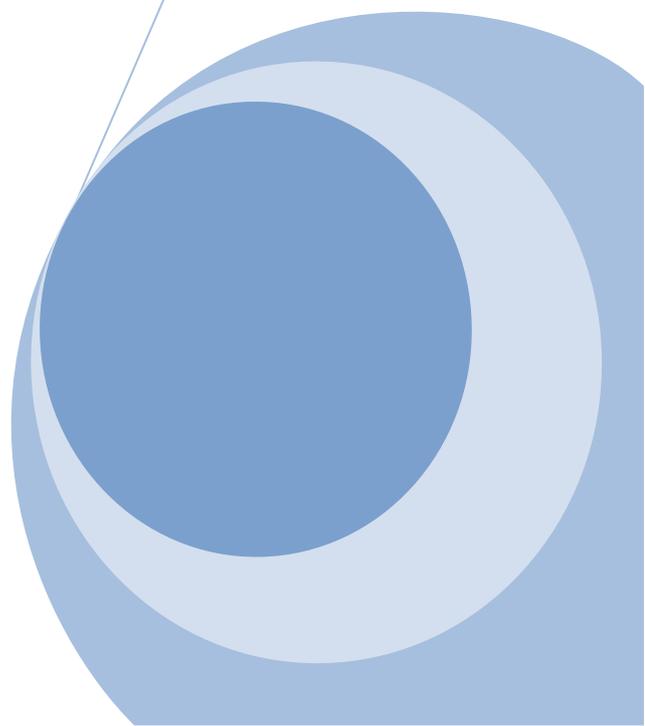
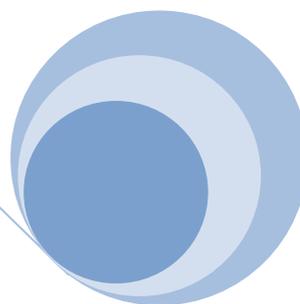
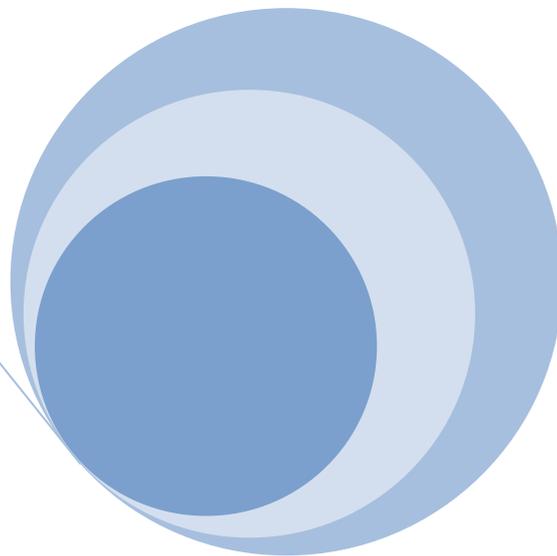


**MATERIAL Y
MÉTODOS**



3. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. ESTUDIO PROSPECTIVO PREVIO

Se realizaron tres actividades prospectivas previas a la evaluación de los emisores con el fin de obtener la información suficiente para seleccionar los modelos a evaluar.

El principal objetivo de estos estudios era conocer los goteros más utilizados en la zona, que tengan un uso importante del agua residual regenerada, y conocer los problemas que tienen los agricultores en campo con el uso de estos goteros.

➤ ESTUDIOS REALIZADOS:

A) Encuestas a productores:

Se realizaron encuestas a 40 agricultores de la zona del Bajo Andarax que hubiesen renovado su sistema de riego en los últimos 10 años, y que usen esta agua residual urbana regenerada, recogiendo además 4 muestras de los goteros usados para un análisis en el banco de ensayos.

Las encuestas constaban de 21 preguntas agrupadas en tres módulos de información:

- 1) Características y estado general del emisor, donde se obtuvieron datos sobre los modelos de emisores más usados por los agricultores de la zona, así como estado de conservación de los mismos con el transcurso de los años desde su instalación.
- 2) Instalación del emisor, en el cual se destaca tanto quién es el instalador, como la edad y el marco de instalación de los emisores.
- 3) Motivo de elección y grado de satisfacción, haciendo hincapié en si los agricultores de la zona tienen en cuenta el agua de riego a la hora de elegir el emisor a instalar.

En la Figura 1 se muestra un ejemplo de una encuesta realizada a los productores.

ENCUESTA EMISORES

Propietario: _____

1. Emisor (marca/modelo): AZUD INTERLÍNEA 16 mm - AGR
2. Tipo de emisor: (compensación caudal, colocación, diámetro ramal) _____
NO COMPENSANTE, Ø 16 mm
3. Marco de instalación: 1,5 x 0,5
4. Caudal nominal (l/h): 3 l/h
5. Presión nominal (Kg/cm²): 1
6. Diámetro mínimo de paso: 12
7. Exponente de descarga: 0,5
8. Estado general. Observaciones: Bien. PEQUEÑOS PROBLEMAS DE OBSTRUCCIONES
9. Edad del emisor: 4 AÑOS
10. Instalador: AGRICULTOR
11. ¿Conocía el emisor antes de la elección?
 Sí No
12. ¿Contempló varias opciones de emisores antes de la instalación?
 Sí No
13. En tal caso, ¿qué opciones de emisores contempló antes de la elección? _____
INTERLÍNEA Ø12 mm
14. ¿Fue asesorado/aconsejado en la elección?
 Sí No
15. En tal caso, ¿quién le asesoró/aconsejó? (Instalador, Técnico, Vecino, Familiar..) _____
TÉCNICO DE LA COOPERATIVA
16. Motivos de elección:
 Precio
 Calidad
 Relación Calidad/Precio
17. ¿Esta satisfecho con la elección realizada?
 Sí No
18. En tal caso, ¿cuál es su grado de conformidad?
 Bajo Medio Alto
19. ¿Ha pensado cambiar los emisores?
 Sí No
20. En tal caso, ¿instalaría el mismo emisor?
 Sí No ¿que emisor instalaría? _____
21. ¿Contempló la calidad del agua de riego para la elección del emisor?
 Sí No

Figura 1: Ejemplo de encuesta realizada a un productor.

B) Encuestas a empresas instaladoras:

Se realizaron encuestas a las empresas instaladoras de los sistemas de riego que operasen en la provincia de Almería, para conocer cuáles son los principales goteros instalados (modelo, fabricante, tipo y características del emisor). Fueron 11 las empresas encuestadas sobre los metros lineales que se instalaban de cada gotero, diámetro del lateral usado, tipo de inserción del gotero y demás características.

C) Entrevistas a empresas fabricantes:

Se realizaron entrevistas con los principales técnicos en Almería de las principales empresas fabricantes que operan en la zona. Los datos previos de las empresas se obtuvieron gracias a las encuestas realizadas en el estudio B), y con ello se consiguió información sobre los distintos tipos de emisores, además de muestras para los estudios de laboratorio y de campo.

