

OPTIMIZAGUA, un modelo europeo de referencia para la gestión eficiente del agua.

Experiencias en agricultura.

Cuatro milenios antes de Cristo, los ingenieros mesopotámicos construyeron un canal para derivar agua del Río Eufrates. Esta construcción, ideada para calmar la sed de sus campos, supuso la base de la primera civilización que basaba su economía en una agricultura de irrigación.. Este hito en la historia de los sumerios es conocido por casi todos. Sin embargo muy poco gente conoce que Sumeria, fue una de las primeras civilizaciones en venirse abajo por culpa, en gran parte, de las consecuencias del riego.

Los campesinos de Mesopotamia cosecharon trigo y cebada en abundancia durante unos dos mil años gracias al agua extra que obtenían del Eufrates. Pero los terrenos de cultivo terminaron sufriendo un profundo proceso de salinización, la acumulación tóxica de sales y otras impurezas que deja el agua al evaporarse. Dichos terrenos no fueron capaces de mantener una producción de alimentos suficientes , y por ello muchos historiadores atribuyen a estos campos de cultivo arruinados una de las causas principales de la decadencia de la sociedad sumeria. En la historia de la humanidad no es la única civilización que se hundió por dicha causa, a pesar de haber demostrado ser unos grandes conocedores en el uso del agua de riego.

La realidad es que la historia de la civilización humana se entrelaza con la historia del aprovechamiento de los recursos hídricos, y es ahora más que nunca, cuando más de 6.000 millones de personas viven el planeta cuando la necesidad de dar un uso inteligente y respetuosos al agua se hace más perentorio. Ya en el pasado gran cantidad de conflictos bélicos tuvieron su origen en el agua y en el futuro se multiplicarán, es por ello por lo que cualquier esfuerzo destinado al ahorro de agua se convierte en una de las más potentes herramientas para la paz.

Soria Natural es una empresa que se dedica entre otras actividades al cultivo orgánico de plantas medicinales y alimentarias para su empleo posterior en la obtención de medicamentos y alimentos vegetarianos ecológicos, también en sus propias instalaciones. Los cultivos de dicha empresa, se encuentran situados en la provincia de Soria, en la Comunidad Autónoma de Castilla y León que pertenece al Reino de España. Es Soria un territorio, que exceptuando las regiones más septentrionales de los países nórdicos presenta las tasas de densidad poblacional más bajas de la Comunidad Europea, con 9,3 habitantes por Km². El clima que presenta es mediterráneo continentalizado, esto es, un régimen pluviométrico que presenta sus principales meses de sequía en el veranos y la máxima pluviosidad en primavera y otoño especialmente, no superando los 550 litros/m², y con unas temperaturas invernales bastante extremas, superando los 110 días de helada anuales, y unas temperaturas estivales moderadas. Las características citadas del clima se deben especialmente a la altitud, en concreto la finca de nombre “Numancia” en la que se ha establecido la acción demostrativa se encuentra a unos 1.100 m de altura sobre el nivel del mar. Sin embargo, a pesar de la dureza del clima soriano, nos encontramos en una zona con especial interés botánico por la variedad de especies medicinales que se pueden encontrar en su flora, y por tanto pueden cultivarse para su explotación económica. Además, la escasa presión humana y por tanto industrial permite disfrutar de un territorio con una muy baja contaminación ambiental. Todo ello generó hace unos veinticinco años un enclave privilegiado para la implantación de una empresa con dicho perfil ecológico en la que la producción de las materias primas se convirtió en uno de sus pilares. Naturalmente, las características

climatológicas citadas imponen un intenso régimen de irrigación durante la temporada estival, en ocasiones en terrenos en los que la obtención de agua no es fácil, o directamente no existe, lo que ha obligado siempre a la empresa a trabajar con la mira puesta en sistemas de riego lo más eficientes posibles.

