



AgrONitro

GUÍA DEL PROYECTO Y RESULTADOS



UNIÓN EUROPEA
Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural



Junta de Andalucía
Consejería de Agricultura,
Pesca, Agua y Desarrollo Rural

SUMARIO

3

Cooperativas Agroalimentarias de Granada

5

Cooperativa El Grupo S.C.A

9

Tecnova Centro Tecnológico

18

CIDAF Centro Tecnológico



COOPERATIVAS AGROALIMENTARIAS DE GRANADA

Cooperativas Agroalimentarias de Andalucía-Granada participa activamente en este proyecto, siendo responsable de la divulgación del mismo. Junto con el resto de miembros del GO, al inicio del proyecto se establecieron los objetivos estratégicos del Plan de Comunicación, perfilando las herramientas que emplearíamos para alcanzar estos objetivos.

Básicamente, nuestra misión ha consistido en la difusión del proyecto, con estos tres objetivos fundamentales:

- 1.- Difundir los retos que plantea el proyecto como experiencia innovadora de investigación para desarrollar una serie de herramientas mediante diferentes tecnologías para optimizar el uso de abonos nitrogenados en las soluciones nutritivas de riego.
- 2.- Comunicar a los profesionales del sector agrario las ventajas económicas y medioambientales de la incorporación de nuevas prácticas agrarias que avancen hacia un uso más sostenible del suelo.
- 3.- Dar visibilidad y generar demanda entre el sector agrario de métodos de producción más sostenibles y respetuosos con el medio ambiente.

Las acciones de divulgación han estado dirigidas a estos públicos de interés:

- Productores agrícolas de todo el país.
- Administraciones, entidades públicas y empresas privadas, de ámbito andaluz, que estén vinculadas con el sector agroalimentario.
- Sector investigador y tecnológico (Universidades, centros de investigación y centros tecnológicos...)
- Agentes dinamizadores del territorio (Grupos de Desarrollo Rural y otros)
- Entidades financiadoras públicas y privadas
- Ciudadanía en general

Plan de Comunicación

Para difundir este proyecto se diseñó un Plan de Comunicación con los objetivos generales y la naturaleza del proyecto, mensajes a transmitir, grupos de interés del proyecto, herramientas y recursos necesarios para realizar la difusión y el periodo de duración de la misma.

Imagen de Proyecto

Se diseñó un logotipo y rollup con la imagen del proyecto. Se creó la página web www.agronitro.es, un perfil en distintas redes sociales como Facebook, Twitter, Youtube. Así mismo, se grabó, editó y difundió un video explicativo del proyecto con los objetivos, miembros y fases de la investigación.

Gabinete de Prensa

El Gabinete de Prensa ha redactado material divulgativo del proyecto, además de notas de prensa, informes y entrevistas a lo largo de los dos años de divulgación.

Publicidad en Medios

Para conseguir llegar a distintos públicos especializados, se han realizado inserciones publicitarias en distintos medios de comunicación como las revistas especializadas Agronegocios, Vida Rural o Innovagri.



Jornadas informativas

Además, se organizó una jornada informativa de presentación del proyecto, dirigida particularmente a los agricultores, en la sede de El Grupo, el 28 de agosto de 2024, donde se entregó un díptico que también diseñó e imprimió Cooperativas Agroalimentarias de Granada



EL GRUPO S.C.A

A lo largo de este proyecto se ha intentado desarrollar una serie de herramientas mediante diferentes tecnologías para optimizar el uso de abonos nitrogenados en las soluciones nutritivas de riego, minimizando los lixiviados sin perder propiedades organolépticas ni de postcosecha en cultivos hortícolas bajo invernadero.

Los nitratos son un elemento necesario en cualquier suelo en la naturaleza, son el producto de la descomposición de la materia orgánica y su posterior transformación, es lo que se conoce como el ciclo del nitrógeno. Lo que ocurre en los suelos agrícolas es que, para obtener unas producciones rentables, la cantidad de nitratos disponibles en los suelos de manera natural es insuficiente. Históricamente se han nitrogenado los suelos más de lo estrictamente necesario para la rentabilidad del cultivo, ya sea por su bajo coste hasta hace unos años, por el efecto amortiguador en los suelos, o por la falsa creencia de que cuanto más nitrógeno se aportara en el suelo mayor producción tendría ese cultivo.

Una de las labores fundamentales de la Cooperativa ha sido el manejo del cultivo y cuidar que el proyecto se realizase de manera adecuada; recopilando información para comprender que niveles de nitratos eran los mínimos adecuados para no perder producción ni propiedades de los tomates, tomando muestras periódicas de los niveles de nitratos de la parte del ensayo, cooperando con las demás partes implicadas del proyecto, como por ejemplo recogiendo muestras para los análisis organolépticos.

A continuación se detallan las actividades realizadas por la Cooperativa dentro del proyecto Agronitro:

Actividad 1. Definición de los elementos y técnicas que definen un aporte óptimo de nitrógeno

Durante esta tarea se identificarán los parámetros, equipos y técnicas que permitan determinar el aporte nitrogenado requerido y absorbido por el cultivo en cada momento del cultivo, así como el riego óptimo que minimizará los lixiviados obtenidos. Para este proyecto, se ha fijado minimizar el aporte de nitratos en agua de riego y de agua de drenaje, por lo que será necesario, realizar un estudio de mercado de los diferentes accesorios y sensores que permitan en cada momento del cultivo regular el aporte nitrogenado y minimizar los lixiviados procedentes del riego. Para ello, se va a proceder con las siguientes subtareas:

- Identificación de los parámetros y técnicas TIC que permitan identificar los aportes ideales nitrogenados en el agua para riego, así como los absorbidos por la planta.
- Búsqueda de los elementos y accesorios que identifiquen la cantidad de nitrógeno en el agua para riego, las deficiencias de éste en la planta, así como los que optimicen la cantidad de lixiviados en el subsuelo.
- Identificación de diferentes sistemas y equipos comerciales que permitan medir la cantidad de nitrógeno de forma instantánea para monitoreo tanto en el agua de riego, de drenaje y en planta.
- Identificación de diferentes sistemas o equipos comerciales que permitan medir los niveles de drenajes y gestionar de un modo más eficiente los riegos al cultivo.

