

ISBN: 978-84-938046-4-0

## ¿DÓNDE REUTILIZAR Y QUÉ REGAR? USO DE UN SIG PARA EL DISEÑO DE UNA RED DE REUTILIZACIÓN EN UNA ISLA VOLCÁNICA

**Yessica PÉREZ GUZMÁN<sup>1</sup>, Teresa MORANT DE DIEGO<sup>2</sup>, Leví GARCÍA ROMERO<sup>1</sup>, Luis HERNÁNDEZ CALVENTO<sup>1</sup>, Vanessa MENDOZA-GRIMÓN<sup>3</sup> y María del Pino PALACIOS-DÍAZ<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Departamento de Geografía, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, 35413 Las Palmas de Gran Canaria, España, yperguz@gmail.com y luis.hernandez.calvento@ulpgc.es

<sup>2</sup> Departamento de Cartografía y Expresión Gráfica en la Ingeniería, teresa.morant@ulpgc.es

<sup>3</sup> Departamento de Patología Animal, Producción Animal y Ciencia y Tecnología de los Alimentos, Grupo GEOVOL. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, 35413 Las Palmas de Gran Canaria, España, mp.palaciosdiaz@ulpgc.es

### RESUMEN

El conocimiento de criterios que ayuden a priorizar el uso del agua es fundamental para garantizar su uso sostenible. En las zonas semiáridas, el abandono de la actividad agrícola puede estar motivado por la escasez de agua y por problemas de mercado de las especies tradicionalmente cultivadas. Por otro lado, la actividad ganadera, suele estar limitada por la escasez de forrajes. La disponibilidad de agua regenerada a un precio razonable podría evitar su vertido y contrarrestar la degradación de suelos abandonados, potenciando la producción de especies forrajeras rentables, contribuyendo así a la ganadería sostenible. Para ello se requiere optimizar la distribución del agua considerando varios criterios simultáneamente. Para alcanzar dicha optimización se ha diseñado un proyecto piloto SIG (Sistema de Información Geográfica) para la isla de El Hierro, que, incluyendo en su base de datos información agrometeorológica, georreferenciada, y combinando diferentes requerimientos, ha realizado los análisis espaciales necesarios para determinar el trazado y características de una futura red de reutilización, así ha proporcionado el cálculo del número de hectáreas regadas (21 has en zona cálida y 57 has en una zona algo más fría), bajo la aplicación de diferentes criterios técnicos y económicos.

**Palabras clave:** *red reutilización agua, ganadería sostenible, SIG, forrajeras.*

### ABSTRACT

Knowledge of criteria to help prioritize water use is essential to ensure its sustainable use. In semiarid areas the abandonment of agricultural activity may be motivated by water scarcity and market problems of traditionally cultivated species. On the other hand, livestock farming, is often limited by the shortage of fodder. The availability of reclaimed water at a reasonable price could avoid its release and counteract the degradation of abandoned land, enhancing the profitable production of forage species, thus contributing to sustainable livestock. To do this it is necessary to optimize the water distribution considering several criteria simultaneously. To achieve this optimization a pilot project GIS (Geographic

Information System) for the island of El Hierro has been designed. This system included: an agrometeorological database, and other georeferenced information, and combining different requirements. It made the necessary spatial analysis to determine the layout and characteristics of a future network of reuse. It also has provided estimates of the number of irrigated areas (21 hectares in warm area and 57 hectares in a somewhat colder zone), under the application of different technical criteria economic.

**Key words:** *Network reuse water, sustainable farming, GIS, forage.*

## INTRODUCCIÓN

En España suele destacarse como principal beneficio que la reutilización de efluentes tratados proporciona una fuente regular de agua a los usuarios y contribuye a asegurar la calidad, tanto desde un punto de vista sanitario como ambiental (Iglesias et al., 2010). Estos autores construyeron un Sistema de Información Geográfica (SIG) para optimizar la gestión de la reutilización bajo el desarrollo de cuatro aspectos: diseño de la base de datos, toma de datos de campo, comprobación y almacenamiento de los mismos y conexión de los mismos con un SIG. Se trataba de un SIG para manejar la información pero en el que los sistemas de almacenamiento y distribución hasta el usuario entraban como un punto más de la información de la base de datos, ayudando en la toma de decisiones del diseño de la red de reutilización.

