

MEMORIA PROYECTO

- **EXPEDIENTE:** FEADER 2022/010A
- **TÍTULO PROYECTO:** Jardín vertical con planta viva, montable y monitorizado mediante APP móvil por el usuario
- **EMPRESA BENEFICIARIA:** A Man de Prado S.L.U.
- **ENTIDADES COLABORADORAS:** Arborejardin S.L.U., Data Monitoring S.L. y Universidad de Santiago de Compostela.
- **PRESUPUESTO TOTAL SUBVENCIONABLE:** 179.999,99 €
- **SUBVENCIÓN TOTAL CONCEDIDA:** 144.000,00 €

A continuación el seguimiento científico-técnico y los resultados más relevantes para cada hito:

HITO 1: ESTUDIO, SELECCIÓN Y EVALUACIÓN DE PLANTAS DE EXTERIOR ADAPTADAS A JARDINES VERTICALES EN CONDICIONES DE INTERIOR DE ESTANCIAS.

ACT. .1.1. ESTUDIO DE PLANTAS DE EXTERIOR ADAPTADAS A CONDICIONES DEL INTERIOR DE ESTANCIAS.

RESULTADO: Lista con criterios de selección de material vegetal

- Rápida capacidad tapizante
- Hábito de crecimiento en porte bajo, como mucho 12-15 cm.
- Facilidad de reproducción por esqueje en épocas templadas (primavera y otoño) para facilitar la producción de estas especies en el vivero de producción de planta.
- Especies/cultivares fáciles de producir y engordar dentro de invernadero sin calefacción, lo que deriva en búsqueda de variedades de exterior que se puedan adaptar fácilmente a condiciones de interior de estancias.
- Bajo requerimiento hídrico y nutricional.
- Especies principalmente autóctonas.

ACT. 1.2. SELECCIÓN DE ESPECIES DE EXTERIOR ADAPTADAS A LOS REQUERIMIENTOS DESCRITOS EN ACT. 1.1.

RESULTADO: Selección de al menos 10 especies que cumplan criterios de selección de Act. 1.1. y elaboración de guía de especies.

1) *Ajuga reptans*



Ajuga reptans “Chocolate Chip”



Ajuga reptans “Black Scallop”

- **Varietades testadas:** “Chocolate Chip” y “Black Scallop”
- **Familia:** Lamiaceae
- **Reproducción en vivero:** División de planta
- **Adaptación al clima para producción en vivero:** H7: <20°C
- **Requerimientos luz:** Sombra total/Media Sombra
- **Necesidades de suelo/agua:** Requiere suelos húmedos y bien drenados, adaptándose bien también a los suelos pobremente drenados.
- **Hábito crecimiento:** Herbácea rastrera
- **Velocidad crecimiento:** De 2 a 5 años hasta su tamaño final
- **Florecimiento:** Primavera tardía/ Verano temprano
- **Observaciones especiales de cuidados necesarios:** Si crece en sombra el follaje será más verde. No requiere poda en formación, únicamente eliminación de hojas secas y muertas.

2) *Brachyscome angustifolia*



Brachyscome angustifolia “Brasco Violet”

- **Varietades testadas:** “Brasco Violet” y “Fresco Purple”. Se descarta la segunda por mostrar crecimientos muy lentos en condiciones controladas.
- **Familia:** Asteraceae
- **Reproducción en vivero:** Estaquillas herbáceas
- **Adaptación al clima para producción en vivero:** H3: De -5°C a 1°C
- **Requerimientos luz:** Pleno sol
- **Necesidades de suelo/agua:** Necesita suelos bien drenados
- **Hábito crecimiento:** Herbácea rastrera
- **Velocidad crecimiento:** 1 año hasta alcanzar su tamaño final
- **Florecimiento:** Verano/Otoño
- **Observaciones especiales de cuidados necesarios:** Requiere pinzado para conseguir más ramificaciones y eliminación de botones florales hasta alcanzar el tamaño final deseado.

3) *Pelargonium peltatum*



Pelargonium peltatum fs Decora Bicolor



Pelargonium peltatum fs Leticia

- **Varietades testadas:** Decora Bicolor y Leticia
- **Familia:** Geraniaceae
- **Reproducción en vivero:** Estaquillas herbáceas desde la primavera hasta el otoño
- **Adaptación al clima para producción en vivero:** Hasta -1°C
- **Requerimientos luz:** Media sombra/ Pleno sol
- **Necesidades de suelo/agua:** Requiere suelos bien drenados
- **Hábito crecimiento:** Herbácea de porte bajo
- **Velocidad crecimiento:** De 1 a 2 años hasta alcanzar tamaño final
- **Florecimiento:** Verano
- **Observaciones especiales de cuidados necesarios:** Requiere pinzados para conseguir más ramificaciones y eliminación de botones florales hasta alcanzar tamaño final deseado.

4) *Felicia amelloides* (sin. *Aster amelloides*)



Felicia amelloides "Felicity Blue"

- **Variedades testadas:** Felicity Blue
- **Familia:** Asteraceae
- **Reproducción en vivero:** Por semilla o estaquillas herbáceas
- **Adaptación al clima para producción en vivero:** H3: de -5°C a 1°C
- **Requerimientos luz:** Pleno sol
- **Necesidades de suelo/agua:** Suelos bien drenados. Resistente a la sequía. Moderar el riego el invierno.
- **Hábito crecimiento:** Herbácea de porte bajo
- **Velocidad crecimiento:** De 1 a 2 años hasta alcanzar tamaño final
- **Florecimiento:** Verano/Otoño
- **Observaciones especiales de cuidados necesarios:** No requiere poda. Ramifica bastante bien sin necesidad de pinzados.

5) *Lavandula angustifolia*



Lavandula angustifolia “Layla”

- **Variedades testadas:** Layla
- **Familia:** Lamiaceae
- **Reproducción en vivero:** Estaquillas semileñosas en verano
- **Adaptación al clima para producción en vivero:** H5: de -15°C a -10°C
- **Requerimientos luz:** Pleno sol
- **Necesidades de suelo/agua:** Requiere suelos bien drenados
- **Hábito crecimiento:** Arbustivo bajo
- **Velocidad crecimiento:** De 2 a 5 años hasta tamaño final
- **Florecimiento:** Verano
- **Observaciones especiales de cuidados necesarios:** Requiere poda después de la floración y recorte del follaje en primavera. Evitar volver a cortar la madera vieja.

6) *Lavandula stoechas* (sin. *Lavandula stoechas* `French`)



Lavandula stoechas “Grand Purple”

- **Variedades testadas:** Grand Purple
- **Familia:** Lamiaceae
- **Reproducción en vivero:** Por semilla en primavera o estaquillas semileñosas en verano
- **Adaptación al clima para producción en vivero:** H4: de 10°C a -5°C
- **Requerimientos luz:** Pleno sol
- **Necesidades de suelo/agua:** Requiere suelos bien drenados
- **Hábito crecimiento:** Perenne de porte arbustivo bajo
- **Velocidad crecimiento:** De 2 a 5 años hasta alcanzar tamaño final
- **Florecimiento:** Primavera-Verano
- **Observaciones especiales de cuidados necesarios:** Sin relevancia

7) *Hedera helix*



Hedera helix “Miniata Variegata”

- **Variedades testadas:** Miniata Variegata
- **Familia:** Araliaceae
- **Reproducción en vivero:** Estaquillas herbáceas en cualquier época del año y estaquillas semileñosas desde finales de verano hasta finales de invierno.
- **Adaptación al clima para producción en vivero:** H5: de -15°C a -10°C.
- **Requerimientos luz:** Pleno sol/ Plena sombra/Media Sombra
- **Necesidades de suelo/agua:** Se da bien en suelos bien drenados.
- **Hábito crecimiento:** Enredadera/ Rastrero
- **Velocidad crecimiento:** De 5 a 10 años hasta alcanzar tamaño final.
- **Florecimiento:** No procede
- **Observaciones especiales de cuidados necesarios:** No procede

8) *Lysimachia nummularia*



Lysimachia nummularia "Goldii"

- **Variedades testadas:** Goldii
- **Familia:** Primulaceae
- **Reproducción en vivero:** Por estaquillas de tallo en primavera
- **Adaptación al clima para producción en vivero:** H5 (hasta -10°C, -15°C)
- **Requerimientos luz:** Pleno sol y media sombra.
- **Necesidades de suelo/agua:** Necesita suelos desde drenantes hasta muy drenantes.
- **Hábito crecimiento:** Rastrera con emisión de tallos rastreros vestidos de hojas.
- **Velocidad crecimiento:** De 2 a 5 años hasta alcanzar tamaño final
- **FloreCIMIENTO:** Verano
- **Observaciones especiales de cuidados necesarios:** Necesita recortes de tallos errantes.

9) *Sedum reflexum* (sin. *Sedum rupestre* y *Sedum album*)



Sedum reflexum "Angelina"

- **Variedades testadas:** Angelina
- **Familia:** Crassulaceae
- **Reproducción en vivero:** Por división o por estaquillas herbáceas de hoja
- **Adaptación al clima para producción en vivero:** H7: Hasta -20°C
- **Requerimientos luz:** Pleno sol o media sombra
- **Necesidades de suelo/agua:** Requiere suelos húmedos pero bien drenados
- **Hábito crecimiento:** Tapizante
- **Velocidad crecimiento:** 2-5 años hasta tamaño final
- **Florecimiento:** Verano
- **Observaciones especiales de cuidados necesarios:** Sin relevancia

10) *Sedum tetracinum*



Sedum tetracinum "Coral Reef"

- **Variedades testadas:** Coral Reef
- **Familia:** Crassulaceae
- **Reproducción en vivero:** Por división o por estaquillas de hoja
- **Adaptación al clima para producción en vivero:** H7: Hasta -20°C
- **Requerimientos luz:** Pleno sol
- **Necesidades de suelo/agua:** Requiere de suelos desde bien drenados a medianamente drenados
- **Hábito crecimiento:** Tapizante
- **Velocidad crecimiento:** 2-5 años hasta tamaño final
- **Florecimiento:** Julio-Agosto
- **Observaciones especiales de cuidados necesarios:** Sin relevancia

11) *Sedum spurium*



Sedum spurium "Dragon's Blood"

- **Variedades testadas:** Dragon's Blood
- **Familia:** Crassulaceae
- **Reproducción en vivero:** Por división o por estaquillas de hoja
- **Adaptación al clima para producción en vivero:** H7: Hasta -20°C
- **Requerimientos luz:** Pleno sol
- **Necesidades de suelo/agua:** Requiere suelos bien drenantes
- **Hábito crecimiento:** Tapizante
- **Velocidad crecimiento:** 2-5 años hasta tamaño final
- **Florecimiento:** Verano
- **Observaciones especiales de cuidados necesarios:** Sin relevancia

ACT. 1.3. ESTUDIO, DEFINICIÓN DE CARACTERÍSTICAS DESEADAS Y ELABORACIÓN DE MEZCLAS DE MATERIALES QUE SE TESTARÁN PARA SER UTILIZADOS COMO MEDIO DE CULTIVO.