Actividad 2. Diseño de escenarios de implantación

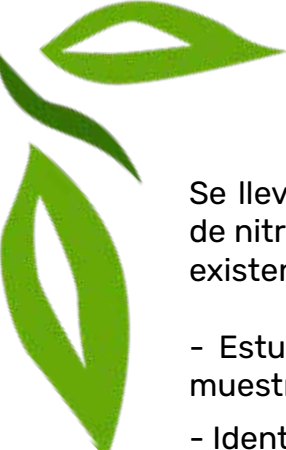
Con el propósito de promover un uso más sostenible de abonados nitrogenados en cultivos hortícolas en invernadero, es imprescindible realizar un diseño previo de los escenarios en los que serán implantadas las técnicas a evaluar, contribuyendo así a la optimización de las técnicas y alcanzando una mayor productividad, competitividad y viabilidad económica. De este modo, se realizará el diseño de dos escenarios:

- **Diseño de las técnicas en cultivo en suelo en invernadero:** se ha seleccionado un escenario en cultivo en suelo debido a la repercusión que tiene en los cultivos en invernadero en el sureste de España, siendo esta la forma de cultivo más común en este tipo de agricultura. En los cultivos en suelo, parte de la solución nutritiva se pierde por gravedad, lo que puede llegar a provocar la acumulación de sales en suelo y con el paso del tiempo su posterior incorporación en acuíferos.
- **Diseño de las técnicas en cultivo hidropónico a solución perdida:** se ha seleccionado este tipo de cultivo porque obliga a regar más, ya que hay que mantener el sustrato a saturación, por lo que hay mayor contaminación debido a que hay que lavar en ocasiones las sales acumuladas en el sustrato.

Actividad 3. Diseño de las técnicas de gestión de nitratos

En esta fase del proyecto se abordarán las tareas que conllevan el desarrollo de las tecnologías a llevar a cabo para una gestión eficiente del aporte de nitrógeno al fertirriego. El primer paso para conseguir disminuir los aportes de abonados nitrogenados en las explotaciones agrícolas, es incorporar tecnologías TICs para saber los niveles de nitratos requeridos por el cultivo en cada momento a incorporar en la solución nutritiva. Para llevar a cabo esta actividad, se plantean las siguientes tareas:





Se llevará a cabo el desarrollo de un protocolo para intentar optimizar el aporte de nitratos al agua de riego, teniendo en cuenta los aportes, drenajes y contenido existente en el medio. Para ello, se abordará las siguientes fases:

- Estudio de puntos de muestreo para obtener un valor representativo de las muestras que se requieran.
- Identificación del tipo de analítica a llevar a cabo (agua, suelo, savia, hoja, etc.).
- Frecuencia de los muestreos para poder adaptar los cambios a las fases del cultivo.
- Técnicas para ajuste de la solución nutritiva, en función de los resultados de los muestreos.
- Modelos matemáticos para relacionar el balance entre los aportes, medio y drenaje.
- Redacción del protocolo.

Actividad 4. Implementación de una red de monitoreo

Para poder garantizar un uso eficaz de los protocolos descritos en tareas anteriores, se tendrá que implementar la red TIC de monitoreo de sensores a esta, de forma que ambos actúen como un único método de determinación, para el aporte de nitratos a la solución nutritiva. Para ello, se llevará a cabo las siguientes tareas:

- Diseño de una estación de medida inalámbrica.
- Integración de tecnologías nuevas y sensorística para la medida de nitratos en la estación.
- Montaje de la estación y pruebas de funcionamiento.
- Análisis de calidad de las lecturas y robustez de las mismas.

Durante esta actividad, se tendrá listo los protocolos a partir de los sensores de monitoreo mediante técnicas TIC y a partir de los protocolos establecidos, de forma que el agricultor sea capaz de gestionar el aporte de nitratos a partir de las herramientas desarrolladas en esta actividad. Al finalizar esta actividad se tendrán los siguientes entregables:

- Informe de protocolos de aporte de nitratos en solución nutritiva para cultivos hortícolas.
- Informe del diseño de las estaciones de medida de nitratos.

Actividad 5. Validación

Durante esta actividad, se llevará a cabo la puesta en práctica de las técnicas seleccionadas para alcanzar un aporte nitrogenado óptimo en solución nutritiva de

riego y los protocolos de orden de fertirriego basados en buenas prácticas agrícolas. El Grupo implantará las dos técnicas a evaluar en dos escenarios de fertirriego; cultivo en suelo y en sistema hidropónico. Se tomarán datos y se validará las técnicas planteadas, así como su comparación con los sistemas tradicionales mediante un escenario control.

