DEMOSTRATION OF WATER CLOSED CYCLE SYSTEM IN SOILLES TOMATO PRODUCTION

FIRST CYCLE

Deliverable B5.1 Report of the Software Efficiency in the Management of climate conditions, nutrients, drainages corrections and irrigation in tomato plants

Entregable B5.1 Informe sobre la Eficiencia del Software en la gestión de las condiciones climáticas, nutrientes, correcciones de drenaje e irrigación en las plantas de tomate

Deliverable B5.2 Report in production, yield and quality of tomato in a closed system

Entregable B5.2 Informe sobre la producción, cosecha y calidad del tomate en sistema de ciclo cerrado

Deliverable B5.3 Report in water, fertilizers and energy consumption in a closed system

Entregable B5.3 Informe sobre consumos de agua, fertilizantes y energía en el sistema de cultivo sin suelo en ciclo cerrado

Deliverable B5.4 Report in nutrient concentration and volumes of the drainages obtained from coco peat substrates

Entregable B5.4 Informe sobre la concentración de nutrientes y volumen de los drenajes obtenidos en sustrato de fibra de coco

Deliverable B5.1 Report of the Software Efficiency in the Management of climate conditions, nutrients, drainages corrections and irrigation in tomato plants

Deliverable B5.2 Report in production, yield and quality of tomato in a closed system

Deliverable B5.3 Report in water, fertilizers and energy consumption in a closed system

Deliverable B5.4 Report in nutrient concentration and volumes of the drainages obtained from coco peat substrates

Action	B5	Demonstration of water closed cycle in soilless tomato production
Dissemination level[1]	CO	
Nature[2]	REPORT	
Due delivery date	28/02/2017	
Actual delivery date	31/05/2017	
Number of pages	45	

Lead beneficiary	CEBAS-CSIC
Contributing beneficiaries	CEBAS-CSIC

Document Version	Date	Author(s)	Comments
2	31/05/2017	Vicente Martinez Lopez	
		Rosa M Rivero Vargas	
		Maria García Martí	

Acknowledgement:

[1] Dissemination level: **PU** = Public, **PP** = Restricted to other programme participants, **RE** = Restricted to a group specified by the consortium, **CO** = Confidential, only for members of the consortium.

[2] Nature of the deliverable: **R** = Report, **P** = Prototype, **D** = Demonstrator, **O** = Other.

This deliverable was produced under the co-finance of the European financial instrument for the Environment (LIFE) programme during the implementation of the project “LIFE DRAINUSE” (LIFE14 ENV/ES/000538).

Deliverable abstract

This document describes the first agronomic experiment with the prototype and the control system running completely. From the observations made, incidents that have arisen throughout the experiment, data from sensors and analyses has generated a report after the analysis of the information gathered during the experiment.

For a better understanding and clarity in the presentation of the report, this is structured in different sections, beginning with a detailed description of the materials and practices agronomic carried out during the execution of the experiment. Then it has analyzed the behavior of the software of control and decision making, analyzing separately each unit of the system, purification, nutrition, irrigation and disinfection. In the following section discusses agronomic results from the experiment, presenting data from the production and quality of fruits. It is continued with the presentation and analysis of consumption data, water, fertilizer and energy.

Finally, it ends with the presentation and interpretation of chemical analysis of the nutritive solution and drains and microbiological analyses on samples of different points throughout the experiment. A final section summarizes the general findings of this first cycle culture. As a general conclusion of this first agronomic experiment can say that the system has operated acceptably, however, there are a number of processes that have to be optimized and improved.

Table of Contents

1. **Deliverable Overview** 9

2. **Objectives** 9

3. **Material y Métodos** 10

3.1. Material Vegetal y condiciones de cultivo 10
3.2. Germinación 10
3.3. Trasplante 11
3.4. Condiciones climáticas 12
3.5. Desarrollo del cultivo 12
3.6. Control de la contaminación del drenaje 15
3.7. Producción 15
3.8. Calidad 16

4. **Eficiencia del Software en la gestión de las condiciones climáticas, nutrientes, correcciones de drenaje e irrigación en las plantas de tomate** 18

4.1. Riego 18
4.2. Nutrición 20
4.3. Desinfección 22
4.4. Osmosis 22
4.5. Conclusiones 24

5. **Producción, cosecha y calidad del tomate en sistema de ciclo cerrado** 25

5.1. Producción total 25
5.2. Calidad 27
5.3. Estado nutricional de las plantas 28
5.4. Conclusiones 29

6. **Consumos de agua, fertilizantes y energía en el sistema de cultivo sin suelo cerrado** 30

6.1. Consumo de agua 30
6.2. Consumo de fertilizantes 33
6.3. Consumo de energía 36
6.4. Conclusiones 38

7. **Concentración de nutrientes y volumen de los drenajes obtenidos en sustrato de fibra de coco** 39

7.1. Soluciones nutritivas preparadas 39

7.2. Volumen de drenaje obtenidos 40
7.3. Análisis de drenajes..... 41
7.4. Análisis microbiológico 43
7.5. Conclusiones 46
8. C**onclusiones generales**..... 47

Listado de Figuras

Figura 1 Plantas de tomate en semillero hasta el tamaño de trasplante..... 10
Figura 2 Momento del trasplante de plantas de tomate al sistema de cultivo sin suelo con sustrato de fibra de coco en el invernadero..... 11
Figura 3. Representación de los datos de Temperatura y Humedad relativa medias diarias en el invernadero durante el experimento..... 12
Figura 4 Esquema del prototipo..... 13
Figura 5. Diagrama real del proceso de preparación de solución nutritiva, riego y drenaje..... 13
Figura 6 Imágenes del cultivo de tomate en las diferentes etapas de desarrollo de las plantas..... 14
Figura 7 Medida de firmeza con texturometro..... 16
Figura 8. Medida de color con colorímetro..... 17
Figura 9. Interface de la página general desde donde se accede a todas las unidades que constituyen el prototipo..... 18
Figura 10 Visualización del estado del cabezal de riego..... 19
Figura 11 Interfaz para la programación de riego..... 19
Figura 12. Estado y configuración de cubas de riego..... 20
Figura 13 Ventana para visualización de la unidad de preparación de la solución nutritiva..... 21
Figura 14. Ventana de desinfección..... 22
Figura 15. Ventana para visualización y control de la unidad de purificación..... 23
Figura 16 Rendimiento de tomate expresado por filas en el invernadero..... 25
Figura 17 Rendimiento total de tomate (kg) durante los meses de marzo, abril y mayo..... 26
Figura 18 Número de frutos de tomate (kg) durante los meses de marzo, abril y mayo..... 26
Figura 19 Tamaño medio de frutos de tomate (g) durante los meses de marzo, abril y mayo..... 26
Figura 20. Consumo de agua en los meses del primer ciclo de cultivo..... 30
Figura 21. Consumo por transpiración de las plantas (riego-drenaje)..... 32
Figura 22 Total consumido por planta por proceso de evapo-transpiración, calculado por método gravimétrico..... 32
Figura 23 Consumo acumulado por mes y por planta medido en tres balanzas diferentes..... 33

Figura 24. Fertilizantes consumidos en el ciclo 1 de cultivo 34
Figura 25 Consumo de Ca $(NO_3)_2$ en Kg por meses durante el ensayo 1..... 34
Figura 26. Consumo de KNO3 en Kg por meses durante el ensayo 1 35
Figura 27 Consumo de NH4NO3 en Kg por meses durante el ensayo 1..... 35
Figura 28 Consumo de KH2PO4 en Kg por meses durante el ensayo 1 35
Figura 29 Consumo de MgSO4 en Kg por meses durante el ensayo 1 35
Figura 31. Valores medios de concentración de Mg, H2PO4 y SO4 en la disolución nutritiva distribuido por meses a lo largo del cultivo (cada valor representa al menos 5 análisis). 39
Figura 32. Valores medios de concentración de B en la disolución nutritiva distribuido por meses a lo largo del cultivo (cada valor representa al menos 5 análisis). 40
Figura 33 Volumen (L) de drenaje por meses 40
Figura 34. Concentración de B, Mn, Fe y Zn y Cu en el drenaje por meses del ensayo. 41
Figura 35 Concentración de Ca, K, Na, P y S en el drenaje por meses del ensayo. .. 42
Figura 36 Concentración de nitratos en el drenaje por meses del ensayo. 43
Figura 37 Representación el valor promedio de las unidades formadoras de colonia por mL (UFC/mL), en las distintas muestras muestra colectada en el sistema de riego. 44
Figura 38 Representación el valor promedio de las unidades formadoras de colonia por mL (UFC/mL), en las distintas muestras muestra colectada en el sistema de riego. 44

Listado de Tablas

Tabla 1 Concentración de las sales utilizadas para la preparación de la disolución nutritiva Hoagland modificada para el riego del semillero. 11
Tabla 2 Composición de la solución nutritiva para el riego del cultivo. 14
Tabla 3 Producción de tomate en el ensayo 1 de invernadero con fibra de coco como sustrato..... 25
Tabla 4. Parámetros de calidad de tomate. Se expresan valores medios de 24 frutos ± error estándar de la media. 27
Tabla 5. Análisis foliar de plantas de tomate. Micronutrientes..... 28
Tabla 6 Análisis foliar de plantas de tomate. Macronutrientes..... 28
Tabla 7. Agua consumida durante el ensayo 30
Tabla 8. Análisis del agua de riego 31
Tabla 9 Agua usada para el riego 31
Tabla 10. Fertilizantes consumidos en el ciclo 1 de cultivo 33
Tabla 11. Fertilizantes consumidos en el ciclo 1 de cultivo (cerrado) y estimados en ciclo abierto. 37
Tabla 12. Concentración de fertilizantes en solución nutritiva Hoagland modificada... 37

1. Deliverable Overview

En este documento se describe el primer ensayo agronómico con el prototipo y el sistema de control funcionando completamente. A partir de las observaciones realizadas, las incidencias que han surgido a lo largo de los ensayos, los datos obtenidos de los sensores y los análisis realizados se ha generado un informe después del análisis de toda la información recabada durante el ensayo.

Para una mejor comprensión y claridad en la presentación del informe, éste se ha estructurado en diferentes apartados, comenzando por una **descripción** detallada de los materiales y practicas agronómicas llevadas a cabo durante la realización del ensayo. A continuación, se ha analizado el comportamiento del **software** de control y toma de decisión, analizando separadamente cada unidad del sistema, purificación, nutrición, riego y desinfección. En el siguiente apartado se analizan los resultados agronómicos del ensayo, presentando los datos de la **producción y calidad** de los frutos. Se sigue con la presentación y el análisis de los datos de **consumo, agua, fertilizantes y energía**. Por último, se termina con la presentación e interpretación de los **análisis químicos** de la solución nutritiva y de los drenajes y los análisis **microbiológicos** en muestras de diferentes puntos a lo largo del ensayo. En un último apartado se resumen las conclusiones generales de este ensayo.

2. Objectives

El objetivo de este documento es realizar una descripción detallada del primer ensayo agronómico realizado en el invernadero, con el fin de evaluar el comportamiento del prototipo y los sistemas automatizados de control. Como objetivos concretos de este documento podemos citar los siguientes:

1. Realizar una descripción detallada del experimento agronómico.
2. Describir como ha funcionado el software, identificando partes susceptibles de ser mejoradas y optimizadas.
3. Presentar los resultados obtenidos de producción y calidad al finalizar el primer ensayo agronómico.
4. Presentar los consumos de agua, fertilizantes y energía.
5. Presentar los resultados obtenidos de los análisis de la solución nutritiva, los drenajes y las muestras para los estudios microbiológicos de diferentes puntos del sistema cerrado.

3. Material y Métodos

3.1. Material Vegetal y condiciones de cultivo

El experimento se llevó a cabo con tomate (*Solanum lycopersicum*, L.) de la variedad Jawara (syngenta) desde el 16 de octubre 2016 al 26 de mayo 2017. El ensayo se realizó en un invernadero situado en la finca experimental del CEBAS (para ampliar descripción ver DB3 Drainuse).

3.2. Germinación

Las semillas de tomate se germinaron en una cámara de cultivo con luz artificial y condiciones climáticas controladas. El fotoperiodo utilizado fue d e16 horas de luz y 8 horas de oscuridad y la temperatura y humedad relativa fueron 25ºC/65% de día y 20ºC/80% de noche. Las semillas se dispusieron en bandejas de 240 alveolos con lana de roca (Fotografía 1) hasta que las plántulas alcanzaron 10 cm de altura, aproximadamente 3 semanas. Las bandejas se humedecieron inicialmente con agua, y cada 2 días se regaban con solución nutritiva Hoagland modificada ½ (Tabla 1).

Figura 1 Plantas de tomate en semillero hasta el tamaño de trasplante.

Tabla 1 Concentración de las sales utilizadas para la preparación de la disolución nutritiva Hoagland modificada para el riego del semillero.

Compuesto	Concentración (mM)	Compuesto	Concentración (µM)
KNO_3	3	H_3BO_3	25
$Ca(NO_3)_2$	2	$MnSO_4 \cdot H_2O$	2
$MgSO_4$	0.5	$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	2
KH_2PO_4	0.5	$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	0.5
Fe-EDTA	20 µM	$(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$	0.5

3.3. Trasplante

Las plantas se trasplantaron a un sistema de cultivo sin suelo, con sustrato de fibra de coco cuando alcanzaron el tamaño deseado (Fotografía 2).