RESULTADO: selección de una mezcla de sustrato proveniente de la revalorización de residuos forestales que cumpla con los requerimientos necesarios para un jardín vertical de este tipo.

Primeramente, cabe destacar, que una vez comenzado el desarrollo del proyecto y estudiado con mayor profundidad las fases del mismo; el equipo al completo nos dimos cuenta de que no era posible el desarrollo de esta actividad tal y como estaba planteada. El motivo no fue otro que el descarte por completo de la opción de trabajar con ciertos materiales orgánicos que formasen parte de las mezclas de los sustratos a emplear en los jardines verticales.

Esto último es debido a que cuando se plantea el diseño de jardines verticales que sean sostenibles ambientalmente, las preferencias enseguida nos direccionan a que necesariamente ha de tratarse de sistemas recirculantes; esto es, aquellos sistemas en donde la solución fertilizante (agua + abonos) que necesitan las plantas recircule durante el mayor tiempo posible para así ahorrar agua y fertilizantes y evitar en mayor medida la contaminación por lixiviación o escorrentía a los cursos de agua naturales. Por otra parte, estos diseños de jardines verticales estaban orientados al interior de estancias, en donde obviamente los sistemas abiertos también se ven limitados por necesitar otro sistema de sumidero de las aguas perdidas a mayores.

Además, justificar que al escoger sistemas recirculantes necesariamente se precisan medios de cultivo (sustratos) que sean inertes, pues aquellos orgánicos, con materia orgánica, pueden interaccionar en los equilibrios nutricionales de la solución recirculante, así como en otros parámetros como el pH que necesitamos que sean lo más estables posible a lo largo del tiempo.

Por ese motivo, se buscaron materiales inertes cuyas características debían de ser: 1) bajo peso en condiciones saturadas de humedad, 2) estructura y consistencia suficiente en condiciones de verticalidad, 3) moderada capacidad de retención de agua, 4) buen drenaje, 5) muy baja hidrofobicidad o repelencia al agua en condiciones de alta y nula humedad y 6) durabilidad a lo largo del tiempo.

Ante las características anteriores pueden responder diversos materiales pero la búsqueda se vio acotada a solamente dos por razones de precio, disponibilidad en el mercado (en ese momento y a lo largo del tiempo), cercanía de los fabricantes, y venta libre (sin royalties y/o patentes). Los dos materiales se trataron de lana de roca y tela de fieltro (figura 1).

La lana de roca se adquirió en forma de lámina prensada a una empresa de construcción (Knauf Insulation), buscando aquella que sirviese por sus características como medio de cultivo, pues la mayor parte de las utilizadas en construcción no sirven por su composición, peso y poca estructura. La tela de fieltro se adquirió a una empresa de servicios y productos de jardinería vertical (Paisajismo Urbano), asegurándonos así su buen comportamiento para los objetivos buscados.



Figura 1. Vista de los materiales de lana de roca (izquierda) y tela de fieltro (derecha).

Las características más destacables de la lana de roca son: 1) elaborada únicamente con fibras de mineral de roca virgen, 2) excelente conservación a lo largo del tiempo, 3) planchas de 3 m de longitud, 1 m de anchura y 40 mm de espesor, 4) fácilmente recortable sin deshilachar para adaptar a diferentes tamaños, 5) densidad en seco de 4,4-4,5 kg·m², 6) elevada retención de agua y facilidad de drenaje natural del agua en exceso entre riegos.

Las características más destacables de la tela de fieltro son: 1) mezcla de tejidos biodegradables que se integran progresivamente con el crecimiento radicular de las plantas con tejidos no degradables que permiten la durabilidad en el tiempo del material, 2) muy baja hidrofobicidad y repelencia al agua, 3) elevada retención de agua, 4) facilidad de drenaje natural del agua en exceso entre riegos.

ACT. 1.4. EVALUACIÓN DEL CRECIMIENTO Y CAPACIDAD TAPIZANTE DE LA PLANTA SELECCIONADA EN ACTIVIDAD 1.2. MEDIANTE ANÁLISIS DE IMAGEN.

RESULTADO: conocimiento del tiempo necesario de crecimiento y establecimiento de las diferentes especies testadas.

Se seleccionaron diez especies (Tabla 1) que pueden producirse en condiciones poco exigentes, particularmente que puedan propagarse en invernaderos sin calefacción en zonas templadas y tolerar temperaturas por debajo de los 0°C. Otras características que se tuvieron en cuenta fueron el hábito de crecimiento, las cualidades ornamentales y la tolerancia a la sombra para uso en interior.

Tabla 1. Relación de especies ornamentales de exterior que se pueden adaptar a condiciones del interior de estancias

Especies ornamentales de exterior
<i>Ajuga reptans</i> 'Black Scallop'
<i>Brachyscome angustifolia</i> 'Fresco Purple'
<i>Coprosma x kirkii</i> 'Variegata'
<i>Felicia amelloides</i> 'Felicity Blue'
<i>Hedera helix</i> 'Miniata Variegata'
<i>Lavandula angustifolia</i> 'Layla'
<i>Pelargonium peltatum</i> Decora Bicolor
<i>Phlox subulata</i> 'Red Wings'
<i>Sedum rupestre</i> 'Angelina'
<i>Sedum spurium</i> 'Dragons Blood'

Para evaluar la capacidad de cada especie para cubrir la superficie en el menor tiempo posible se estableció un ensayo en condiciones controladas de fitotrón (Figura 2). La temperatura fue de $24 \pm 2^\circ\text{C}$ durante el día y $17 \pm 2^\circ\text{C}$ durante la noche, con periodos de luz y oscuridad de 16 y 8 horas respectivamente, la humedad relativa fue de $60 \pm 5\%$ y la intensidad luminosa de 3000 ± 250 lux. El cultivo se hizo en un sistema hidropónico recirculante, para lo que se utilizaron bandejas rectangulares de PVC de $39 \times 53 \times 8$ cm

llenas con arcilla expandida (Arlita 5-10 mm). Para la plantación se utilizaron esquejes enraizados que se dispusieron en cada bandeja en un marco de plantación de 12 × 12 cm, con un total de 12 plantas por bandeja. Cada bandeja constituyó una unidad experimental y se utilizaron 3 repeticiones para cada uno de los taxones seleccionados. El riego se llevó a cabo por llenado y vaciado de las bandejas con una solución nutritiva, dos veces al día. Se utilizó un fertilizante comercial (Hakaphos naranja) con una composición 15-5-30 (2-4) (N-P-K+Mg-S) y micronutrientes (Bo, Cu, Fe, Mn, Mo y Zn). La dosis de fertilizante fue 0.13g L⁻¹, correspondiente a un incremento de conductividad eléctrica de 0.7 dS m⁻¹. La solución nutritiva se renovó semanalmente.

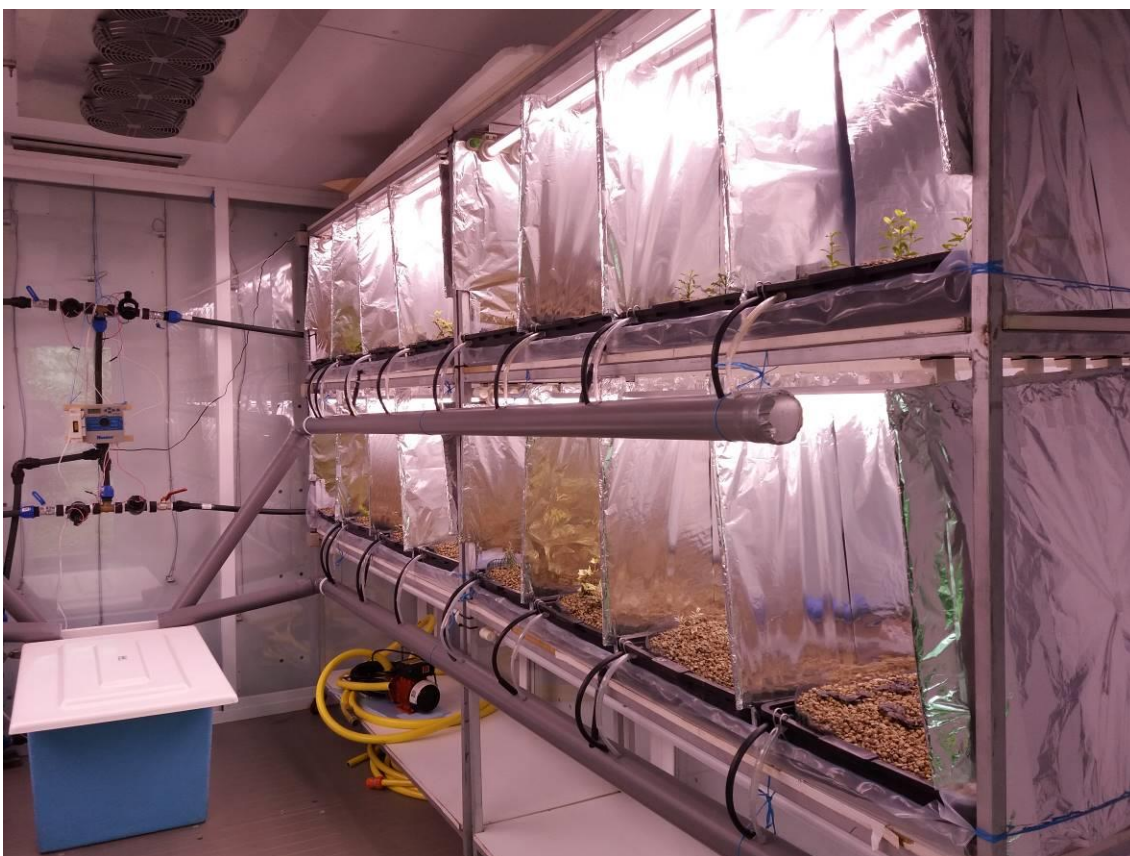


Figura 2. Detalle del ensayo de crecimiento de plantas en condicione interior realizado en fitotrom.