Con el propósito de implementar las técnicas de abonado nitrogenado y poder realizar la validación de los mismos, se llevará a cabo la puesta en práctica de varios escenarios pilotos siguiendo el diseño de los sistemas seleccionados en la actividad anterior. Para la realización de esta tarea se implementarán las dos técnicas de fertirriego en dos escenarios diferentes:

- Implementación de técnicas TIC y protocolos en un sistema de cultivo hortícola en suelo en invernadero.
- Implementación de técnicas TIC y protocolos en un sistema de cultivo hortícola en hidroponía en invernadero.

Para ello, se realizarán las siguientes tareas en los escenarios planteados:

- Sectorización del riego, un sector será para el control y el otro para la validación del sistema de optimización de nitratos.
- Instalación de sistemas de succión de solución de suelo, lisímetros y demás materiales de medida de la solución de aporte y drenaje.

Una vez puestos en marcha los proyectos piloto de los sistemas de fertirriego a evaluar, se realizará la validación durante un cultivo de 9 meses para proceder a su comparación con respecto a sistemas de gestión de fertirriego tradicional. Para ello, se llevarán a cabo las siguientes subtarefas:

- Estudio de la eficiencia en ahorro de nitratos y productividad, de los protocolos de dotación de fertirriego en los escenarios piloto, y su comparación con los sistemas de fertirriego tradicional.
- Comparación de los resultados obtenidos en ahorro de agua de drenajes de los escenarios pilotos con respecto a los sistemas tradicionales.
- Escenario control de cultivo hortícola en suelo e hidroponía con gestión de fertirriego convencional.



ANÁLISIS DEL CONTENIDO DE NITRATOS

El adecuado manejo de la fertilización nitrogenada es especialmente importante ya que, el trascendental papel del nitrógeno como nutriente principal, sobre la cantidad y calidad de la cosecha, se suma la necesidad de valorar las pérdidas económicas que, para el agricultor, supone el exceso de fertilizantes más allá de las necesidades de los cultivos. Para poder conocer las necesidades de nitratos en un cultivo, es necesario obtener la concentración de este elemento en la solución de riego y drenaje, para ello es necesario medir los siguientes parámetros:

Volumen de la solución

Se requiere para poder realizar un análisis correcto del balance de nitratos entre riego, planta y suelo. Para ello, se debe registrar el volumen de agua en el riego y el drenaje, para lo que actualmente existen las siguientes técnicas:

- **RIEGO**

Lo más fácil para conocer los aportes en riego es poner un depósito en un gotero de referencia, para que acumule el volumen de agua de los riegos de un día, que se deberán medir al día siguiente, antes del primer riego. Es importante referenciar este volumen registrado con el número de goteros asociados a una planta. Así, por ejemplo, si hay dos goteros por planta, y la medida se realiza en un gotero, habrá que multiplicar por dos el volumen medido.

La labor comentada arriba, obliga a que diariamente una persona se encargue de tomar datos y vaciar el depósito para la siguiente lectura. Gracias a las nuevas tecnologías, se puede realizar esta labor de una manera automática, a través de sensores que estén vinculados a alguna estación de comunicación, como los siguientes:

- Contador de agua: Si se pone un contador de agua en el gotero que se esté monitorizando el riego, se podrá registrar y enviar automáticamente los datos medidos a alguna plataforma de visualización de datos.

- Balanza de pesada: Poniendo debajo del depósito que este registrando el volumen de agua de los riegos, una célula de carga o balanza, se podrá conocer los aportes de agua en cada riego de una manera precisa. Del mismo modo, si se asocia la balanza a una estación de recogida de datos, estos se podrán visualizar y registrar en una plataforma informática.

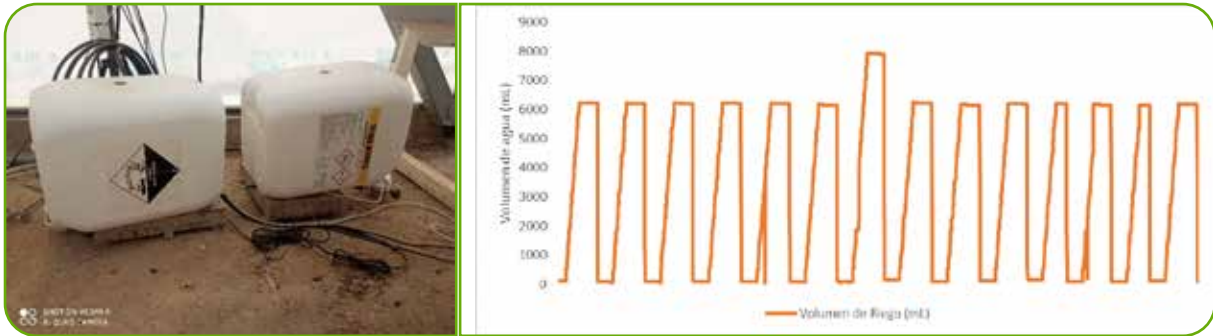


Figura 1. Registro del volumen de agua de un gotero, mediante el uso de balanza. Al final de cada día el contador se pone a cero.

• DRENAJE

La medida del volumen de drenaje es compleja dependiendo si se quiere medir en suelo o en sustrato hidropónico, pero es crucial para conocer la concentración de nitratos que ha tomado la planta en relación con los aportes durante el riego. Para ello, se pueden usar las siguientes herramientas

- Lisímetros: Son unas sondas que se ponen en el suelo cuyo papel es absorber la solución del suelo de manera semejante a como lo haría el cultivo. Constan de un tubo de plástico semirrígido que posee en un extremo una capsula porosa y en el otro extremo está cerrado y conectado a un tubo de PVC flexible de entre 10 y 20 cm de largo que termina en un conector en el que se puede acoplar o bien una aguja que se conecta a un tubo de vacío en el que se recogerá la solución extraída del suelo, o bien a una jeringa que al aspirar mantendrá igualmente el vacío y extraerá la solución del suelo.