3.2. MÉTODOS DE LABORATORIO

El objetivo que se pretendía realizar con el ensayo de goteros en el banco de pruebas era conocer si las características dadas por el fabricante para el modelo de emisor coincidían con las obtenidas en el banco de ensayos con la muestra recibida. Para ello con los datos obtenidos se calcularon los parámetros “k” y “x” que definen la ecuación de gasto en goteros.

Para realizar los objetivos propuestos, de los ramales portagoteros proporcionados por las empresas fabricantes, se recogieron cuatro goteros y se procedió al montaje de los goteros en el banco de ensayos para así en laboratorio evaluar de manera controlada el volumen de agua descargado por cada gotero a diferentes presiones de trabajo y así poder hallar la curva caudal-presión y los parámetros antes mencionados.

El procedimiento consistió en ensayar una muestra de 4 goteros a unas condiciones controladas de presión, concretamente se trabajó a presión 0.6-1.8 bares, de forma ascendente cada 0.2 bares, siendo el tiempo de medida de 1 minuto por cada ensayo. En el caso de goteros autocompensantes se trabajó con presiones de hasta 3 bares. La presión se iba regulando, aumentándola en 0.2 bares cada vez.

La Fotografía 13 muestra el banco de ensayos en funcionamiento, con las probetas recogiendo el agua desde los goteros.



Fotografía 13: Banco de ensayos en funcionamiento. Recogida de agua para el cálculo de la curva de gasto de los goteros.

A partir de los datos obtenidos de los caudales emitidos por los goteros de forma volumétrica, y mediante un análisis de regresión estadístico se determina la fórmula de gasto del gotero, que es del tipo:

$$Q = k \cdot h^x$$

Donde:

- “Q” es el gasto del gotero ($l \cdot h^{-1}$)
- “h” es la presión de trabajo (bar)
- “k” es un coeficiente dimensional que depende de las unidades empleadas
- “x” es el exponente hidráulico, y está relacionado con el régimen de turbulencia con el que se produce la descarga

Para comprobar la bondad de ajuste del análisis de regresión se determinó el coeficiente de correlación R^2 .

Por razones constructivas, es imposible conseguir que todos los goteros de un mismo modelo den el mismo caudal a la misma presión. En consecuencia, conviene medir la dispersión de caudales respecto a la media. Para ello se utiliza el coeficiente de variación de fabricación (CV), que es una medida de la dispersión relativa y que es de utilidad en el diseño de las instalaciones y en la caracterización de los emisores. El CV se define como:

$$CV = \frac{S}{q_m}$$

Siendo:

S = Desviación típica respecto a la media de los caudales ensayados

q_m = Caudal medio de los caudales ensayados

La desviación típica (S) podemos hallarla gracias a la siguiente fórmula:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (q_i - q_m)^2}{N}}$$

Siendo:

q_i = Caudal obtenido en la repetición “i”

q_m = Caudal medio de todas las repeticiones

N = Número total de repeticiones

Cuanto más alto es el CV, menos uniformes son los emisores que, en función de este CV y según las normas UNE se clasifican según se muestra en la Tabla 9.

Coeficiente de Variación de fabricación (CV)	
Categoría A	$<0,05$
Categoría B	$0,05 < CV < 0,10$
Sin categoría	$>0,10$

Tabla 9: Clasificación de los goteros, según la norma UNE 68-075, en función del Coeficiente de variación de fabricación (CV).

3.2.1. Banco de ensayos

Para el ensayo de los goteros en el laboratorio se dispuso de un banco de ensayos cuyo esquema se muestra en la Figura 2.

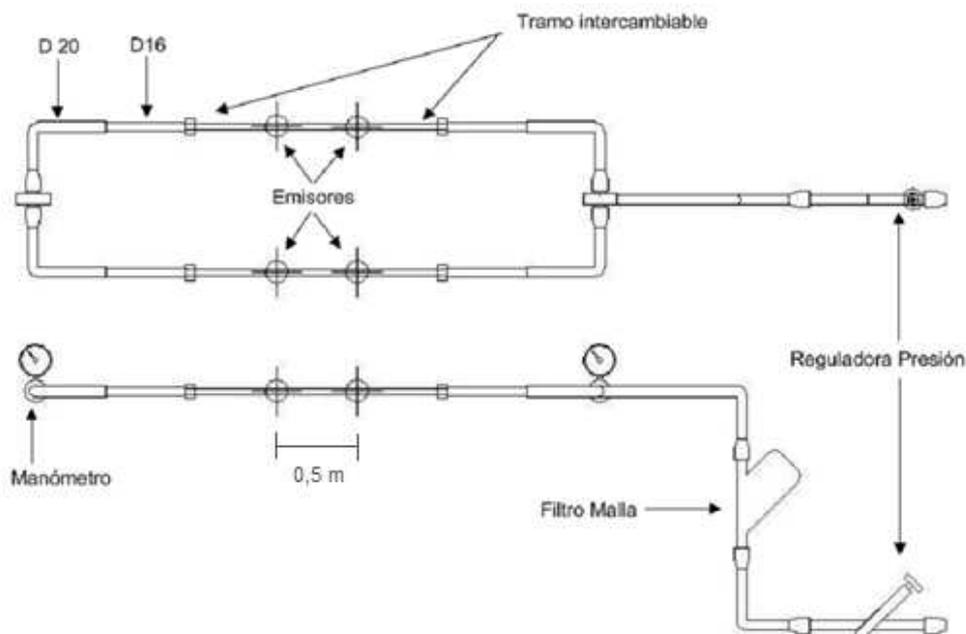


Figura 2: Esquema del banco de ensayos utilizado.

El banco está constituido por un soporte de acero en el que se apoya una tubería de polietileno de diversos diámetros. A la entrada de la tubería se sitúa un manómetro

de aguja en baño de glicerina, esta se bifurca en dos brazos que portarán los goteros para después unirse de nuevo, donde se alojará otro manómetro de las mismas características, este servirá para determinar pérdidas de carga en los goteros.

Los manómetros están colocados sobre tubería de PE Ø20 mm y después, con una reducción se pasa a PE Ø16 mm. Con el fin de facilitar el montaje de los emisores en la parte central de las tuberías se han dispuesto cuatro enganches roscados rápidos para tuberías de Ø16 mm o Ø12 mm intercambiables según el diámetro del gotero que se ha probado.

A la entrada del circuito se ha colocado un filtro de malla de acero inoxidable de 120 MESH. Antes de este se sitúa una válvula reguladora de presión de aguja, asiento inclinado y PVC, cuya función es permitir regular la presión de trabajo. Para lo cual ha sido necesario acoplar una junta especial que permitiera unir un tramo de tubería de polietileno con otro de tubería de PVC. Bajo el banco se sitúan cuatro vasos que son los que van a recoger el agua descargada por los emisores.