Esta fase tuvo una duración de 105 días. Para evaluar el desarrollo de las plantas y la velocidad de recubrimiento, se tomaron mediciones de cobertura de planta a intervalos quincenales durante el periodo de realización del ensayo, utilizando análisis de imagen (Vitta and Fernández-Quintanilla, 1996). Para procesar las imágenes se utilizó el software CAPS (Telenatura, 2005).

En la figura 3 se pueden observar las coberturas medias por especie alcanzadas al final del ensayo de crecimiento en condiciones controladas en fitotrón (3.000 lux). Al cabo de los 105 días las especies más interesantes desde un punto de tapizante, por alcanzar coberturas mayores del 90% durante el periodo del ensayo, han sido en primer lugar *Pelargonium peltatum* Decora Bicolor (95,35 %), seguido de *Sedum rupestre* 'Angelina' (94,75%), de *Ajuga reptans* 'Black Scallop' (93,22%), y de *Felicia amelloides* 'Felicity Blue' (93,05%) y *Lavandula angustifolia* 'Layla' (92,5 %). Con ellas es factible producir paneles vegetados prácticamente cubiertos en un tiempo de tres meses. Presentaron coberturas altas pero menores, de entorno al 75 %, *Sedum rupestre* 'Angelina' (74,46 %) y *Hedera helix* 'Miniata Variegata' (74,04 %). Así mismo, las especies *Brachyscome angustifolia* 'Fresco Purple', *Coprosma x kirkii* 'Variegata' y *Phlox subulata* 'Red Wings' no alcanzaron buenos resultados de cobertura en el periodo de ensayo y resultan menos interesantes, ya que la obtención de paneles cubiertos requeriría un tiempo más largo de producción en vivero.

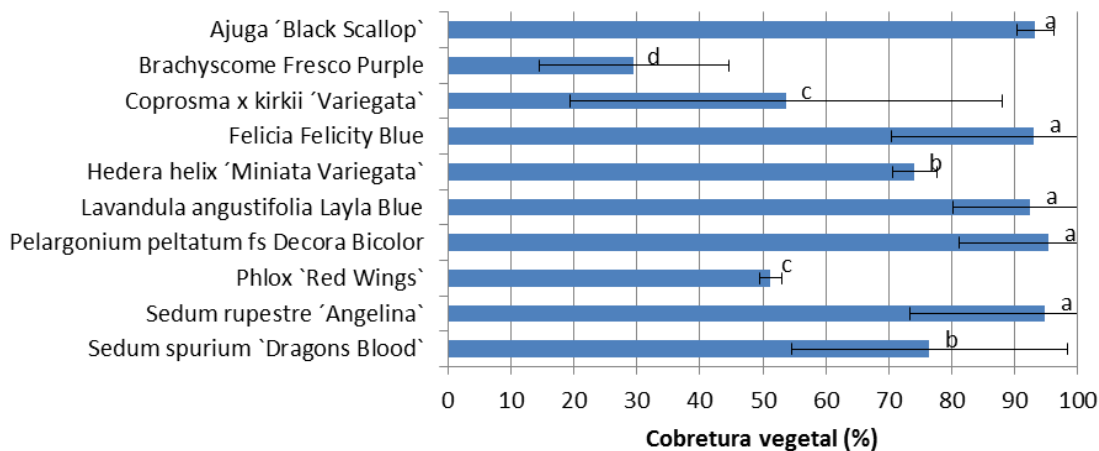


Figura 3. Coberturas de las especies ensayadas al final de la primera fase de la prueba: media ± desviación típica y pruebas "post hoc" (tramientos con letras iguales no presentan diferencias significativas según el test de Tukey con para $p < 0,05$)



Figura 4. Cobertura foliar de *Pelargonium peltatum* Decora Bicolor y *Ajuga reptans* 'Black Scallop'.



Figura 5. Cobertura foliar de *Sedum reflexum* 'Angelina' y *Felicia amelloides* 'Felicity Blue'.



Figura 6. Cobertura foliar de *Brachyscome angustifolia* 'Fresco Purple' y *Phlox subulata* 'Red Wings'

ACT. 1.5. EVALUACIÓN DE LA ADAPTACIÓN DE LAS ESPECIES DE EXTERIOR A CONDICIONES DE INTERIOR EN AMBIENTE CONTROLADO.

RESULTADO: constatación de la estabilidad de las plantas totalmente desarrolladas a lo largo del tiempo.

Continuando con el anterior ensayo, después de evaluar el crecimiento de las plantas y la velocidad de cubrición de la superficie, se evaluó la adaptación de las especies a condiciones de interior. Para ello se redujo la iluminación de los 3.000 lux a 900 y a 500 lux en dos fases, bajando la temperatura diurna a $21 \pm 2^{\circ}\text{C}$. Cada etapa del ensayo de reducción luz también tuvo una duración aproximada de 100 días.

Para evaluar la influencia de la iluminación en las plantas ya establecidas, se continuó con la medición la cobertura por análisis de imagen con frecuencia mensual y también mensualmente se tomaron medidas de la longitud de los entrenudos y del contenido en clorofila, utilizando un medidor Opti-Sciences CCM-200. No fue posible medir el contenido en clorofila en Lavandula, Phlox y Sedum rupestre, por el pequeño tamaño de las hojas. Además, se determinó la calidad visual de los diferentes taxones utilizando una escala de 1 a 5 (siendo 1 la más baja, y 5 la mejor calidad visual) con resultados de 4 evaluadores diferentes y tomando como referencia a Rozum (2014) y Kazemi et al. (2020). Los aspectos que se tuvieron en cuenta para la calidad visual fueron el hábito de la planta, el impacto floral y el impacto en el paisaje (valor ornamental, vigor y estado sanitario).

En la figura 7 se muestra la evolución del % de cobertura foliar registrado por cada taxón a lo largo de todo el ensayo de fitotrom (300 días), reflejando tanto la evolución en el crecimiento inicial como la incidencia de las dos fases sucesivas de reducción de luz a 900 y 500 lux. Por su parte en la figura 8 se muestran y comparan los valores correspondientes al final de cada una de las fases

La reducción de la iluminación de 3000 a 900 lux, se aplicó a partir del día 105 desde el inicio del ensayo y se mantuvo hasta el día 210. En esta fase Ajuga y *Sedum rupestre* mantuvieron la cobertura casi completa que habían logrado en la primera fase de crecimiento. Pelargonium experimentó un progresivo descenso bajando a un 79% de cobertura al final de la primera fase de reducción de luz a 900 lux (210 días), y descendió también ligeramente la cobertura en Felicia y en Lavandula (85-87%). *Hedera helix* y *Sedum spurium* experimentaron un ligero incremento de la cobertura en este periodo alcanzando valores del 87 y 86% respectivamente. Los tres taxones con coberturas más bajas, Phlox, Coprosma y Brachyscome, crecieron también en esta fase obteniendo coberturas de planta de 82, 72 y 54% respectivamente.

En la segunda fase de reducción de luz a 500 lux, que se extendió del día 210 al 300 de ensayo, continuó el descenso progresivo de la cobertura en Pelargonium y en Felicia con

valores al final del ensayo de 76 y 57% respectivamente. Sin embargo, Hedera, Coprosma y Brachyscome continuaron creciendo, y los resultados de cobertura al final del ensayo fueron de 94, 81 y 68% respectivamente. Brachyscome fue de nuevo el taxon con la cobertura significativamente menor (Figure 8) y Hedera pasó a tener el valor más alto de cobertura sin diferencias significativas con Sedum rupestre y Ajuga. El resto de especies mantuvieron coberturas similares durante este periodo, experimentando un ligero descenso al final del ensayo.

Un mes después de la reducción de luz a 500 lux, aumentó la incidencia de plagas y enfermedades, detectándose al final del ensayo oídio en Felicia, Aspergillus en Pelargonium, y pulgón y mosca blanca principalmente en Brachyscome, Sedum spp., y en una de las repeticiones de Ajuga. Aunque se aplicaron tratamientos cuando fue necesario, afectaron a las plantas y provocaron la reducción de su superficie foliar viva y por tanto el recubrimiento del espacio.

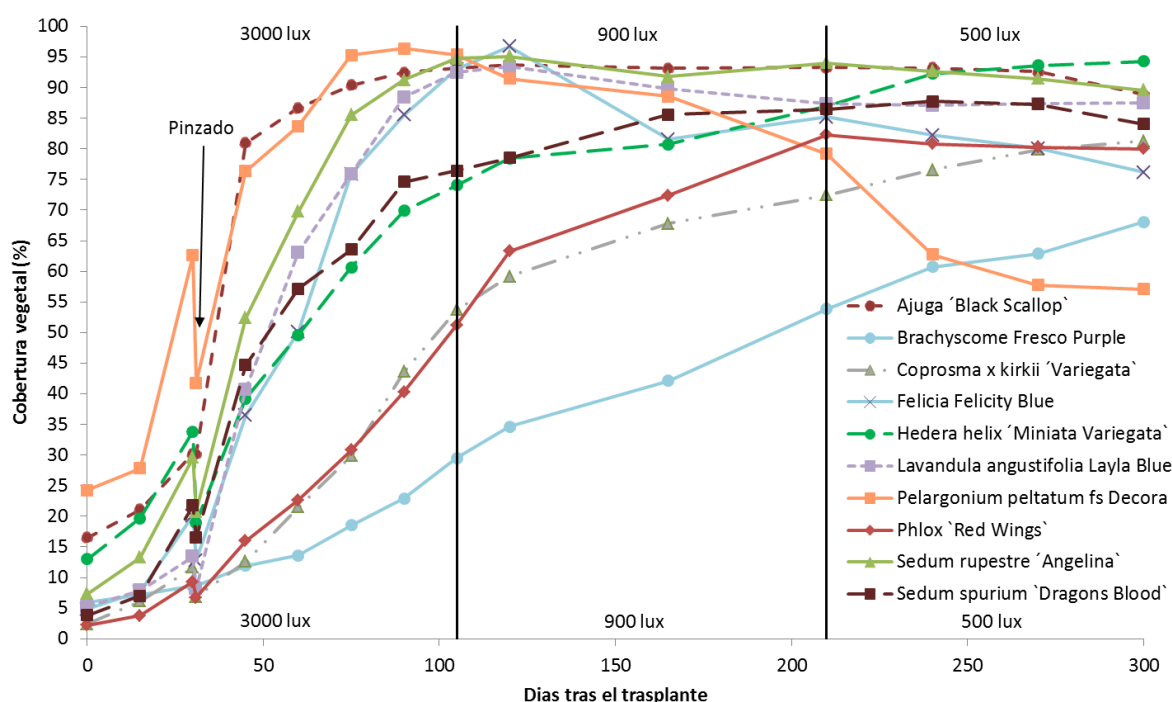


Figura 7. Evolución de la cobertura foliar media (%) de cada taxón a lo largo de todo el ensayo de fitotrom (300 días), incluyendo la fase inicial de crecimiento a 3000 lux y las dos sucesivas de reducción de luz a 900 y 500 lux

La cobertura vegetal es uno de los factores más importantes que afectan a la estética del jardín vertical. Las especies de crecimiento rápido son más interesantes en este sentido (Kazemi et al., 2020), porque el tiempo de producción también se acorta y, por lo tanto, los costos se reducen. Entre las especies investigadas y en relación a la cobertura, *Pelargonium*

peltatum y *Ajuga reptans* fueron los más rápidos en cubrir, seguidos por *Sedum rupestre*. Al aumentar el tiempo de producción a tres meses, se incrementa el número de especies utilizables mediante la incorporación de *Lavandula angustifolia* y *Felicia amelloides*. *Hedera helix* y *Sedum spurium* necesitan más de tres meses de tiempo de crianza. La posibilidad de utilizarlos para jardines verticales interiores depende de su comportamiento en condiciones de iluminación más baja, y en este sentido *Hedera helix*, *Ajuga reptans* y *Sedum rupestre* fueron mejores al final del ensayo.