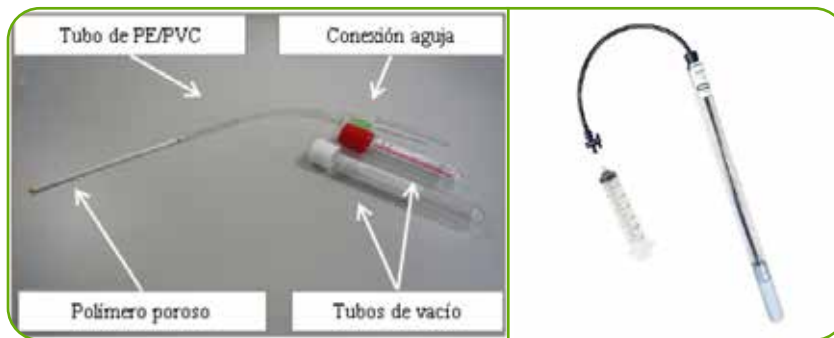


Figura 2. Tipos de lisímetros usados en suelo. Izquierda, sonda Rhizon. Derecha, sonda succión con capsula cerámica.

- Bandeja de drenaje: Solo puede ser usada en los cultivos sin suelo para recoger el agua de drenaje y calcular su porcentaje. La bandeja de drenaje consiste en un recipiente, en forma de bandeja, como su propio nombre indica, sobre el que se ponen varias unidades de cultivo (generalmente uno o dos) con el propósito de poder recoger el agua de drenaje y controlar, de este modo, el agua y nutrientes que consumen las plantas que están en la bandeja. El control de este consumo, relacionándolo con los porcentajes de drenaje medidos en la bandeja de drenaje, sirve para manejar el riego adecuadamente.

Su lectura se puede realizar manualmente, donde una vez al día se tomará el dato del drenaje total diario, esta tarea se puede automatizar a través de las siguientes herramientas:

- **Contador de pulsos:** El drenaje se canaliza hacia un pequeño recipiente con un volumen conocido, registrándose cada llenado con un pulso equivalente al volumen del recipiente a una estación de recogida de datos. Se vacía automáticamente y queda listo para el siguiente ciclo de llenado con el drenaje.



Figura 3. Sistema inteligente de medida del drenaje, a través del registro de llenado del vaso de drenaje mediante pulso eléctrico, y vacío automático con electroválvula. (Fuente: Nutricontrol)

- **Balanza de pesada:** Poniendo debajo del depósito que este registrando el volumen de agua del drenaje, una célula de carga o balanza, se podrá conocer los drenajes. Del mismo modo, si se asocia la balanza a una estación de recogida de datos, estos se podrán visualizar y registrar en una plataforma informática.

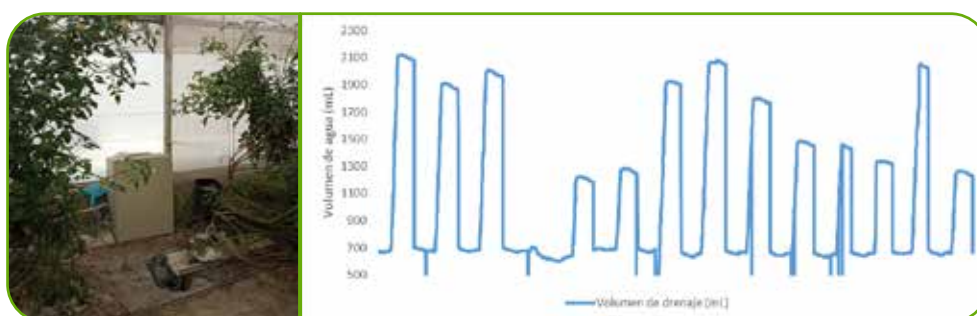


Figura 4. Registro del volumen de agua de una bandeja de drenaje, mediante el uso de balanza. Al final de cada día el contador se pone a cero.

Concentración de nitratos

Para el análisis rápido del contenido de NO_3^- en la solución del riego y drenaje hay disponibles equipos que permiten obtener esta información a pie de finca en pocos minutos como los Laqua twin de la empresa Horiba. El analizador Laqua twin tiene dos electrodos selectivos para medir la concentración de NO_3^- . Las medidas se pueden realizar colocando varias gotas de la solución que se va a analizar en un depósito que tiene debajo el electrodo o introduciendo la parte del sensor directamente en la solución. Es recomendable su calibración antes de cada primera lectura y repetir después de cada 5 medidas realizadas.

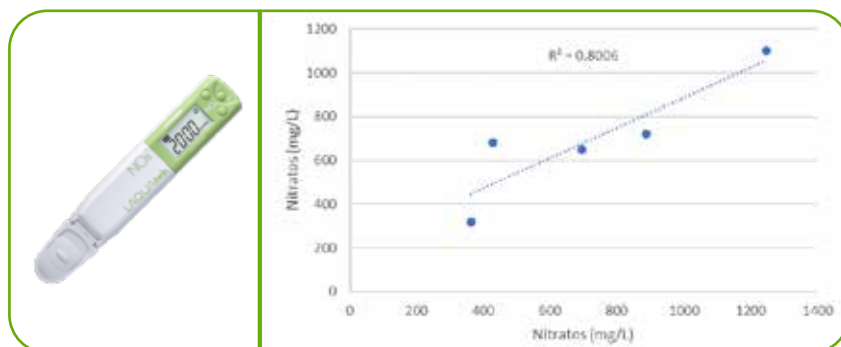


Figura 5. Izquierda, medidor rápido de nitratos Laqua twin de la empresa Horiba. Derecha, comparación de resultados de análisis de nitratos de muestras de solución nutritiva, entre el analizador Laqua twin y los obtenidos en laboratorio.