Las plantas de tomate se entutoraron mediante unas perchas con hilo de rafia y anillas. Los brotes axilares se fueron eliminando a medida que iban apareciendo, durante todo el ciclo del cultivo.

Para la detección de plagas se utilizaron trampas cromatrópicas de color azul para los trips (*Frankliniella occidentales*). Cuando se detectaron algunas hojas de tomate afectadas con trips, se realizaron unas aplicaciones foliares con la materia activa Spinosad (Spintor). Para la prevención de plagas también se espolvorearon las plantas con azufre en una aplicación.

Figura 2 Momento del trasplante de plantas de tomate al sistema de cultivo sin suelo con sustrato de fibra de coco en el invernadero

3.4. Condiciones climáticas

Las condiciones climáticas en el cultivo se fijaron con el control de temperatura y la humedad relativa en el interior del módulo de invernadero. Se estableció una temperatura máxima consigna de 27ºC y 60% de humedad.

En la figura 3 se muestran los datos de temperatura y humedad relativa media diaria registrados durante el experimento.

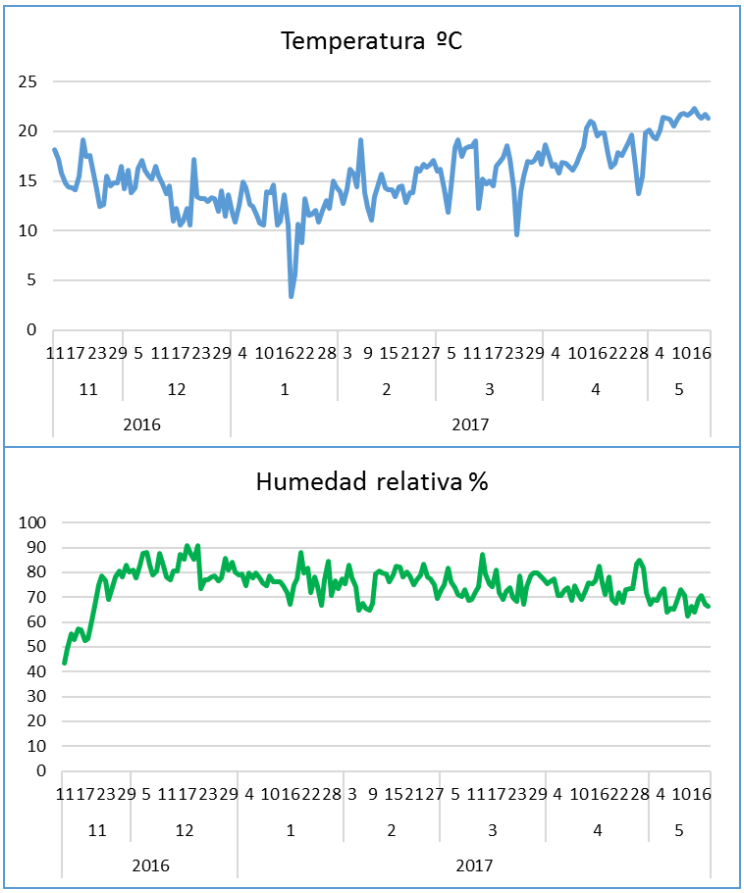

Figura 3. Representación de los datos de Temperatura y Humedad relativa medias diarias en el invernadero durante el experimento.

3.5. Desarrollo del cultivo

RIEGO

El cultivo se regaba con solución nutritiva con 25-30% de drenaje. El drenaje se recogía y contabilizaba al final de las canales. Este drenaje se almacenaba en un depósito de 2000 L y posteriormente se desinfectaba con una lámpara UV que se almacenaba en otro depósito de 5000 L, que posteriormente se reutilizaba para preparar solución nutritiva para los riegos.

Las soluciones nutritivas para el riego se preparaban con un software (Universidad de Murcia) a partir de agua, soluciones de abonos concentrados y drenaje almacenado. La primera vez solo se utilizó agua de riego y los abonos concentrados. Se ajustaba el pH a 5.5 y el software mostraba tanto los valores de pH como de CE de la solución nutritiva que se estaba preparando en la cuba de mezcla. Cuando la solución nutritiva estaba lista, se pasaba a la cuba de riego, que estaba programada para regar las plantas en el invernadero. En las Figuras 4 y 5 se muestra el esquema del proyecto y el diagrama de los procesos de preparación de la solución nutritiva, riego y drenaje.

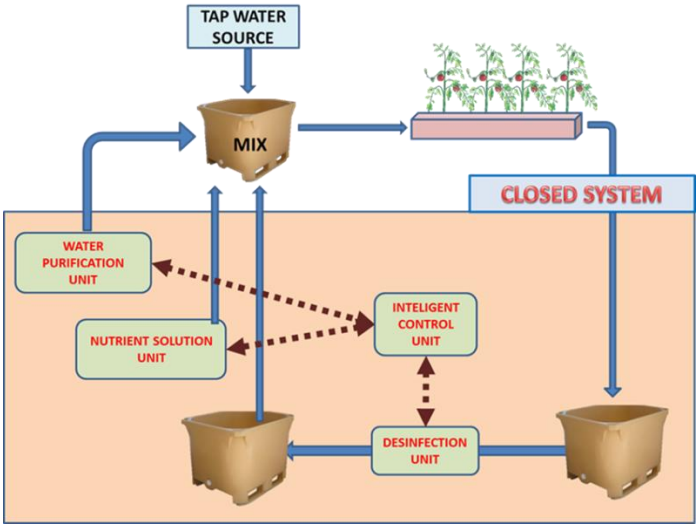

Figura 4 Esquema del prototipo

Figura 5. Diagrama real del proceso de preparación de solución nutritiva, riego y drenaje

La composición de la solución nutritiva de riego al inicio del experimento se muestra en la tabla 2. A lo largo del cultivo se ajustará la composición de la solución

nutritiva a la de la tabla 2 a partir del drenaje, diluyendo con agua y aportando nutrientes cuando sea necesario. Cada vez que se preparaba solución nutritiva para riego, se tomaba una muestra y se analizaba la concentración de cationes y aniones presentes en la solución nutritiva, para comprobar que se había preparado bien.

Además, semanalmente se tomaba muestra de la solución nutritiva almacenada en el depósito de drenaje de 5000 L, para saber la composición de ésta e introducir los datos en el software de control. También se analizaba la composición de las diferentes fuentes de agua disponible, tanto cationes como aniones (resultados en pag. 30, tabla 8). Los datos de análisis de agua también se introducían en el software.

Tabla 2 Composición de la solución nutritiva para el riego del cultivo.

Compuesto	Concentración (mM)	Compuesto	Concentración (µM)
KNO_3	7	H_3BO_3	25
$Ca(NO_3)_2$	4	$MnSO_4 \cdot H_2O$	2
$MgSO_4$	1	$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	2
KH_2PO_4	1	$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	0.5
Fe-EDTA	20 µM	$(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$	0.5

El riego fue aumentando a medida que las plantas aumentaban de tamaño e iban necesitando mayor aportación hídrica. Los dos primeros meses de cultivo se regaba un total de 250 mL por planta distribuidos en 5 riegos. El riego fue aumentando gradualmente hasta llegar a 2 litros por planta distribuidos en 6 riegos. En la fotografía 6 se puede observar el crecimiento de las plantas de tomate a lo largo del ciclo de cultivo.

Figura 6 Imágenes del cultivo de tomate en las diferentes etapas de desarrollo de las plantas.

ESTADO NUTRICIONAL DEL CULTIVO

Para controlar el estado nutricional de las plantas y detectar o corregir cualquier deficiencia, se realizaron diversos muestreos de hoja a lo largo del cultivo. Se realizaron siete muestreos, el primero de ellos al mes del trasplante y los demás una vez al mes a lo largo del cultivo. El muestro consistía en recoger hojas jóvenes totalmente expandidas y distribuidas en todo el ensayo. Se tomaron 4 repeticiones por muestro de 10 hojas de plantas diferentes. Las muestras de material vegetal tomadas en el experimento fueron pesadas en fresco, y posteriormente se colocaron en una estufa a 70ºC para su posterior pesado en seco. Este material vegetal seco fue molido. Este fue digerido para el análisis de los cationes por ICP y se le realizó una extracción en agua para la determinación de los aniones por cromatografía iónica (resultados en pag 27, tablas 5 y 6).

3.6. Control de la contaminación del drenaje

Para tener un seguimiento y saber si el sistema de desinfección con lámpara UV era efectivo en el sistema cerrado, se realizaron numerosos muestreos de solución nutritiva. En un muestreo se tomaba muestra de la solución nutritiva almacenada en el depósito de drenaje después de pasar por la lámpara UV (Desinfección), muestra de la solución nutritiva que drenaba después de los riegos y se almacenaba en un depósito y que todavía no había pasado por la lámpara UV (Drenaje), muestra de la solución que drenaba directamente en el invernadero (Invernadero) y muestra de la solución nutritiva preparada en el depósito para el riego (Riego). Se realizó un muestreo semanal a lo largo del cultivo.

Las muestras se llevaban al laboratorio del grupo de Nutrición Vegetal en el CEBAS-CSIC en Espinardo y allí se procedía a la siembra en placa de las muestras. Se realizaron los análisis de dos métodos diferentes, por filtración y por el número más probable. Inicialmente, las muestras se filtraban con una membrana 0.45 micras de 47 mm a través de una unidad de microfiltración. La membrana donde había pasado la muestra se depositaba en una placa de 60 mm sobre el medio y se dejaba incubar. Se realizaban varias diluciones y dos medios diferentes (PCA para aerobios mesofilos (bacterias) y ROSA BENGALA para hongos y levaduras). Con este método no se consiguió aislar colonias de bacterias para poder realizar recuento, así que se utilizó otro método, el método del número más probable (NMP). En este caso, se realizaban las diluciones oportunas y se sembraba la muestra en placa de 90 mm con el medio de crecimiento correcto. En ambos métodos, las placas se dejaban en un incubador a 37 ºC, 2 días para bacterias y 5 días para hongos y levaduras, y se realizaba el recuento, expresando los resultados en ufc/mL (unidades formadoras de colonias por mL). Ver resultados en pag. 43, figuras 37 y 38.

3.7. Producción

Las plantas se dejaron crecer hasta que los frutos del décimo racimo maduraron. A medida que los frutos de tomate iban madurando, éstos se recolectaban y se pesaban hasta el final de la cosecha. Estos datos se iban registrando en una base de datos para su posterior análisis.

3.8. Calidad

Se realizó un análisis de calidad en el racimo octavo, ya que anteriormente los frutos no eran representativos de la variedad debido a problemas con las plantas por contaminación de hongos. Además, con el frio del invierno, las plantas se pararon y todos los tomates cuajados no engordaron adecuadamente. Se realizó el análisis de calidad de 24 frutos recogidos aleatoriamente por el cultivo y con estado de madurez similar. Se midió el tamaño, la forma, la firmeza, la dureza y el color de forma individual a cada fruto. Después estos se partieron y se licuaron para obtener zumo, donde se analizaron los ºBrix, acidez valorable, pH y CE de cada fruto. Además, se guardó un cuarto de cada tomate para secar y obtener la composición mineral y otro cuarto se congeló con nitrógeno líquido para analizar por RMN.

Parámetros físicos de calidad

Tamaño y forma

Se midió el diámetro ecuatorial (D) y el longitudinal (L) de cada fruto, con un calibrador Digimatic digital de Mitutoyo CD-15D, con una precisión de 0.01 mm.

Firmeza

La firmeza del fruto se midió con un Texturómetro (TA XT plus Texture Analyzer), dando la fuerza en Newtons (N) necesaria para deformar el fruto un 5%.

Figura 7 Medida de firmeza con texturometro

Color

El color de los frutos se determinó con un colorímetro (Minolta CR300), y se expresaron como valores de Hunter L*, a* y b*. La claridad era indicada por L*, mientras que la cromaticidad (tono y croma) era indicada por a* y b* conjuntamente. El valor de a* representa el eje que va desde colores verdes (-a*) hasta colores rojos (+a*) y b* representa el eje que evoluciona desde azul (-b*) hasta colores amarillos (+b*). Cada color viene dado por tres valores de estas coordenadas que representan un punto en el espacio tridimensional.

Para determinar el color de la piel del fruto se realizaron tres medidas en tres puntos equidistantes de la zona ecuatorial de los frutos enteros, obteniendo la media de los tres valores de L*, a* y b* para cada fruto.

Figura 8. Medida de color con colorímetro

Determinaciones de los parámetros químicos

Para conseguir el licuado de tomate se utilizó una licuadora casera Moulinex. El zumo se filtró para evitar la presencia de sólidos en suspensión. En el zumo se midieron los siguientes parámetros:

pH y CE

El pHmetro-conductímetro utilizado para la medida fue un WTW pH/Cond 340i provisto de electrodo de conductividad, electrodo de pH y termómetro para compensación de temperatura.

Sólidos solubles totales (SST)

Los sólidos solubles totales se determinaron por el índice de refracción expresado en Brix con un refractómetro (Digital refractometer, DRB 0-45 nD). La medida se realizó depositando una gota de zumo sobre el refractómetro (lectura a 20ºC).