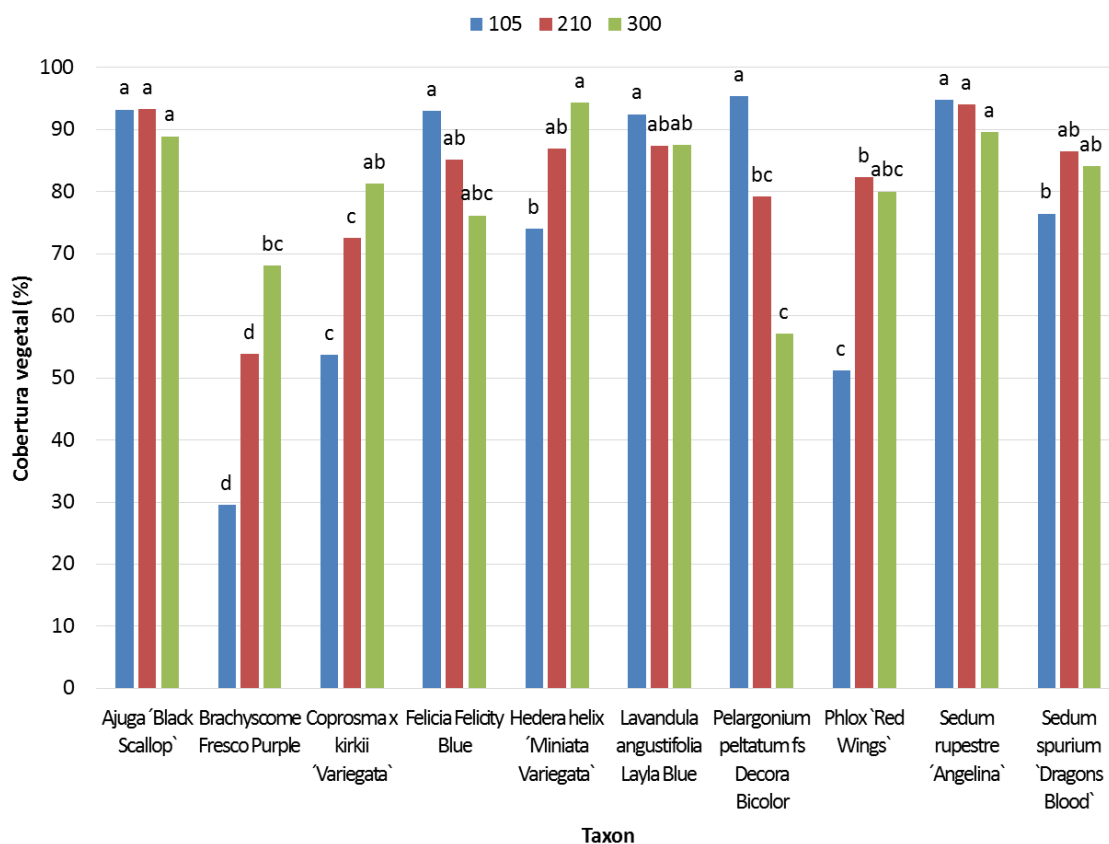


Figura 8. Cobertura foliar media (%) de cada taxón al final de cada una de las 3 fases del ensayo de fitotrom: 105 (3000 lux), 210 (900 lux) y 300 (500 lux) días tras el trasplante. Valores medios y pruebas "post hoc" (para cada fecha valores con la misma letra no presentan diferencias significativas según el test de Tukey para $0 < 0,05$).

En la tabla 2 se muestran los resultados de longitud de entrenudos obtenidos para cada taxón en tres fechas que coinciden con el final de cada fase de iluminación, 105 (3000 lux), 210 (900 lux) y 300 (500 lux) días del ensayo. La evolución de la longitud del entrenudo fue diferente según las especies. En *Sedum spurium* y *S. rupestre* no se obtuvieron diferencias significativas entre las fechas para este parámetro. En *Pelargonium* la longitud de los entrenudos fue significativamente menor en la última fecha. *Brachyscome*

mostró una evolución opuesta con valores similares en las dos primeras fechas y un aumento significativo en la longitud del entrenudo en la última fecha. En el resto de las especies se observó una reducción significativa en la longitud de los entrenudos en la segunda fecha, 210 días después de la siembra, mientras que en la tercera fecha el comportamiento varió según la especie, con valores intermedios a las fechas anteriores en *Ajuga*, *Coprosma* y *Felicia*, o como la fecha anterior en *Phlox* y *Hedera*. Estas variaciones en la longitud de los entrenudos parecen estar más relacionadas con el crecimiento de las plantas en cada período, que con una influencia de iluminación reducida que promueve unos entrenudos más largos.

Tabla 2. Comparación de las medias del contenido en clorofila, longitud de entrenudo (mm) y calidad visual de cada taxón ensayado en fitotrom, en tres fechas: 105 (3000 lux), 210 (900 lux) y 300 (500 lux) días después del trasplante (ddt)

Taxon	Longitud entrenudos			Contenido clorofila			Calidad visual		
	105 ddt	210 ddt	300 ddt	105 ddt	210 ddt	300 ddt	105 ddt	210 ddt	300 ddt
<i>Ajuga reptans</i>	8.0a	5.5b	6.4ab	50.6a	41.3a	46.4a	2.8a	4.0a	2.4a
<i>Coprosma × kirkii</i>	15.2a	6.9b	11.7ab	7.3a	10.5a	19.2a	3.6a	2.4b	2.3b
<i>Hedera helix</i>	16.0a	11.2b	9.9b	26.5a	6.6b	8.8b	3.6a	4.2a	3.9a
<i>Lavandula angustifolia</i>	11.0a	6.5b	11.2a				3.1a	2.8a	2.2a
<i>Felicia amelloides</i>	14.7a	7.5b	12.3ab	29.9a	12.1b	17.6ab	3.1a	2.9ab	1.8b
<i>Brachyscome angustifolia</i>	5.6a	5.4a	9.2b	3.1b	6.8ab	10.5a			
<i>Phlox subulata</i>	9.4a	7.2ab	4.7b				3.1a	2.8a	2.5a
<i>Sedum spurium</i>	16.9a	12.1a	13.7b	17.2a	15.6a	13.3a	3.3a	3.8a	3.0a
<i>Sedum rupestre</i>	3.2a	2.9a	2.3a				3.5a	3.8a	3.0a
<i>Pelargonium peltatum</i>	31.2a	22.0a	16.3b	23.9a	8.1b	9.4b	3.9a	2.7b	2.2b

Para cada taxón y parámetro, las medias seguidas de la misma letra no son significativamente diferentes según el test de Tukey para $p < 0,05$.

En relación con el contenido de clorofila (tabla 2), la respuesta fue variable según los taxones. *Ajuga*, *Coprosma* y *Sedum spurium* mantuvieron contenidos de clorofila similares en las tres fechas. En *Hedera* y *Pelargonium* los contenidos de clorofila fueron significativamente más bajos en las dos últimas fechas. En el caso de *Pelargonium*, las observaciones coinciden con una disminución significativa de la cobertura de este taxón. *Felicia* mostró oscilaciones en el contenido de clorofila con una disminución a los 210 días, coincidiendo también con una disminución en la cobertura, pero se recuperó hasta valores intermedios al final del ensayo. *Brachyscome* mostró un comportamiento diferente al resto de los taxones, por lo que su contenido en clorofila aumentó significativamente en la última fecha, en línea con la evolución favorable de la cubierta de esta planta. Los resultados

sugieren que la reducción de luz de 3000 a 900 y 500 lux no afectó negativamente el contenido de clorofila en la mayoría de las especies estudiadas, excepto Felicia y Pelargonium, y fue favorable en el caso de Brachyscome. Los bajos contenidos de clorofila a 900 y 500 lux en Hedera son difíciles de explicar, ya que no afectaron ni a la cobertura ni a la calidad visual de la planta en esas fechas. En Coprosma las medidas tuvieron altos coeficientes de variación, probablemente debido al pequeño tamaño de las hojas combinado con el color verde y crema del cultivar utilizado.

En cuanto a la calidad visual, la floración fue un punto importante. Pelargonium, Brachyscome y Felicia florecieron durante el ensayo alcanzando un 75% de floración en los dos primeros, y un 25% en Felicia. Ajuga y Lavandula florecieron ocasionalmente, y el resto de los taxones no presentaron flores durante el ensayo. La reducción de luz influyó en la floración, reduciendo el número de flores. A 500 lux solo Brachyscome continuó floreciendo.

Otro aspecto importante en la calidad visual fue el estado sanitario. Un mes después de reducir la luz a 500 lux, aumentó la incidencia de plagas y enfermedades, con oídio en Felicia al final del ensayo, Aspergillus en Pelargonium, botrytis en Coprosma y áfidos y moscas blancas en Ajuga y Brachyscome. También durante las fases de reducción de la luz, especialmente con 500 lux, aumentó la incidencia de plagas y enfermedades. Pelargonium fue muy pronto afectado por Aspergillus, se detectó botritis en Coprosma, mientras que Felicia fue afectada por oídio al final del ensayo. Por su parte Brachyscome sufrió ataque de mosca blanca y Ajuga de pulgón hacia el final del ensayo.