El uso de herramientas para la optimización del diseño de redes de distribución de aguas es antiguo, asumiéndose generalmente el trazado como un hecho ya definido y utilizando las herramientas matemáticas para determinar con el mínimo coste los diámetros de las tuberías (Savic y Walters, 1997). A la hora de optimizar un sistema de distribución de agua, las técnicas y los objetivos pueden ser varios, como presentan Walski et al., 2003. En esta línea, Nobel (1998) combinó la programación lineal con el diseño de un SIG con varios escenarios posibles pero, para la optimización de la localización de los recursos hídricos, asumió que la red de distribución era directa entre la fuente y el usuario. También Oron (1996) utilizó la programación lineal construyendo una función que integraba todos los aspectos relevantes en el reuso agrario de una zona, incluyendo los aspectos de almacenamiento y transporte. Así mismo, Economopoulou y Economopoulos (2003) presentaron una metodología que integraba el conocimiento base y los procedimientos para desarrollar un sistema de reutilización basado en sistema de depuración natural adaptado a comunidades pequeñas.

Para poder asumir los costes del reuso del agua regenerada, hay que tener en cuenta una estimación de los mismos. Iglesias et al., (2010) proporcionaron datos de coste de operación y mantenimiento entre 0.06 y 0.09 €/m<sup>3</sup> para producir el agua con calidad apta para ser reutilizada en el riego de forrajes (incluido personal de mantenimiento y analíticas rutinarias), un coste de instalación entre 28 y 48 €/m<sup>3</sup> y día, dando un coste total (incluida la desinfección pero no impuestos, analíticas ni amortización) de 0.3 y 0.4 €/m<sup>3</sup>. Por tanto, si se diseñan sistemas de depuración natural y el agua reutilizada se distribuye en zonas cercanas sin incrementar el consumo de energía, el coste del agua regenerada puede ser asumible para producir especies forrajeras.

Por otro lado, para que los sistemas sean sostenibles el uso de los recursos debe ser optimizado. Los estudios demuestran que la efectividad en el uso del agua de riego aumenta cuando se aplican dosis inferiores a las de consumo. Las plantas C4 tienen un metabolismo de fijación del CO<sub>2</sub> que las hace capaces de ser más eficientes en el uso del agua, por lo

que cuando las condiciones agroecológicas lo permiten, cuando estas especies se cultivan, con la misma cantidad de agua se puede producir mayor cantidad de materia seca.

En este trabajo, y teniendo en cuenta las consideraciones anteriores, se presentan los resultados de la aplicación de un SIG para el trazado de una red de reutilización en la Isla de El Hierro (Figura 1A), al que, y como novedad, se introducen criterios agronómicos para su optimización, teniendo en cuenta los criterios que posibiliten la sostenibilidad del sistema propuesto.



Figura 1. Isla de El Hierro con la ubicación de la zona piloto (A) y su situación en las Islas Canarias (B).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Obtención de la información existente

Se recopila la información disponible en el Plan Hidrológico de la isla de El Hierro (2002), que menciona cuatro Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDAR), la información proporcionada por GRAFCAN (de la que utilizamos las capas de información cartográfica correspondientes a la vegetación, la red viaria, la altitud y los actuales usos del suelo), la cartografía catastral y Modelo Digital del Terreno (MDT), simplificando dicho modelo con la herramienta Spatial Analyst de hidrología.

Tras las transformaciones necesarias, a través las diferentes herramientas del software SIG, a la información espacial anterior se le vincula la información termopluviométrica de las diferentes estaciones repartidas por la isla de El Hierro (26), así como los requerimientos edafoclimáticos e hídricos de las principales especies forrajeras, agrupándolas en dos: especies C3 y especies C4. Además, se introduce en la misma información relativa a las capacidades agrológicas de los suelos. De esta forma se genera la base de datos espacial. Para la elaboración de la información se utilizan diferentes herramientas del programa (rellano, acumulación de flujo, Shahler).