El equipo de bombeo es el que suministra la presión necesaria para el funcionamiento de los emisores, para ello se ha utilizado una electrobomba centrífuga de 0,5 CV capaz de elevar la presión a 30 m.c.a.

La Figura 3 muestra el esquema del montaje de la bomba que suministra la presión en el banco de ensayo.

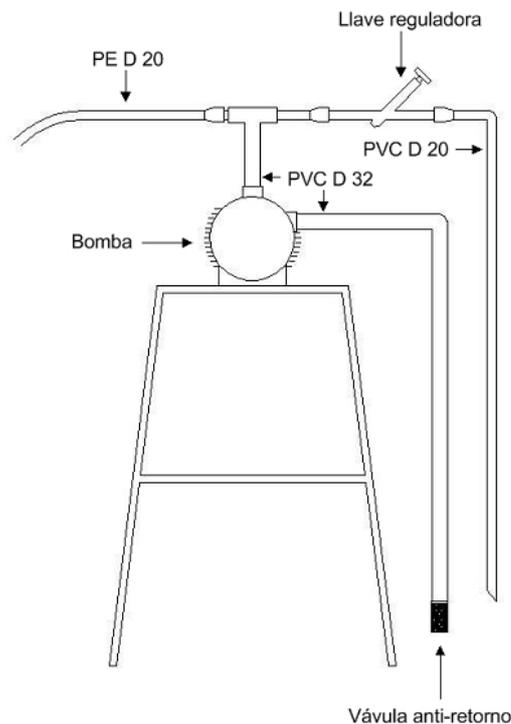
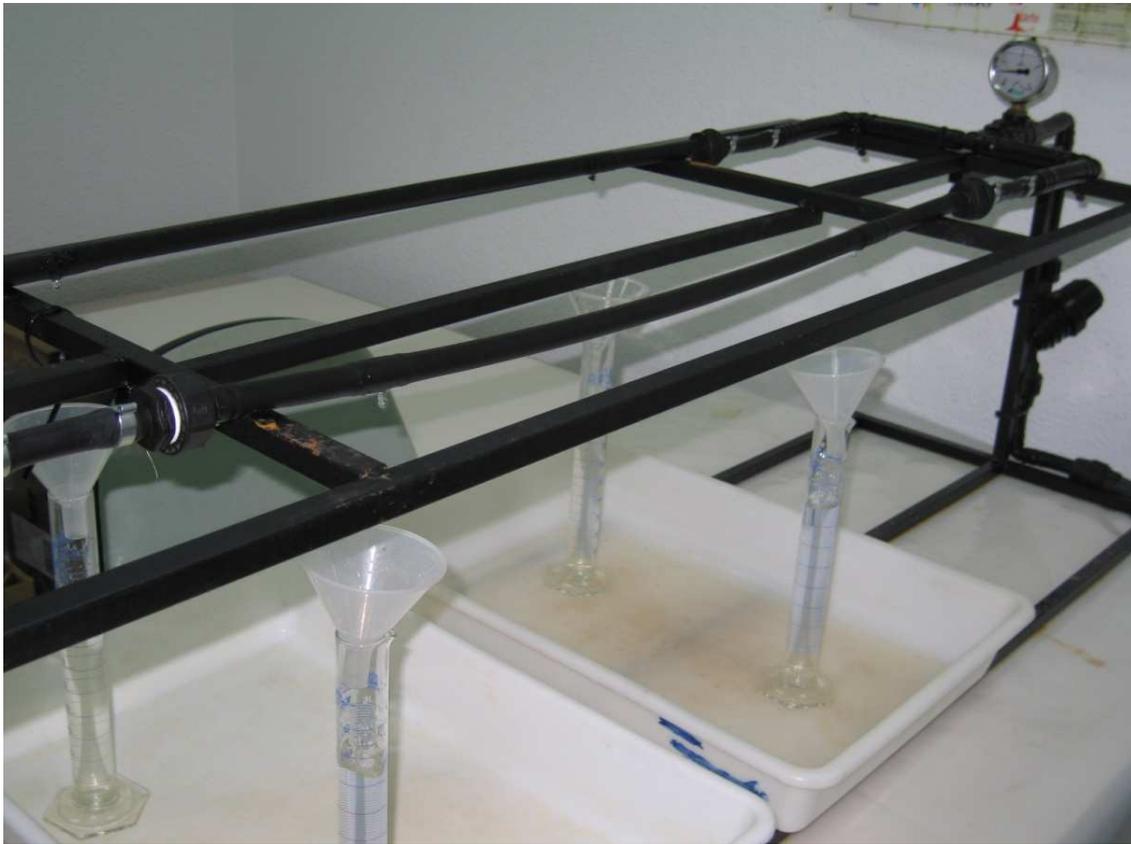


Figura 3: Esquema del montaje de la bomba que suministra la presión al banco de ensayos.

La bomba se apoya en un soporte de acero, anclada con cuatro tornillos y una junta de goma para evitar vibraciones. La aspiración está conectada a un depósito de 20 litros de capacidad. La conexión se realizó mediante una tubería en PVC de $\varnothing 32$ mm con una válvula anti-retorno. A la salida de la impulsión se ha colocado una pieza en T de PVC de $\varnothing 32$ mm a la que se ha conectado por un lado un acople especial para tuberías de polietileno, este acople conecta una tubería en polietileno que enlaza con el banco, y por el otro una reducción a PVC $\varnothing 20$ mm, esta tubería está conectada a una válvula reguladora de presión de aguja y asiento inclinado en PVC, a modo de válvula de alivio, que permitirá devolver parte del caudal suministrado al depósito con el fin de evitar que la bomba estuviera agitando agua, si la presión de trabajo es muy inferior a la suministrada.

En la Fotografía 14 se muestra el banco de ensayos utilizado en los ensayos de laboratorio.



Fotografía 14: Banco de ensayos utilizado en el análisis de los goteros.

3.3. MÉTODOS DE CAMPO

3.3.1. Localización

Los ensayos se realizaron durante la campaña 2010-2011 en un invernadero cedido por la Consejería de Agricultura de la Junta de Andalucía y ubicado en las instalaciones que posee el Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera (IFAPA) en La Cañada de San Urbano, Almería (Longitud: 2° 24' 03'' W; Latitud: 36° 50' 13'' N; Altitud: 5 m).

En la Fotografía 15 se muestra el plano de situación del invernadero dentro del término municipal de La Cañada de San Urbano.



Fotografía 15: Localización del invernadero donde se han realizado los ensayos, dentro del término municipal de La Cañada de San Urbano.