Se observaron diferencias significativas en la calidad visual entre las fechas de varios de los taxones estudiados (tabla 2). En Coprosma y Pelargonium la calidad visual cayó durante la fase de reducción de luz a 900 lux, por lo que 210 y 300 días después del trasplante mostraron los valores más bajos. En Felicia también hubo una disminución progresiva de la calidad visual especialmente en la última fase, por lo que el valor a 300 días fue significativamente menor que a 105. En estos tres casos la pérdida de calidad visual se relacionó con la presencia de enfermedades específicas en cada uno de ellos, junto con la pérdida de cobertura y la reducción de floración en Pelargonium y Felicia. En Brachyscome, la calidad visual aumentó significativamente a los 210 días y se mantuvo hasta el final del ensayo, también de acuerdo con la evolución de la cobertura y mantenimiento de la floración en las fases de reducción de luz a 900 y 500 lux. Para el resto de los taxones, la calidad visual no experimentó cambios significativos durante todo el ensayo.

Es importante advertir que en los jardines verticales no se busca maximizar la producción de biomasa sino más bien mantener las plantas saludables y con buena apariencia en términos ornamentales. En general no interesan plantas que crezcan mucho ya que el mantenimiento (poda, p.ej.) y el coste será mayor (Perez-Urrestarazu et al., 2019).

En este sentido, cabe destacar a *Ajuga reptans*, que no precisó pinzados durante el cultivo y se mantuvo con buena calidad visual durante todo el ensayo. Caso contrario fue el de *Pelargonium peltatum*, que tuvo un crecimiento grande y perdió follaje y cobertura a lo largo del cultivo, por lo que en el caso de utilizar esta especie será necesario realizar pinzados periódicos para mantener la cobertura y la calidad visual de la planta. En el caso de *Hedera helix* 'Miniata Variegata' si bien su crecimiento fue más lento en los tres primeros meses, alcanzó el 95% de cobertura al final del ensayo (300 días), sin incidencia de plagas ni enfermedades y con buena calidad visual. La especie ha sido investigada previamente para su adaptación a jardines verticales de interior obteniendo igualmente buenos resultados (Basaran and Eroglu, 2017). Yang et al. 2009) observaron que esta especie era una de las que presentaban una mayor eficiencia de eliminación de todos los contaminantes volátiles estudiados en el interior de una vivienda.

Como conclusión de esta fase del estudio se puede destacar que *Pelargonium peltatum* Decora Bicolor 'Desrumaux' y *Felicia amelloides* Felicity® Blue no se adaptaron bien a la reducción de la iluminación a 900 y 500 lux, y su uso en jardines verticales interiores no es recomendado. La producción de jardines verticales modulares combinando especies de crecimiento rápido con otras de crecimiento lento, que pueden ser de bajo mantenimiento y mantener una calidad visual a largo plazo en condiciones de iluminación de 900 a 500 lux es una alternativa interesante. *Ajuga reptans* 'Black Scallop', *Sedum rupestre* 'Angelina' and *Hedera helix* 'Miniata Variegata' entrarían en este grupo y podrían ser utilizados para jardines verticales interiores.

HITO 2: ESTUDIO DE COLOCACIÓN, SELECCIÓN DE SENSORES, ESTABLECIMIENTO DE LÍMITES Y RANGOS DE MEDICIÓN DE LOS DIFERENTES SENSORES PARA MONITORIZACIÓN Y DIMENSIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS DEL JARDÍN EN FUNCIÓN DE LOS RANGOS.

ACT. 2.1. ESTUDIO Y SELECCIÓN DE SENSORES PARA MONITORIZACIÓN DEL JARDÍN VERTICAL.

RESULTADO: selección de un sensor para cada uno de los parámetros a medir que cumpla con criterios de bajo coste y elevada precisión de medición.

El proyecto del jardín vertical incluye la sensorización del panel orientada a dar información al usuario en tiempo real del estado del sistema a través de la app que se va a crear, pero sobre todo para configurar alarmas que avisen de fallos de funcionamiento o de la necesidad de realizar algunas tareas de mantenimiento. Los jardines verticales en general y los hidropónicos en particular son bastante sensibles a fallos de funcionamiento, ya que el volumen del soporte de cultivo en el que crecen las raíces es pequeño, por lo que la capacidad de almacenamiento de agua es limitada y dependen del riego regular para que las plantas no se sequen y la interrupción del riego puede tener consecuencias irreversibles. Además, cuando el sistema hidropónico es recirculante hay riesgo de que la solución nutritiva vaya cambiando su concentración a lo largo del tiempo y se puedan producir acumulaciones de sales o de algún ion en particular que resulten perjudiciales para la vegetación. Además, estos fallos de funcionamiento no suelen verse hasta que la vegetación está afectada y muchas veces de forma irreversible, pues las mueren o quedan afectadas en su valor ornamental. Por esto contar con sensores y alarmas es un punto fundamental para el mantenimiento del panel vegetado en buenas condiciones, sobre todo para un usuario no profesional.

En la tabla 4 se exponen las situaciones que se pretenden monitorear, los parámetros a medir y las operaciones de mantenimiento necesarias. Éstas pueden ser respuestas automáticas del propio sistema, en cuyo caso se configurarán en la caja de automatización y no requieren acción del usuario; o bien requerir de una operación manual por parte del usuario, en cuyo caso la respuesta del sistema es una alarma que lo avise de la necesidad de llevarla a cabo.

Tabla 4. Operaciones de mantenimiento y posibles fallos del sistema a detectar con la sensorización, operaciones a realizar de forma automatizada o manual

Situación	Sensor	Operación necesaria	Respuesta
Nivel insuficiente de solución nutritiva en el depósito	Nivel de líquido	Rellenar el depósito	Alarma
Solución nutritiva degradada	Conductividad eléctrica	Sustituir la solución nutritiva	Alarma
Fallo de riego (no riego)	Flujo de líquido / caudalímetro	Revisar obturaciones y el funcionamiento de la bomba	Alarma
Nivel de humedad inadecuado	Humedad del sustrato	Revisar el riego / cambiar programación	Alarma
Iluminación insuficiente	Luxómetro	Encender iluminación complementaria	Automatización
Falta de alimentación eléctrica	En la caja de automatización, no en el panel	Revisar la alimentación	Alarma

Los parámetros a medir en el panel son, por tanto, la humedad del soporte de cultivo, el nivel de solución nutritiva del tanque de almacenamiento, la conductividad eléctrica de la solución, la detección de flujo de agua en el momento que está programado el riego y la intensidad lumínica que reciben las plantas. En algunos casos, se consideró necesario probar diferentes tipos de sensores con el objetivo de realizar pruebas empíricas que permitan seleccionar el mejor sensor en relación calidad-precio, o bien se probaron otros modelos cuando el primero seleccionado no dio una respuesta adecuada. A continuación, se detallan los sensores utilizados para cada una de las magnitudes medidas (Tabla 5):

Tabla 5. Sensores instalados en los paneles para su evaluación

Parámetro	Tipo de sensor	Modelo
Humedad del sustrato	Sensor de humedad resistivo	FC-28
	Sensor de humedad resistivo	HD-38
	Sensor de humedad capacitivo	V.2
Nivel de solución nutritiva en depósito	Distanciómetro por ultrasonidos	HC-SR04
	Distanciómetro por ultrasonidos	RCWL-1670
	Presencia de líquido capacitivo	XKC-Y25-V
Conductividad eléctrica	Sólidos disueltos (TSD)	Gravity Analog TDS
	Sólidos disueltos (TSD)	Keystudio TDS sensor
Flujo de agua	Caudalímetro	YF-S201
Intensidad lumínica	Luxómetro	
	Luxómetro	

1 – Humedad del sustrato

2.1 – Sensor de humedad FC-28

El estudio de la humedad del sustrato tiene una gran importancia a la hora de estudiar si la cantidad de riegos realizada sobre el jardín es la adecuada. Un primer sensor seleccionado para la medición de humedad es el FC-28 (Figura XX7), que es de los más baratos y más utilizados en proyectos sencillos de automatización. Está formado por dos partes: una sonda YL-69 con dos terminales metálicos separados adecuadamente y un módulo YL-38 que contiene un circuito comparador LM393 SMD (de soldado superficial) muy estable, un led de encendido y otro de activación de salida digital. Este último presenta 2 pines de conexión hacia el módulo YL-69, 2 pines para la alimentación (VCC, GND) y 2 pines de datos (D0, A0)

Su funcionamiento se basa en la utilización de la conductividad del sustrato para detectar el grado de humedad. Mediante dos electrodos insertados en el sustrato, el sensor hace para pasar corriente a través del suelo, y luego lee la resistencia para obtener el nivel de humedad. Una cantidad mayor de agua hace que el suelo conduzca la electricidad con

mayor facilidad (menos resistencia), mientras que el suelo seco es un mal conductor de la electricidad (más resistencia).

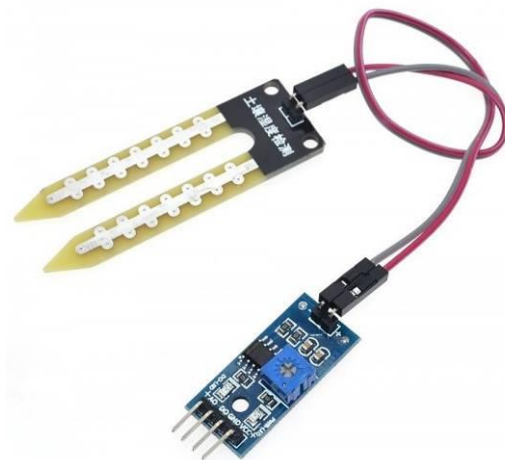


Figura 9. Sensor de humedad FC-28 con la sonda YL-69 el módulo YL-38

A nivel de comunicación el sensor (el módulo YL-38), dispone de dos salidas una analógica (AO) y otra digital (DO): la DO genera una alarma cuando el nivel de humedad está por debajo de un valor configurable mediante un potenciómetro y la AO permite conocer el valor real de humedad.