Ventajas

- **Medida Volumen de riego:**

- Muy fácil instalación y manejo.
- Registro de la medida manual o automática.
- Útil para el cálculo de la necesidad de nitratos y del riego.
- Coste bajo en la opción manual.
- Sin mantenimiento.
- Alta precisión de los datos.

- **Medida Volumen de drenaje:**

- Muy fácil instalación y manejo en hidroponía.
- Registro de la medida manual o automática únicamente en hidroponía
- Útil para el cálculo de la necesidad de nitratos y del riego.
- Coste bajo en hidroponía con opción manual.
- Sin mantenimiento.
- Alta precisión de los datos en hidroponía.


- **Medida Concentración de nitratos con Laqua Twin:**

- Bastante preciso y fiable.
- Muy rápido.
- Rangos de medida adecuados para soluciones nutritivas y solución de suelo, por tanto, no requiere dilución de las muestras (rango de medida del equipo: 150-2000 mg NO₃⁻ /L).
- Su sencillo manejo lo hace muy cómodo para trabajar in-situ, en la propia finca y usar los datos de forma inmediata en la toma de decisiones.
- Coste unitario bajo para cada muestra.

Desventajas:

- **Medida Volumen de riego:**

- Coste alto para la opción automática de registro de datos.
- Sensibilidad de las células de carga o balanzas a golpes o vibraciones.



- Datos muy dependientes al estado del gotero que se seleccione para su monitorización.

- **Medida Volumen de drenaje:**

- Poco volumen de muestra si se utilizan lisímetros para suelo.
- Menor superficie de contacto suelo-sonda y por tanto escaso volumen de suelo por sonda muestreado.
- Coste alto para la opción automática de registro de datos.
- Sensibilidad de las células de carga o balanzas a golpes o vibraciones.
- Datos muy dependientes en función del saco o sacos seleccionados para su monitorización.
- Medida del volumen del drenaje total sólo en hidroponía, siendo en suelo sólo útil mediante el uso de lisímetros de pesada, que son muy caros y complejos de instalar.

- **Medida Concentración de nitratos con Laqua Twin:**

- Coste razonable del equipo.
- Si no se maneja adecuadamente se desconfigura con facilidad.
- Posible influencia del pH en la medida si es >8 .

Instalación y modo de uso

- **Medida Volumen de riego:**

Se debe seleccionar un gotero de referencia que funcione correctamente, es decir, que el caudal corresponda con la media del caudal de los goteros de la explotación y que, al finalizar el riego, sea antidrenante, para evitar la descarga de agua una vez se haya finalizado. Si el volumen de riego se va a referenciar por saco de cultivo, se deberá multiplicar el valor medido en el gotero por el número de goteros por saco.

- **Medida Volumen de drenaje:**

Para seleccionar la ubicación de la bandeja de drenaje se debe tener en cuenta que represente a la mayor cantidad de plantas de la explotación. Para ello, se recomienda poner la bandeja de drenaje con dos sacos de cultivo y en una zona del invernadero, donde climáticamente sea representativo, evitando bandas y pasillos por su efecto borde. El recipiente donde se acumule el drenaje es recomendable que esté tapado, protegido de la radiación solar, con idea de evitar la proliferación de algas en el medio y con ello, conseguir mantener la muestra lo más limpia posible.

- **Medida Concentración de nitratos con Laqua Twin:**

Para analizar con el Laqua twin no es necesario preparar las muestras ni añadir reactivos. El rango de medida es de 2,4 a 32,3 mmol NO₃⁻/L por lo que normalmente se puede trabajar directamente con las soluciones a medir sin necesidad de dilución. La cantidad de muestra necesaria es inferior a 1 mL. La calibración del equipo se realiza con soluciones patrón de 150 y 2000 ppm NO₃⁻ que vienen con el analizador.

- **Medida de las necesidades de nitratos**

Para poder conocer las necesidades de nitratos en un cultivo, es necesario realizar un balance de masas formado, por los volúmenes de agua y la concentración de nitratos, en riego y drenaje. De esta manera, se podrá calcular los nitratos consumidos por el cultivo y, por lo tanto, los que hay que reponer.

Costes

Los costes aproximados de los distintos equipos son los siguientes:

- **Medida Volumen de riego:**

- Contador de agua de bajo volumen: 200 €.
- Balanza: 350 €
- Estación de medida y envío de datos a plataforma informática: 200-2000 €.

- **Medida Volumen de drenaje:**

- Lisímetro: 15-180 €
- Bandeja de drenaje: 20- 150 €.
- Contador de pulsos del drenaje: 200-1000 €.
- Balanza: 350 €
- Estación de medida y envío de datos a plataforma informática: 200-2000 €.

