

06-012

### **MONITORING WITH SENSORS OF A AGRICULTURAL EXPLOITATION SYSTEM FOR A DISPERSED OLIVE (OLEA EUROPAEA) GROVE OF SMALL AND MEDIUM SCALE**

Gago-Calderón, Alfonso; Santos-Moreno, Gonzalo; López-Narbona, Sergio; Andrés-Díaz, José  
Ramón

Universidad de Málaga

The production of quality olive oil in parcels with a reduced number of trees (including different species) and a high geographical dispersion is a management challenge.

On one hand, the need to adequately control the harvesting time of the fruits, which vary according to the type of tree and its location, and the impossibility of visiting all of them in person in a continuous manner in non-professionalized contexts. In this work, it is proposed to solve this matter using sensors to measure the parameters of the trees' environment -temperature and humidity and salinity of the soil- and ICT management systems –microcontroller processing and radio frequency communications- allow the storage of data for days and download it wirelessly to a mobile phone placed in their environment. This information allows establishing a prediction of the optimal moment of collection.

On the other, to be able to efficiently manage these olives (*Olea europaea*) for low productions or when you want to control the oil production process, we have worked on a model of micro-mill from which is possible to monitor the energy and water consumption that it is required through sensors that can be integrated in the same data architecture of the previous point control.

**Keywords:** *Sensors; Energy consumption; ICTs; microcontrollers; Radio Frequency*

### **MONITORIZACIÓN SENSORIZADA DE UN SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE HUERTOS DE OLIVOS (OLEA EUROPAEA) DISPERSOS DE PEQUEÑA Y MEDIANA ESCALA**

La producción de aceite de oliva de calidad en explotaciones con un número reducido de árboles (incluyendo diferentes especies) dispersos geográficamente supone un reto de gestión.

Por un lado, la necesidad de controlar adecuadamente el momento de recolección de los frutos, que varían según el tipo de árbol y su emplazamiento, y la imposibilidad de visitar presencialmente todos los árboles de manera continuada en contextos no profesionalizados. En este trabajo se propone solventarlo utilizando sensores de medida de parámetros del entorno de los árboles - temperatura y humedad y salinidad del suelo- y sistemas TICs de gestión de la misma – microcontroladores de procesamiento y comunicaciones por radio-frecuencia permiten almacenar los datos de los olivos (*Olea europaea*) durante días y descargarlos inalámbricamente en un teléfono móvil que se coloque en su entorno. Esta información permite establecer una predicción del momento óptimo de recolección.

Por otro, poder gestionar eficientemente estas aceitunas, para bajas producciones o cuando se quiera controlar el proceso de producción del aceite, se ha trabajado sobre un modelo de micro-almazara del que se monitorizan las medidas del consumo energético y agua que requiere a través de sensores que se integran en la arquitectura del control del punto anterior.

**Palabras clave:** *Sensores; Consumo energético; TICs; Microcontroladores; Radio-Frecuencia*

Correspondencia: Alfonso Gago Calderón; agago@uma.es

Acknowledgements/Agradecimientos: I Plan Propio de Smart-Campus de la Universidad de Málaga



©2019 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

## 1. Introducción

En la actualidad se encuentra en desarrollo el proyecto de investigación MAHDUMA en el que se están desarrollando estrategias, maquinarias e infraestructuras para el aprovechamiento de las aceitunas generadas por pequeñas explotaciones agrícolas y huertos particulares o urbanos (Plan Propio Smart Campus Universidad de Málaga, 2018).

Se va a establecer estudios y trabajos vinculador a todas las etapas que se pueden vincular al cultivo y recogida de aceitunas y a la transformación de estas en aceite de oliva en una micro almazara o una infraestructura para albergar las maquinarias necesarias para este proceso.

Este proyecto busca con el desarrollo de este objetivo tener un sistema de aprovechamiento de los frutos de los olivos (*Olea europea*) que se encuentran diseminados en sus terrenos propios a lo largo de su campus. Para ello vincula a personal docente y de servicio de varios departamentos de las Escuelas de Ingenierías Industriales y de la facultad de Ciencia en la Universidad de Málaga (UMA) y a un nutrido grupo de alumnos que participan en el mismo desde diferentes perfiles: Contratos con la Universidad, desarrollo de trabajos de fin de grados, participación en actividades como voluntarios (recogida de aceitunas, conteo y clasificación de olivos...)