La zona presenta un clima mediterráneo marítimo con inviernos suaves y escasos riesgos de heladas. La temperatura media anual es de 19,5 °C, con una precipitación media anual de 235,5 mm y una evaporación media anual de 1540 mm.

3.3.2. Invernadero

Los ensayos de campo se realizaron en el invernadero experimental antes citado, tipo multitúnel, y que se encuentra equipado con un controlador automático de clima y un programador de riego. La superficie del invernadero es de 1440 m² y está dividido por un pasillo central, de 2 metros de ancho, en dos zonas: norte y sur. La usada para la realización del ensayo es la zona sur, que se encuentra a la vez dividida en 2 sectores de riego.

El invernadero a su vez, se encuentra equipado con un sistema de drenaje para la evacuación de agua.

El invernadero multitúnel tiene unas dimensiones de 32 metros de ancho por 45 metros de largo. El ancho del invernadero está constituido por 4 módulos de 8 metros cada uno, y el ancho del invernadero está constituido por 8 módulos de 5 metros cada uno. El alto del invernadero es de 5 metros en la zona más alta y 4,50 metros en la zona más baja de cada módulo.

La zona usada para el ensayo cuenta con una superficie de 720 m², constituyendo la zona sur del invernadero. El ancho usado sería de 16 metros y el lateral del invernadero, de 45 metros.

El invernadero cuenta con ventilación cenital, junto con ventilación lateral en ambos laterales. Tanto la ventilación lateral como la cenital están automatizadas.

En la Figura 4 se muestra un croquis del frontal del invernadero y otro del lateral, en el cual podemos ver en azul la zona usada en el ensayo.

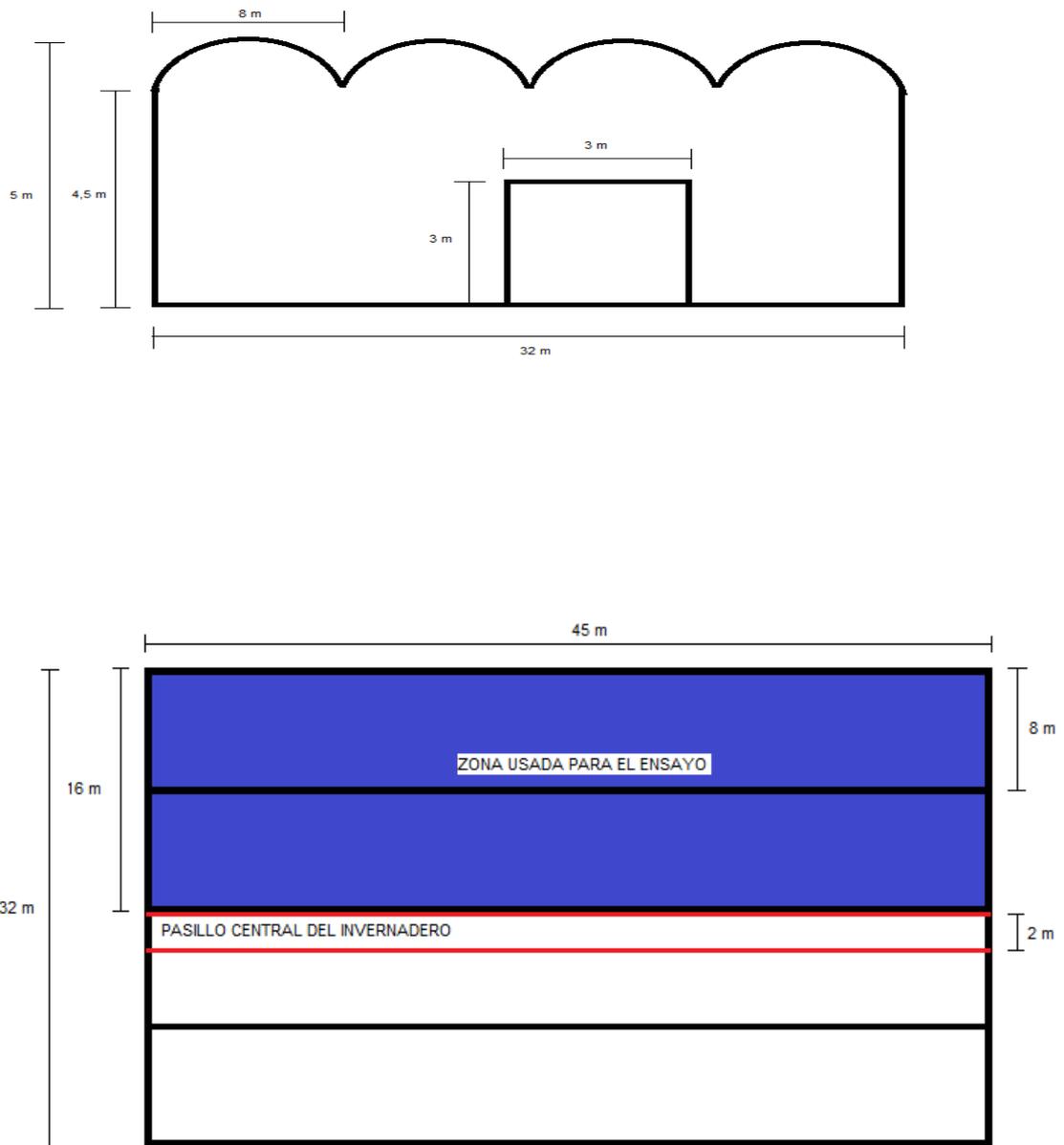


Figura 4: Croquis del invernadero multitúnel, en el cual se marca de color la zona usada para el ensayo.

En las Fotografía 16 podemos ver el frontal del invernadero multitúnel usado en el ensayo.



Fotografía 16: Frontal del invernadero multitúnel usado en la realización del ensayo.

3.3.3. Sistema de riego

El sistema de riego constó de un tanque de captación de 1000 litros, precedido de un filtro, y conectado a otros tres tanques de acumulación, todos con el agua residual urbana regenerada (ARUR) que procedía de agua residual urbana que, tras un tratamiento secundario en la Estación Depuradora de Aguas Residuales (E.D.A.R.) de Almería, se sometía a un tratamiento terciario de desinfección con ozono. Los tanques conectaban gracias a dos llaves de mariposa motorizadas de 63 mm con una bomba de impulsión de 2,2 kW, la cual se encargaba de impulsar el agua a través de la tubería principal, pasando por un filtro y por una ventosa, hasta las electroválvulas que se encargan de controlar el riego para los dos sectores de riego de los que consta el invernadero.