En este marco, la posibilidad de incorporarse al proyecto Life “OPTIMIZAGUA” se nos antojó como una oportunidad única para la empresa que no podíamos desperdiciar, por lo que nos decidimos a establecer la acción demostrativa en nuestra finca más importante, la finca “ Numancia”.

La realidad es que parecía que la finca estaba predestinada a su incorporación en un proyecto de gestión eficiente del agua ya que presentaba los siguientes servicios:

- Una balsa impermeabilizada con capacidad de unos 5.000.000 litros y una superficie de unos 1800 m². Lo cual en una sola instalación nos encontramos ya con dos de los sistemas que el proyecto “OPTIMIZAGUA” considera muy importantes, si no esenciales, que son un aljibe para el almacenamiento de aguas provenientes del régimen pluviométrico de la zona y una superficie amplia de recogida, una superficie como la citada en un año con una pluviometría media permite la recogida de unos 990.000 litros, si bien es verdad que una balsa que no presente una lámina que evite o en el peor de los casos dificulte la evaporación del agua que contiene ve menguada su funcionalidad en la recogida de aguas de lluvia ya que se calcula que lo recogido puede ser aproximadamente lo evaporado.
- Un pequeño sondeo con unos 80 m de profundidad en el que se había instalado un molino multipala dotado de una bomba de elevación que alimenta a la balsa. Este sistema permite el llenado de la balsa a lo largo de todo el año, aun más teniendo en cuenta que tan solo se utiliza el agua en los meses estivales y permite generar una reserva importante de agua. La situación elevada del molino permite además un aprovechamiento óptimo del régimen eólico de la zona, que es de cierta importancia (no en vano, la provincia de Soria es una de las que presenta un mayor aprovechamiento en energía eléctrica de origen eólico).

A esta situación privilegiada se le incluyeron los siguientes mecanismos que permitieron desarrollar la acción demostrativa sobre la eficiencia de riego. Éstos fueron los siguientes:

- Una estación meteorológica captadora de datos, de tal modo que de una forma continua se registraban los siguientes parámetros de clima:
 - Temperatura.
 - Humedad relativa.
 - Irradiancia.
 - Velocidad del viento.
 - Dirección del viento.
 - Pluviometría.
 - Intensidad de las precipitaciones.

- Una batería de sensores de humedad enterrados en el terreno en diferentes lugares de la finca y a diferentes profundidades.
- Un sistema de transmisión de datos vía G.P.R.S. para transmisión de todos los datos registrados a través de internet, de tal modo que éstos pueden ser recibidos en el momento en cualquier ordenador.
- Un sistema mixto de generación de energía eléctrica a partir de energías renovables. El conjunto cuenta con los siguientes elementos:
 - Aerogenerador con una potencia nominal de 3,2 Kw.
 - Placas solares con una potencia nominal de 1,2Kw.
 - Sistema de acumulación de baterías.
 - Un grupo electrógeno de arranque autónomo para garantizar una cierta autonomía en caso de necesidad.

El sistema se diseñó para permitir una autonomía de hasta cuatro días en los que no hubiese ni viento ni sol (caso muy improbable) y hubiese que llevar a cabo hasta cuatro riegos diarios de una hora.

- Una bomba eléctrica alimentada a partir del acumulador de baterías.
- Un sistema de riego por aspersión.
- Contadores de agua para controlar la cantidad de agua gastada en cada una de las parcelas testadas.
- Válvulas motorizadas para apertura automática de cada sector.
- Un software diseñado para recibir y registrar los datos enviados por todos los sensores climatológicos y así como los de humedad en el suelo. El programa permite fijar unos límites de diferentes valores (temperatura, irradiancia, velocidad del viento,, etc) de tal manera que el riego no se active, evitando situaciones climatológicas que disminuyen la eficiencia del riego, por evaporación excesiva, por desplazamiento a través del aire, etc. El sistema podía ser programado para enviar SMS o e-mails con las alarmas que se produjesen al superarse o no alcanzarse los límites programados.