El proyecto tiene como pilares fundamentales de desarrollo, entre otros, los aspectos de:

- La sostenibilidad y el respeto medioambiental
- La gestión inteligente y la aplicación de TICs en el mismo para la optimización del control sus operaciones y para facilitar la divulgación de sus resultados tanto a la propia comunidad universitaria como al resto de la sociedad.

De este modo, uno de los paquetes de trabajo que implica este proyecto es el de establecer:

- A. Una infraestructura de edificación a ubicar en el campus de la universidad, desarrollada con parámetros de construcción sostenible, en la que ubicar la micro almazara y un segmento de almacenaje de materia prima y productos desarrollados.
- B. Una arquitectura electrónica/informática con la que poder desarrollar una plataforma de control y gestión de los campos implicados en el proyecto: los olivos plantados y la maquinaria en su uso.

A lo largo de este trabajo presentamos en sus sucesivos capítulos:

- Las especificaciones de diseño que se han generado para el desarrollo específico de este proyecto en base a un análisis de la realidad del campus con respecto a sus olivos (emplazamientos y distribución geográfica, sol y agua disponible, ...)
- Los requisitos planteados para la estructura de la arquitectura TIC de gestión del proyecto
- Las variables de control y seguimiento necesarias para valorar la eficiencia, sostenibilidad y eficiencia energética del proceso de recolección y producción de aceite.
- La metodología de trabajo y la propuesta de arquitectura alcanzada para la implantación del proyecto

En este contexto, planteamos en esta fase de introducción fundamentos y tendencias actuales de trabajo en las líneas de trabajo planteadas.

### **1.1 La humedad y la temperatura del suelo como indicadores de la calidad del aceite de oliva que se puede producir**

El olivo es un árbol que resiste muy bien la sequía, pero esto no significa que dejarlo a su suerte sea lo ideal si se desea obtener de él un buen aceite de oliva. Sin agua suficiente estos no producen aceitunas, y si lo hacen, están serán pocas y de escasa calidad quedando relegado a elementos con una funcionalidad principal de tipo decorativa.

En el caso de buscar obtener una máxima productividad de los olivos estos han de regarse a menos que las precipitaciones sean suficientes para mantener el suelo húmedo.

Desde el momento en que comienzan a florecer y a formarse los racimos de aceitunas, no deben sufrir escasez de agua, especialmente durante la etapa final de engorde de los frutos —a finales del verano— Si esto ocurre, el olivo da preferencia a las hojas en detrimento de los frutos y las aceitunas no engordarán lo suficiente perjudicando a su contenido en aceite. (Villalobos et al. 2000)

Del mismo modo, un exceso de humedad del terreno puede ser perjudicial para los árboles, cuando esto ocurre las hojas jóvenes se vuelven de color amarillo. Lo ideal es evitar también este extremo para optimizar la producción de aceitunas.

### **1.2 Construcción y diseño sostenible y de Reutilización**

Los sistemas de construcción estándares están guiados, en la mayoría de los casos, por principios de remuneración y repercusión económica a corto plazo de sus productos o resultados. En contraposición, el concepto de Construcción Sostenible, desarrollado en el inicio de la década de 1990, establece que se deben priorizar prácticas que aúnen calidad y eficacia en su uso a largo plazo, sin olvidar tampoco un criterio de restricción o ajuste razonable de costes (Kibert, 2016)

Para ello, es fundamental colocar como punto partida de todo proyecto el análisis de la función y el ciclo de vida esperado de sus resultados, de manera que concentren los esfuerzos en aumentar su calidad funcional, mientras que se disminuye el impacto en el medio ambiente de su actividad (reduciendo al mínimo el uso de agua, energía, suelo...) y se aumenta la sostenibilidad económica del proyecto (Robichaud y Anantatmula, 2010)

En nuestro caso, un pilar fundamental de trabajo será añadir a este principio expuesto el concepto de construcción en base a materiales reciclados, en tanto que uno de los bloques constitutivos del proyecto es la Oficina de Material Reutilizable de la UMA. (Oficina de Material Reutilizable, n.d.). La industria de la edificación o la del desarrollo de maquinaria produce gran cantidad de residuos que en la mayoría de los casos terminan en vertederos que perturban el ciclo de vida ambiental, económico y social. Los materiales de desecho que se producen en el proceso de construcción, renovación o demolición de estructuras de edificación o de reciclado de maquinarias son (bloques de cemento madera, metales, paneles de yeso, techos, papel, plástico, paneles de yeso y vidrio) y su reutilización en nuevos diseños permite proyectar de una manera más económica y ecológica (Kumbhar, Gupta y Desai, 2013).