### Herramientas empleadas

El software SIG empleado ha sido el ArcGIS. La base de datos alfanumérica ha sido access.

### Elección de la EDAR y caudal disponible para el riego

Una vez analizada la información disponible, se define como zona piloto la EDAR de Valverde, situada aguas arriba de terrenos susceptibles de aprovechamiento forrajero (abandonados o dedicados a dicha producción). Esta EDAR, que da servicio a la capital de la isla, depura aproximadamente 600 m<sup>3</sup> de agua al día. Suponiendo un 10% de pérdidas en la conducción, se obtiene el agua disponible anualmente para regar: 197100 m<sup>3</sup>.

## Generación de capas de información

Una vez determinada la zona de estudio, aguas abajo y próxima a la EDAR de Valverde, se generan mapas de pendiente y altitud (6 clases). Se generan también mapas de las isothermas e isoyetas correspondientes, para lo que se interpola con el método de krigging la información de veinte estaciones termopluviométricas, teniendo en cuenta las altitudes y la disponibilidad histórica de los datos. Se dejan seis estaciones fuera de la interpolación para comprobar la bondad del método elegido. Posteriormente se utiliza la información parcelaria (transformando la información ráster del catastral a polígono, calculando los centroides de las parcelas) y se asigna a cada parcela de cada polígono la pluviometría que le correspondería, determinando aquellas parcelas que reciben menos de 5000 m<sup>3</sup>/ha y año. Estas serán las parcelas que necesiten riego (el resto se considera que puede producir adecuadamente en seco). De la información sobre red viaria de Valverde, se extrae una nueva capa de información y se unen a través de las tablas de atributos las capas, sin analizar cuáles son las carreteras principales y secundarias.

Utilizando la herramienta de ArcGIS, Spatial Analyst de hidrología, se determina la ruta óptima que une, aprovechando la caída del terreno, la EDAR con las parcelas catastrales susceptibles de ser regadas, dado que se encuentran abandonadas o catalogadas como de aprovechamiento forrajero (pasto, labor y viña de seco), y reciben una pluviometría inferior a 5000 m<sup>3</sup>/ha año. Con el MDT se calculan las líneas de máxima pendiente, que será por donde discurra el agua, para llevarla finalmente a las parcelas antes determinadas, utilizando en lo posible la red viaria ya existente.

## RESULTADOS

Se presentan los distintos mapas generados con la metodología descrita. La Figura 2 presenta el mapa de vegetación de la isla a la que se ha aplicado una zona de recorte para determinar sólo la ubicada en la zona piloto (Figura 2A). Con el MDT y las coordenadas se localiza la EDAR y se construye un mapa con 6 categorías de pendientes, añadiendo posteriormente al mapa anterior la capa de altitud, construyéndose la Figura 2B.

