEZ-APARICI	89	54	Nectarina	5,533
BEGOAP, S.L.	89	53	Nectarina	6,575
EXPLOTACIONES GARCA, S.L.	89	1	Pomelo	7,917
PILAR GOMEZ-APARICI	80	17	Nectarina.	11,933
PILAR GOMEZ-APARICI	80	18	Nectarina.	5,434
Mª LUZ GOMEZ-APARICI	80	27	Nectarina.	5,534
AGRICOLA EUREKA, S.L.	80	23	Limonero	5,533
BEGOAP, S.L.	80	24	Limonero	5,533
MAR GOMEZ-APARICI	79	24	Nectarina.	5,514
RAFAELJAVIER GOMEZ APARICI	79	11	Nectarina.	20,770
ARRENDADO A C. R.	80	30	Embalse regulador	5,249
ARRENDADO A C. R.	80	16	Embalse regulador	2,043
TOTAL (ha)				131,60

PARCELA CATASTRO

30029A08900001

REFERENCIA CATASTRAL

TUBERIA TRANSPORTE DESDE TOMA

RAMALES DISTRIBUCION

- Cabezal 1: contador volumetrico Ø 150 y Ø 200 mm
- Cabezal 2: contador volumetrico Ø 200 mm
- Cabezal 3: contador volumetrico Ø 90 mm
- Cabezal 4: contador volumetrico Ø 90 mm
- Cabezal 5: contador volumetrico Ø 150 mm
- Cabezal 6: contador volumetrico Ø 125 mm
- Cabezal 7: contador volumetrico Ø 200 mm

UBICACIÓN DEL BORDO E
INSTALACIONES DE EXTRACCIÓN
X: 420443 Y: 4200800

TUBERIA TRANSPORTE DESDE TOMA

GEORREFERENCIACIÓN UTM-ETRS-89

FUENTE ORTOFOTOGRAFIA : VUELO 1997-1998 OLISTAT Oleícola del FECA

Centro Nacional de Información Geográfica (IGN)

bpm

INGENIERIA

EVA Mª

WOLFF

BARROSO

col. 3000224

INGENIERO AGRÓNOMO

C/ Entierro de la sartina

EDF. SAN ROMÁN SALO (MURCIA)

TEL:968 286 763/959 903 882/609 610 771

SITUACIÓN:

RENOVACIÓN DE CONCESIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

SITUACIÓN:

PARAJE LOS CALDERONES, T.M. MULA

EXP:

144/2017

PLANO DE:

PLANTA GENERAL DE INSTALACIONES
PARCELAS CATASTRALES

FECHA:

JUNIO/2020

PROMOTOR:

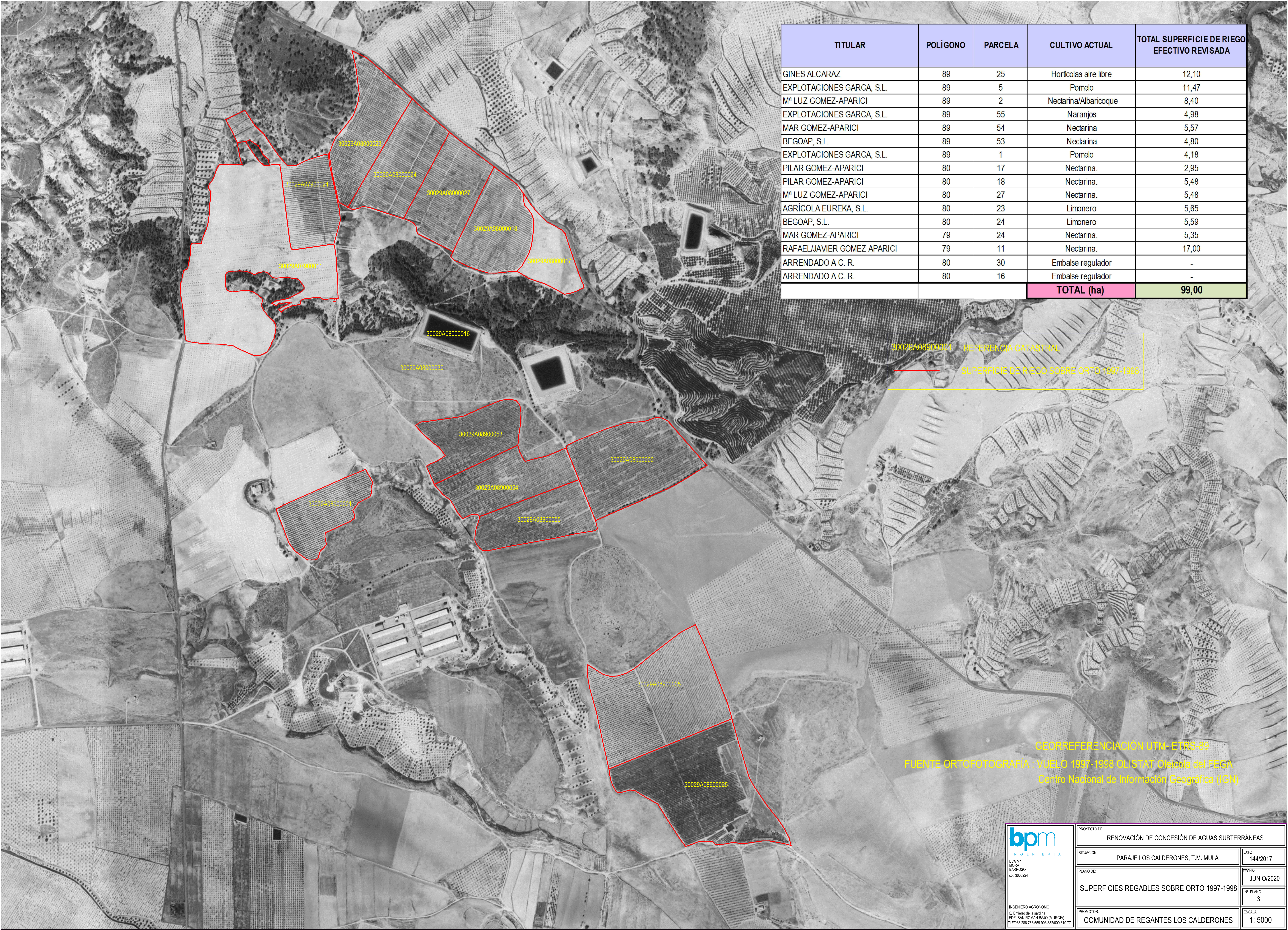
COMUNIDAD DE REGANTES LOS CALDERONES

Nº PLANO:

2

ESCALA:

1: 6000



TITULAR	POLÍGONO	PARCELA	CULTIVO ACTUAL	TOTAL SUPERFICIE DE RIEGO EFECTIVO REVISADA
GINES ALCARAZ	89	25	Hortícolas aire libre	12,10
EXPLOTACIONES GARCA, S.L.	89	5	Pomelo	11,47
Mª LUZ GOMEZ-APARICI	89	2	Nectarina/Albaricoque	8,40
EXPLOTACIONES GARCA, S.L.	89	55	Naranjos	4,98
MAR GOMEZ-APARICI	89	54	Nectarina	5,57
BEGOAP, S.L.	89	53	Nectarina	4,80
EXPLOTACIONES GARCA, S.L.	89	1	Pomelo	4,18
PILAR GOMEZ-APARICI	80	17	Nectarina.	2,95
PILAR GOMEZ-APARICI	80	18	Nectarina.	5,48
Mª LUZ GOMEZ-APARICI	80	27	Nectarina.	5,48
AGRÍCOLA EUREKA, S.L.	80	23	Limonero	5,65
BEGOAP, S.L.	80	24	Limonero	5,59
MAR GOMEZ-APARICI	79	24	Nectarina.	5,35
RAFAEL/JAVIER GOMEZ APARICI	79	11	Nectarina.	17,00
ARRENDADO A C. R.	80	30	Embalse regulador	-
ARRENDADO A C. R.	80	16	Embalse regulador	-
			TOTAL (ha)	99,00