Especificaciones técnicas:

- Voltaje de alimentación: 3.3V – 5V DC (VCC)
- Corriente de operación: 35mA
- Voltaje de señal de salida analógico (AO) : 0 a VCC
- Voltaje de señal de salida digital (DO) : 3.3V/5V TTL
- Superficie de electrodo: Estaño
- Incluye: Electrodo, Placa y cable de conexión
- Dimensiones YL-38: 30*16 mm

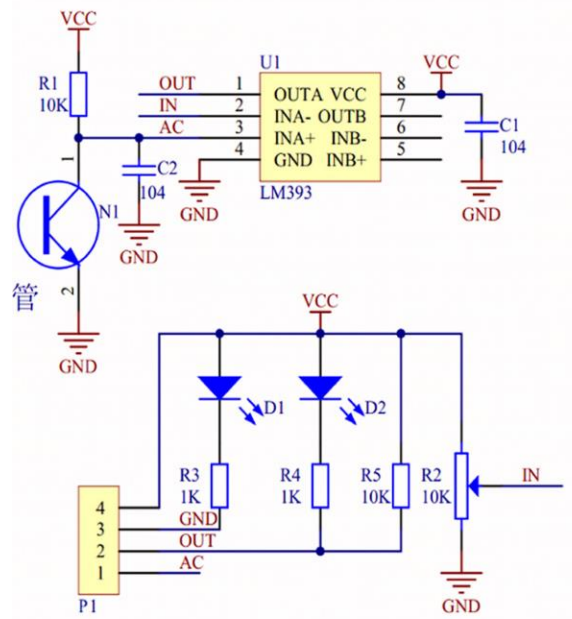


Figura 10. Esquema eléctrico de la sonda YL-69 y del módulo YL-38 para la medición de humedad

2.1 – Sensor de humedad HD-38

El sensor de humedad FC-28, sufre problemas de corrosión de las placas metálicas de la sonda YL-69 que limitan su vida útil. El problema se acentúa cuando la sonda está insertada continuamente en el sustrato húmedo y cuando se alimenta de forma continua, no sólo en el momento de medida, que son las condiciones en que se pretende usar. Por tanto se probó también este sensor HD-38 que es similar al anterior y con el mismo principio de medición, pero con una sonda resistente a la corrosión ya que está formada por 2 varillas de acero inoxidable (Figura XX9)

Especificaciones técnicas:

- Voltaje de alimentación: 3.3 a 12 VDC
- Corriente: <20mA; <30mA (salida)
- Chip controlador: LM393
- Pines de conexión: VCC (+) GND (-)
- Salida analógica (A0)
- Salida digital (D0)
- Temperatura de funcionamiento: -25 ~ 85 Celsius
- Longitud cable de sonda: 1 metro

- Dimensiones YL-38: 30x16 mm
- Dimensiones sonda: (88+25)x18 mm



Figura 11. Sensor de humedad HD-38 con módulo YL-38 y sonda de varillas inoxidable

2.1 – Sensor de humedad capacitivo V2.0

El sensor de humedad de suelo capacitivo V2.0 (Figura XX10) permite medir la humedad en el suelo utilizando el principio de capacitancia entre electrodos en lugar de resistencia. El electrodo posee una capa de protección anticorrosión que le da mayor duración que los sensores resistivos; además su precisión es ligeramente superior.

El funcionamiento del sensor se basa en medir la capacitancia entre 2 electrodos insertados dentro del suelo, es decir, que forma un condensador donde el aislante es el sustrato y ello le permite medir la resistividad (capacitancia) del suelo. Los sensores capacitivos disponen de un timer 555, que se emplea para generar una onda cuadrada. Al aplicar esta onda al sensor, en contacto con la tierra, el efecto de la capacitancia registrada modifica la onda aplicada y esta diferencia en las ondas es comparada por el sensor, dando lugar a una pequeña tensión diferencial que puede ser medidas por un microprocesador. Cuanto mayor es la humedad del suelo, mayor es la capacidad registrada por el sensor y, por tanto, menor el voltaje proporcionado en la salida analógica

El electrodo va conectado a una tarjeta de acondicionamiento con conexiones para la alimentación (VCC y GND) y una salida analógica (AOUT), que un voltaje analógico desde 0V para un suelo muy húmedo hasta 5V para un suelo muy seco. Esta tarjeta no es impermeable, por lo que para estar en contacto con superficies húmedas debe ser impermeabilizado, lo que se hizo con utilizando tubos termoretráctiles.

Especificaciones técnicas:

- Voltaje de alimentación: 3.3V – 5V DC
- Corriente operación: 5mA
- Voltaje de la señal de salida: 0 a 5V (Analógico)
- Conector: PH2.0-3P
- Dimensiones: 98*23 mm
- Conexiones: GND: Tierra (GND 0V); VCC: Voltaje de alimentación (3.3V – 5V DC); AOUT: Salida analógica

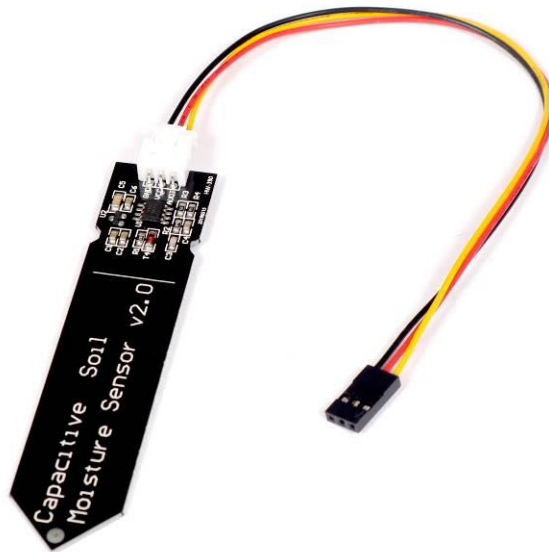


Figura 12. Sensor de humedad capacitivo V2.0

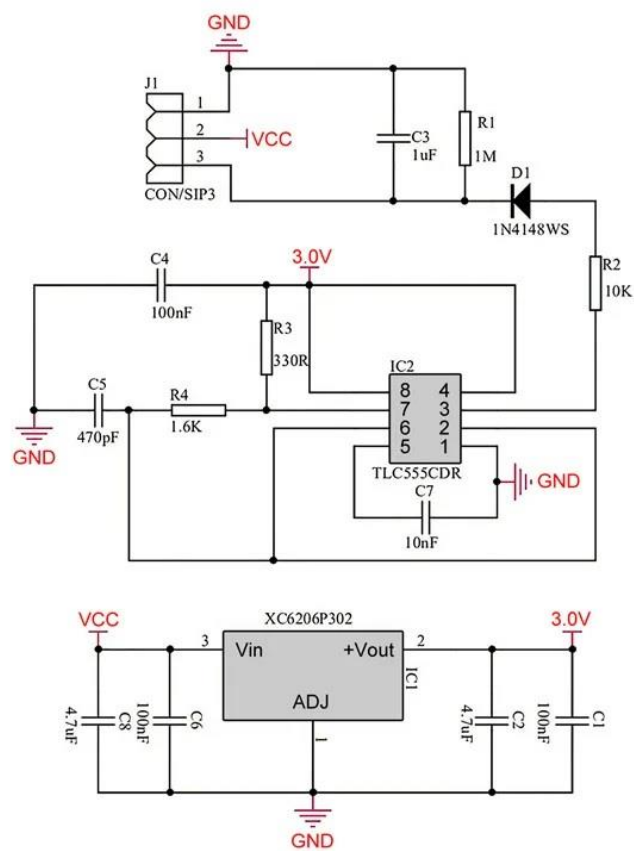


Figura 13. Esquema eléctrico del sensor de humedad capacitivo V2.0

2 – Nivel de agua

En la medición de nivel de agua se realizan pruebas con varios tipos de sensores para poder determinar cuál es el que mejor se ajusta a las características físicas del depósito de almacenamiento de agua. Es importante conocer esta magnitud para evitar que el depósito se quede sin agua y la bomba trabaje en vacío, puesto que se dañaría.

2.1 – Distanciómetro por ultrasonidos HC-SR04

El sensor HC-SR04 consta de dos transductores: un emisor y un receptor piezoeléctricos. Su principio de funcionamiento consiste en enviar una señal ultrasónica que rebota en la superficie del agua y es captada por el receptor. A partir de ahí, midiendo el tiempo que la señal tarda en ir y volver y teniendo en cuenta la velocidad del sonido, es posible calcular la distancia que existe desde el sensor hasta la superficie del agua. Con esta

información y conociendo las dimensiones del depósito y la ubicación del sensor, es posible calcular el volumen de agua restante.

La frecuencia de la señal ultrasónica es de aproximadamente 40 kHz, es capaz de detectar distancias entre 2 centímetros y 4,5 metros y tiene un ángulo de apertura de menos de 15 grados.

Especificaciones técnicas:

- Alimentación: 5Vdc.
- Consumo: <2mA.
- Corriente de trabajo: 20mA.
- Ángulo del sensor: <15°.
- Frecuencia de trabajo: 40KHz.
- Rango de detección: 2cm a 450cm.
- Precisión: ± 3 cm (aprox.).
- Señal entrada de activación: Impulso TTL 10us.
- Señal de eco: Salida de señal TTL PWL.