Acidez valorable

La determinación de la acidez del zumo de tomate trata de fijar la riqueza en ácidos expresándola en gramos de ácido cítrico contenidos en un litro del mismo. La determinación se hace por volumetría, es decir, neutralizando la solución ácida mediante un álcali. En nuestro caso se utilizó NaOH 0.1N. A un vaso de vidrio se le añadió 3mL de zumo filtrado y 100 mL de agua desionizada. El electrodo del pHmetro se introdujo en el vaso y se adicionó NaOH 0,1N hasta alcanzar un pH de 8.1 (AOAC, 1984). La acidez se calculó mediante la fórmula:

$$Acidez = \frac{V_{NaOH} \times 195 \times 0.1}{3 \times V_{zumo}}$$

Donde V_{NaOH} es el volumen en mL de NaOH 0.1N empleados en la valoración y V_{zumo} es el volumen de zumo usado para la medición.

Los resultados de calidad se muestran en la página 26, tabla 4.

4. Eficiencia del Software en la gestión de las condiciones climáticas, nutrientes, correcciones de drenaje e irrigación en las plantas de tomate

SOFTWARE EFFICIENCY IN THE MANAGEMENT OF CLIMATE CONDITIONS, NUTRIENTS, DRAINAGES CORRECTIONS AND IRRIGATION IN TOMATO PLANTS

En la figura 9 se presenta la última versión de la interface de control de las distintitas unidades del prototipo. Al principio se programó todo el sistema en una sola página. Debido a la cantidad de elementos que formaban el prototipo la primera versión era muy confusa y muy poco intuitiva. El siguiente diseño fue por módulos y es la versión que se puede observar en la figura siguiente.

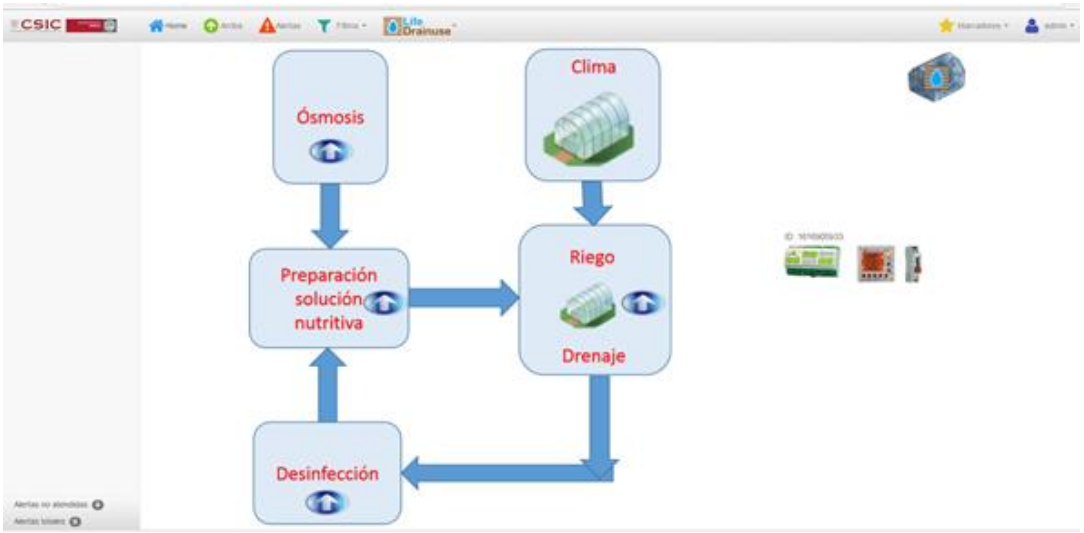

Figura 9. Interface de la página general desde donde se accede a todas las unidades que constituyen el prototipo.

4.1. Riego

Al inicio del ensayo, nos dimos cuenta que los litros que se apuntaban en la base de datos no coincidían exactamente los utilizados. Después de una calibración manual contador a contador vimos que en algunos casos los autómatas a veces fallaban a la hora de contar los pulsos que enviaba el contador. Este problema fue subsanado cambiando los milisegundos en la configuración de los autómatas.

Otro problema con el software relacionado con el riego fue que a veces el usuario olvidaba o se confundía a la hora de desbloquear el riego y dejarlo activado. Esta parte

fue modificada con el fin de hacer más amigable la interface de riego y tratar de evitar en lo posible estos sucesos (Figura 10).

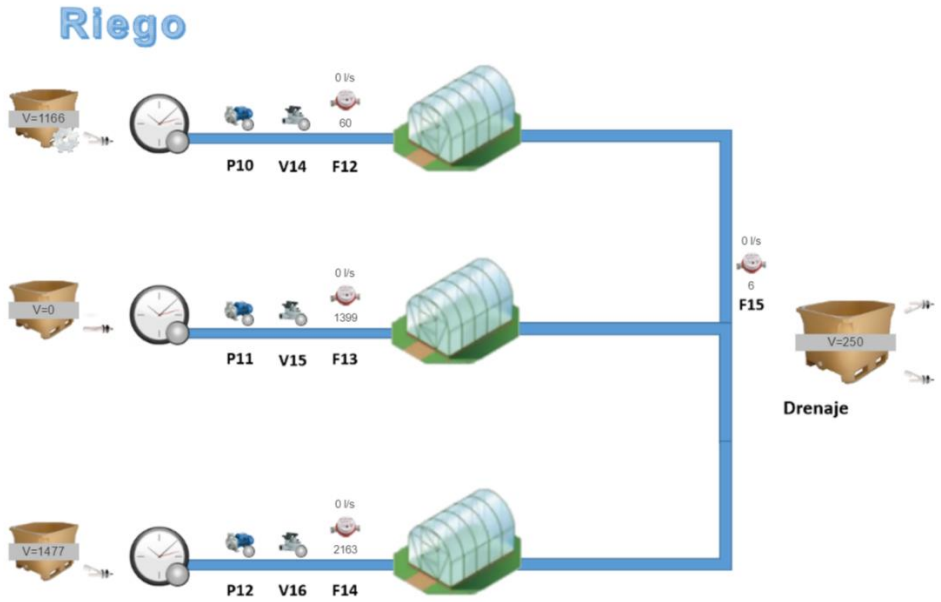

Figura 10 Visualización del estado del cabezal de riego

A la hora de la programación de riego (Figura 11), a veces no guardaba bien los programas de riego. Esto no era evidente hasta que comprobábamos que ciertos riegos no se realizaban. Esto también fue corregido y no volvió a suceder.

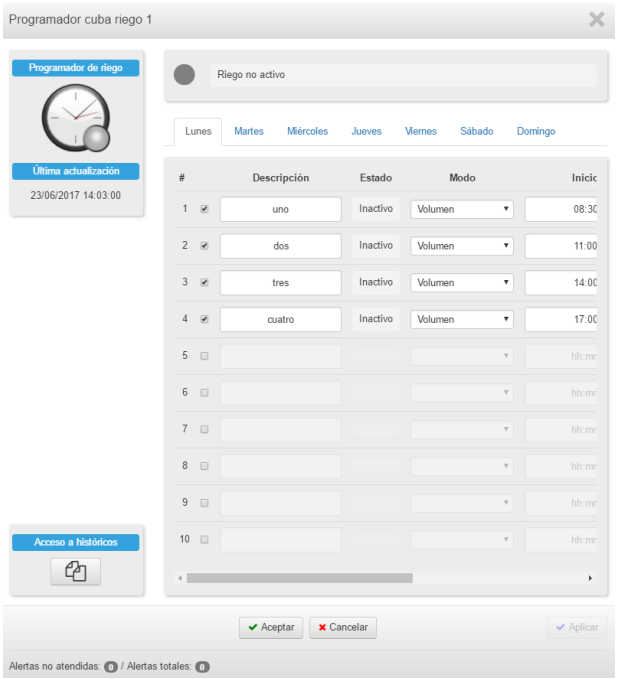

Figura 11 Interfaz para la programación de riego

Hasta ahora se programaba la cuba de riego, configurando ésta tal y como se muestra en la figura siguiente. Hemos visto que esto da lugar a confusión y hemos

propuesto cambiar la filosofía y programar la válvula. En la siguiente versión pretendemos que se la válvula de riego la que se programe y esta pueda tener asociadas otras salidas digitales como bombas etc. También se le podrá asociar una u otra cuba. Con esto creemos que el software ganaría en flexibilidad.

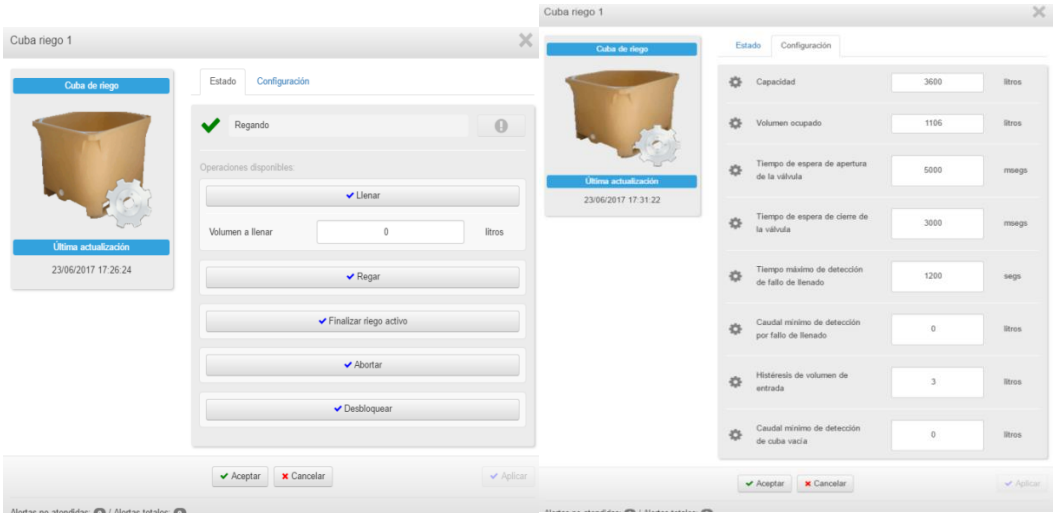

Figura 12. Estado y configuración de cubas de riego

4.2. Nutrición

La unidad de nutrición (Figura 13) ha sido la más compleja y la que más se ha tenido que depurar debido a la gran cantidad de variables que hay que tener en cuenta y al enorme número de posibilidades que se presenta a la hora de mezclar aguas y ajustar una solución nutritiva. Conforme se iba haciendo más compleja la mezcla, se iban detectando más incidencias.

La mezcla de aguas se hacía mediante el ajuste de la conductividad eléctrica (CE) cuando había que considerar el drenaje en la preparación de la mezcla. Siguiendo este primer criterio, la mezcla podría ajustarse, pero en el siguiente paso, cuando había que ajustar los 12 nutrientes habría que realizar un nuevo ciclo de dilución.

En este paso podríamos dejar todos los nutrientes ajustados según un criterio de CE máxima. Sin embargo, en el siguiente ciclo de ajuste donde era necesario añadir los nutrientes que faltan, en algún caso podríamos excedernos de nuevo en el criterio de CE máxima. Por lo que sería necesario empezar un nuevo ciclo de ajuste.

Este problema se ha solucionado restringiendo las posibilidades de mezcla y aportando el uso de agua desionizada cuando el número de interacciones excedía de una cifra razonable, es decir, cuando ya existían numerosos factores que hacía muy complicado el ajuste final de los nutrientes.

El otro problema que hemos tenido es que las cubas madre contienen sales binarias. Sin embargo, los desequilibrios nutricionales pueden ocurrir de forma diferente en cationes y aniones. Por ejemplo, en el caso de KNO3, NO3 puede estar concentrado y necesitar el aporte de K. En este caso es imposible ajustar estos nutrientes. El problema se solucionará con un sistema de ayuda a la decisión donde se

llegue a un compromiso óptimo aumentando los rangos de tolerancia para cada uno de los nutrientes. Actualmente se está trabajando en este sistema.