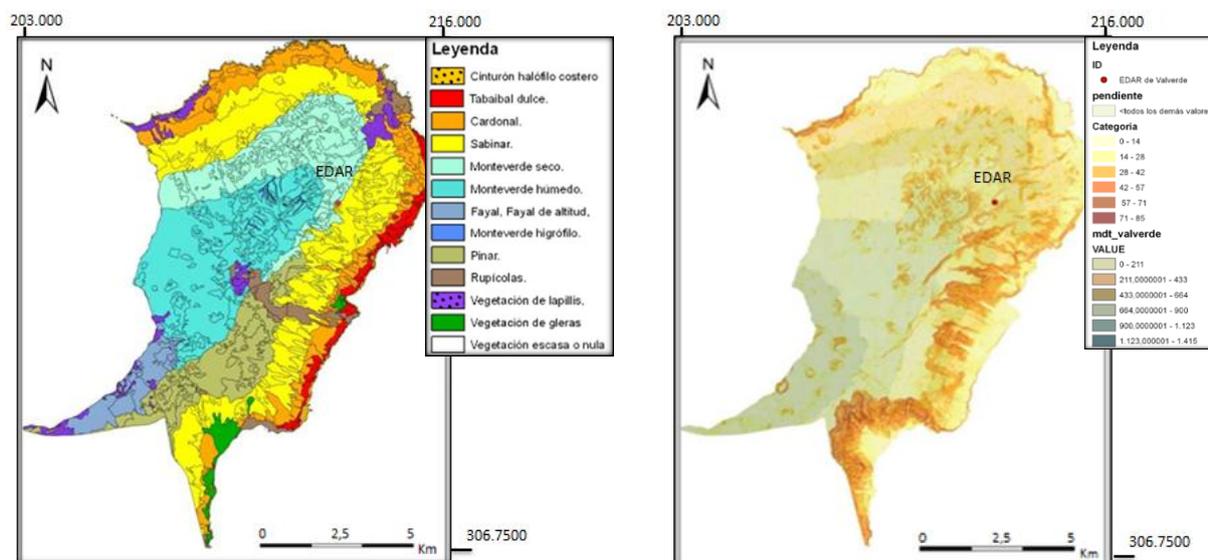


Figura 2. Mapa de la vegetación potencial de la zona piloto (A) y ubicación de la EDAR en un mapa de altitudes y pendientes con 6 categorías (B).

Con la información de 20 estaciones termopluviométricas (con diversa disponibilidad de los datos, unos con mayor serie histórica y otras con pocos años disponibles) e interpolando teniendo en cuenta las altitudes, se construyen dos capas de información, de isotermas e isoyetas. El proceso seguido es: se interpola la información con las 20 estaciones y se construye un mapa en el que además se ubican las 6 estaciones no utilizadas (Figura 3A), volcándose la tabla de atributos generada por el mapa en una hoja de cálculo. Dichos datos se comparan con los disponibles para las 6 estaciones no utilizadas en la interpolación, calculando así el error obtenido, que, por ejemplo, para las precipitaciones resulta inferior al 6.87%. Utilizando la información parcelaria se asigna a cada parcela la precipitación efectiva que le corresponde, construyendo dos categorías: parcelas que reciben más de 500 mm de agua de lluvia (Figura 3B, en azul oscuro) y las que reciben una precipitación inferior a esa cantidad (Figura 3B, en azul claro). Estas últimas parcelas se consideran prioritarias en su respuesta positiva al regadío ya que serán las que presenten más eficiencia en el consumo del agua aplicada. Se comprueba que aguas debajo de la EDAR todas las parcelas resultan prioritarias a efectos de establecer el regadío.