Tras la instalación de todos estos mecanismos, se procedió a delimitar una parcela de testaje con una superficie de dos Ha. Cada una de las Ha se dividió en dos partes iguales intentándose que presentasen la mayor homogeneidad posible en la calidad del terreno. Los cultivos empleados para la acción demostrativa fueron trigo y maíz.. Se determinó una parcela control para cada cultivo cuya característica fue que el riego que recibiese sería el que el responsable de los campos decidiese en cada

momento, sin restricción alguna en sus acciones (no cabe duda que el operario se vio en cierto modo sesgado desde el punto de vista que conocía que su experiencia iba a ser comparada a la de un sistema electrónico). Las otras parcelas se regaron a partir de las órdenes recibidas del software, previamente programado para llevar a cabo un riego lo más eficiente posible, pero sin menoscabo de la producción para ello se marcaron unos criterios de riego avanzado que a continuación se comentan:

Criterios para el cultivo del trigo.

Dado que esta época es crítica para obtener una nascencia uniforme, se plantearon riegos en caso de que los valores de humedad en suelo fuesen inferiores al 25 %, es ese caso el sistema enviaba un mensaje por mail o SMS indicando que se había alcanzado el nivel de referencia de humedad mínima en suelo.

Tras el aviso el propio sistema iniciaba el riego, si bien en paralelo se visitaba la parcela para evaluar el estado del cultivo y decidir durante la visita de campo si se forzaba o no la inhibición del riego.

A pesar de las escasas lluvias de este invierno, la humedad se mantuvo en niveles adecuados para el desarrollo del trigo atendiendo los bajos requerimientos hídricos de este cultivo.

3.1.1. Programación del sistema.

PROGRAMACIÓN DE CONDICIONES DEL SISTEMA DE "RIEGO INTELIGENTE"	H. Suelo	Lluvia	Viento
1. Aviso de recomendación de riego	< 25%		
2. Avisos no recomendando riego (por exceso de humedad normalmente por lluvia)	> 30%		
3. Paros mientras se riega:(lluvia, viento o humedad suelo superan máximos)	> 30%	Si	> 15 km/h
4. Inhibiciones de riego por datos de alarma (viento, humedad de suelo)	> 30%	Si	> 15 km/h

3.1.2. Alarmas y avisos.

DECISIONES DEL SISTEMA DE "RIEGO INTELIGENTE"	H	Li	V	Total	Acumulados
1. Número de avisos recomendando riego				0	0
2. Número de avisos no recomendando riego (por exceso de humedad)				0	0
3. Número de paros mientras se riega (lluvia, viento o humedad suelo superan máximos)				0	0
4. Número de inhibiciones de riego por datos de alarma (viento, humedad de suelo)				0	0
5.-Ciclos completos muestreo-valoración-decisión del sistema				4.320	4.320

Criterios para el cultivo del maíz

Periodo vegetativo: se consideraron tolerables episodios diarios de estrés en las horas centrales del día si la planta recuperaba la turgencia durante la tarde-noche. Este periodo fue de emergencia hasta quince hojas. A lo largo del periodo de estudio se producen dos etapas en el cultivo:

En la primera etapa, era importante no disminuir el agua útil en el suelo por debajo del 50% de reservas (24% de humedad en valor absoluto). El cultivo presentaba una débil demanda evaporativa (al no estar implantado) por lo que los riegos son esporádicos. Se marcó el 24 y el 30% de humedad para conseguir un importante ahorro de agua.

En la segunda etapa fue donde el cultivo pudo ser mantenido en mayores niveles de estrés sin problemas, siendo tolerable un límite mínimo del 40% de reservas y máximo del 60% (entre el 20 y el 26% de humedad en valor absoluto). A diferencia de la primera etapa, en este período la demanda evapotranspirativa del cultivo fue alta con

lo cual los riegos se debieron hacer más frecuentes al alcanzarse más rápidamente el valor mínimo de 20% de humedad en el suelo. El criterio de riego se producía con el aviso de humedad mínima y se interrumpía al alcanzar el nivel máximo de humedad.