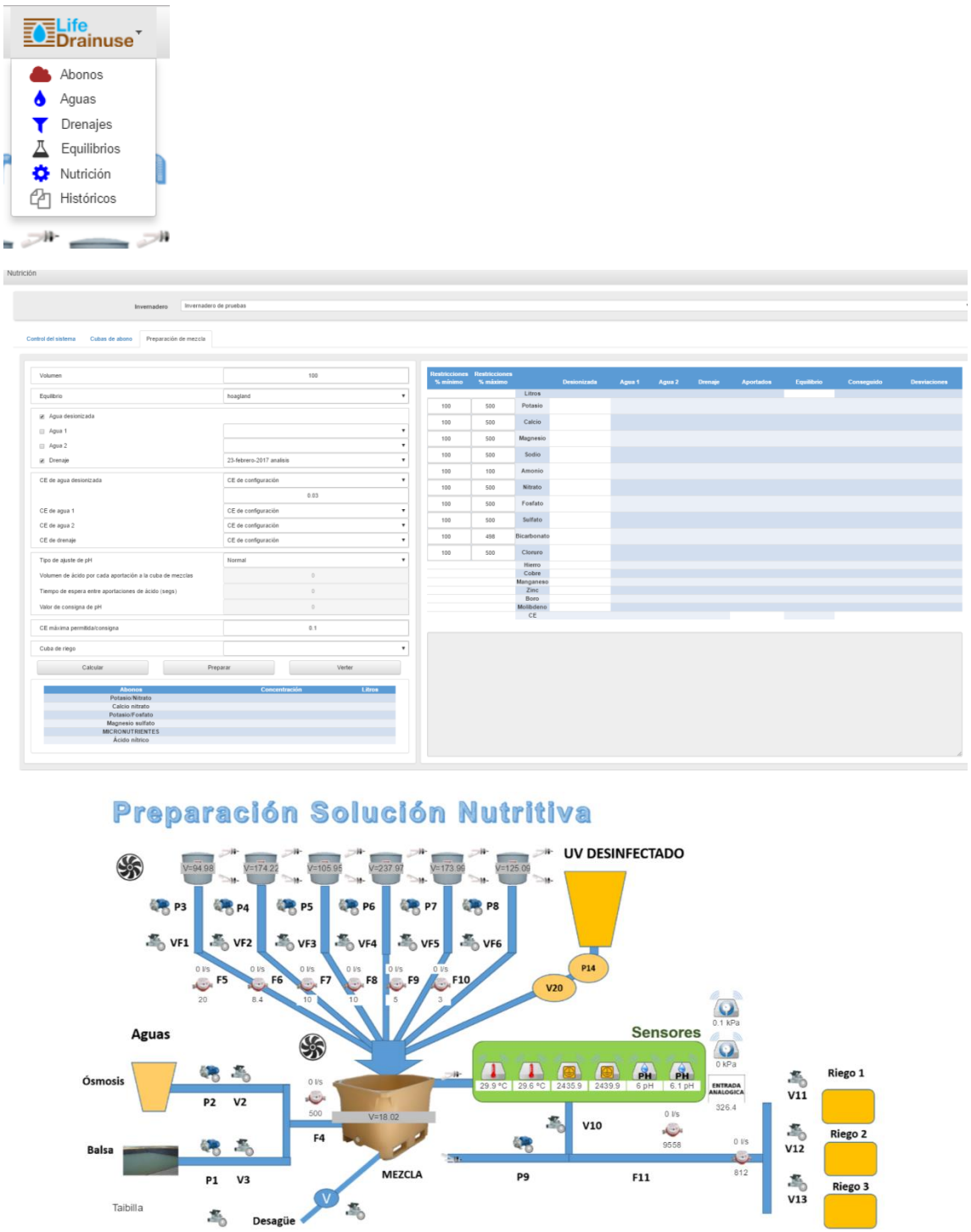

Figura 13 Ventana para visualización de la unidad de preparación de la solución nutritiva.

Se detectaron y corrigieron problemas en la configuración de los contadores de 1000 pulsos / litro. Al ajustar la frecuencia de lectura por pulso se corrigió el error. En este apartado el cálculo de las nuevas soluciones nutritivas teniendo en cuenta diferentes tipos de agua y los cambios en la composición de los drenajes, ha dado

problemas y seguimos ajustando para dar una solución universal, donde se contemplen todas las circunstancias posibles.

4.3. Desinfección

El software del sistema de desinfección funcionó tal y como estaba previsto desde el principio. Registraba datos de temperatura, conductividad eléctrica, pH, volumen desinfectado etc. Hacia la mitad del ensayo nos dimos cuenta que la luz ultravioleta como sistema de desinfección no era del todo eficaz como sistema de desinfección para el prototipo de recirculación. Para ello tuvimos que añadir un nuevo botón para programar y recircular el drenaje ya desinfectado por las noches, con el fin de disminuir la carga bacteriana y fúngica de los drenajes. Este nuevo botón (aparece en la figura 14 como un reloj) era configurable desde la versión SCADA. Entre las mejoras propuestas es la de configurar esto desde la versión WEB.

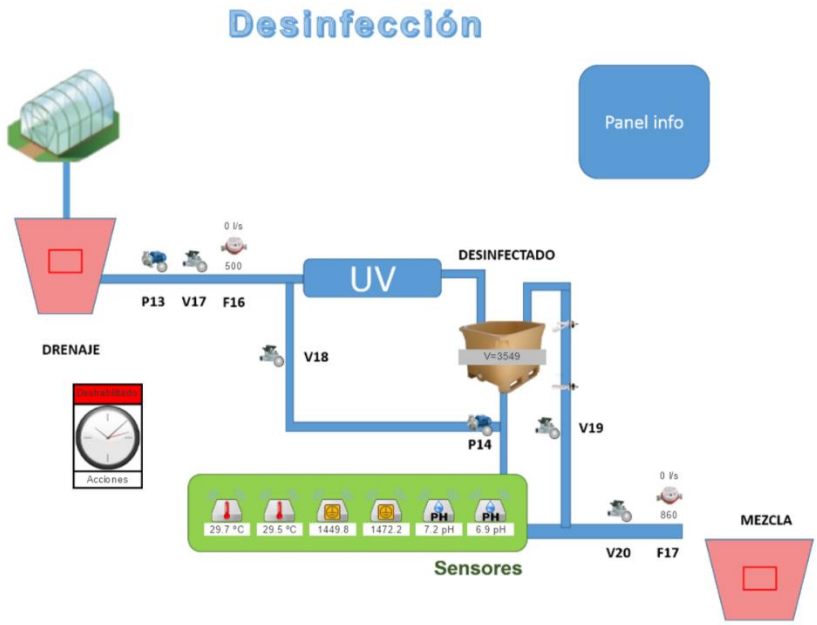

Figura 14. Ventana de desinfección

4.4. Osmosis

La interface relacionada con la osmosis ha funcionado bastante bien en tiempo real. Una de las cosas a mejorar es la posibilidad de duplicar elementos en diferentes ventanas. En un momento dado al usuario podría interesarle visualizar el estado de una cuba en la ventana de osmosis (figura 15). Actualmente hay que desplazarse a otra ventana para verlo. Se está trabajando actualmente en la mejora de visualización por parte del usuario.

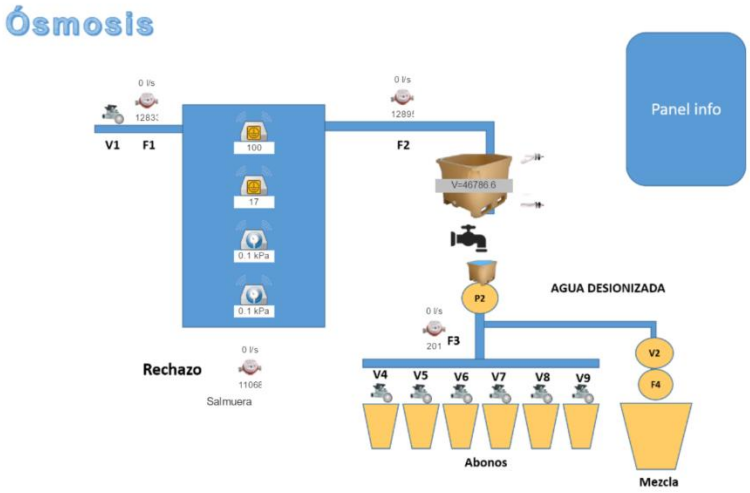

Figura 15. Ventana para visualización y control de la unidad de purificación.

4.5. Conclusiones

En general el programa ha funcionado bastante bien. Al principio hubo que hacer ajustes intensivos, y hubo que depurar el código con bastante frecuencia. Eran pequeñas cosas que se fueron subsanando con relativa rapidez.

Como conclusiones de este apartado clasificadas de menor importancia a mayor importancia podemos destacar:

1. Se están realizando modificaciones en la interface de usuario con el fin de hacer más intuitivo el uso al usuario final. Estas modificaciones estarán concluidas antes de la finalización del segundo ensayo que comenzará la primera semana de junio de 2017.
2. La presentación de los datos en forma gráfica se está mejorando para agilizar el acceso a la información de los datos históricos almacenados.
3. Se está depurando el módulo de nutrición, sobre todo en el momento de preparar soluciones nutritivas complejas a partir de los drenajes y mezcla de diferentes tipos de agua y que todavía se detecta algún error en los cálculos y decisiones.

5. Producción, cosecha y calidad del tomate en sistema de ciclo cerrado

Report in production, yield and quality of tomato in a closed system

5.1. Producción total

Durante este ensayo se obtuvo una producción de unos 3000 kg de tomate. Esto fue la suma de unos 24000 frutos. La producción de este ensayo fue baja y la calidad de los frutos también. La mayoría de los tomates tuvieron un tamaño muy inferior al tamaño medio que suele producir esta variedad.

En la Tabla 3 se muestran los datos de producción total, número de frutos y tamaño de éstos en el primer ciclo de cultivo (otoño-invierno).

Tabla 3 Producción de tomate en el ensayo 1 de invernadero con fibra de coco como sustrato.

Producción total en (kg)	3.056
Número total de frutos	24.073
Peso medio de fruto (gramos)	127

La figura 16 muestra los datos recogidos a lo largo de las cosechas en el ensayo 1. Se puede ver los kilogramos totales recogidas en cada fila del cultivo. También se puede apreciar una reducción considerable de la producción en la fila 19, que fue debida a la pérdida de estabilidad de la canal de cultivo en la que estaban apoyados los sacos de fibra de coco con las plantas.

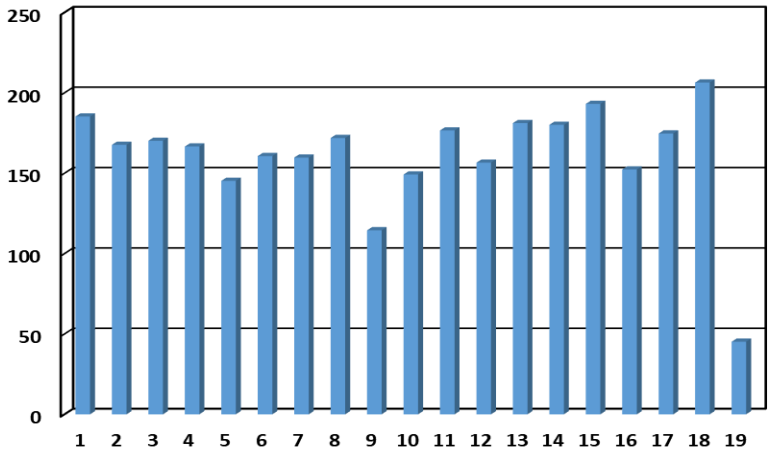

Figura 16 Rendimiento de tomate expresado por filas en el invernadero

Las figuras 17, 18 y 19 muestran el rendimiento total, el número de frutos y el tamaño medio de frutos del ensayo 1 por meses. Se puede ver como la producción

aumenta progresivamente desde marzo hasta mayo, siendo el mes de mayo el que mayor rendimiento registró del ensayo 1 de tomate. Lo mismo sucede con el número de frutos y el tamaño medio de éstos.

Esto fue debido a la recuperación de las plantas de la plaga causada por hongos que afectó a la primera etapa de la producción. Los hongos fueron tratados con varias aplicaciones fitosanitarias con fungicidas.

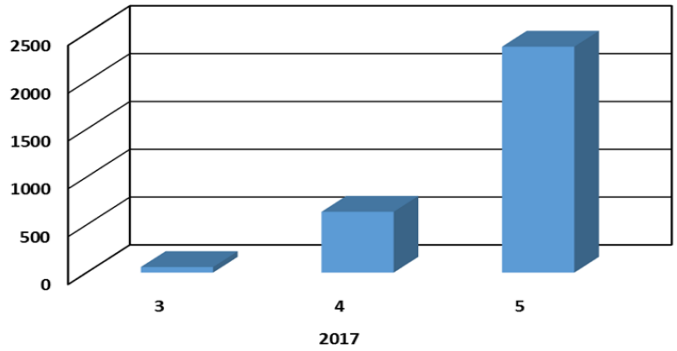

Figura 17 Rendimiento total de tomate (kg) durante los meses de marzo, abril y mayo.

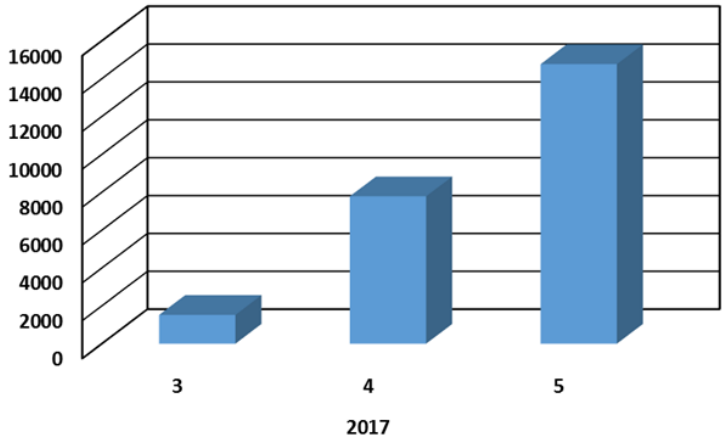

Figura 18 Número de frutos de tomate (kg) durante los meses de marzo, abril y mayo

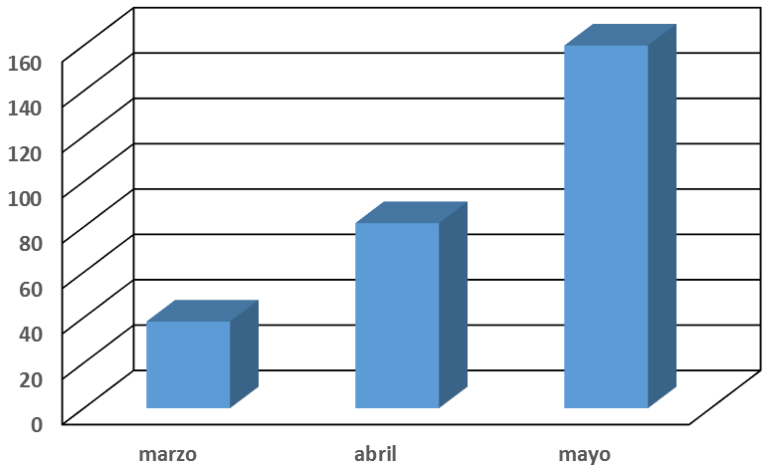

Figura 19 Tamaño medio de frutos de tomate (g) durante los meses de marzo, abril y mayo.