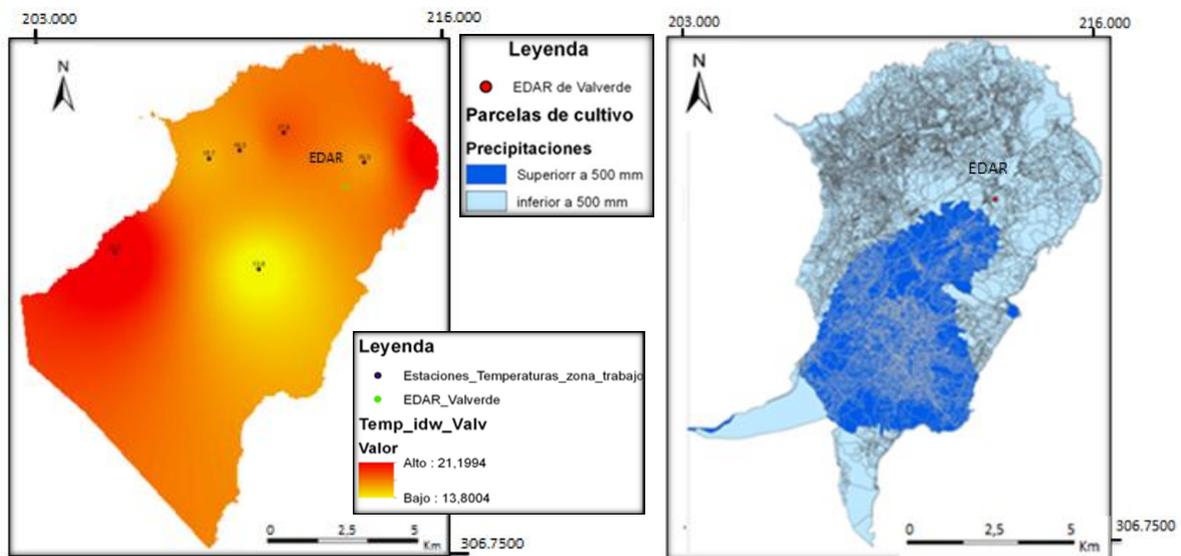


Figura 3. Temperatura media anual y ubicación de las estaciones térmicas utilizadas como control (A) y representación de las parcelas (B) según la pluviometría anual que reciben > 500 mm de agua de lluvia (en azul oscuro) y < 500 mm (azul claro).

A continuación, utilizando una herramienta del SIG que tiene en cuenta las distancias, se sitúan las pendientes y los puntos que representan el centro de cada parcela. Superponiendo esta información con la de la red viaria existente, se unen los centroides de las parcelas con la EDAR. Para su trazado, donde es posible, se aprovecha la red viaria y se siguen las líneas de máxima pendiente (que marcan la dirección del flujo) con el objetivo de abastecer el mayor número de parcelas posibles y siguiendo el criterio de mínima distancia. Se obtiene así un ejemplo de rutas, que se presenta en la Figura 4A.

Con la dotación proporcionada por las EDAR (197100 m<sup>3</sup>/año) y, suponiendo unas necesidades de agua de 5000 m<sup>3</sup>/ha y año, el número de ha que se pueden regar es sólo de 39,42 ha. Por tanto, es necesario limitar la zona utilizando criterios adicionales. Con la información de las temperaturas se determina que existe una zona más cálida al noreste que, aunque más lejana a la EDAR, permitiría el establecimiento de especies C4 (temperaturas medias anuales próxima a 17°C) y otra zona más próxima a la EDAR más fría (Figura 4B) susceptible de siembra de especies C3 (con unos 13°C de media).

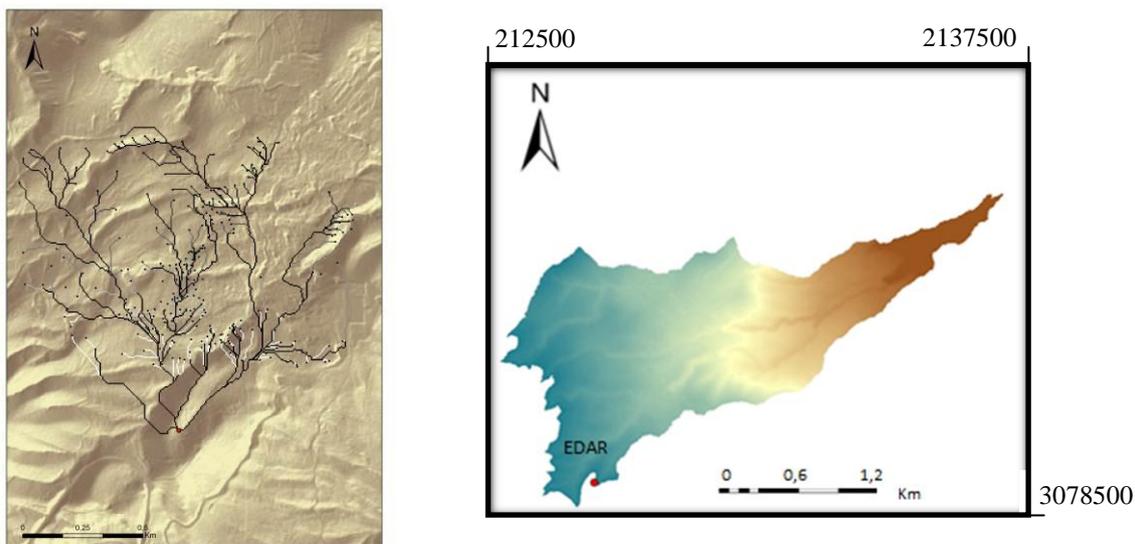


Figura 4. Redes de distribución de agua que unen la EDAR de Valverde con el centroide de cada parcela de cultivo, siguiendo para su trazado la red viaria y las líneas de máxima pendiente con el criterio de diseño de mínima distancia (A) y determinación de una zona más restringida teniendo en cuenta del MDT y las temperaturas (B), que discriminan la zona C3 (en azul) de la zona C4, más cálida (en marrón).