### **1.3 Tecnologías de la información y las comunicaciones y el desarrollo de actividades económicas**

El segundo bloque estructural de este estudio se basa en el desarrollo de una actividad productiva (la generación de aceite de oliva) sostenible, en base a la definición de la World Commission on Environment and Development (WCED, 1987): “desarrollo que satisfaga las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades”. De este modo, la evaluación de los costes económicos

y en recursos (Labuschagne, Brent y Van Erck, 2005) que provoca la generación de nuestro aceite y la repercusión medioambiental que genera es un aspecto fundamental de análisis del proyecto.

El uso de sensores para la recolección de datos del uso de recursos fundamentales es un pilar fundamental en el diseño de sistemas sostenibles, desarrollándose múltiples metodologías de implantación y trabajo para pequeñas y medianas empresas (Sánchez et al., 2011) (O'Driscoll y O'Donnell, 2013) y una tendencia metodológica de extraer los datos de estas aplicaciones, para la minimización de infraestructuras y gastos, que se está imponiendo en el mercado es la descarga de datos inalámbrica asíncrona de una memoria integrada en los sensores a un dispositivo maestro que solicita la descarga de sus datos al entrar dentro de una zona de alcance delimitada (Cao et al., 2018). Esto permite desarrollar estructuras de transmisión de datos inalámbricas sin costes fijos o variables de transmisión, muy económicas, con la única limitación de no tener una actualización en tiempo real de los datos, sino en bloques de descarga en base a desplazamientos para la recolección de información al entorno físico cercano de los sensores.

## **2. Objetivos**

En base a la información detallada sobre el objeto del proyecto MADHUMA, desde el punto de vista de la gestión de los recursos de materia prima disponibles, el desarrollo de infraestructuras de maquinaria para el procesado del aceite y de edificios para su instalación y gestión informatizada de la información que se pueda registrar de estos procesos comprende se establecen una serie de objetivos específicos para el paquete de actividades relacionadas con la gestión TIC del proyecto.

1. La necesidad de controlar adecuadamente el momento de recolección de los frutos, que varían según el tipo de árbol y su emplazamiento, y la imposibilidad de visitar presencialmente todos los árboles de manera continuada en contextos no profesionalizados.
2. Para poder gestionar eficientemente estas aceitunas, para bajas producciones o cuando se quiera controlar el proceso de producción del aceite, se ha trabajado sobre un modelo de micro-almazara del que se monitorizan las medidas del consumo energético y agua que requiere a través de sensores que se integran en la arquitectura del control del punto anterior.

## **3. Metodología**

Establecemos dos sistemas de trabajo en función de los dos objetivos marcados:

### **3.1 Gestión y supervisión de un conjunto de olivos en emplazamiento disperso.**

El primer problema a resolver es el de identificar y catalogar los olivos existentes en los terrenos de la universidad. Para esta labor se utilizó la cartografía del campus Universitario accesible desde el portal de la Gerencia de urbanismo del Ayuntamiento de Málaga (<http://urbanismo.malaga.eu/es/plan-general-de-ordenacion/carto/#.XLEb3ugzY2w>) y el trabajo de campo de alumnos y profesores de la facultad de ciencias que marcaron en los planos los árboles y, posteriormente y en laboratorio, los catalogaron en especies en base a un análisis de sus frutos. En la figura 1 se puede observar un segmento del trabajo realizado de marcado de árboles en esta cartografía.

Una vez completada esta misión se desarrolló un SIG (Sistema de Información Geográfica) con el que se implementó una base de datos sobre una estructura de localización sobre planos donde incluir toda esta información de catalogación.