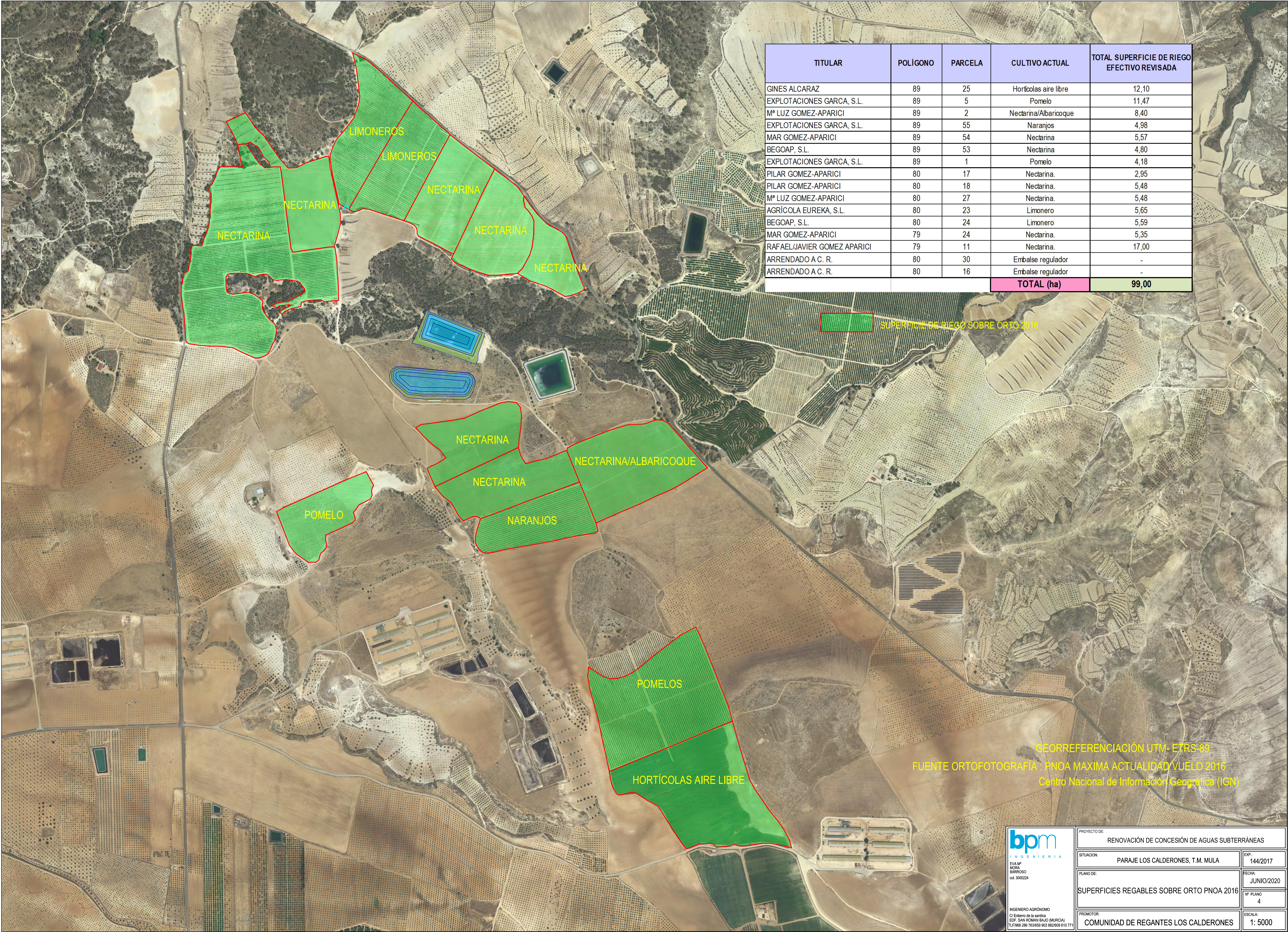
30028A08900051 REFERENCIA CATASTRAL
— SUPERFICIE DE RIEGO SOBRE ORTO 1947-1998