A partir de la información sobre capacidades agrológicas de suelo se determina que ambas zonas muestran curvas de retención similares, con valores en torno al 60-75% (Armas Espinel et al., 2013) y se priorizan las parcelas con pendientes inferiores al 13%. Superponiendo esta información a la capa de usos de suelo se construye la Figura 5A.

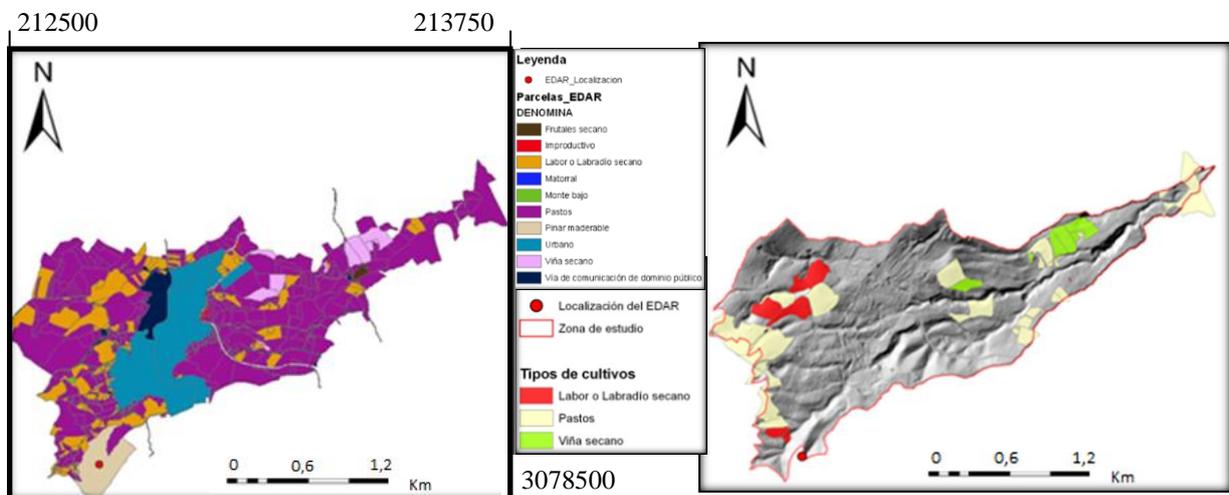


Figura 5. Capa de usos de suelo en la zona de estudio (A), delimitando las parcelas regables en las zonas de pastos, secano, zonas abandonadas y viñedos (B).

Se decide diferenciar dos dotaciones de riego: un riego de apoyo de 2500 m<sup>3</sup>/ha y año, que complemente a las especies C3 que recibirán el agua de lluvia en esa época, (incrementando así la eficacia del agua aplicada), y riego el resto del año. También se considera esta dosis de apoyo para la zona de viñedo de secano, en la zona C4. La segunda dotación, de 5000 m<sup>3</sup>/ha y año regará a las especies C4, sembradas a la salida del invierno. Considerando unos coeficientes de consumo de 550 y 350 L/kg MS para las C3 y C4 respectivamente, podrían regarse 240,15 has, cantidad aún 5 veces superior a las que la EDAR es capaz de abastecer.