El sistema de riego localizado presentaba 32 grupos de 4 ramales portagoteros separados por 0,20 m y con una separación de 1 m entre grupos de ramales, usando los 2 grupos de ramales de los extremos como reguladores del efecto borde. La separación entre emisores en la tubería portagoteros fue de 0,5 m. Estos ramales se encontraban levantados 1,20 m sobre el nivel del suelo. La orientación de los ramales era sur-norte. Los distintos tipos de emisores utilizados eran interlínea, integrados y pinchados y tenían un diámetro interior de 12 mm y de 16 mm. El caudal nominal de los goteros según el fabricante variaba desde 2 l h⁻¹ hasta 4 l h⁻¹. Había modelos turbulentos, autocompensantes, autocompensantes y antidrenantes, y autocompensantes, antidrenantes y autolimpiantes. En la tabla 10 se pueden ver los modelos de emisores analizados. Además en el Anexo I se pueden ver fotografías de cada uno de ellos.

Nombre gotero	Fabricante	Caudal Nominal (L h ⁻¹)	Tipo de emisor
IT-N Interlínea	Marbroer	3.6	Interlínea turbulento
IT-S Interlínea	Marbroer	3	Interlínea turbulento
MB Escober GE3	Marbroer	3.2	Pinchado autocompensante
MB Escober GAE3	Marbroer	3.1	Pinchado autocompensante antidrenante
Interlínea 16	Amacom	3	Interlínea turbulento
Interlínea 12	Amacom	3	Interlínea turbulento
Hydrogol	John Deere	3	Integrado turbulento
Hydro-PC	John Deere	3.6	Integrado autocompensante
NYA	Prima-Ram	4	Interlínea turbulento
Interlínea 16	Hidroten	3	Interlínea turbulento
Interlínea desmontable	Hidroten	4	Interlínea turbulento
Pinchado desmontable	Hidroten	4	Pinchado turbulento
Pinchado autocompensante	Hidroten	3	Pinchado autocompensante
Cónico desmontable	Hidroten	3	Pinchado turbulento
Interlínea 12	Hidroten	3	Interlínea turbulento
AmnomDrip	NaanDanJain Ibérica	2.2	Integrado autocompensante
Interlínea 16	NaanDanJain Ibérica	3	Interlínea turbulento
Jain Emitter	NaanDanJain Ibérica	4	Pinchado turbulento
J-Turboline	NaanDanJain Ibérica	3	Integrado turbulento
NaanPC	NaanDanJain Ibérica	3.5	Integrado autocompensante
Tifdrip	NaanDanJain Ibérica	3.6	Integrado turbulento
PRO	Azud	4	Integrado turbulento
AGR	Azud	3	Interlínea turbulento
Irridrip	Mondragon Soluciones	2	Integrado turbulento
Megadrip	Mondragon Soluciones	2.3	Integrado autocompensante
Twin Drops Advanced	Mondragon Soluciones	3.6	Pinchado turbulento
Acuario	Gestirriego	4	Pinchado turbulento
Cardrip	Comercial Agrícola de Riegos	4	Integrado turbulento
Interlínea 3.5	Comercial Agrícola de Riegos	3.5	Interlínea turbulento
Starcomp	Comercial Agrícola de Riegos	4	Integrado autocompensante antidrenante autolimpiante
ADO Metzterplas	Extruline Systems	4	Pinchado autocompensante
Key Orvel	Extruline Systems	4	Pinchado autocompensante
Interlínea 16	Extruline Systems	4	Interlínea turbulento
Interlínea 12	Extruline Systems	3.6	Interlínea turbulento
LIN	Extruline Systems	3.2	Integrado turbulento
DripNet PC	Netafim	3	Integrado autocompensante
PC-CNL	Netafim	3	Pinchado autocompensante
PCJ	Netafim	3	Pinchado autocompensante

Tabla 10: Emisores analizados.

El croquis del cabezal de riego se muestra en la Figura 5. Hay dos entradas de agua a la red de riego, siendo usada únicamente la entrada de agua residual urbana regenerada.

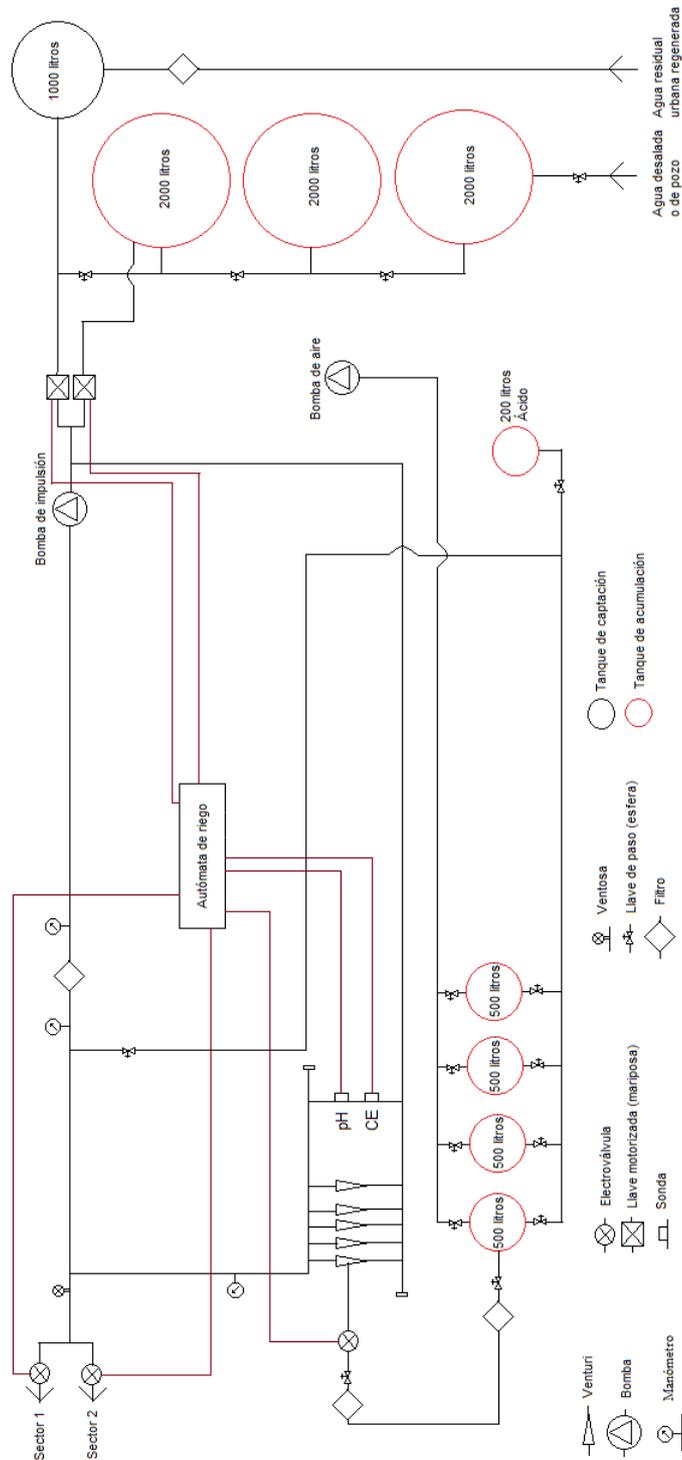


Figura 5: Croquis del cabezal del sistema de riego.