Esta forma de manejo del cultivo no representó un impacto apreciable en su aspecto externo y sin embargo, significó un considerable ahorro de agua frente al método tradicional de riego, que por lo general mantiene los niveles de humedad mucho más altos durante la fase de implantación del cultivo.

3.1.1. Programación del sistema.

PROGRAMACIÓN DE CONDICIONES DEL SISTEMA DE "RIEGO INTELIGENTE"	H. Suelo	Lluvia	Viento
1. Aviso de recomendación de riego	< 24/20		
2. Avisos no recomendando riego (por exceso de humedad normalmente por lluvia)	> 30/26%		
3. Paros mientras se riega:(lluvia, viento o humedad suelo superan máximos)	> 30/26%	Si	> 15 km/h
4. Inhibiciones de riego por datos de alarma (viento, humedad de suelo)	> 30/26%	Si	> 15 km/h

3.1.2. Alarmas y avisos.

DECISIONES DEL SISTEMA DE "RIEGO INTELIGENTE"	H	LI	V	Total	Acumulados
1. Número de avisos recomendando riego	18			18	18
2. Número de avisos no recomendando riego (por exceso de humedad)		1		1	1
3. Número de paros mientras se riega (lluvia, viento o humedad suelo superan máximos)	17		2	19	19
4. Número de inhibiciones de riego por datos de alarma (viento, humedad de suelo)	10	18	18	46	46
5.-Ciclos completos muestreo-valoración-decisión del sistema				5.856	5.856

Tras las cosechas se procedió al registro de los principales datos como son producción, agua empleada en el riego en cada una de las parcelas y calidad del grano obtenido. Y se procedió a llevar a cabo el estudio comparativo de ahorro de agua en cada uno de los sistemas testados

Los datos obtenidos para cada cultivo y parcela se recogen a continuación

1. AHORROS DE AGUA EN "SORIA NATURAL" (Trigo).

Sector de trigo, tomando como superficie base 0,5 Hectáreas de "control":

ZONA DE RIEGO	Área de testado (m2)	Días de ciclo	l/m2/día	m3 Totales	m3 ahorro	Pluviales (m3)	Ahorro con pluviales	Ahorro sin pluviales	% pluviales sobre riego eficiente	% pluviales sobre riego convencional
Contraste	5.000	235	1,21	1.426	552	153	48%	38,7%	17,5%	10,7%
Inteligente	5.000	235	0,74	874						

Extrapolación de datos registrados en superficie de testado a 1 Hectárea como unidad patrón de referencia.

ZONA DE RIEGO	Superficie de referencia	m3/Ha.	Pluviales (m3)	m3 de ahorro (%)	% ahorro por pluviales	Calidad del cultivo
Contraste	Hectárea (Ha.)	2.852	153	1.104 m3 38,7%	5,4%	OK (analítica)
Inteligente	Hectárea (Ha.)	1.748			8,8%	OK (analítica)

Las muestras de trigo analizadas, tanto de la zona de testado como de la de contraste colindante, presentaron unos valores de buena calidad en ambos casos, si bien la producción por hectárea se correspondió con periodos propios de gran sequía; siendo los porcentajes tipo de desvío de escasa relevancia entre los parámetros básicos analizados de las muestras obtenidas en cada una de las zonas.

La situación de sequía influyó en la obtención de unos menores ahorros de agua, y también una menor cantidad de cosecha por hectárea. Para evitar posibles sesgos en los rendimientos por hectárea debido a la sequía, se procuró mediante la inspección diaria de la finca mantener una similar proporción entre la zona de riego eficiente y la zona de contraste mediante riego convencional; con el fin de obtener datos de ahorros hídricos desde bases comparables.

No obstante, la tecnología introdujo en paralelo al ahorro hídrico, un importante potencial de mejora de la productividad agraria, especialmente en épocas de sequía; sin que dicho análisis haya sido objeto propio de esta acción piloto demostrativa, en la medida en que ésta se ha centrado conforme a la propuesta del proyecto aprobada en la optimización de agua sin menoscabo de calidad o cantidad del cultivo.