Suponiendo que sólo aplicamos 2500 m<sup>3</sup>/ha y año en la zona C4 y superponiendo la capa de usos del suelo (calculando la zona actualmente ocupada por cultivos forrajeros o pastos), se obtienen 15,9 ha regables. Si a estas se unen las ha de viña en secano, podremos alcanzar las 21,8 ha regables (Figura 5B). Teniendo en cuenta estas consideraciones el consumo hídrico por zonas sería:

- Viñedo en zona C4 regable. Superficie 59431m<sup>2</sup> x 250 litros/m<sup>2</sup>= 14858 m<sup>3</sup>.
- Cultivos forrajeros en zona C4 regable. Superficie 15900m<sup>2</sup> x 250 litros/m<sup>2</sup>= 39750 m<sup>3</sup>.
- El total consumido para esta zona C4 y con un riego de apoyo es de 54608 m<sup>3</sup>.
- El volumen que aporta la EDAR es de 197100 m<sup>3</sup>, que dividido entre 2500 m<sup>3</sup>/ha, nos daría un total de 57 has que se podrían regar en la zona C3.

Aplicando la herramienta de ruta óptima, se realiza el trazado de la tubería que une las parcelas regables con la EDAR. En la figura 6 se presenta un ejemplo de cómo quedaría dicho trazado para la zona C3, separando distintos intervalos de costes de tuberías en función de la lejanía de las parcelas.

#### RUTA ÓPTIMA A LAS PARCELAS C3 REGABLES POR EL EDAR

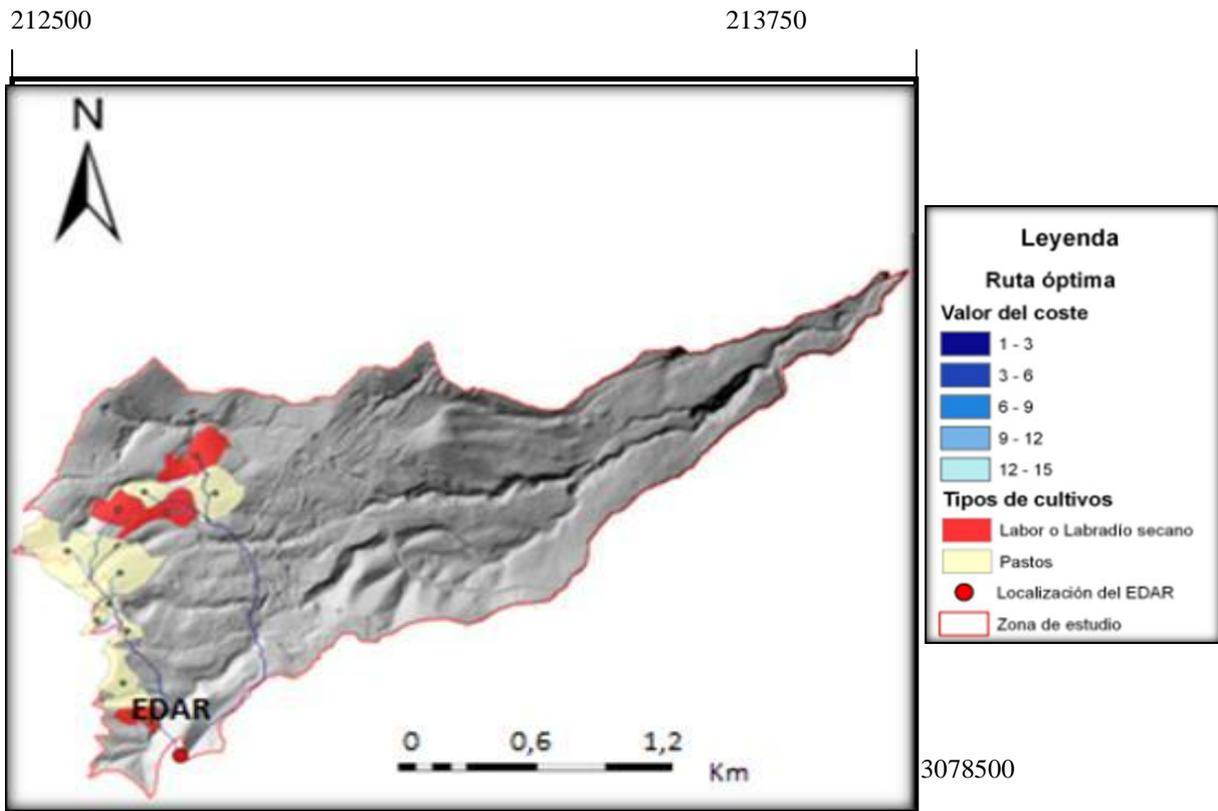


Figura 6. Trazado de la tubería que une las parcelas regables de la zona C3, que cumplen todos los requerimientos (pendiente inferior al 13%, suelos de capacidad agrológicas óptimas y con un aprovechamiento actual de pastos o secanos), con la EDAR.