- **Medida Concentración de nitratos con Laqua Twin:**

- Coste Laqua twin: 480€

Referencias

- https://nutricontrol.com/wp-content/uploads/2021/02/HP_Bandeja_Demanda_y_Drenaje_Esp_V01_110718_s_compressed.pdf
- <https://gremonsystems.com/es/productos/trutina/strawberry-professional-edition/>
- https://pe.us.horiba.com/LAQUAtwin_LatAm
- <https://riegos.copersa.com/wp-content/uploads/2022/07/Copersa-%C2%B7-Lisímetros-Irrrometer.pdf>
- Manejo de sondas de Extracción de solución del suelo y métodos rápidos de determinación de nitratos. SERVIFAPA. Junta de Andalucía. <https://ifapa.junta-andalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/servifapa/contenidoAlf?id=6d32961e-a4a4-4312-9d06-457dc523b42d&l=recomendaciones>

AJUSTE DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA

El objetivo es estudiar las dotaciones de nitratos aportados al cultivo hidropónico bajo invernadero, para que se pueda optimizar la fertirrigación nitrogenada con la finalidad de reducir los lixiviados agrícolas.

Para el registro de la concentración de nitratos se va a usar el medidor portátil de mano de tipo Laqua Twin de Horiba, donde se procederá a analizar los nitratos de las muestras tomadas en campo de la solución nutritiva, desde un gotero, y del drenaje del saco de cultivo. Se registrarán los datos de concentración de nitratos y volumen de agua. Con esto, se pretende conocer el nitrógeno consumido por el cultivo y el que ha sobrado, variables que servirán de criterio a la hora de establecer los ajustes de optimización de la fertilización nitrogenada. Para ello, se ha desarrollado un protocolo de ajuste de nitratos, que no sólo va a depender de la concentración que se mida, sino de la cantidad de agua que se ha drenado en relación con el riego. Por ello, el sistema que se propone consiste en un balance de masas formado por los siguientes elementos:



Figura 6. Balance de masas para calcular los nitratos consumidos por el cultivo, compuesto por la solución nutritiva aportada durante el riego ($Va \cdot Na$), que parte se consume por el cultivo ($Vc \cdot Nc$) y el sobrante se pierde por drenaje ($Vd \cdot Nd$).

$$Va \cdot Na = Vd \cdot Nd + Vc \cdot Nc$$

Para poder conocer la concentración de nitratos consumidos (Nc), será necesario conocer las siguientes variables:

- Volumen de agua que se ha aportado (Va) en Litros. Obtenido del registro de un gotero multiplicado por el número de goteros del saco de cultivo.
- Volumen de agua que se ha drenado (Vd) en Litros. Obtenido del registro de la bandeja de drenaje.
- La concentración de nitratos que se ha aportado en la solución nutritiva de riego (Na) en mmol/L. Obtenido del medidor Laqua Twin en la solución del medio recogido de un gotero.
- La concentración de nitratos en la solución drenada (Nd) en mmol/L. Obtenido del medidor Laqua Twin en la solución del medio recogido de la bandeja de drenaje.
- Agua consumida por el cultivo (Vc) en Litros. Obtenido a través de la siguiente expresión:

$$Vc = Va - Vd$$

La cantidad de nitratos consumidos (N_c) en mmol/L por el cultivo, se despeja del balance de masas, obteniendo la siguiente ecuación:

$$N_c = \frac{(V_a \cdot N_a) - (V_d \cdot N_d)}{V_c}$$

Una vez conocida la cantidad de nitratos consumidos realmente por el cultivo (N_c), se puede conocer si el cultivo está demandando más nutrientes o, por el contrario, existe un excedente que se está perdiendo en el drenaje. Para conocer en qué situación se encuentra el cultivo, se establecen las siguientes normas para el ajuste de la solución nutritiva:

- Si N_c es mayor que N_a , significa que el cultivo está absorbiendo más nitratos que la concentración que se está aportando en el riego, luego habrá que subir dicha concentración entre un 10 % (si N_a se desvía un 25% del valor de N_c) y 25% (si N_a se desvía un 50% del valor de N_c).
- Si N_c es menor que N_a , significa que el cultivo está absorbiendo menos nitratos que la concentración que se está aportando en el riego, luego habrá que reducir dicha concentración entre un 10 % (si N_a se desvía un 25% del valor de N_c) y 25% (si N_a se desvía un 50% del valor de N_c).
- Si N_c es aproximadamente igual a N_a , significa que el cultivo está absorbiendo nitratos a la misma concentración que se está aportando en el riego, luego no habría que ajustar la solución nutritiva.

Ventajas

Las principales ventajas del protocolo expuesto con respecto a las técnicas de ajuste tradicionales, basadas en la experiencia local, son las siguientes:

- Precisión aceptable de los datos medidos.
- Menor consumo de nitratos en el riego.
- Menor rechazo de nitratos en el drenaje.
- Posibilidad de automatizar el proceso de ajuste en controlador de riego.
- Conocimiento del estado nutricional del cultivo.
- Facilidad y sencillez en su aplicación.
- Ajuste de la solución a través de un método objetivo, evitando las decisiones subjetivas basadas en la experiencia del técnico.

Desventajas:

- Técnica sólo válida para cultivos hidropónicos.
- En sustratos orgánicos, habrá que esperar 7 días entre ajustes de la solución nutritiva, para eliminar el factor de la capacidad de intercambio iónico.
- Coste medio, por la necesidad de adquirir el sensor de nitratos y el proceso de registro de datos del volumen de riego y drenaje.
- Los datos registrados son muy dependientes de la selección del gotero y saco de cultivo tomado como referencia.
- Necesidad de realizar periódicamente análisis de agua en laboratorio, para asegurarse que las medidas y ajustes realizados, corresponden con la realidad.