2. AHORROS DE AGUA EN “SORIA NATURAL” (Maíz).

Sector de maíz, tomando como superficie base 0,5 Hectáreas de “control”:

ZONA DE RIEGO	Área de testado (m ²)	Días de ciclo	l/m ² /día	m ³ Totales	m ³ ahorro	Pluviales (m ³)	Ahorro con pluviales	Ahorro sin pluviales	% pluviales sobre riego eficiente	% pluviales sobre riego convencional
Contraste	5.000	184	4,24	3.904	1.646	55	43,6%	42,2%	2,4%	1,4%
Inteligente	5.000	184	2,45	2.258						

Extrapolación de datos registrados en superficie de testado a 1 Hectárea como unidad patrón de referencia.

ZONA DE RIEGO	Superficie de referencia	m ³ /Ha.	Pluviales (m ³)	m ³ de ahorro (%)	% ahorro por pluviales	Calidad del cultivo
Contraste	Hectárea (Ha.)	7.808	55	3.292 m ³ 42,2%	0,7%	OK (analítica)
Inteligente	Hectárea (Ha.)	4.516			1,2%	OK (analítica)

La muestras de maíz procedentes de la zona de riego eficiente y de la zona de contraste mediante riego convencional, no presentan conforme a las analíticas realizadas desvíos tipo relevantes, si bien el obtenido con riego eficiente presenta sensibles mejoras de rendimiento; y en ambos casos queda acreditada su buena calidad. Se han seguido patrones de productividad en paralelo para las zonas de experimentación y de contraste para no distorsionar la homogeneidad de los resultados de la acción piloto.

La situación de sequía ha influido en la obtención de unos resultados de ahorro de agua inferiores, en especial debido a la menor captación y reutilización de agua de pluviales para riego; así como en la obtención de una menor cantidad de cosecha en términos comparados, que se ha tratado de equilibrar con éxito en la zona de riego inteligente; presentando la tecnología testada la potencialidad añadida de mejorar la productividad y el rendimiento de los cultivos con menor aporte de agua que con sistemas tradicionales en situaciones de climatología muy adversa.

Conclusiones.

Tras el análisis rápido de los resultados se puede comprobar que queda sobradamente demostrado el importante efecto ahorrador de agua de l sistema de riego eficiente testado en la acción demostrativa, y podemos observar que los fundamentos del ahorro son los siguientes:

•Conocimiento instantáneo de los parámetros principales que afectan a los parámetros del cultivo. Es la primera ventaja con que nos encontramos y que normalmente el agricultor no es capaz de evaluar de un modo objetivo. Normalmente estos parámetros son más bien apreciaciones y observaciones muy subjetivas, hasta tal punto que es difícil poner de acuerdo a varios agricultores sobre este tema. La estación climatológica, permite además generar un importante registro de datos históricos, los cuales si se cruzan con datos de producción y calidad obtenidos bajos esos parámetros climatológicos, nos permitirán generar hipótesis de trabajo que permitan generar nuevas estrategias de cultivo que permitan más producción con una menor inversión en recursos hídricos, energéticos etc.

•Posibilidad de establecer un programa de riego que se active frente a necesidades del cultivo, pero atendiendo a situaciones climáticas que permitan llevar a cabo un riego más óptimo. Ello permitiría que el tiempo de riego se llevase a cabo de modo muy diferente a como se realiza hasta ahora, cuando de forma mayoritaria podemos observar campos regándose a las doce del mediodía con temperaturas superiores a los 40°C, aún sabiendo que el 50% del agua nunca llegará a la tierra ya que las gotas se evaporan antes de caer sobre ella, y las que llegan lo hacen en las horas del día de mayor evaporación debido a la alta irradiancia solar, o los riegos que se llevan a cabo cuando el viento presenta una fuerza importante, transportando gotas desde el aspersor a lugares muy alejados de donde debían caer y aumentando también la evaporación.