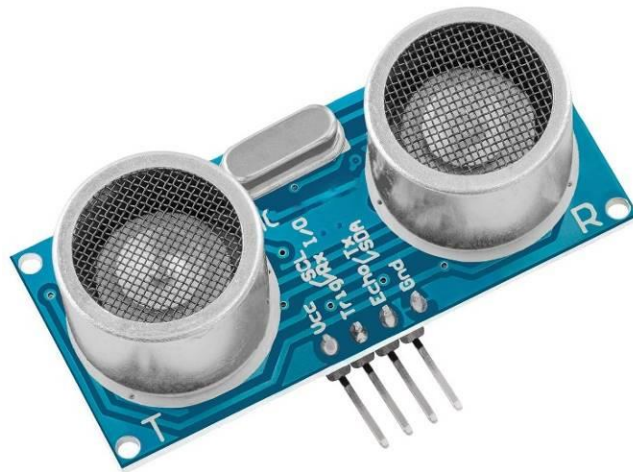
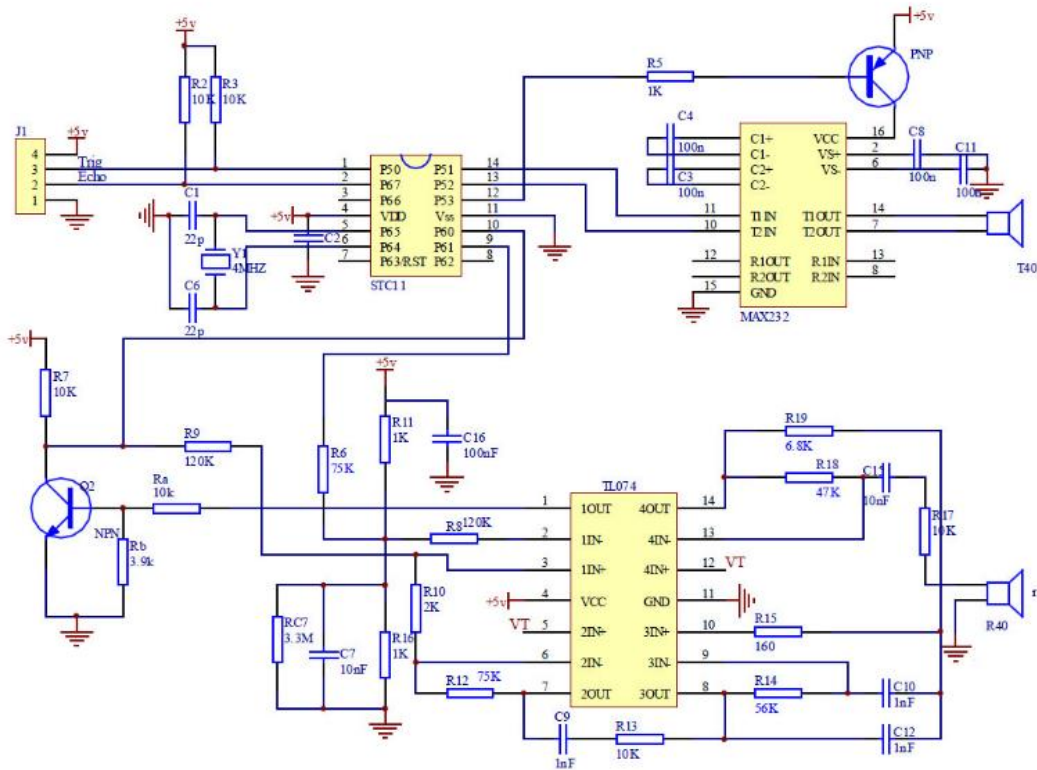


Figura 14. Sensor de distancia por ultrasonidos HC-SR04



Figura

15. Esquemático del sensor ultrasónico HC-SR04

2.1 – Distanciómetro por ultrasonidos RCWL-1670

Dado que el sensor HC-SR04 no es impermeable y puede sufrir corrosión en ambientes húmedos debido a la condensación de agua en sus componentes electrónicos, se probó también el sensor RCWL-1670, que es también un detector de distancia ultrasónico con protección resistente al agua y al polvo, que consta de transmisor-receptor impermeables y un circuito de control. Es similar al HC-SR04 en sus características como el rango de distancias o el ángulo de apertura y el software de control externo es

Especificaciones técnicas:

- Modelo: RCWL-1670
- Voltaje de trabajo: 3-5V
- Corriente de trabajo: 6mA
- Corriente en espera: 3.5uA@5V 1.5uA @3.3V
- Área ciega: 2 cm
- Longitud máxima: 4 m
- Ciclo de medición: 50 ms
- Temperatura de trabajo: -25 °C ~ 85 °C
- Humedad de trabajo: 5 % ~ 95 % RH

- Tamaño: 57x23x11mm



Figura 16. Sensor de distancia por ultrasonidos RCWL-1670

2.3 – Sensor de presencia de líquido capacitivo XKC-Y25-V

El sensor de nivel XKC-Y25-V es un sensor de proximidad de tipo capacitivo y no invasivo, detecta la presencia o ausencia de un líquido al nivel en que está instalado. Cuando el líquido pasa a nivel de sensor, su capacitancia parásita se acopla al campo eléctrico que genera el sensor, lo que permite al sensor capacitivo del sensor detectar la presencia del líquido. Es posible ajustar la sensibilidad el sensor con el potenciómetro que incluye.

No necesita estar en contacto con el líquido, ya que mide su presencia desde el exterior del depósito, lo que presenta la ventaja de no requerir la perforación del depósito que siempre conlleva un riesgo de pérdidas.

Especificaciones técnicas

- Voltaje de funcionamiento: 5-24v DC.
- Consumo de corriente: 5mA.
- Voltaje de salida: 0v - Vcc.
- Tiempo de respuesta: 500ms.
- Rango de detección: 0-15mm.
- Temperatura de funcionamiento: 0 – 100°C.
- Cable Negro: NC.
- Cable Azul: GND.
- Cable Amarillo: Salida.
- Cable Marrón: Positivo, 5-24v DC.



Figura 17. Detector de líquido capacitivo XKC-Y25-V

3 – Conductividad eléctrica

La medición de la conductividad de la solución nutritiva utilizada para en el sistema hidropónico tiene gran importancia para conocer el estado en el que se encuentra y saber si es necesario reponerla o sustituirla en caso de que no cumpla con las condiciones adecuadas. La conductividad eléctrica de una solución acuosa es su capacidad de conducir la corriente eléctrica y se relaciona con la cantidad de sales disueltas o TDS (Total de sólidos disueltos), ya que es muy baja en el agua pura y aumenta al añadir iones en solución. Por tanto, es un parámetro que sirve para evaluar de forma rápida la concentración de sales que hay en un agua, sin distinguir su naturaleza. Además, esta propiedad está condicionada por la temperatura, ya que afecta a la resistencia eléctrica, por lo que para medidas precisas debe tomarse la temperatura de la solución y realizar la compensación. Al igual que en los casos anteriores, se han seleccionado varios tipos de sensores para poder testar experimentalmente cual es el que mejor se ajusta a las necesidades del proyecto

3.1 – Gravity analog TDS

El sensor de la marca Gravity se trata de un kit para medición de valores TDS en la solución acuosa utilizada para el riego de las plantas. Está formado por dos elementos: un electrodo con dos puntas metálicas entre las que se establece la corriente eléctrica de prueba y la placa de acondicionamiento de la señal que se conectar al sistema de monitorización y donde la intensidad de corriente se traduce a TDS. El valor de salida son ppm = mg/L de sales disueltas.

Especificaciones técnicas

- Voltaje de funcionamiento: 3,3 – 5,5 V
- Voltaje de salida analógica: 0 – 2,3 V
- Consumo de corriente: 3 – 6 mA
- Rango de medición de TDS: 0 – 1000 ppm
- Precisión de la medición de TDS: 10% FS (25°C)
- Tamaño del módulo: 42 x 32 mm
- Tipo de conector del módulo: PH2.0-3P
- Tipo conector del electrodo: XH2.54-2P
- Número de puntas del electrodo: 2
- Longitud del electrodo: 83 cm
- Color: negro

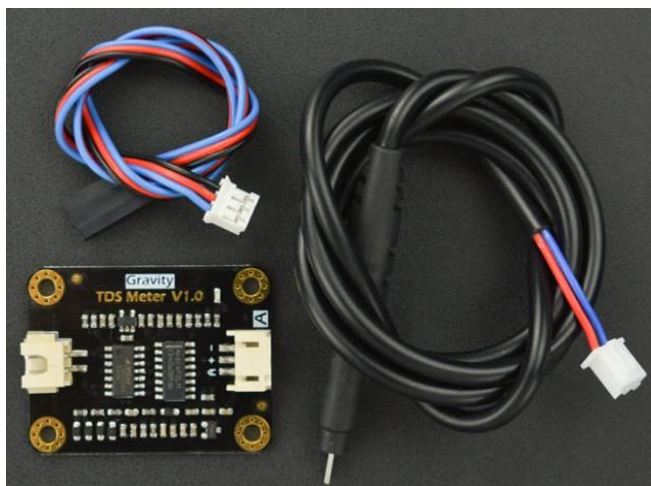


Figura 18. Sensor de Total de Sólidos Disueltos Gravity analog TDS

3.2 – Keystudio TDS sensor

El sensor de KeyStudio también se utiliza para la medición de TDS en la solución acuosa y su funcionamiento es muy similar al de Gravity. Al igual que en el caso anterior, el sensor está formado por un electrodo y un módulo de la señal del electrodo para que pueda ser interpretada adecuadamente por el sistema de monitorización.

Especificaciones técnicas

- Voltaje de funcionamiento: 3,3 – 5,5 V
- Voltaje de señal de salida: 0 – 2,3 V
- Consumo de corriente: 3 – 6 mA
- Rango de medición TDS: 0 – 1000 ppm
- Precisión de la medición de TDS: $\pm 10\%$ FS (25°C)

- Tipo de conector del módulo: XH2.54-3P
- Tipo conector del electrodo: XH2.54-2P
- Número de puntas del electrodo: 2
- Longitud del electrodo: 60 cm
- Color: blanco



Figura 19. Sensor de Total de Sólidos Disueltos de Keystudio

4 – Flujo de agua

Con el objetivo de detectar de forma rápida fallos de riego debido a posibles averías en la bomba utilizada para el riego, atascamientos, falta de agua,... se instala a la salida de la bomba un sensor de detección de flujo de agua. El objetivo de este sensor es detectar si está pasando agua por la tubería a la salida de la bomba durante los momentos de riego. En caso de que no se detecte agua en el momento que toque regar, se generará un aviso fallo de riego.

En esta ocasión, solo se ha manejado un tipo de sensor debido a que se ha utilizado en proyectos anteriores y se conocen perfectamente sus prestaciones. En concreto, el modelo utilizado es YF-S201, que está disponible en varios fabricantes y distribuidores. El YF-S201 es un sensor de flujo constituido por un cuerpo de plástico, un rotor de agua y un sensor de efecto Hall. Utiliza un sensor con aspas o álabes para medir la cantidad de líquido que se ha movido a través de él según el sentido de la flecha. Las aspas tienen un pequeño

imán y hay un sensor magnético de efecto Hall que registra cada vuelta de las aspas, esto genera impulsos de salida a una velocidad proporcional a la velocidad de flujo. Contando los pulsos de la salida del sensor, puede seguir fácilmente el movimiento del fluido: cada pulso es de aproximadamente 2,25 mL. No es un sensor de alta precisión, ya que la frecuencia del pulso varía un poco dependiendo de la velocidad de flujo, la presión del fluido y la orientación del sensor, por lo que se necesitará calibración si se requiere más que un 10% de precisión. Sin embargo, en este caso no se va a usar para contabilizar la cantidad de agua, sino simplemente para detectar la presencia de flujo.

Especificaciones técnicas

- Voltaje de funcionamiento: 4,5 – 5V
- Consumo de corriente: máx. 10 mA
- Tipo de salida de datos: onda cuadrada pulsante
- Pulsos por litro: 450
- Presión máxima: 1,75 MPa.
- Caudal de trabajo: 1 a 30 L/min
- Rango de humedad de funcionamiento: 35% - 90% HR
- Diámetro de los conectores: 7 mm aprox.
- Temperatura de funcionamiento: -25°C a +80°C.
- Cable Rojo: Conector alimentación positiva.
- Cable Negro: Conector alimentación negativa.
- Cable Amarillo: Salida de señal.