Instalación y modo de uso

A continuación, se muestran ejemplos de cálculo del ajuste de la solución nutritiva:

Ejemplo 1:

Va (L)	Na (mmol/L)	Vd (L)	Nd (mmol/L)
8,1	17	1,6	22

Agua consumida por el cultivo (Vc):

$$Vc = 8,1 - 1,6 = 6,5 \text{ L}$$

La cantidad de nitratos consumidos (Nc) por el cultivo:

$$"Nc = ("8,1 \cdot 17") - ("1,6 \cdot 22") / "6,5"$$

$$Nc = 15,8 \text{ mmol/L}$$

Si $Nc = 15,8 \text{ mmol/L}$ es menor que $Na = 17 \text{ mmol/L}$, significa que el cultivo está absorbiendo menos nitratos que la concentración que se está aportando en el riego, luego habrá que reducir dicha concentración entre un 10 y 25%.

El ajuste de la concentración de nitratos, que tendrá la nueva solución nutritiva con la que se riegue, será de $(17 \text{ mmol/L} \cdot 10\%) = 15,3 \text{ mmol/L}$.

Ejemplo 2:

Va (L)	Na (mmol/L)	Vd (L)	Nd (mmol/L)
1,9	10,5	0,152	5,2

Agua consumida por el cultivo (Vc):

$$Vc = 1,9 - 0,150 = 1,74 \text{ L}$$

La cantidad de nitratos consumidos (Nc) por el cultivo:

$$"Nc = ("1,9 \cdot 10,5") - ("0,152 \cdot 5,2") / "1,74"$$

$$Nc = 11 \text{ mmol/L}$$

Si $Nc = 11 \text{ mmol/L}$ es mayor que $Na = 10,5 \text{ mmol/L}$, significa que el cultivo está absorbiendo más nitratos que la concentración que se está aportando en el riego, luego habrá que subir dicha concentración entre un 10 y 25%. El ajuste de la concentración de nitratos, que tendrá la nueva solución nutritiva con la que se riegue, será de $(10,5 \text{ mmol/L} \cdot 10\%) = 11,5 \text{ mmol/L}$.

Referencias

- <https://elhocino-adra.blogspot.com/2012/08/cuadernos-tenicos-homoagricola.html>
- <https://www.nouryon.com/globalassets/inriver/resources/article-micronutrients-nutrient-solutions-for-greenhouse-crops-global-en.pdf>

PARÁMETROS DE CALIDAD DEL TOMATE

El control de los principales parámetros de calidad del cultivo de tomate es fundamental para comparar las diferencias entre las cosechas de tomate cherry que han recibido un aporte de compuestos nitrogenados de manera tradicional con las propuestas en este proyecto, que busca monitorizar este aporte mediante redes TICs, con el fin de disminuir tanto el exceso de abono nitrogenado como el riesgo de contaminación por lixiviados. Los principales parámetros para evaluar en frutas y hortalizas son:


- **Contenido total en sólidos solubles:** medido como grados brix ($^{\circ}$ Brix), indica la cantidad de sólidos solubles, principalmente azúcares y ácidos orgánicos, presentes en el jugo de una fruta u hortaliza.
- **Acidez valorable total:** indica la cantidad de ácido que contiene el fruto, expresado como porcentaje del ácido mayoritario presente, ácido cítrico en el caso concreto del tomate.
- **Índice de madurez:** calculado como el cociente entre el contenido total en sólidos solubles y la acidez valorable total.
- **Acidez activa:** medida como valor de pH del jugo de la fruta u hortaliza.
- **Contenido de agua:** presente en el fruto (g de agua/100 g de fruta).
- **Jugosidad:** indica el contenido de jugo de un fruto.
- **Color:** expresado de forma objetiva como espacio de color CIELAB.
- **Firmeza:** como forma de evaluar el estado de maduración.
- **Análisis sensorial:** mediante paneles de cata que evalúan atributos visuales, olfativos, gustativos y de textura.

Indicadores de calidad físico-químicos

El contenido total en sólidos solubles, acidez valorable total, índice de madurez, acidez activa, contenido de agua, jugosidad, color y firmeza son los que se han empleado tradicionalmente en el sector hortofrutícola. Su medición suele ser sencilla y rápida, y no requieren de instrumentación sofisticada. Sin embargo, su correlación con el grado de aceptación por parte del consumidor no suele ser completamente satisfactoria y, por lo general, es necesario utilizar varios de ellos conjuntamente para poder garantizar un control adecuado de la calidad del fruto analizado.

El análisis sensorial

El análisis sensorial proporciona una información complementaria a los parámetros físico-químicos, siendo más representativa de las preferencias finales del



consumidor. El principal inconveniente de esta forma de evaluar la calidad del fruto es la amplia variabilidad entre individuos debido a la componente subjetiva de la valoración que hace necesario un número elevado de catadores para poder extraer conclusiones estadísticamente significativas.

Contenido en carotenoides

El contenido de carotenoides en frutos es interesante desde un punto de vista bioactivo, ya que son compuestos que no pueden ser sintetizados por el ser humano y actúan como pro-vitamínicos (especialmente el β -caroteno, siendo precursor de la vitamina A). Otros carotenoides, como el licopeno, han demostrado tener actividad antiinflamatoria y antioxidante en el organismo. Se puede estimar el contenido en carotenoides mediante medidas espectrofotométricas o con la cromatografía de líquidos. La espectrofotometría es más rápida que la cromatografía, pero menos precisa.

- **Medida de los parámetros de calidad**

Muchos de los parámetros de calidad se miden sobre el jugo del fruto, por lo que en una primera etapa debe obtenerse dicho jugo mediante trituración del fruto seguida de centrifugación de la pasta obtenida y posterior filtrado del sobrenadante. En el jugo así obtenido se miden los siguientes parámetros:

- **Contenido total en sólidos solubles:** empleando un refractómetro digital previo ajuste del blanco con agua destilada.