El cultivo sufrió un parón por el frio que coincidió con el cuaje del primer racimo en enero. La producción se retrasó y hasta marzo no se obtuvieron frutos maduros y no comenzó la etapa de recolección. A este problema se añadió una plaga de hongos que no se pudo controlar hasta que empezó a madurar el sexto racimo. Por lo que la producción se vio afectada considerablemente.

Para el segundo ciclo de primavera-verano está previsto disminuir la densidad de plantación a la mitad y usar otro método de desinfección de la solución nutritiva recirculante alternativo. Estas medidas están destinadas a evitar un ataque de hongos y que la producción no se vea afectada por factores externos al cultivo sin suelo cerrado.

5.2. Calidad

Se midieron los parámetros de calidad de los frutos de tomate. En la tabla 4 se pueden observar diferentes parámetros físicos y químicos relacionados con la calidad del fruto.

Todas las muestras que se recogieron presentaron el mismo color, por lo que no hubo diferencias significativas en este parámetro. Se utilizó el criterio de color para elegir los frutos en el mismo estado de madurez. Presentaron un valor de ºBrix de 5.4 y acidez de 3.4 g ácido cítrico, que le otorgan al fruto sabor agradable. Los frutos analizados han presentado buena calidad y se pueden considerar frutos comerciales.

Tabla 4. Parámetros de calidad de tomate. Se expresan valores medios de 24 frutos ± error estándar de la media.

PARAMETRO	VALOR MEDIO ± ERROR STANDARD
PESO MEDIO (g)	156 ± 5.3
Diámetro ecuatorial (mm)	52 ± 2.1
Diámetro longitudinal (mm)	44.5 ± 1.5
Índice de forma	0.85 ± 0.1
Dureza (Kg)	6.83 ± 0.35
Firmeza (N)	12.22 ± 0.64
pH	4.31 ± 0.1
CE	2.52 ± 0.08
ºBrix	5.45 ± 0.06
Acidez (g ácido cítrico)	3.40 ± 0.9
Color a*	23.7 ± 1.2
Color b*	23.7 ± 2.1
Color L*	40.1 ± 3.4

5.3. Estado nutricional de las plantas

Se realizaron muestreos de material vegetal a lo largo del cultivo. Una vez a la semana se recogían muestras de hojas y se analizaban. En la tabla 5 se muestras los resultados de los análisis.

Estos análisis nos sirvieron para detectar una deficiencia en Mo, que se corrigió añadiendo dicho nutriente a la solución nutritiva de riego. En general todos los demás nutrientes se mantuvieron dentro de rango de normalidad. Lo que indica que el sistema ha sido capaz de controlar el estado nutricional del cultivo de forma aceptable.

Tabla 5. Análisis foliar de plantas de tomate. Micronutrientes

B (ppm)	33.02	33.56	28.29	39.72	38.19	37.03	39.25
Fe (ppm)	4.16	4.46	4.82	3.69	4.76	4.46	4.57
Cu (ppm)	0.19	0.26	0.16	0.21	0.22	0.19	0.24
Mn (ppm)	3.62	3.89	3.50	4.21	4.37	4.04	3.58
Zn (ppm)	0.35	0.39	0.45	0.32	0.42	0.38	0.43
Mo				0.01	0.01	0.01	0.01

Tabla 6 Análisis foliar de plantas de tomate. Macronutrientes

K (%)	1.44	1.85	1.71	1.50	1.53	1.31	1.63
Ca (%)	0.90	0.97	0.95	1.02	1.05	1.10	0.98
Mg (%)	0.52	0.41	0.63	0.33	0.37	0.46	0.40
P (%)	0.63	0.55	0.66	0.50	0.59	0.62	0.70
S (%)	0.73	0.77	0.60	0.75	0.67	0.62	0.70
Na (%)	0.10	0.06	0.07	0.04	0.04	0.11	0.13

5.4. Conclusiones

- La producción obtenida en el primer ciclo de tomate (otoño-invierno) fue muy baja, ya que se obtuvieron en total 3000 Kg de tomate, lo que supone 3 Kg de tomate por planta. Esto fue debido principalmente a un ataque de hongos severa, que hubo muchas dificultades para controlar con uso de tratamiento fungicidas. Los primeros racimos no tuvieron tamaño comercial.
- Los tomates producidos al final del primer ciclo fueron de buena calidad, ya que tenían un calibre y peso comercial, ausencia de fisiopatías y los parámetros de calidad químicos eran adecuados para tomate. Además, tenían un sabor y aroma agradables.
- El estado nutricional del cultivo en general se mantenido dentro de los rangos de normalidad. Solamente el Mo, al principio se detectó niveles un poco más bajos de lo normal, pero fue corregido en las primeras semanas añadiendo dicho nutriente a la solución nutritiva de riego.

6. Consumos de agua, fertilizantes y energía en el sistema de cultivo sin suelo cerrado

Report in water, fertilizers and energy consumption in a closed system

6.1. Consumo de agua

La tabla 7 muestra el consumo de agua realizado durante el ensayo. Los consumos se han obtenido con los datos guardados de volumen de riego de los contadores de riego, agua desionizada, etc. El agua de riego se ha utilizado para preparar las soluciones nutritivas cuando no había suficiente drenaje disponible para reutilizar. El agua desionizada se utilizó para preparar las soluciones nutritivas cuando se quería corregir la concentración de algún componente.

Tabla 7. Agua consumida durante el ensayo

TIPO DE AGUA	VOLUMEN USADO
AGUA DE RIEGO (L)	53.169
AGUA DESIONIZADA (L)	67.236
TOTAL (L)	120.405

La figura 20 muestra en consumo de agua por meses que se ha consumido durante el primer ciclo. Se puede ver cómo este consumo fue aumentando de manera progresiva con el paso del tiempo, pues las plantas iban teniendo cada vez más demanda de agua, ya que su estado de desarrollo iba aumentando. En el último mes, el consumo disminuye notablemente debido a que las plantas se dejaron de regar antes de que éste finalizara, para así poder realizar el muestreo.

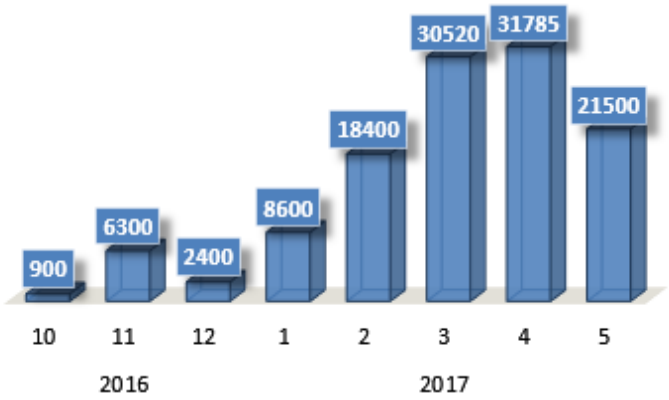

Figura 20. Consumo de agua en los meses del primer ciclo de cultivo

La siguiente tabla muestra los elementos que se encuentran presentes en el agua de riego. Estos valores se han tenido en cuenta para preparar soluciones nutritivas en las que la concentración de nutrientes fuera la óptima.

Tabla 8. Análisis del agua de riego

COMPONENTE	CONCENTRACION
Calcio	2.4mmol/L
Potasio	0.27mmol/L
Magnesio	4.6mmol/L
Manganeso	11.67mmol/L
Sodio	10.49mmol/L
Azufre	6.45mmol/L
Boro	0.045mmol/L

La tabla 9 muestra el volumen total de riego que se ha sido consumido durante el ciclo. El riego total hace referencia a la suma del agua consumida, anteriormente mencionada, y la suma de drenaje reutilizado en el sistema. El consumo de riego por la planta se consigue teniendo en cuenta las 1026 plantas de las que constaba el experimento. Cabe destacar que la reutilización del drenaje ha supuesto un 38% de volumen de riego.

Tabla 9 Agua usada para el riego

CONSUMO RIEGO	VOLUMEN USADO
RIEGO TOTAL (L)	195.647
CONSUMO AGUA (L)	120.405
DRENAJE (L)	75.242
% DRENAJE REUTILIZADO	38%
CONSUMO POR PLANTA (L)	191

La Figura 21 muestra los datos obtenidos de consumo de agua y drenaje en el ensayo 1 de otoño-invierno.

Figura 21. Consumo por transpiración de las plantas (riego-drenaje)

Se colocaron tres células de carga debajo de un saco de cultivo en tres filas diferentes con el fin de monitorizar el peso del saco con las plantas. Estos datos se fueron registrando a lo largo del experimento. La Figura 22 muestra los datos de las balanzas, obteniendo los litros consumidos por evapo-transpiración por las plantas. En la figura 23 se muestran los datos de las tres balanzas por meses. Se puede apreciar una disminución del volumen en abril, ya que se realizó una poda fuerte para sanear las plantas, lo que explica la disminución en el consumo de agua. El día 18 de mayo se dio por finalizado el ensayo.

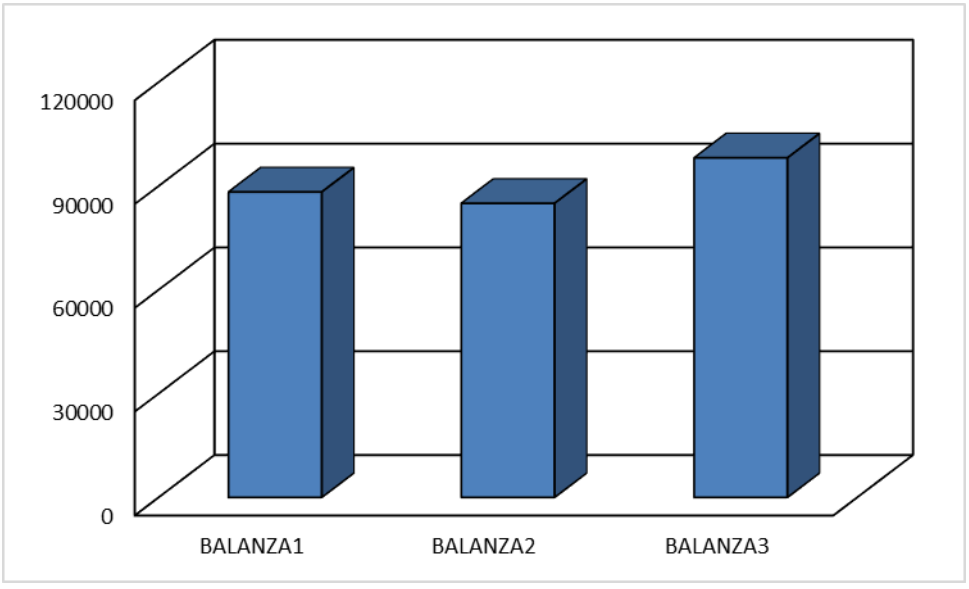

Figura 22 Total consumido por planta por proceso de evapo-transpiración, calculado por método gravimétrico.

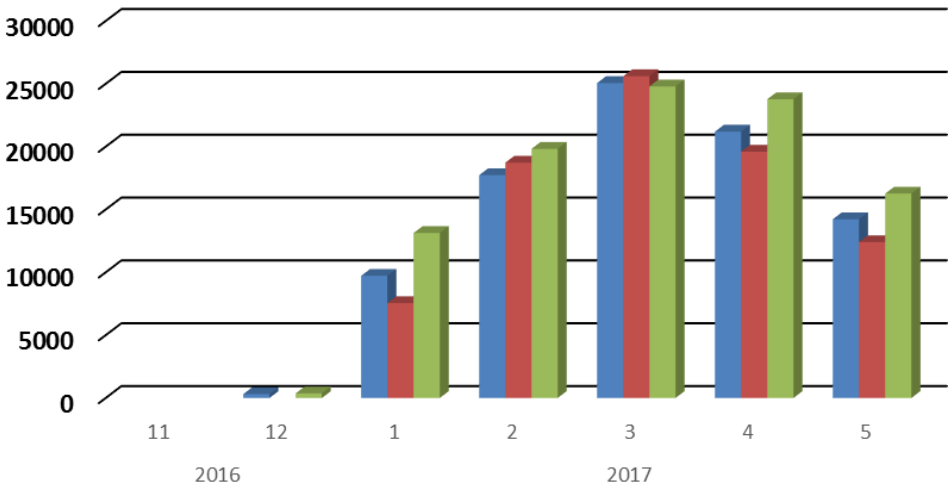

Figura 23 Consumo acumulado por mes y por planta medido en tres balanzas diferentes.