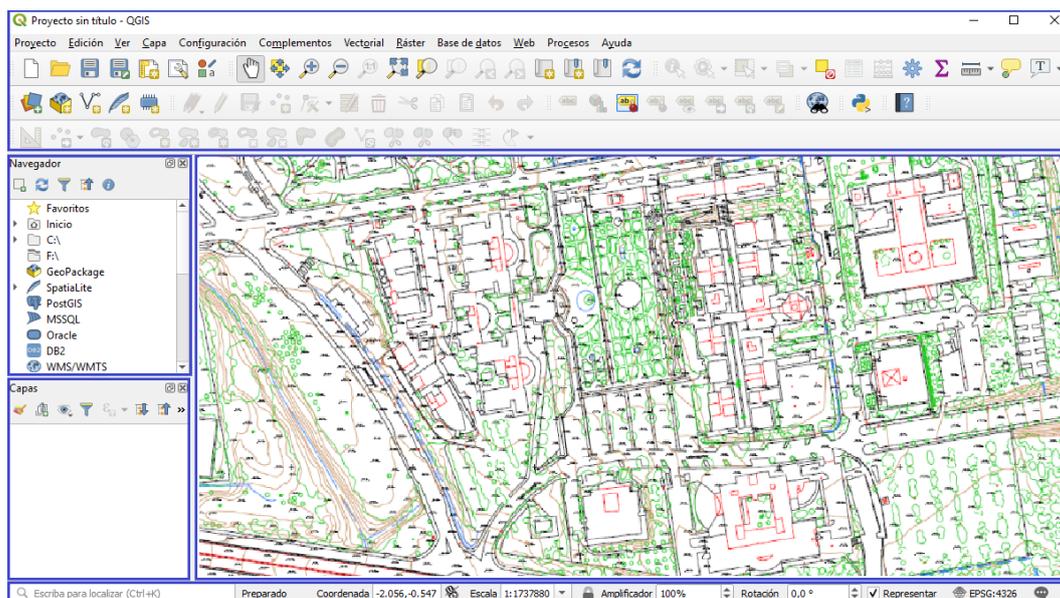
Esta base de datos se ha implementado sobre el entorno de desarrollo libre QGIS (<https://www.qgis.org/es/site/>) que permite usar como elementos de apoyo cartográfico estos planos descritos y general como elementos identificables cada uno de los árboles localizados. Ver figura 2.

En este punto, se establece la necesidad de integrar algunos sistemas de sensores del terreno que ayude a ir analizado el desarrollo y evolución de crecimiento de los árboles del campus, de manera que se pueda inferir, en principio, la calidad del aceite esperado y establecer los momentos óptimos de recolección de las aceitunas para conseguir el tipo y calidad de aceite deseado. Esto es especialmente significativo en un entorno de trabajo como el propuesto con árboles muy dispersos, disgregados y deslocalizados sin una estructura específica planificada de plantación.

**Figura 1. Hoja de muestra del conteo y caracterización cartográfica de los olivos localizados en el campus de la Universidad de Málaga (segmento de las facultades de ciencia de la educación, turismo y psicología): Puntos rojos (hojiblanca) y amarillo (picual).**



**Figura 2. Desarrollo de la implementación del SIG del proyecto con la base cartográfica seleccionada y los datos de desarrollo establecidos.**



Las dos medidas que permiten ir elaborando predicciones de esta materia son la humedad y la temperatura del suelo (Parras-Alcántara et al., 2016).

Se establece la necesidad de implementar algunas unidades de medida en diferentes arboles del entorno del campus para medir estos dos parámetros y poder descargarlos de manera periódica de modo que permitan fijar los puntos más adecuados de recolección de la aceituna o establecer algún tipo de cuidado o atención preventiva o correctiva en los árboles para corregir problemas de crecimiento o de salud de los mismos. Como se introdujo en el capítulo anterior, se pretende desarrollar una solución intermedia que no requiera de una red permanente de envío de datos, por el coste de implantación que supone, ni tener que descargar por una conexión física los datos de los sensores por su lentitud y posibilidad de producirse fallos mecánicos y de conexión. Se especifica usar un sistema de sensores con memoria y un mecanismo de descarga inalámbrico en proximidad en base a un protocolo de comunicaciones a determinar entre una centralita de los sensores de medida y un dispositivo informático móvil (Tablet o PC).

La información que se obtenga periódicamente se integrará en la misma base de datos SIGs para concentrar toda la información de gestión del olivar en una única plataforma general centralizada.