El cabezal de riego consta de:

- Tanques: Tenemos un tanque de captación para el agua residual urbana regenerada, de 1000 litros, y tres tanques de acumulación de 2000 litros cada uno.
- Filtros: Hay un filtro de anillas de 40 MESH a la entrada de agua al tanque de acumulación, y otro se encuentra tras la bomba de impulsión, y es también de anillas, de 120 MESH.
- Llaves: Hay llaves reguladoras a la entrada y salida de cada uno de los tanques. También tenemos dos llaves motorizadas que regulan la entrada de agua en el sistema de impulsión.
- Sistema de impulsión: Consta de una bomba de 2,2 kW, que impulsa el agua desde los tanques hacia las electroválvulas controladoras del riego de los sectores.
- Sondas: Se encargan de informar de los niveles de pH y conductividad eléctrica del agua, pudiendo realizar un control de ambos factores con el autómata de riego, al que van las sondas conectadas.
- Manómetros: Tenemos dos manómetros informando sobre la presión existente antes y después del filtro que se encuentra tras la bomba. También tenemos otro en el circuito de venturis que conecta la tubería principal con el sistema de fertirrigación.
- Ventosa: Se instaló una ventosa antes de la salida del agua de riego a los sectores de riego.
- Electroválvulas: Hay dos electroválvulas que regulan el paso del agua de riego a cada uno de los dos sectores, conectadas ambas al autómata de riego para su automatización.

En la Fotografía 17 se muestra el filtro de anillas que se encuentra antes del tanque de acumulación.



Fotografía 17: Filtro de anillas anterior al tanque de acumulación.

El sistema de fertirrigación no era usado en el ensayo, ya que, al ser éste pensado a largo plazo, se decidió no usar ningún tipo de fertirrigación el primer año. El segundo año se realizará una fertilización estándar usada en tomate (Camacho y Fernández, 2008). Así, tenemos un sistema de fertilización que consta de:

- Tanques: Hay cuatro tanques de 500 litros usados para fertirrigación y un tanque para contener el ácido, de 200 litros.
- Venturis: Tenemos un total de cinco venturis, cada uno conectado a un tanque.
- Llaves: Hay una llave antes y después de cada tanque de fertirrigación y del contenedor de ácido. También tenemos una llave antes y después del filtro.
- Bomba de aire: Usada como sistema de agitación. Asegura una buena mezcla del fertilizante en el agua de riego.
- Electroválvula: Tenemos una electroválvula a la salida de cada uno de los venturis, todas ellas además conectadas al automático de riego, el cual se encarga de la abertura y cierre de ellas.

La Fotografía 18 muestra una vista del cabezal de riego, constituido por el automático de riego, el sistema de impulsión y filtrado, y el sistema de fertirrigación.



Fotografía 18: Cabezal de riego.

La Fotografía 19 muestra los venturis usados en el sistema de fertirrigación.



Fotografía 19: Venturis utilizados para fertirriego.

La Fotografía 20 muestra los tanques de acumulación de agua, siendo cada uno de 2000 litros de capacidad.



Fotografía 20: Tanques de acumulación de agua.

El autómata de riego es un Xilema np-30, el cual puede ser programado para regar por tiempo o por volumen de agua. En nuestro caso usamos tiempo de riego, con riegos diarios por sectores de 35 minutos para cada sector.

La Figura 6 muestra la red de distribución de tuberías del sistema de riego en la parcela. La tubería principal se bifurcaba en dos tuberías secundarias a la salida del cabezal. Las tuberías terciarias o portarramales son una continuación de las secundarias. En la cabeza de cada una de las portarramales se instaló una llave reguladora de compuerta elástica de 50 mm. A lo largo de dichas tuberías, repartidos equidistantemente, se instalaron 5 manómetros por sector para controlar la presión.

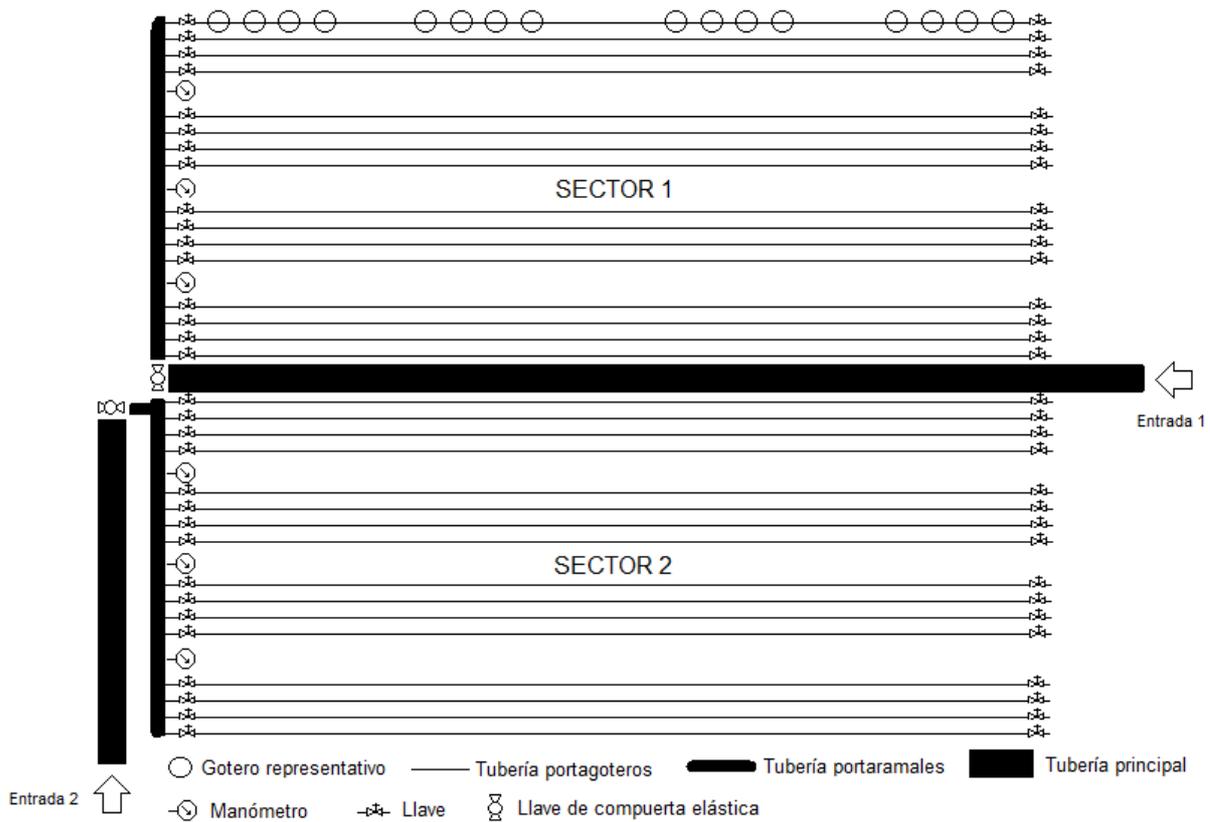


Figura 6: Red de distribución de tuberías del sistema de riego en la parcela.