6.2. Consumo de fertilizantes

Consumo de fertilizantes en ciclo cerrado

La tabla 10 y el gráfico 24 se muestra el consumo total de abonos consumidos durante el ciclo. Con estos abonos podemos preparar la solución nutritiva Hoagland modificada que se utiliza para regar el ensayo de tomate (tabla 12). El valor viene dado en kilogramos de fertilizante.

Tabla 10. Fertilizantes consumidos en el ciclo 1 de cultivo

ABONO	KG
KNO_3	31
NH_4NO_3	3.1
$Ca(NO_3)_2$	73
KH_2PO_4	23.5
$MgSO_4$	25
MICRONUTRIENTES/Fe	2.6

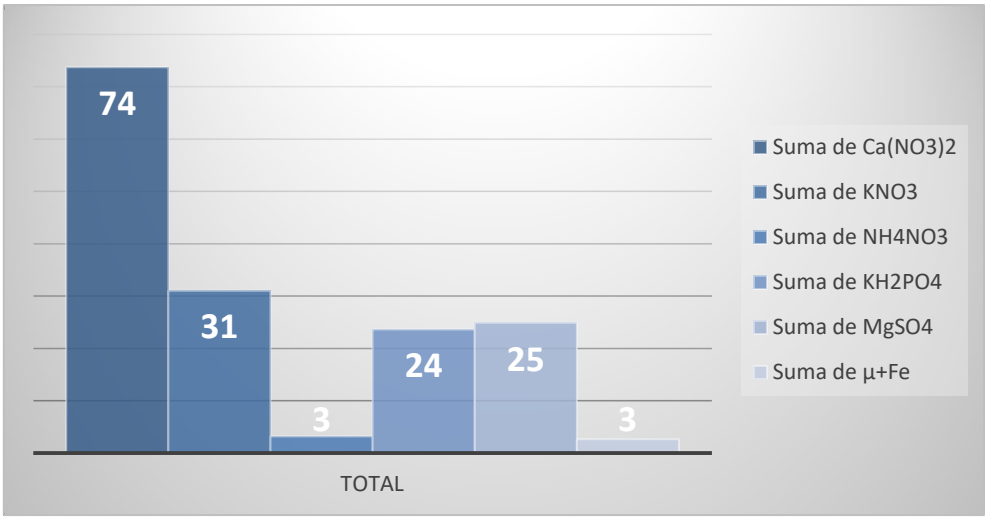

Figura 24. Fertilizantes consumidos en el ciclo 1 de cultivo

Las figuras siguientes (25 -30) muestran el consumo individual de abonos por meses, expresado también en kilogramos de fertilizante. En la mayoría de las figuras, en abril y mayo disminuye el consumo dado que se realizó una poda importante de la mitad para debajo de las plantas. Además, se observa una reducción del consumo de nitrato de calcio y de potasio (figuras 26 y 27), debido a que se acumulaba nitrato en el drenaje y se corrigió la concentración de éste en la solución nutritiva de riego.

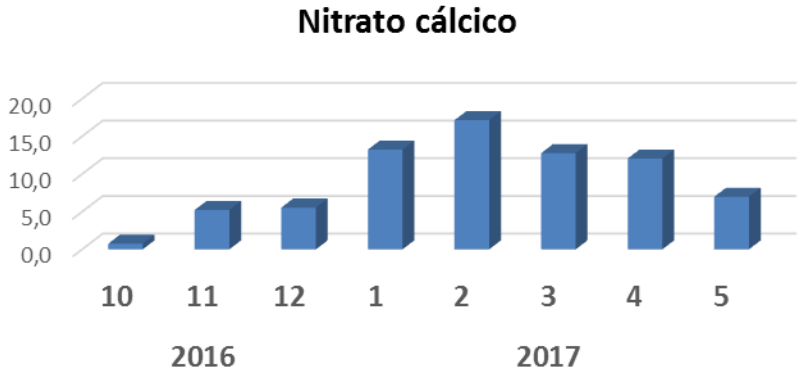

Figura 25 Consumo de Ca $(NO_3)_2$ en Kg por meses durante el ensayo 1

En las figuras 26, 27 y 29 se puede apreciar como en el mes 11 se produce un aumento del consumo de estos fertilizantes y cae en el mes 12. Esto fue debido a que se concentraron los nitratos y sulfatos en los sacos de cultivo y en el mes 12 se aplicaron en menor medida para corregir la concentración.

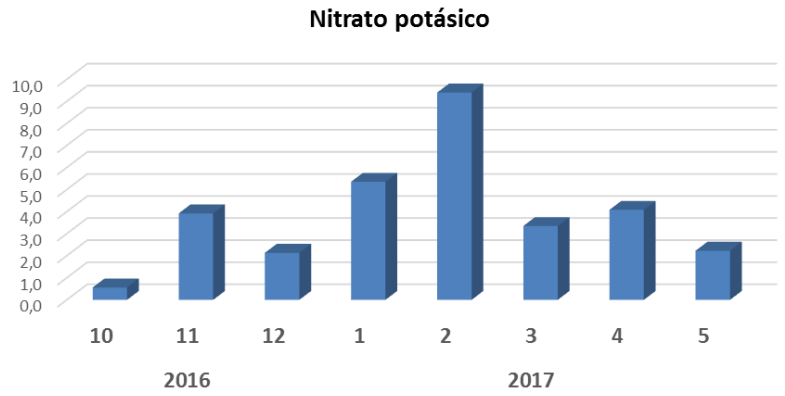

Figura 26. Consumo de KNO3 en Kg por meses durante el ensayo 1

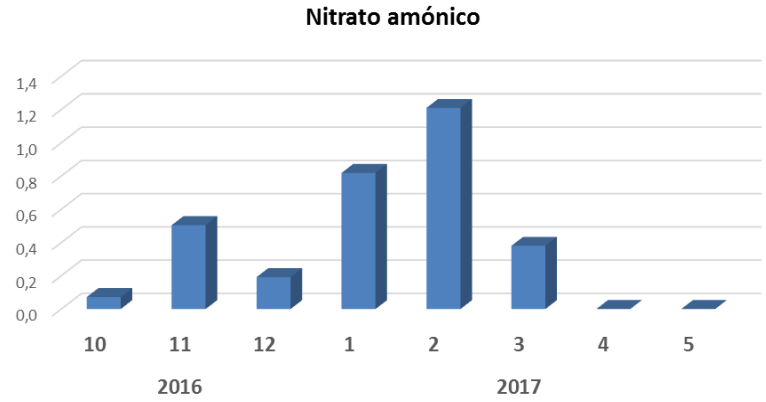

Figura 27 Consumo de NH4NO3 en Kg por meses durante el ensayo 1

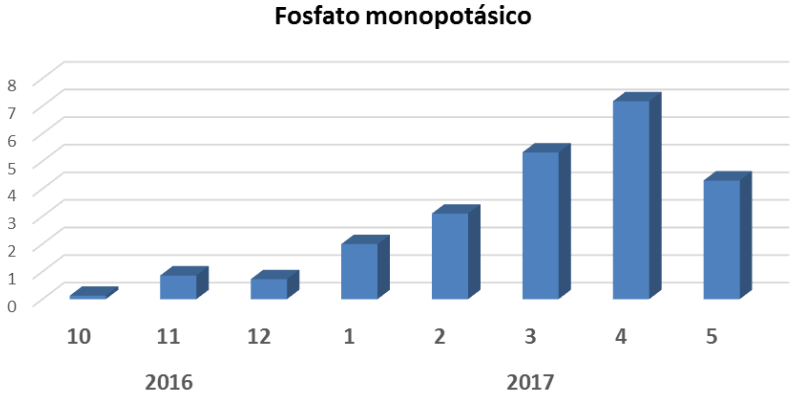

Figura 28 Consumo de KH2PO4 en Kg por meses durante el ensayo 1

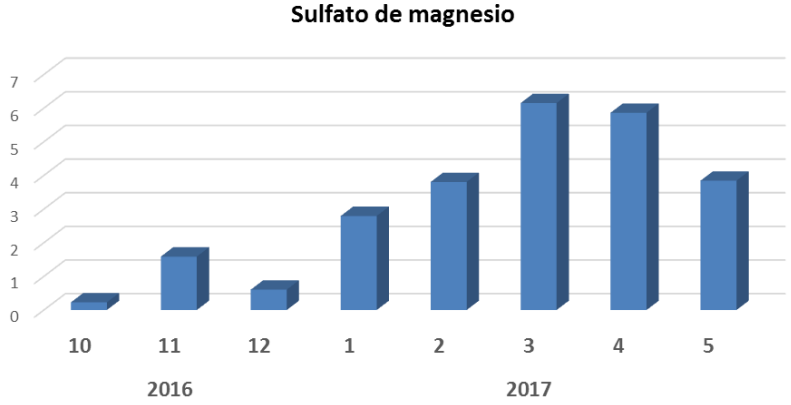

Figura 29 Consumo de MgSO4 en Kg por meses durante el ensayo 1

30

6.3. Consumo de energía

Los datos de consumo comenzaron a registrarse el 9 de noviembre de 2016, gracias a la instalación de un contador que registra el consumo de energía y se almacenan los datos en una base de datos, y para ese primer ensayo se terminan el 31 de mayo de 2017. Tal y como se puede observar en la gráfica siguiente, el consumo fue aumentando conforme iba avanzando la edad del cultivo. El consumo máximo se alcanzó en el mes de abril con casi 1.200 Kw. El total consumido por el prototipo durante el ensayo fue de 3.700 kw. Esto fue fundamentalmente por el aumento de las necesidades hídricas del cultivo, que conducían a un mayor consumo de agua por el aumento del número de riegos y la necesidad de usar agua desionizada. La demanda hídrica aumento fundamentalmente por dos causas, por el aumento en el tamaño de las plantas.

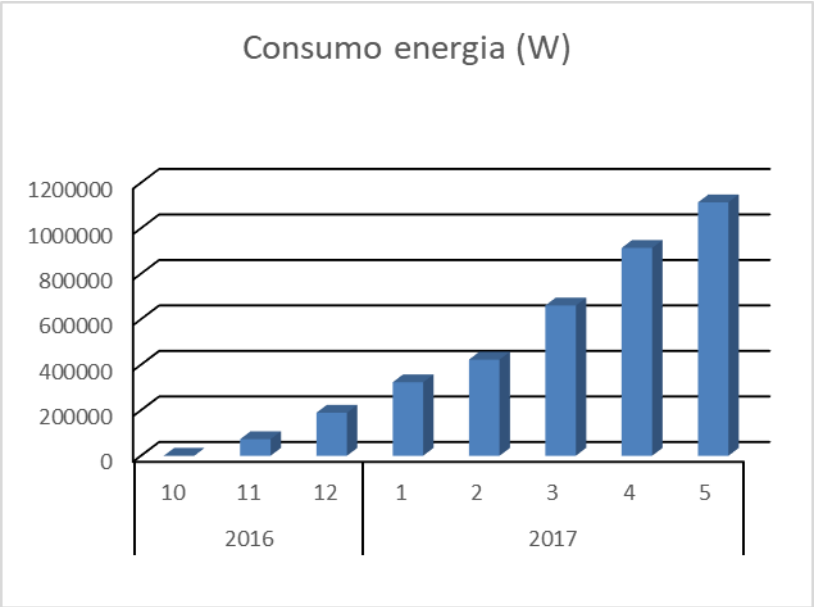

Figura 30. Consumo de Energía expresado en W totales en cada mes.

Ahorro de fertilizantes en ciclo cerrado con respecto al consumo estimado en ciclo abierto

La tabla 11 muestra datos estimados de fertilizantes que se habrían consumido si el ciclo de cultivo hubiese sido abierto. Se ha estimado que el total de litros gastados de riego (195647 L) se habrían preparado de solución nutritiva para riego a partir de agua de riego, cuyo análisis se muestra en la tabla 8. La composición de la solución nutritiva elegida es Hoagland modificada y se muestra en la tabla 12.

Tabla 11. Fertilizantes consumidos en el ciclo 1 de cultivo (cerrado) y estimados en ciclo abierto.