### **3.2 Análisis de los recursos materiales usados en la micro almazara**

Los dos recursos de mayor calado tanto en coste económico como en huella ecológica son los consumos de agua y energía. Estos dos valores se establecen como los más significativos (se diagnostican como sus “puntos calientes” ambientales) para la evaluación del ciclo de vida de los procesos de producción (Rebitzer et al., 2004) tanto de la industria agroalimentaria en general como, en particular, para la producción de aceite de oliva. Diferentes estudios realizados sobre esta industria específica establecen que el cultivo de olivos y la producción de aceite de oliva son los subsistemas responsables de la mayoría de los impactos ambientales y, por lo tanto, cualquier esfuerzo por minimizar el impacto del ciclo de vida global de la producción de aceite de oliva debe incluirlos, como hacemos en el apartado anterior (Tsarouhas et al., 2015). Sin embargo, desde el punto de vista de la valoración, todos los elementos constituyentes del proceso deben ser evaluados y el procesado con la maquinaria de la micro almazara también debe ser medido, analizado y puesto en consideración para su minimización en la medida de lo posible.

En estos valores influirán significativamente los diseños y la gestión de uso de las maquinarias utilizadas en la micro almazara como efectos de constructivos de la edificación que albergue la instalación (temperatura de almacenamiento y trabajo de la materia prima, adaptación a la recuperación de agua vertida al suelo,...)

Por simplicidad, su análisis se tratará de manera centralizada a toda la instalación, instalando equipos de medida en los bloques de entrada de los dos servicios de instalación. El medidor de agua en la línea general de distribución tras el contador y el de electricidad en el cuadro principal de protecciones eléctricas. De este modo se tendrá un control global de la instalación pudiendo hacer medidas particulares en base a protocolos de prueba individualizados.

Sus especificaciones de diseño, al igual que el caso anterior, deben permitir una gestión inalámbrica que dote de una alta flexibilidad y facilidad de manejo de los sistemas, minimizando la interacción humana y permitiendo un paso lo más sencillos de los datos desde sus equipos de medida a una plataforma de gestión o de difusión de los mismos como el propio SIG del apartado anterior.

En estos casos, la fiabilidad de los equipos y la capacidad de interferir en los procesos de distribución de los recursos materiales hace que se le de especial importancia a la conexión

mecánica de los mismos. Se priorizará en el sistema eléctrico que no exista la necesidad de alterar el cableado del cuadro para hacer las medidas (pudiendo instalar o desinstalar el equipo sin tener que desconectar en ningún punto los cableados generales de alimentación; proceso que, por definición tiene riesgos eléctricos y solo los debe realizar un instalador eléctrico autorizado) y en el sistema de medida del caudal del agua que tenga el menor efecto posible en caída de presión o afección del caudal por la introducción del sistema de medida.

#### 4. Propuesta de arquitecturas de trabajo y puesta en marcha

A continuación, se detallan los dos sistemas de sensores implantados para la gestión y supervisión de las tareas de análisis del desarrollo del proyecto Madhuma. La puesta en marcha del segmento de campo se ha realizado un par de meses antes de la realización de esta publicación y no ha permitido cumplir con un ciclo de trabajo de la micro almazara y sus olivos y los sistemas de supervisión del gasto de la unidad de producción están a la espera de la culminación del desarrollo de la maquinaria para su puesta en funcionamiento a final del año 2019. Se muestra de manera específica la estructura montada en cada caso, su funcionalidad y sus expectativas de obtención y presentación de información.

##### 4.1 Supervisión del entorno de los olivos para la estimación de su producción

El desarrollo de la estación de sensores para la medición de las condiciones de cultivo de los árboles se ha realizado mediante el sistema colector de datos MicroLog V3A del fabricante EMS Brno con tres canales de conexión de sensores multipropósito. En este caso se usarán respectivamente un sensor de humedad y otro de temperatura del suelo. Ver en la figura 3 el encapsulado tanto del colector de datos y gestor de memoria de captura de datos como de los diferentes sensores de medida utilizados y su formato de interconexión entre ellos. El sistema completo se dejará instalado tapado bajo tierra si acceso visible desde la superficie.

**Figura 3. Imágenes del colector de datos MicroLog V3A (EMS Brno) usado con las conexiones a sensores de humedad y temperatura del suelo. Su colocación final es enterrada en el suelo**



Los sensores registran el grado de humedad del suelo en forma de porcentaje (100% con el sensor en contacto directo con agua // 0% con el sensor al aire sin contacto con la tierra). Un suelo se considera húmedo para los olivos cuando se mide en él un valor por encima del 75%. Un suelo muy seco ofrecerá valores entre un 0 y el 20%. El objetivo deseable son suelos en el entorno del 40 y el 60% de humedad en la época de floración y cuajado del fruto.