La regulación de la presión era muy importante durante la realización del ensayo, por lo que se comprobaba cada uno de los manómetros antes de la realización de cada medida, y en caso necesario, se regulaba hasta un valor de 1,5 bares, que fue el valor tomado como estándar para la realización de cada uno de los ensayos. En la Fotografía 21 se muestra una de las lecturas de comprobación de la presión previas a la realización de cada una de las medidas.



Fotografía 21: Comprobación previa de la presión antes de la realización de cada una de las medidas.

3.4. DISEÑO DE EXPERIMENTOS

El invernadero que poseía unas dimensiones totales de 45 m de largo por 32 m de ancho, estaba dividido por un por un pasillo central de 2 m de ancho orientado en sentido este-oeste, que delimitaba dos zonas, zona norte y zona sur. El ensayo se realizó en la zona sur del invernadero (45 m de largo por 16 m de ancho).

La parcela de 720 m² se dividió en dos bloques, siendo cada uno un sector de riego, con una llave de compuerta elástica específica para cada sector. Por cada modelo de gotero, había tres repeticiones, distribuyéndose éstas de forma aleatoria dentro de un mismo sector.

Los ramales portagoteros se dispusieron en grupos de 4 ramales separados entre ellos 0,20 m, siendo la separación entre los distintos ramales (pasillos) de 1 m. Los ramales se elevaban sobre el suelo 1,20 metros gracias a unas cavillas coarrugadas de 14 mm de diámetro, colocadas en forma de U invertida, sobre las cuales se colocaban los ramales y se fijaban a la cavilla usando alambre. Se colocaron 4 cavillas por línea, dejando espacio entre ellas para el paso de los carros usados para la toma de muestras.

En el Anexo II se muestra el montaje del ensayo, incluyéndose algunas fotos explicativas.

3.4.1. Parámetros climáticos

Haciendo uso del controlador automático de clima se mantuvieron unos parámetros climáticos equivalentes a los medidos en un invernadero convencional cultivado con tomate (Lorenzo et al., 2004), como muestra la Tabla 11.

Acción	Tª	Humedad Relativa (HR)	
Apertura de ventanas	>25º	Día	>75%
		Noche	>85%
Cierre de ventanas	<25º	Día	<75%
		Noche	<85%

Tabla 11: Parámetros climáticos equivalentes a los medidos en un invernadero convencional cultivado con tomate (Lorenzo et al., 2004).

Se comprobaba la temperatura con un termómetro, colocado en el centro del invernadero, antes y después de la toma de datos.

El controlador de clima del invernadero abre y cierra la ventana cenital y las ventanas laterales para mantener una temperatura lo más estable posible.

La Fotografía 22 muestra el controlador de clima del invernadero, que automatiza la apertura y cierre de las ventanas laterales y la cenital en función de la temperatura en el interior del invernadero.



Fotografía 22: Programador de temperatura del invernadero, que se encarga de la automatización de la apertura y cierre de la ventana cenital y las laterales.

3.4.2. Agua aplicada

El riego estaba automatizado, con un contador de agua aplicada total. En total se realizaron 73 riegos, de 35 minutos de duración por cada sector, en ciclos de 5 días consecutivos de riego, y 2 de parada. En la Fotografía 23 se muestra el programador usado para la aplicación del riego.



Fotografía 23: Programador del riego.

El sistema de riego está dividido en dos sectores, ambos con un total de 15 grupos de 4 ramales portagoteros, haciendo un total de 60 ramales portagoteros, todos ellos colocados en posición sur-norte. Además hay un grupo de 4 ramales portagoteros en cada lateral del invernadero para evitar el “efecto borde”.

3.4.3. Comportamiento hidráulico de los goteros

El objetivo del proyecto era evaluar el comportamiento de los modelos de emisores, trabajando con agua residual urbana regenerada.

Además, con la realización de este proyecto se quería averiguar si las deficiencias en el funcionamiento de los goteros son debidas a las características del sistema de riego, el mantenimiento de los emisores o al tipo de agua utilizada en el riego. Para ello se llevaron a cabo una serie de evaluaciones mensuales de la unidad de riego en campo donde se midió la uniformidad, y se evaluaron en laboratorio, mediante un banco de ensayos, los goteros utilizados.

El objetivo que se pretendía realizar mediante la evaluación de la unidad de riego era estudiar los efectos del agua residual depurada sobre la misma. Para ello se midió la uniformidad de aplicación del agua en la unidad de riego, el número de goteros que presentaran indicios de obturación y el porcentaje de obturación.

Para realizar la evaluación de la uniformidad, aunque existen diferentes métodos, se siguió el método clásico propuesto por Merriam y Keller (1978), que consiste en la medida volumétrica del gasto de una serie de goteros representativos de la

unidad de riego. En total en cada ramal portagoteros había 31 goteros separados 0,50 m entre ellos. Concretamente se seleccionaron los goteros que estaban localizados en cabeza, a 1/3, a 2/3 y en cola de cuatro ramales portagoteros posicionados de igual forma (Figura 7). El número de goteros escogidos por posición fue de cuatro, por lo que se midió el gasto de 16 goteros por ramal, que al tener tres repeticiones por modelo analizado, se midió el gasto en un total de 48 goteros de cada modelo. En cada ramal portagoteros se medían los goteros en las posiciones 1, 2, 3, 4, 10, 11, 12, 13, 19, 20, 21, 22, 28, 29, 30 y 31, siendo el primer gotero el más cercano a la tubería portarramales.