Fertilizantes	Ciclo abierto	Ciclo cerrado	Fertilizantes ahorrados	%
Ca(NO3)2 Kg	81,19	73,72	7,47	9,20
KNO3 Kg	121,73	31,03	90,70	74,51
NH4NO3 Kg	15,67	3,18	12,49	79,72
KH2PO4 Kg	26,60	23,60	3,00	11,29
micro+fe Kg	4,00	2,62	1,38	34,51

Tabla 12. Concentración de fertilizantes en solución nutritiva Hoagland modificada

Fertilizantes	Concentración mM
Ca(NO3)2	4
KNO3	6
NH4NO3	1
MgSO4	1
KH2PO4	1
Fe (µM)	20
B (µM)	25
Mn (µM)	2
Zn (µM)	2
Cu (µM)	0.5
Mo (µM)	0.5

6.4. Conclusiones

Como conclusiones más destacadas de este apartado podríamos destacar las siguientes:

1. Se han usado para el riego del primer ensayo 120.4 m^3 de agua. Esto incluye el agua usada directamente para el riego y el agua usada para obtener agua desionizada. Esta cantidad se podría optimizar, reduciendo el agua desionizada utilizada.
2. Durante el ensayo se han recuperado y re-utilizado a partir de los drenajes 75.2 m^3 de solución. Este parámetro estaría relacionado con el posible ahorro de agua y fertilizantes.
3. El uso de fertilizantes por el sistema cerrado con recirculación ha sido de 31 kg de KNO_3, 3.1 kg de NH_4NO_3, 73 kg de $Ca(NO_3)_2$, 23.5 kg de KH_2PO_4, 25 kg de $MgSO_4$, y 2.6 kg de micronutrientes/Fe.
4. Se ha producido un ahorro de fertilizantes de 90.7 kg de KNO_3, 12.5 kg de NH_4NO_3, 7.4 kg de $Ca(NO_3)_2$, 3 kg de KH_2PO_4 y 1.4 kg de micronutrientes/Fe, si todos los litros utilizados de riego (195647 L) se hubieran preparado solución Hoagland modificada con concentraciones 6 mM de KNO_3, 1mM de NH_4NO_3, 4 mM de $Ca(NO_3)_2$, 1 mM de KH_2PO_4, 1 mM de $MgSO_4$, 20 µM Fe, 25 µM B, 2 µM Mn, 2 µM Zn, 0.5 µM Cu y 0.5 µM Mo.
5. El consumo de energía durante el ensayo ha sido de 3.700 kW. Este ha ido incrementándose conforme se iba desarrollando el cultivo.

7. Concentración de nutrientes y volumen de los drenajes obtenidos en sustrato de fibra de coco

Report in nutrient concentration and volumes of the drainages obtained from coco peat substrates

7.1. Soluciones nutritivas preparadas

Las soluciones nutritivas se preparaban con agua y drenaje si había disponible. Se preparaba un equilibrio (Hoagland modificado) que se estudió en la acción A2. Con el drenaje y agua se intentaba lograr este equilibrio para preparar la solución nutritiva para el riego. A medida que las plantas aumentaban su estado de desarrollo y absorbían cada nutriente de forma independiente, se iban generando desequilibrios en el drenaje, que se iban corrigiendo con la solución nutritiva de riego.

La figura 30 muestra la concentración de Mg, P y S total en la solución nutritiva en los meses que duró el ensayo. Se puede apreciar como cambió la concentración de cada elemento a lo largo del cultivo. Como el Mg y el S se añadía como $MgSO_4$, es apreciable el comportamiento diferente de cada uno, ya que el Mg se concentraba y el S se diluía. Esto es debido a que, en el drenaje, el Mg estaba concentrado y al añadir agua para diluir éste, el S también se diluía.

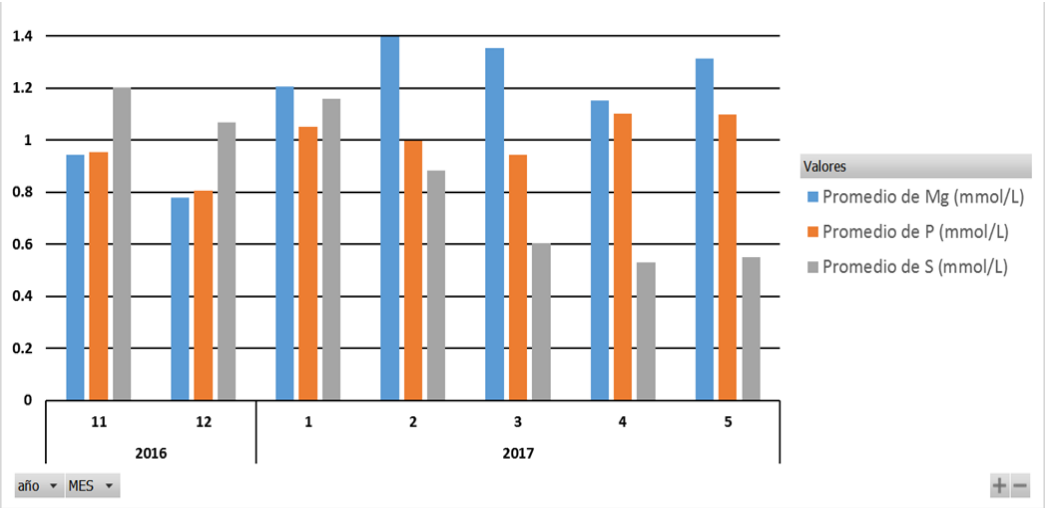

Figura 30. Valores medios de concentración de Mg, H2PO4 y SO4 en la disolución nutritiva distribuido por meses a lo largo del cultivo (cada valor representa al menos 5 análisis).

En la Figura 31 se muestra la concentración de B en la solución nutritiva de riego. Se puede ver como éste se concentraba a lo largo del experimento. Esto fue debido a que el B se iba concentrando en el drenaje y al preparar solución nutritiva a partir de drenaje se añadía un complejo de micronutrientes (B, Mn, Zn, Cu y Mo). Resultó que las plantas absorbían unos microutrientes más que otros y se produjo desequilibrio, desencadenando la concentración de B.

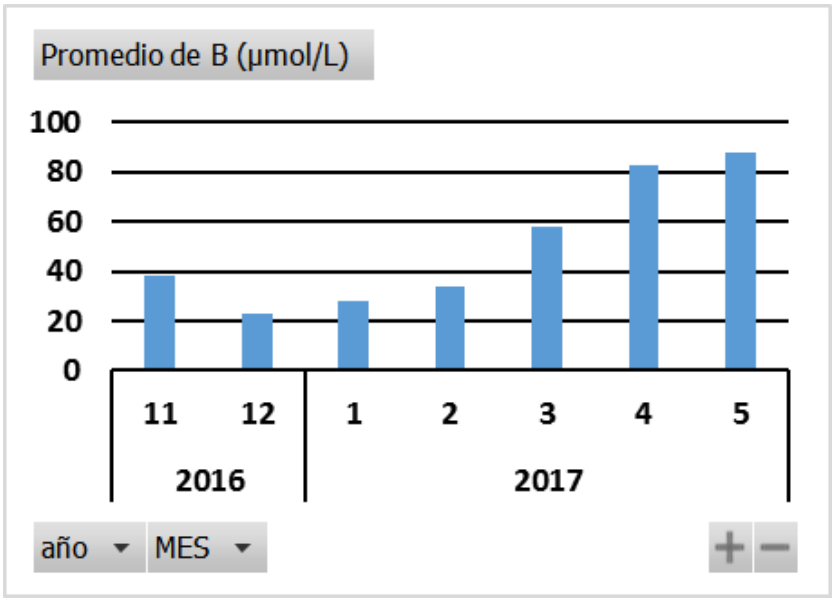

Figura 31. Valores medios de concentración de B en la disolución nutritiva distribuido por meses a lo largo del cultivo (cada valor representa al menos 5 análisis).

7.2. Volumen de drenaje obtenidos

La figura 32 muestra los datos del volumen generado de drenaje por meses a lo largo del ensayo 1. La suma total de drenaje asciende a **75.242** litros, que supone un **38 %** del volumen total de riego.

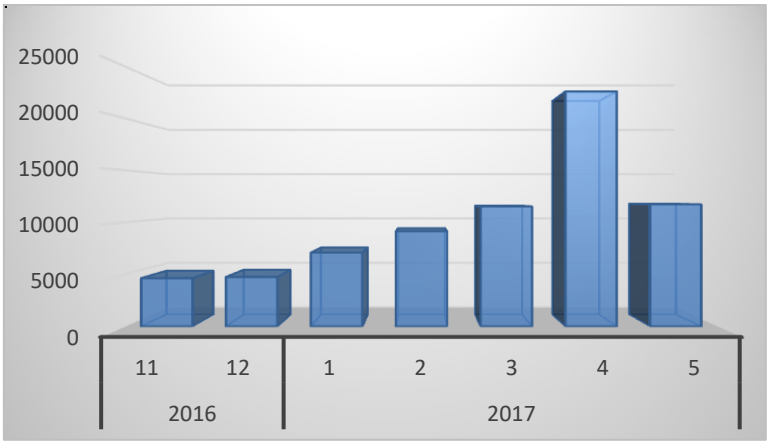

Figura 32 Volumen (L) de drenaje por meses

7.3. Análisis de drenajes

Semanalmente se tomaban muestras del drenaje y se analizaba la concentración de cationes y de aniones de las muestras. Las figuras 33, 34 y 35 muestran la evolución de la concentración de los elementos analizados a lo largo del cultivo. Cabe destacar el B, como micronutriente que se iba acumulando en el drenaje. Y los NO_3^- que también tendieron a acumularse, pero con la preparación de las soluciones nutritivas se pudo diluir la concentración de este nutriente en el drenaje.

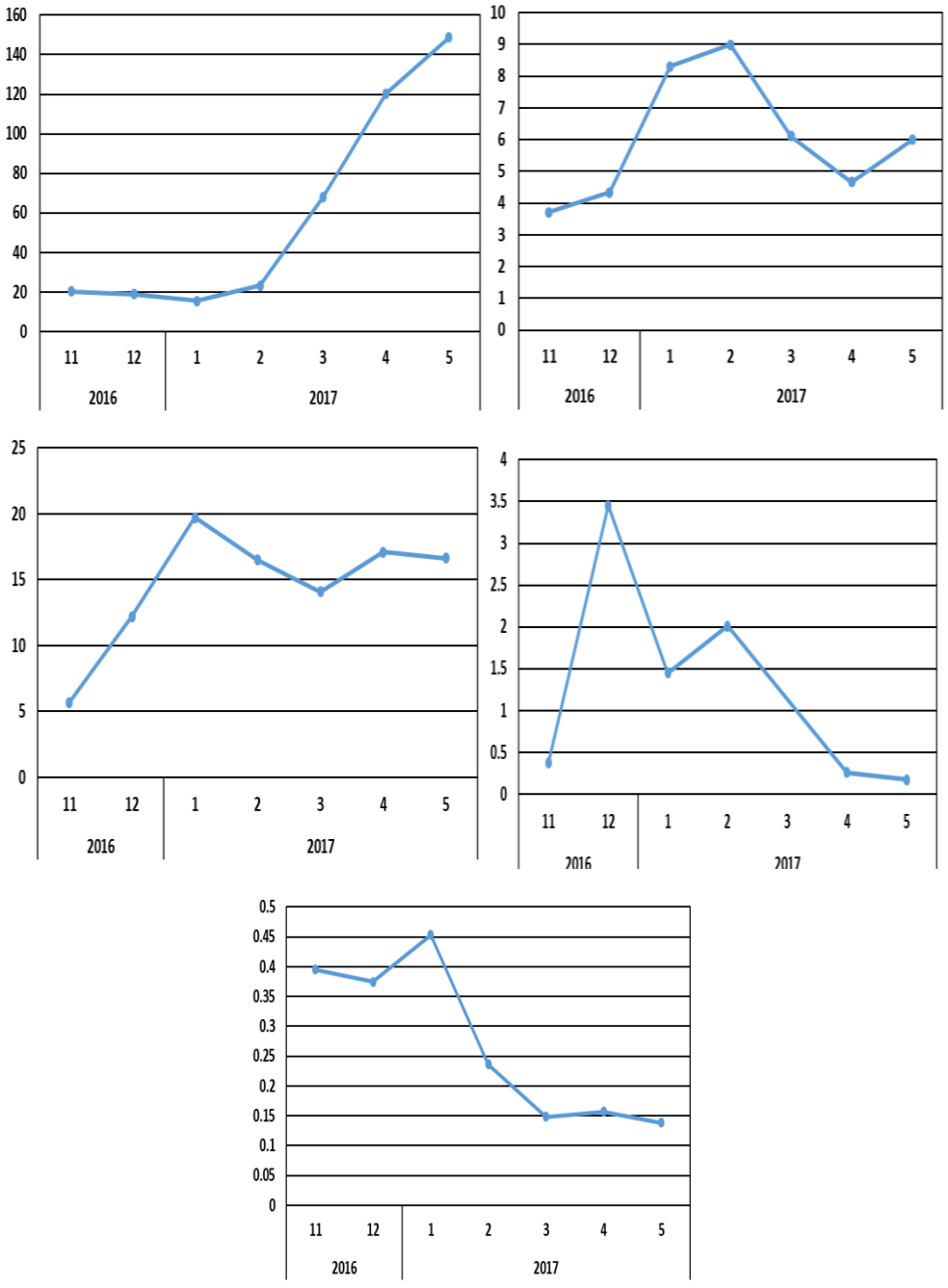

Figura 33. Concentración de B, Mn, Fe y Zn y Cu en el drenaje por meses del ensayo.