Medir la evolución de la Tª del suelo ayuda a valorar la tendencia de evolución de la humedad del suelo y condiciona el comportamiento y la evolución de algunas de las enfermedades de este tipo de plantas como la Verticilosis, Fitóftora, Pythium o el Repilo plumizo.

La selección específica de este equipo se ha realizado en base a las siguientes especificaciones funcionales que permiten cubrir las especificaciones de diseño establecidas:

- IP68 estanco del conjunto y sus conectores que permite instalarlo enterrado en el suelo dificultando su deterioro, robo o vandalismo
- Memoria no volátil de datos para 50,000 lecturas, lo que significa más de un año de medición continua en un intervalo de una hora de temperatura y humedad del suelo. Estos datos no se pierden en caso de bajo una batería totalmente descargada o dañada.
- Un PC convencional con sistema Windows© permite la descarga de datos. La comunicación entre la PC y el colector es inalámbrica, los datos se transfieren por comunicación infrarroja por medio de un transductor conectado al PC mediante USB.
- La duración de la batería de litio integrada alcanza hasta cinco años de trabajo continuo en intervalos de medición por hora si una recarga.

La información que se descarga se vuelca mediante un proceso informático que carga los datos desde un formato de tabla Excel a la plataforma GIS para su gestión geográfica y temporal con respecto a los árboles plantados en su entorno. Se recogen datos cada 2 meses fuera de temporada y cada 2 semanas en los dos meses previos a la temporada estimada de recolección del fruto.

#### **4.1 Supervisión de los parámetros de consumo de la maquinaria de la micro almazara**

Se han establecido dos sistemas de medida, uno para el consumo de agua y otra para el de energía eléctrica.

- En el caso del agua el dispositivo a usar es el medidor de red MULTICAL 21 y flowIQ 2101 del fabricante Kamstrup. Es un sistema que permite medir tanto el caudal como la temperatura del agua instalado en serie en la tubería de admisión del agua. Este tipo de soluciones implica un proceso de instalación más complejo y una influencia en el flujo de agua mayor que sistemas de medidas no insertables, pero las diferencias de costes de equipos comerciales de ambos ámbitos y la precisión y fiabilidad esperada de los mismos nos llevan a seleccionar la primera opción.

Este equipo elegido se combina con un sistema de lectura inalámbrica a un PC mediante un transductor conectable a un puerto USB (USB meter reader del mismo fabricante). El sistema tiene un interfaz de visualización y representación propio distribuido conjuntamente con el sistema USB de medición y un mecanismo de exportación, en base a ficheros estandarizados de datos de tipo XML, para poder lanzarlos (importarlos/exportarlos) a cualquier otra plataforma.

Ver en la Figura 4 los dos componentes hardware que constituyen el sistema de medida del consumo de agua establecido. El bloque sensor incluye también un visor digital que permite conocer, in-situ, los valores instantáneos y el último ciclo acumulativo de consumo establecido.

- Para la energía eléctrica se ha optado por seleccionar el equipo Wibee del fabricante Circutor. Este es un equipo para la adquisición de datos eléctricos de la red de entrada de una localización (tensión, armónicos, factor de potencia...) y de los consumos eléctricos realizados (activos y reactivos). Su instalación no requiere de modificar ni interactuar con el cableado eléctrico al usar unas bobinas de lectura abiertas que se enganchan a los cableados en su colocación en un elemento de protección mediante unos clips. Ver en la figura 5 el equipo de medida Wibee en un formato de lectura de red trifásica y su estado de colocación una vez instalado sobre un equipo de protección de un cuadro eléctrico.

**Figura 4. Sistema de medida de consumo de agua seleccionado MULTICAL 21 y flowIQ 2101 (Kamstrup) y periférico de lectura de datos inalámbrico a un equipo PC**



**Figura 5. Sistema de medida de consumo de energético seleccionado Wibee (Circutor) con sistema de conexión a Wi-Fi y enlace de datos inalámbrico**



Los parámetros medidos en información que se envía mediante una conexión inalámbrica Wi-Fi a cualquier equipo informático o a una red para el envío a una nube de la empresa fabricante para su acceso remoto desde cualquier localización. Se ofrece una APP específica de lectura de distribución gratuita para la visualización y exportación de datos. Ver en la Figura 6 dos capturas de pantalla de la aplicación informática recogiendo datos del estado de la red y del consumo eléctrico en una instalación en uso.