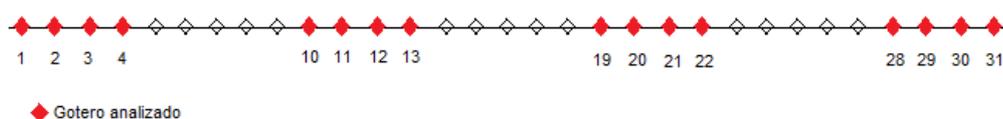
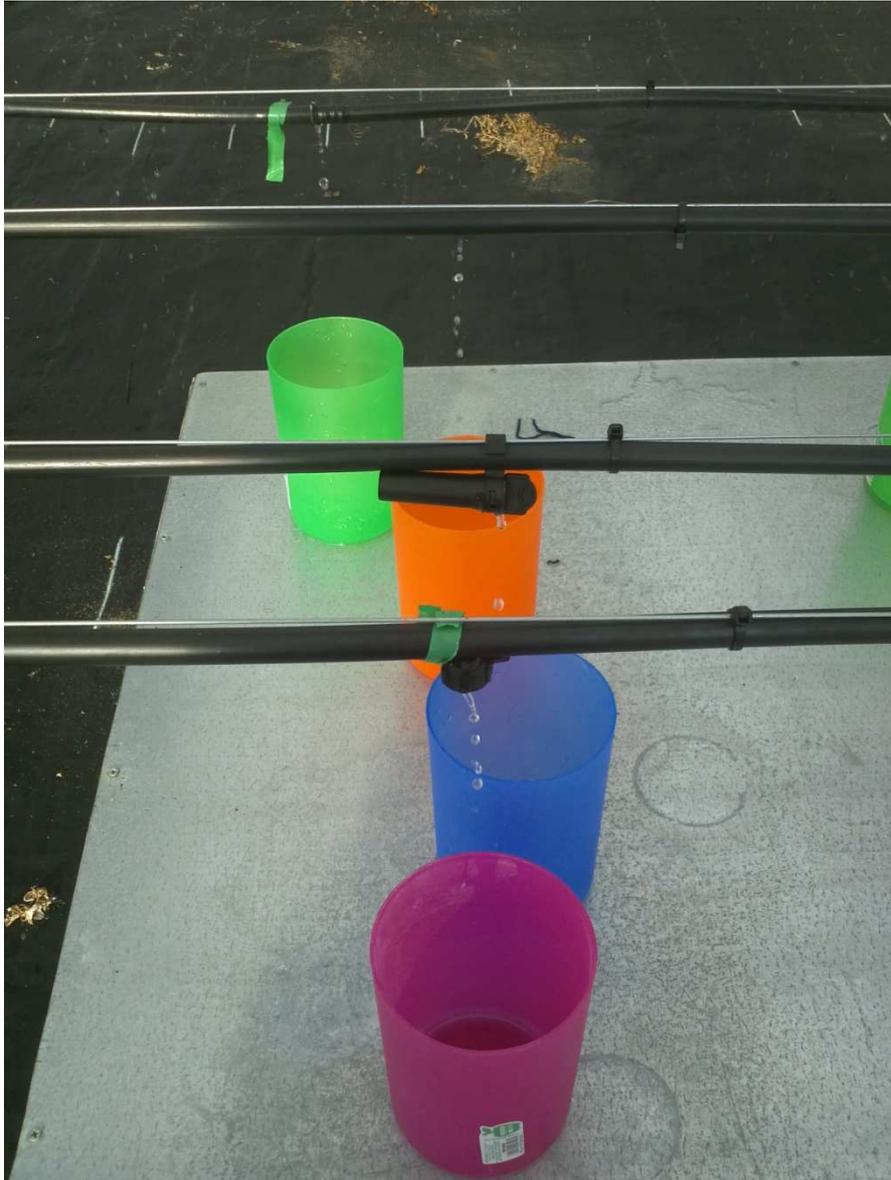


Figura 7: Esquema de posicionamiento de los goteros analizados en el ramal.

Para la recogida del agua descargada por cada gotero se emplearon cubetas de plástico de un litro de capacidad, colocándolas en un carro de metal, que se colocaba debajo de cada grupo de goteros elegido, pudiendo recoger el agua de los 4 ramales a la vez, colocando un total de 16 cubetas en el carro. Después de que transcurriera un tiempo predeterminado (3 minutos) se retiraba el carro de debajo de los goteros. A continuación, se vertía el volumen recogido de cada cubeta en una probeta de plástico, de medio litro de capacidad, para leer de manera fácil el volumen distribuido por cada gotero. Se tomaba la hora inicial y final de la toma de muestras, para obtener el tiempo de riego que se realizó durante esta toma. También se tomaban la temperatura inicial y final con un termómetro situado en el centro del invernadero.

En la Fotografía 24 se muestra el detalle de la recogida de agua en las cubetas de plástico.



Fotografía 24: Detalle de la recogida de agua en las cubetas de plástico.

En la Fotografía 25 se muestra la colocación del carro bajo los goteros para la recogida del agua descargada por los goteros.



Fotografía 25: Carros usados en el ensayo y colocación de éstos bajo las líneas de goteros.

El porcentaje de obturación medio era tomado únicamente de los goteros que presentaran obturación, realizando una media aritmética de todos los valores de porcentaje de obturación que presentasen una obturación mayor, en valor absoluto, al valor tomado como error de medida.

El porcentaje de obturación vendría dado por la siguiente ecuación:

$$\% \text{ obturación} = \frac{Q_0 - Q_n}{Q_0} \cdot 100$$

Siendo: Q_0 = Caudal obtenido en el 1^{er} muestreo.
 Q_n = Caudal obtenido en el muestreo n.

Otro dato que se tuvo en cuenta fue el Coeficiente de Uniformidad de Caudal (CUC), que mide la uniformidad en la cantidad de agua que descargan los emisores de un mismo ramal, o de un mismo modelo. Se comparó el Coeficiente de Uniformidad de Caudal en el 1er y el 4º muestreo, para poder observar la evolución. Este coeficiente se obtiene gracias a la siguiente fórmula:

$$CUC = \frac{q_{25\%}}{q_m} \cdot 100$$

Siendo:

CUC = Coeficiente de Uniformidad de Caudal, en tanto por 100.

$q_{25\%}$ = Promedio de los caudales del 25% de los emisores, cuyo caudal sea de menor valor.

q_m = Promedio del caudal del total de los emisores.

Según el Coeficiente de Uniformidad de Caudal (CUC) obtenido, la calificación de la instalación será la que muestra la Tabla 12. (Merriam y Keller, 1978):

CUC	Calificación
>95%	Excelente
85%-95%	Buena
80%-85%	Aceptable
70%-80%	Pobre
<70%	Inaceptable

Tabla 12: Calificación de la instalación de riego, en función del Coeficiente de Uniformidad de Caudal (CUC).

3.5. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO

Los datos de caudales y las comparativas presión-caudal fueron analizados estadísticamente mediante el programa informático STATGRAPHICS Plus (versión 4.1, Manugistic Corporate, EEUU).

El análisis de la varianza de los parámetros medidos se realizó según un diseño de bloques al azar, con tres repeticiones por tratamiento. Anteriormente al análisis estadístico de los datos, a los valores que se encontraban en unidades porcentuales se les realizó la transformación arcoseno. Cuando el análisis estadístico reveló diferencias significativas entre tratamientos, se aplicó el test de comparación de medias (test de mínima diferencia significativa, MDS) con un nivel de significación del 5%.