GEORREFERENCIACIÓN UTM- ETRS-89
FUENTE ORTOFOTOGRAFÍA : VUELO 1997-1998 OLSTAT Oficina del IECA
Centro Nacional de Información Geográfica (IGN)

bpm
INGENIERIA

INGENIERO AGRÓNOMO
C/ Entorno de la guerra
EDF. SAN ROMÁN BAJO (MURCIA)
Tf: 968 286 763/659 903 882/808 610 771

PROYECTO DE: RENOVACIÓN DE CONCESIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS		
SITUACIÓN:	PARAJE LOS CALDERONES, T.M. MULA	EXP: 144/2017
PLANO DE:	SUPERFICIES REGABLES SOBRE ORTO 1997-1998	FECHA: JUNIO/2020
PRONOTOR:	COMUNIDAD DE REGANTES LOS CALDERONES	Nº PLANO: 3
		ESCALA: 1: 5000



TITULAR	POLÍGONO	PARCELA	CULTIVO ACTUAL	TOTAL SUPERFICIE DE RIEGO EFECTIVO REVISADA
GINES ALCARAZ	89	25	Hortícolas aire libre	12,10
EXPLOTACIONES GARCA, S.L.	89	5	Pomelo	11,47
Mª LUZ GOMEZ-APARICI	89	2	Nectarina/Albaricoque	8,40
EXPLOTACIONES GARCA, S.L.	89	55	Naranjos	4,98
MAR GOMEZ-APARICI	89	54	Nectarina	5,57
BEGOAP, S.L.	89	53	Nectarina	4,80
EXPLOTACIONES GARCA, S.L.	89	1	Pomelo	4,18
PILAR GOMEZ-APARICI	80	17	Nectarina.	2,95
PILAR GOMEZ-APARICI	80	18	Nectarina.	5,48
Mª LUZ GOMEZ-APARICI	80	27	Nectarina.	5,48
AGRÍCOLA EUREKA, S.L.	80	23	Limonero	5,65
BEGOAP, S.L.	80	24	Limonero	5,59
MAR GOMEZ-APARICI	79	24	Nectarina.	5,35
RAFAEL/JAVIER GOMEZ APARICI	79	11	Nectarina.	17,00
ARRENDADO A C. R.	80	30	Embalse regulador	-
ARRENDADO A C. R.	80	16	Embalse regulador	-
			TOTAL (ha)	99,00

SUPERFICIE DE RIEGO SOBRE ORTO 2016

GEORREFERENCIACIÓN UTM- ETRS-89
FUENTE ORTOFOTOGRAFÍA : PNOA MAXIMA ACTUALIDAD VUELO 2016
Centro Nacional de Información Geográfica (IGN)

bpm
INGENIERÍA
EVA Mª
MORA
BARROSO
col. 3000224

INGENIERO AGRÓNOMO
C/ Entierro de la sardina
EDF. SAN ROMÁN BAJO (MURCIA)
Tlf:968 286 763/659 903 882/806 610 771

PROYECTO DE: RENOVACIÓN DE CONCESIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS		
SITUACIÓN: PARAJE LOS CALDERONES, T.M. MULA	EXP: 144/2017	
PLANO DE: SUPERFICIES REGABLES SOBRE ORTO PNOA 2016	FECHA: JUNIO/2020	Nº PLANO 4
PROMOTOR: COMUNIDAD DE REGANTES LOS CALDERONES	ESCALA: 1: 5000	