**Figura 6. Ejemplos de pantallas de visualización de datos de medida del sistema Wibee. Izquierda consumo energético y derecha valor del voltaje de la red**



## 5. Discusión de resultados obtenidos

A falta de completar un ciclo completo de producción de aceitunas en el periodo 2018/19 la tendencia de los valores recogido muestra que la humedad registradas por nuestros sensores en este invierno y primavera son de suelos secos, debido a las escasas lluvias producidas en este año, en tanto que nos deja valores medidos de humedad en el suelo en el entorno de un 15% en invierno y de un 30% en primavera.

El mes de abril el sistema de sensores si comenzó a registrar medidas más elevadas de humedad por lluvias, pero con carácter bastante puntual, de este modo, se han registrado mesetas de varios días con valores por encima del 60%. La media de la humedad de este mes se ha quedado en un 30%. El problema se está detectando este mes de marzo donde las altas temperatura y la ausencia total de lluvias ha devuelto al suelo a valores en el entorno y por debajo del 20%.

Por esta causa, se espera un aceite de no muy alta calidad en la producción de aceitunas de este año. En cualquier caso, esta hipótesis de valoración se deberá contrastar con el análisis químico del aceite que se generé en recogidas de aceitunas en septiembre y noviembre de este año.

Un objetivo a largo plazo del proyecto es apoyar con riego los olivos cercanos a los sensores de medida el próximo ciclo 2019/20 de manera que se controle en cierta medida la humedad del suelo. La comparación de los aceites resultantes nos permitirá valorar los beneficios de generar un patrón de riego en este tipo de agrupaciones dispersas de olivos.

Con respecto al análisis del control del consumo eléctrico y el agua de la almazara, el sistema nos ha permitido medir los consumos puntuales de cada equipo desarrollado y

caracterizar nominalmente su uso de estos dos parámetros, especialmente la potencia efectiva de trabajo de los motores integrados con respecto a sus valores nominales declarados por los fabricantes. Su funcionalidad definitiva no se podrá probar hasta que alcancemos un primer ciclo de recogida de aceitunas y se pueda medir la planta completa en producción con los ciclos de carga de aceitunas (300-400 kg) para los que se ha diseñado el conjunto del sistema

## 6. Análisis económico

Se presenta finalmente en la Tabla 1 una valoración económica del coste de implementación de las soluciones propuestas con el objetivo de presentar todos los datos relevantes de su diseño. Los valores ofrecidos son datos de catálogos de venta oficiales de los fabricantes o precios ofrecidos por distribuidores oficiales de los mismos en cantidades de cliente minorista (por unidad).

El proyecto en gestión ha recurrido al uso de tres estaciones de medición de las condiciones del suelo de los árboles en estudio y a un conjunto de medida de electricidad y agua. Por tanto, el presupuesto total desarrollado ha sido de 2.705 € + impuestos. En este presupuesto no estaría incluido el coste de los desarrollos de servicios y aplicaciones software que hagan de transductores de información entre los diferentes formatos de los sistemas del listado. En este caso se ha desarrollado con trabajo de los miembros colaboradores del mismo.

**Tabla 1. Presupuesto de los componentes requeridos para el desarrollo de las arquitecturas de gestión del sistema.**

Concepto (Equipo y condicionantes)	Precio por unidad [€] sin impuestos (IVA)
V3A-MicroLog	385,00
Sensor de medida de humedad del suelo de alto rendimiento	168,00
Sensor de medida de temperatura del suelo	98,00
Wibeee Trifásico (app gestión gratuita)	210,00
MULTICAL® 21/flowIQ® 2101	239,00
USB Meter Reader (+ aplicación gestión)	303,00
Plataforma QGIS	0,00

Con esta cantidad de dinero, se tienen elementos suficientes para la gestión y supervisión de las infraestructuras de desarrollo del proyecto y para poder dar difusión automatizada y pública del proceso de desarrollo del mismo a través de un portal web que recopile toda la información con tratamiento automatizado del trabajo desarrollado.