- **Acidez valorable total:** mediante una valoración ácido-base de una dilución 1:5 (v/v) del jugo con NaOH 0,1 M, usando fenolftaleína como indicador y multiplicando el volumen obtenido de la valoración por 0,064 para expresar el resultado como porcentaje de ácido cítrico.

- **Índice de madurez:** se calcula a través del cociente de los resultados de ° Brix y % ácido cítrico, previamente obtenidos.

- **Acidez activa:** medida del pH mediante un pHmetro previamente calibrado.

- **Jugosidad:** se calcula en porcentaje a partir del cociente entre la masa de jugo obtenida y la masa total de fruto de la que proviene.

- **Contenido de carotenoides:** Los carotenoides del tomate se determinan mediante una extracción convencional utilizando el puré de tomate triturado. En este proyecto, se han analizado mediante HPLC-DAD.

El resto de parámetros de calidad se miden directamente sobre el fruto:

- **Contenido de agua:** se determina mediante secado en estufa de aire forzado a 70°C hasta pesada constante.

- **Color:** se mide de forma directa empleando un colorímetro.

- **Firmeza:** se determina empleando un durómetro.

- **Análisis sensorial:** mediante la evaluación de distintas muestras por parte de paneles de cata que rellenan una pauta de evaluación sensorial en la que se recogen los principales atributos visuales, olfativos, gustativos y de textura propios del fruto de tomate.

En una primera etapa del proyecto se realizó una caracterización del fruto para poder correlacionar los resultados del análisis sensorial con los indicadores de calidad físico-químicos medidos instrumentalmente. Con este fin, se cosecharon tomates Cherry control (sin aplicar la fertilización nitrogenada propuesta) de dos etapas distintas de maduración para realizar todos los análisis.

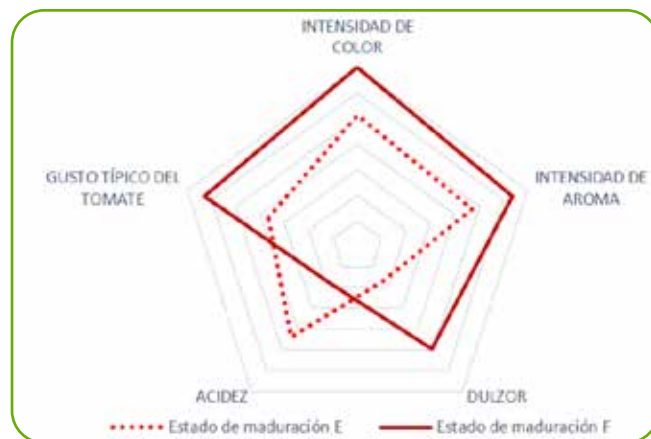


Figura 1. Gráfico radial del análisis sensorial (cata) con los tomates Cherry de menor maduración (E) y tomates Cherry de mayor maduración (F).



Figura 2. Fotografía del triturado de tomate de esta parte; a, menor estado de maduración; b, mayor estado de maduración.

Se observaron diferencias estadísticamente significativas entre una etapa de maduración y otra. Además, se observaron correlaciones positivas entre el dulzor y el contenido de sólidos solubles y sólidos totales, entre la acidez y el contenido de ácido cítrico, y la intensidad de color con el contenido de licopeno. Se identificó además una correlación negativa entre el color y el contenido de luteína y b-caroteno. El análisis sensorial permitió, en general, detectar diferencias entre los dos estados de maduración, logrando su correcta caracterización.

En la segunda etapa del proyecto, se recogieron 3 cosechas diferentes tanto de tomates Cherry tratados con fertilización nitrogenada controlada como de la muestra de tomate Cherry control (sin tratamiento alguno). Se realizaron evaluaciones sensoriales de cada una de las cosechas, así como los análisis instrumentales y con HPLC.



Figura 3. Medida del diámetro (izquierda) y peso (derecha) de los tomates.



Figura 4. Diagrama radial del análisis sensorial, comparando la muestra control (tomate sin tratamiento, línea continua) con el tomate Cherry tratado (línea discontinua).



Figura 5. Panelistas realizando la evaluación sensorial.

Cuando se analizaron todos los resultados obtenidos, se observó que en ninguno de los parámetros se encontraron diferencias estadísticamente significativas. En el caso de carotenoides, tanto de β -caroteno como de licopeno se observó un contenido similar entre cosechas y también entre tomates tratados y tomates no tratados. No hubo diferencias tampoco entre las características físico-químicas y en análisis sensorial.

Por lo que, como conclusión general se puede decir que la optimización de la metodología asociada al aporte de nitrógeno en el cultivo de tomate Cherry, realizada en este proyecto, no afectó los atributos de calidad sensoriales e instrumentales de este fruto.

- Costes Refractómetro digital: 200€
- pH-metro: 500€
- Colorímetro: 450€
- Penetrómetro: 60€

Referencias

- Fichas de transferencia de Fundación Cajamar. "Parámetros de calidad interna de hortalizas y frutas en la industria agroalimentaria". 12/09/2014
- P.A. Gómes, A.F.L. Camelo. "Calidad postcosecha de tomates almacenados en atmósferas controladas". Horticultura Brasileira 20 (1), 38-43, 2002.
- F. Casierra-Posada, O.E. Aguilar- Avendaño. "Calidad en frutos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cosechados en diferentes estados de madurez". Agronomía Colombiana 26(2), 300-307, 2008.



AgrONitro