#### CONCLUSIONES

El uso de Sistemas de Información Geográfica ha permitido definir la mejor estrategia para la reutilización de aguas regeneradas en una zona concreta determinando el trazado y

características de una futura red de reutilización. Para ello, teniendo en cuenta la información georreferenciada de las características edafoclimáticas, la orografía, las exigencias de los cultivos, el actual uso del suelo, las parcelas existentes y la disponibilidad de agua, y combinando diferentes requerimientos (mínimo consumo de energía, mejor eficacia en el uso del agua, maximización de la productividad por unidad de terreno o de la superficie regada) se han realizado los análisis espaciales necesarios para su diseño, lo que ha permitido el cálculo del número de hectáreas regadas bajo la aplicación de diferentes criterios técnicos. De este modo vemos que esta herramienta contribuye a la mejora de la producción de forrajes en Canarias, al optimizar la tecnología empleada para su producción. Así, con las diversas hipótesis expuestas y el caudal proporcionado por la EDAR, se han podido regar: a) 57 ha de especies tolerantes al frío pero con un consumo hídrico de 550 L/kg de MS, b) 21 ha de especies más exigentes térmicamente pero con un consumo hídrico de 350 L/kg de MS.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por Ministerio de Economía y Competitividad. Subprograma de Proyectos de Investigación Fundamental (CGL2012-39520-C03-03) y Agencia Canaria de Investigación del Gobierno de Canarias (SolSubC200801000012). Agradecemos la información proporcionada por Moisés Martín Betancor.

## BIBLIOGRAFIA

- Armas Espinel, S., Hernández Moreno, J.M. y Regalado, C.M. (2013). *Caracterización de la calidad física de suelos ándicos de Canarias a partir de la curva de retención*. Estudios en la Zona No Saturada del Suelo Vol. XI - ZNS'13, 43-49 pp. Universidade de Santiago de Compostela. ISBN: 978-84-616-6234-0.
- Economopoulou, M.A. y Economopoulos, A.P. (2003). *Expert system for municipal wastewater management with emphasis in reuse*. Water Science and Technology.: Water Supply, 3(4): 79-88.
- Iglesias, R.; Ortega, E.; Batanero, G. y Quintas, L. (2010). *Water reuse in Spain: Data overview and costs estimation of suitable treatment trains*. Desalination 263: 1-10.
- Nobel, C.E. (1998). *A model for industrial water reuse: A Geographic Information Systems (GIS) approach to industrial ecology*. MSc Thesis, University of Texas at Austin, Austin, 1998, 142 pp.
- RD1620/2007. *REAL DECRETO 1620/2007, de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas*.
- Savic, D.A. y Walters, G.A. (1997). *Genetic algorithms for the least-cost design of water distribution networks*. Journal Water Research. Planning Manage. 123(2): 67-77.
- Oron, G. (1996). *Management modelling of integrative wastewater treatment and reuse systems*. Water Science and Technology, 33(10-11): 95-105.
- Plan hidrológico de la isla de El Hierro. Consejo Insular de Aguas de Hierro. Decreto 102/2002, de 26 de julio, por el que se aprueba el Plan Hidrológico Insular de El Hierro [www.aguaselhierro.org](http://www.aguaselhierro.org)
- Walski, D.V.; Chase, D.A.; Savic, W.; Grayman, S.; Beckwith y Koelle, E. (2003). *Advanced Water Distribution Modeling and Management*. Haestad Methods, Waterbury, 2003.