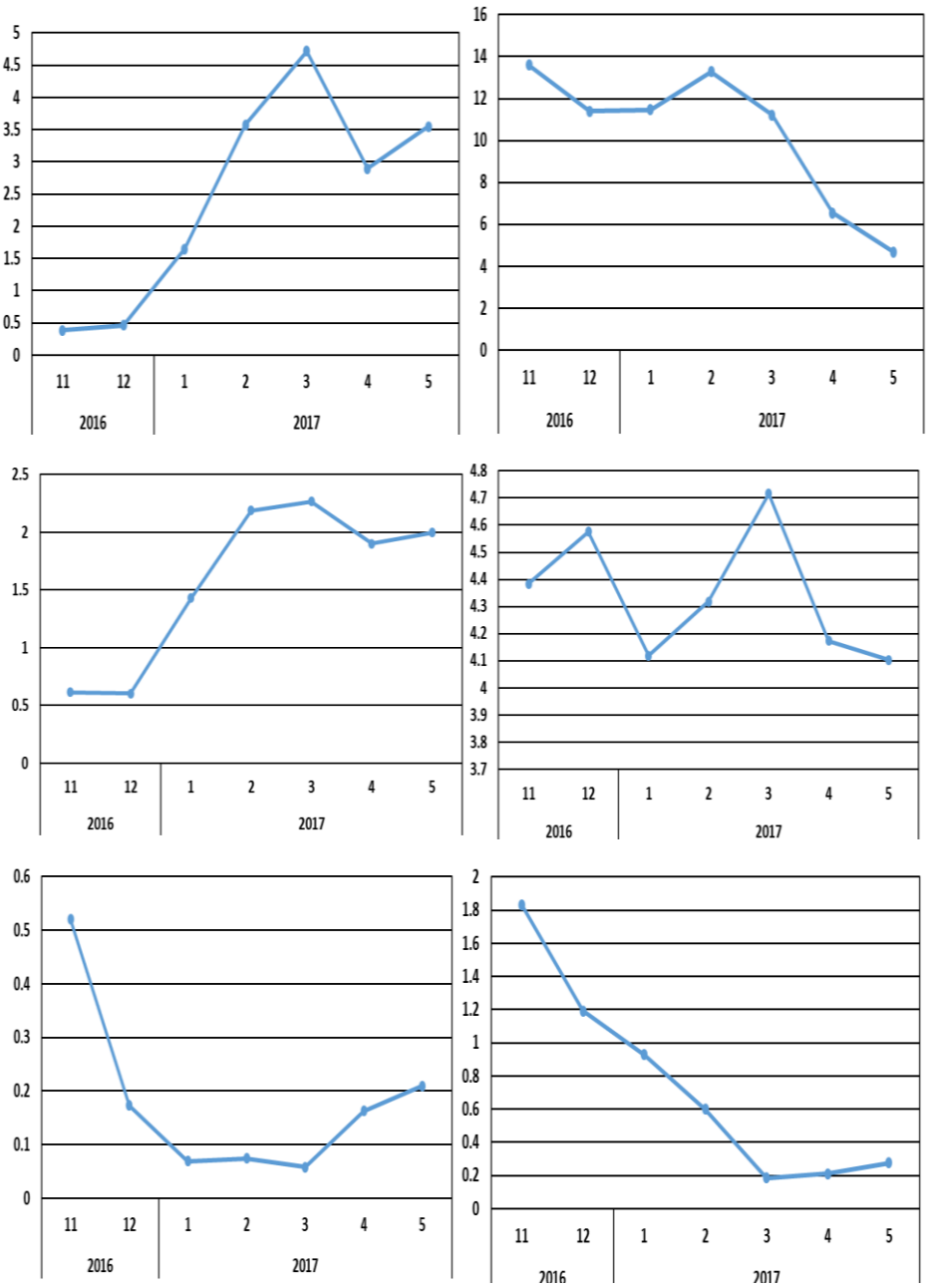

Figura 34 Concentración de Ca, K, Na, P y S en el drenaje por meses del ensayo.

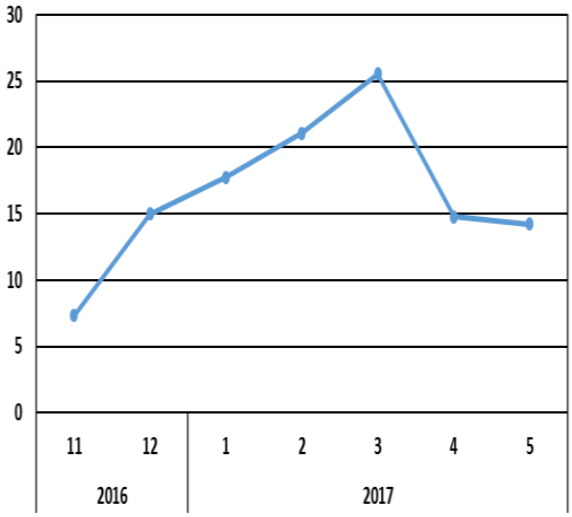

Figura 35 Concentración de nitratos en el drenaje por meses del ensayo.

7.4. Análisis microbiológico

Para corroborar la eficiencia del sistema de desinfección UV sobre el agua de riego y drenaje procedimos a la siembra en placa de las distintas muestras colectadas. La recogida de muestras se realizaba semanalmente. Las muestras colectadas se clasificaron en: Riego (agua de riego), Drenaje (agua de riego que drena del cultivo), Invernadero (el agua colectada de los invernaderos antes de ser tratadas con UV y Desinfección (agua de riego tratada con UV).

El medio de cultivo empleado fue selectivo para el crecimiento de bacterias (Plate Count Agar, PCA) y crecimiento de hongos y levaduras (Rose Bengal Chloramphenicol Agrar, RBCA). Distintas diluciones de la muestra problemas fueron realizadas y 100uL de muestra 1:10 fue sembrado por placa de Petri con medio de cultivo RBCAL y 100uL de la dilución 1:1000 fueron sembrados en placa de Petri con PCA.

Las Placas fueron incubadas a temperatura de 37^{o}C y el conteo de microorganismo se realizó a las 72 horas para bacterias y a los 5 días para hongos. El número de colonia por placa osciló entre 30 y 300 colonias.

La figura 36 representa la carga de hongos obtenida en cada fase del monitoreo. Hemos observado que el agua usada para el riego de las plantas fue la que menos carga de hongos presentaba. El agua de riego de invernadero (sin desinfectar) y desinfectada presentaban una carga microbiana similar. Estos resultados indican que el método de UV de desinfección empleado en esta fase del proyecto no proporciona buenos resultados de desinfección.

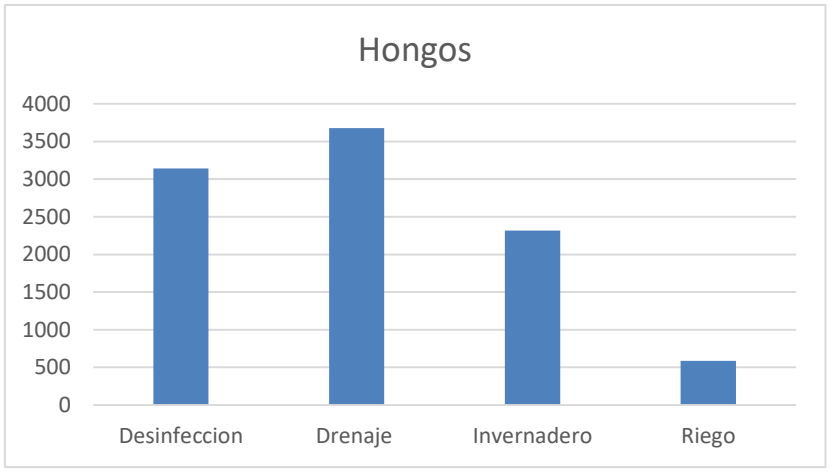

Figura 36 Representación el valor promedio de las unidades formadoras de colonia por mL (UFC/mL), en las distintas muestras muestra colectada en el sistema de riego.

Cuando analizamos el efecto del sistema de desinfección la contaminación por bacteria observamos que éste no fue efectivo para reducir la carga bacteriana en las distintas muestras de riego (Figura 37).

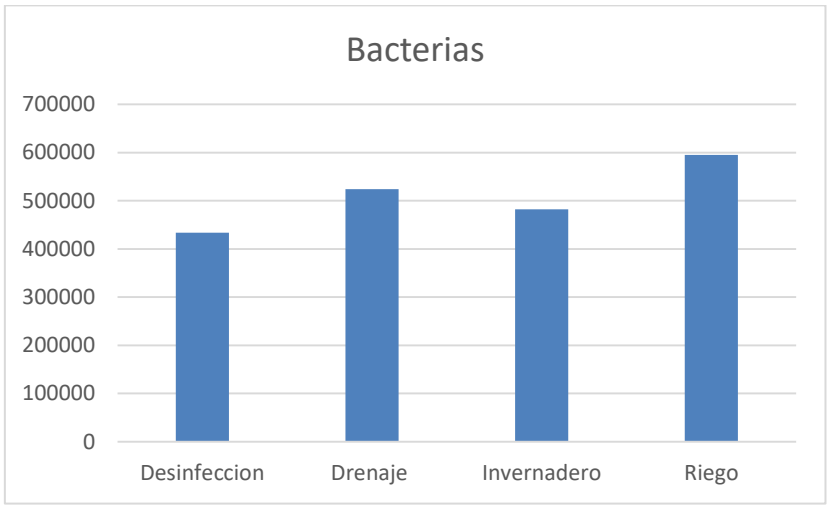

Figura 37 Representación el valor promedio de las unidades formadoras de colonia por mL (UFC/mL), en las distintas muestras muestra colectada en el sistema de riego.

Valores similares de carga microbiana obtuvimos en todos los tratamientos, no existiendo diferencia entre el agua de riego tratada con UV (desinfectada) y la sin tratar (invernadero).

Se programó la recirculación del drenaje desinfectado almacenado por la lámpara UV unas 2 horas al día, cada día, los últimos dos meses, para intentar rebajar la carga microbiana. Parece que este sistema de desinfección no era capaz de desinfectar eficientemente los drenajes.

En general, podemos concluir que en las fases sucesivas del proyecto el sistema de desinfección debe ser mejorado para intentar bajar la carga microbiana de las muestras tratadas.

Para resolver este problema, para el siguiente ciclo, se ha planificado la compra de un sistema de desinfección (sistema biodyozon) para poder comparar ambos sistemas. Este nuevo sistema está compuesto por un reactor de electrólisis que produce una sustancia gas-líquido, compuesta de 4 elementos (HClO, ClO-, O3 y H2O2) a partir de agua y NaCl. El producto obtenido es un potente desinfectante que no causa corrosión ni deja residuos de sales o residuos químicos.

7.5. Conclusiones

En esta apartado podemos sacar las siguientes conclusiones:

1. La solución nutritiva se controló bastante bien. Es sistema prepara la solución con bastante precisión.
2. Los equilibrios nutricionales en el sustrato, de acuerdo con los análisis de drenaje no cambiaron mucho. Algunos nutrientes como por ejemplo boro se acumularon a lo largo del desarrollo del cultivo.
3. Debido a que la mayoría de los meses las temperaturas y la radiación no fueron excesivamente altas, la conductividad eléctricos del drenaje se mantuvo relativamente baja.
4. Los análisis microbiológicos indican que no hemos sido capaces de mantener la carga microbiológica a cero. Por lo que será necesario encontrar un sistema más eficaz.

8. Conclusiones generales

Como conclusión general de este primer ensayo agronómico podemos afirmar que el sistema ha funcionado aceptablemente, sin embargo, hay una serie de procesos que han de ser optimizados y mejorados.

En lo que respecta al desarrollo del cultivo, durante la primera etapa de desarrollo vegetativo las planta crecieron perfectamente y no se detectó ningún problema significativo. Conforme el cultivo avanzaba, uno de las primeras observaciones preocupantes fue el alto desarrollo vegetativo de esta variedad de tomate que condujo a que las plantas estuvieran demasiado juntas y presentaran demasiada densidad de plantación. Esta situación, donde la aireación entre las plantas no era la óptima, junto con el clima, alta humedad relativa ambiental, condujo a que el cultivo tuviera una **infección fúngica severa**. Esta situación hizo que las plantas no engordaran los frutos y que el tamaño de los frutos de los primeros racimos no fuera comercial.

Por otro lado, y sumado al problema anterior hemos constatado que el sistema de **desinfección por ultravioleta**, aunque es capaz de disminuir la carga microbiológica de forma significativa, no es por si sola una solución al problema de la desinfección. Comprobamos que cuando los drenajes pasaban por la lámpara UV, esta solución era desinfectada, cuando se analizaban las cubas de almacenamiento vimos que la carga microbiana aumentaba con los días. Aunque pusimos recirculación automática a través de la lámpara UV, esta no fue capaz de acabar con la carga microbiológica.

Aunque los resultados de consumos hay que manejarlos con reservas por los problemas comentados anteriormente con el cultivo, el ahorro de agua (38%) y fertilizantes (74% de KNO_3, 79% de NH_4NO_3, 9% de $Ca(NO_3)_2$, 11% de KH_2PO_4 y 34% de micronutrientes/Fe) ha resultado bastante significativo.

El control de la nutrición y la preparación de soluciones nutritivas, así como la programación de los riegos ha resultado bastante satisfactoria.

Actualmente estamos recabando información y probando un nuevo sistema de desinfección que queremos probar en el siguiente ensayo. Este sistema (biozyozon) está compuesto por un reactor de electrólisis que produce una sustancia gas-líquido, compuesta de 4 elementos (HClO, ClO-, O3 y H2O2) a partir de agua y NaCl. El producto obtenido es un potente desinfectante que no causa corrosión ni deja residuos de sales o residuos químicos.