## 7. Conclusiones

En este trabajo se han presentado una metodología de gestión de información y dos arquitecturas de control mediante sensores para el seguimiento del estado del suelo sustrato de los árboles para la producción agrícola y para la supervisión del uso de recursos (agua y energía eléctrica) de una planta de producción industrial desarrolladas para un caso

específico de trabajo de generación de aceite de oliva mediante la recolección de frutos de árboles diseminados o dispersos y la producción de aceite en micro almazara

Se han detallado las especificaciones establecidas de trabajo en base a los trabajos de campo realizados sobre este tipo de problemas y se ha realizado una búsqueda en el mercado de equipos que se pudiesen combinar e interconectar para cubrir estos requisitos resolviendo los objetivos planteados. Se han resuelto tres bloques de infraestructura independientes (estado del suelo, consumo de agua y consumo de energía) con la capacidad de medida requerida para el problema propuesto y con la capacidad de establecer transmisiones de datos inalámbricas no sujetas a operadores que permiten tener un sistema funcional, flexible y robusto para su explotación.

Los equipos han sido probados en condiciones de uso ofreciendo resultados de evolución del estado del terreno y parámetros de caracterización de la maquinaria desarrollada para la implementación de la micro almazara. El sistema se encuentra en este momento en un proceso de prueba continua de captación de datos con los que establecer conclusiones definitivas de robustez y fiabilidad de uso en las condiciones marcadas y de cubrir los casos concretos de producción de aceite con la maquinaria que se termine diseñando para la constitución completa de la micro almazara.

En lo que respecta al análisis de la humedad del terreno se plantea con línea de investigación del proyecto implementar olivos con un proceso de riego específico para fijar condiciones objetivo de humedad del suelo y poder valorar la mejora o no de la calidad en función de este parámetro del aceite y valorar la sostenibilidad y la rentabilidad económica (medible en base a un posible aumento de la producción) de esta medida.

## 7. Bibliografía

- Cao, X., Liu, L., Cheng, Y., & Shen, X. S. (2018). Towards energy-efficient wireless networking in the big data era: A survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 20(1), 303-332.
- Kibert, C.J. (2016). *Sustainable construction: green building design and delivery*. John Wiley & Sons
- Kumbhar, S., Gupta, A., & Desai, D. (2013). Recycling and reuse of construction and demolition waste for sustainable development. *OIDA International Journal of Sustainable Development*, 6(7), 83-92.
- Labuschagne, C., Brent, A. C., & Van Erck, R. P. (2005). Assessing the sustainability performances of industries. *Journal of cleaner production*, 13(4), 373-385.
- O'Driscoll, E., & O'Donnell, G. E. (2013). Industrial power and energy metering—a state-of-the-art review. *Journal of Cleaner Production*, 41, 53-64.
- Oficina de Material Reutilizable de la Universidad de Málaga. (2018). Obtenido el 12 de abril de 2019, desde <http://www.sga.uma.es/index.php/proyectos/oficina-de-material-reutilizable/procedimiento-oficina/85-oficina-de-material-reutilizable/file>
- Parras-Alcántara, L., Lozano-García, B., Keesstra, S., Cerdà, A., & Brevik, E. C. (2016). Long-term effects of soil management on ecosystem services and soil loss estimation in olive grove top soils. *Science of the Total Environment*, 571, 498-506.
- Plan Propio Smart Campus Universidad de Málaga. (2018). Obtenido el 12 de abril de 2019, desde <http://eventos.uma.es/29983/detail/mahduma-i-plan-propio-de-smart-campus.htm>
- Rebitzer, G., Ekvall, T., Frischknecht, R., Hunkeler, D., Norris, G., Rydberg, T. & Pennington, D. W. (2004). Life cycle assessment: Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications. *Environment international*, 30(5), 701-720.
- Robichaud, L. B., & Anantatmula, V. S. (2010). Greening project management practices for sustainable construction. *Journal of Management in Engineering*, 27(1), 48-57.

- Sánchez, I. R., Ruiz, J. M., López, J. C., & Pérez, J. S. (2011). Effect of environmental regulation on the profitability of sustainable water use in the agro-food industry. *Desalination*, 279(1-3), 252-257.
- Tsarouhas, P., Achillas, C., Aidonis, D., Folinas, D., & Maslis, V. (2015). Life Cycle Assessment of olive oil production in Greece. *Journal of cleaner production*, 93, 75-83.
- Villalobos, F.J., Orgaz, F., Testi, L., & Fereres, E. (2000). Measurement and modeling of evapotranspiration of olive (*Olea europaea* L.) orchards. *European Journal of Agronomy*, 13(2-3), 155-163.
- WCED [World Commission on Environment and Development] (1987). Report of the World Commission on Environment and Development: "Our Common Future". General Assembly document A/42/427. Obtenido el 12 abril de 2019, desde <http://www.wbcsd.org>