Por otro lado, la acción demostrativa de riego eficiente llevada a cabo en nuestros campos alumbró ideas y posibilidades de desarrollo en áreas rurales que con anterioridad se presentaban como imposibles. Proyectos que pasarían por:

- Generación de células de regadío en zonas con escasos recursos hídricos, apoyadas en pequeños sondeos que permitan la acumulación invernal de agua mediante aerobombas. Esto podría ser importante en cultivos estratégicos con alto valor añadido, plantas aromáticas, medicinales, cultivos truferos, otros, que permitan la amortización de la inversión inicial. La combinación de estas estructuras de almacenaje con sistemas de máxima optimización en riego como es microaspersión y riego por goteo multiplican aun más su eficiencia, ya que permiten el aumento de las superficies de riego de un modo muy importante sin disminuir en absoluto su efectividad.
- Posibilidad de combinar el sistema con técnicas de lucha contra heladas. La utilización de sistemas programables que nos permiten fijar límites que nos avisen de lo que sucede en nuestras parcelas y puedan activar mecanismos de defensa contra las heladas u otros parámetros climáticos (colocación de sombreros, apertura de mecanismos de aireación, inyección de nutrientes en el riego por goteo, etc.)
- Generación de históricos documentados que permiten conocer mejor la ecología del cultivo y sus respuestas a los diferentes factores. No cabe duda que cultivos como el maíz y el trigo han sido ampliamente estudiados y se conocen todos los aspectos de

su ecología, sin embargo en otros cultivos más minoritarios estos aspectos son más desconocidos. En cultivos leñosos o arbustivos se puede mejorar el sistema con la utilización de dendrómetros (sensores instalados sobre la misma planta que informan del stress hídrico de ésta mediante medidas de precisión sobre la turgencia de sus ramas o tallos)

- Control del stress hídrico de la planta. En ciertos cultivos, especialmente los de plantas medicinales trabajar sobre el stress hídrico de las plantas es presenta importantes ventajas, ya que permite actuar sobre las tasas de síntesis de ciertos metabolitos, pudiendo forzar al cultivo a desequilibrar su biosíntesis en aras de una mayor producción de un determinado principio activo.

Finalmente y como última reflexión y ya a niveles con connotaciones netamente sociales podemos reconocer que la utilización de sistemas de riego avanzado como el diseñado para el Proyecto OPTIMIZAGUA” LIFE 03 ENV/E/000164 generan nuevos ámbitos y formas de trabajar a los agricultores:

- Permite la reasignación de nuevas labores a los encargados de abrir y cerrar llaves por diferentes fincas, debido a la instalación de válvulas motorizadas y programadas por el sistema. Ellos también termina con la “esclavitud” de tener que regar a pié de finca.
- Posibilidad de gestionar fincas alejadas geográficamente. Ya que con una simple conexión a internet podemos conocer el estado del cultivo e incluso abrir de forma manual por control remoto las válvulas si ello se considerase necesario.
- Posibilidad de generar diagnósticos de tratamiento con especialistas a distancia, mediante el envío de los históricos tanto a nivel de gráficos como de tablas, y acompañados de imágenes de los cultivos. Naturalmente para ello se necesitan ciertos conocimientos de fisiología vegetal.
- Disminución de los costos de explotación para el agricultor, no solo desde el punto de vista de un menor consumo de agua, que en el futuro va a sufrir un importante incremento de precio, sino también por el importante ahorro de energía que se obtiene al no tener que mover cantidades tan grandes de agua. Del mismo modo las grandes infraestructuras de riego pueden presentar volúmenes inferiores ya que no es necesario acumular tantas reservas. Además la tierra recibe aportaciones menores de sales provenientes de aguas de riego, con lo que los suelos mantienen una mayor fertilidad y menores tasas de contaminación, que normalmente podrán ser disueltas y arrastradas en la temporada de lluvias.