Figura 20. Caudalímetro YF-S201

5 – Intensidad lumínica

Las plantas ubicadas en interiores necesitan un buen control de la cantidad de tiempo que están expuestas a la luz, por lo que es de vital importancia poder medir la intensidad lumínica que reciben en todo momento y, en caso de que no sea suficiente, encender un sistema de iluminación artificial que permita que las plantas reciban la cantidad de luz adecuada.

Al igual que en el caso de la medición de nivel de agua, se prueban varios tipos de sensores para poder realizar pruebas empíricas y seleccionar el que mejor se adapta al proyecto.

5.1 – Sensor de luz ambiental (0 – 200 kLx)

El primer modelo de sensor empleado está empaquetado en una envoltente semiesférica transparente que ofrece un mejor poder de captación de luz. El sensor admite un rango de detección de 0 – 200 kLx y está optimizado para imitar la percepción de la luz ambiental al ojo humano, incorporando capacidad de bloqueo de IR e IV.

Especificaciones técnicas

- Voltaje de funcionamiento: 2,7 – 6 V
- Consumo de corriente: 7 mA
- Rango de medición: 0 – 200 kLx
- Precisión: 0,054 kLx
- Comunicación: I2C
- Rango de temperaturas de trabajo: -40 °C a 85 °C
- Dimensiones: diámetro inferior de 22 mm, diámetro exterior de 26 mm, diámetro de la carcasa de 28,5 mm y altura de la semiesfera de 18 mm.



Figura 21. Sensor de luz ambiental.

5.2 – Sensor de luz ambiental IP68 (1 – 65535 Lx)

El segundo modelo utilizado se trata de una opción resistente al agua diseñada para mediciones precisas de intensidad lumínica comprendidas entre 1 y 65535 Lx. Además, incorpora una función de rechazo del ruido de la luz de 50 Hz/60 Hz que garantiza un rendimiento estable y fiable.

Por otra parte, el sensor cuenta con un grado de impermeabilidad IP68, lo que significa que puede llegar a sumergirse completamente en agua sin sufrir ningún tipo de daño. Además, dispone de una envolvente fácilmente integrable en cualquier tipo de superficie.

Especificaciones técnicas

- Voltaje de funcionamiento: 5V
- Consumo de corriente: 1 μ A
- Rango de medición: 1 – 65535 Lx
- Precisión: 1,2 Lx
- Comunicación: I2C
- Rango de temperatura de trabajo: -40 °C a 85 °C
- Grado de protección: IP68
- Longitud de la rosca: 10 mm
- Tamaño de la rosca: 26 mm
- Tamaño de la tuerca: 31 mm
- Diámetro del cable: 3 mm
- Longitud de cable: 1 m



Figura 22. Sensor de luz ambiental IP68.

ACT. 2.2. ESTUDIO, DISEÑO, SELECCIÓN Y MONTAJE DE CAJA DE MONITORIZACIÓN PARA REGISTRO DE DATOS DE LOS DIFERENTES SENSORES.

RESULTADO: obtención de un diseño de caja de monitorización.

Una vez realizada la selección de los sensores a utilizar en el proyecto, se ha llevado a cabo un pequeño análisis del número y el tipo de entradas necesarias para poder registrar los datos provenientes de los sensores a través de una caja de monitorización (datalogger).

Inicialmente, se partió de un datalogger diseñado por Perfect Numbers para otras aplicaciones, al que se le realizaron una serie de modificaciones para adaptarlo a este proyecto y poder registrar la información de todos los sensores utilizados. Este equipo del que se parte está basado en un microcontrolador de tipo Arduino y sus características técnicas más importantes se detallan a continuación:

Tabla 6. Características técnicas del datalogger de partida

Microcontrolador	Arduinio Mega 2560 Rev 3
Comunicaciones	Envío de datos a través de módulo 2G con tarjeta SIM
Antena	Antena externa acodada con ganancia de 2dBi
Número de entradas analógicas accesibles	5
Número de entradas digitales accesibles	5
Número de entradas I2C	1
Número de entradas SPI	1
Pantalla	Pantalla LCD 20x4 de color azul
Teclado	Teclado analógico de 5 botones
Batería	Mini UPS utilizado para detectar cortes de luz

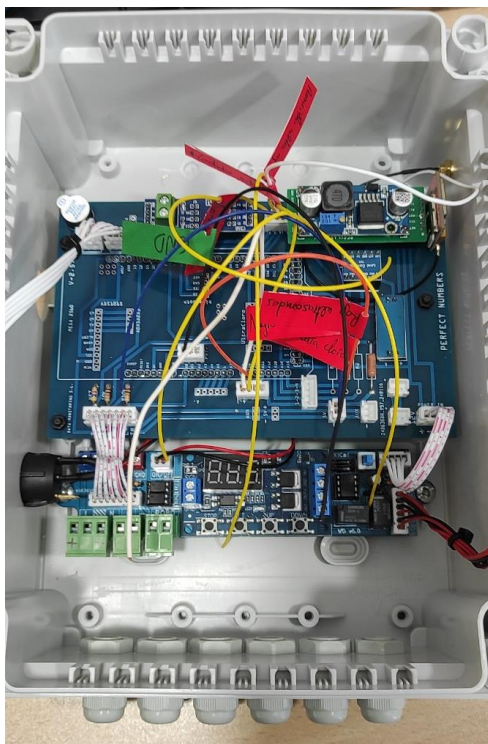


Figura 23. Datalogger de partida

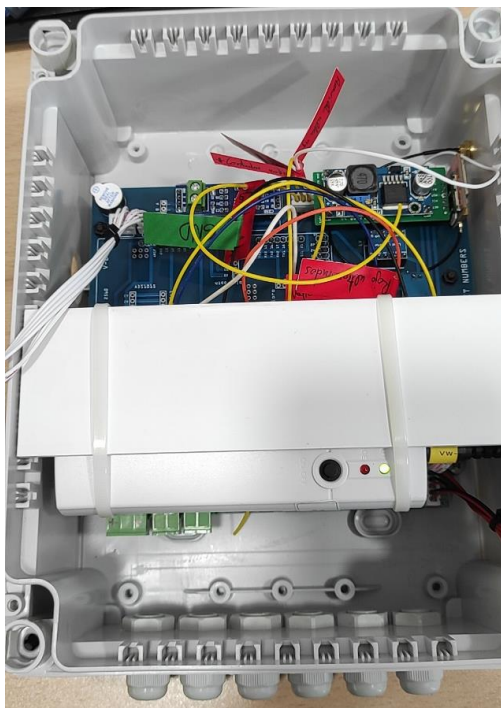


Figura 14. Datalogger de partida con mini UPS para detección de cortes de luz

Debido a la gran cantidad de sensores utilizados durante las pruebas realizadas en este proyecto, y con el objetivo de facilitar lo máximo posible la instalación al personal de la universidad, se tomó la decisión de diseñar una caja auxiliar de conexiones. Por lo tanto, el sistema de monitorización en esta primera fase experimental está formado por dos cajas: el datalogger y la caja de conexiones.

Tal y como se comentó, fue necesario realizar una serie de modificaciones en el datalogger original para poder conectar todos los sensores. A continuación, se mencionan los cambios realizados:

1 – Eliminación del mini UPS para detección de cortes de luz

En este proyecto no es necesario detectar cortes en el suministro eléctrico por lo que se decide prescindir del mini UPS con el objetivo de reducir costes. Para ello, hay que tener en cuenta que esta batería, además de garantizar el suministro energético cuando produce un corte de luz, también proporciona salidas de tensión de 12V (2A) y 5V (1A) al datalogger, por lo que es necesario sustituirla por una PCB que proporcione estos mismos voltajes de salida.

Se ha diseñado una PCB específica que incorpora un regulador de tensión que proporciona este tipo de voltaje de salida y el mismo tipo de conectores que la batería. Esto hace que el datalogger sea compatible con ambos sistemas y que en el futuro, si se decide incorporar la detección de cortes de luz, se pueda conectar el mini UPS sin necesidad de realizar ninguna modificación la electrónica del datalogger.



Figura 25. PCB No Battery

2 – Aumento del número de entradas analógicas

En el datalogger de partida están accesibles únicamente cinco entradas analógicas. Debido a que este tipo de entradas son necesarias para los sensores de conductividad y de humedad es necesario añadir acceso a una cantidad mayor de entradas. Para ello, hay que modificar la PCB del datalogger y soldar unos conectores adicionales que den acceso a esas entradas. Con esta modificación, se pasa de 5 entradas a 13 entradas analógicas.

3 – Cambio del módulo GPRS por un módulo WiFi

Se ha sustituido el módulo de comunicación GPRS del datalogger por un módulo WiFi. Este cambio se realiza para evitar el uso de tarjetas SIMs, aprovechando que los jardines verticales van a estar instalados siempre en zonas con redes WiFi disponibles. Esta modificación implica desarrollos a nivel de programación, pero no supone ningún cambio a nivel de hardware, puesto que el módulo GPRS y el módulo WiFi utilizado son compatibles y tienen la misma disposición de pines.

4 – Uso de expansor I2C.

Los sensores de luminosidad utilizan el bus de comunicación I2C y traen una dirección fija que no se puede modificar. Por lo tanto, y debido a que el microcontrolador Arduino utilizado solo dispone de una entrada I2C en la que no se pueden leer varios sensores con la misma dirección, se hace necesario la utilización de un expansor I2C que permita leer todos los sensores de luminosidad. Para ello, se ha decidido usar el modelo PCA9548A debido a la gran cantidad de librerías open source existentes y compatibles con el microcontrolador utilizado.

Este módulo expansor se lee a través del bus I2C y su dirección es configurable a través de los pines A0, A1 y A2. En este módulo se pueden conectar varios sensores I2C con la misma dirección, a través de los diferentes canales, y sus valores se leen todos a en la dirección I2C del módulo expansor. Por otra parte, es importante remarcar que es necesario identificar en que canal se conecta cada sensor de luminosidad para poder identificar cual de ellos se está leyendo.

Especificaciones técnicas:

Voltaje de alimentación: 5Vcc

Pines de configuración de la dirección I2C: A0, A1 y A2

Direcciones I2C configurables: desde 0x70 hasta 0x77

Tabla 7. Configuración de las direcciones I2C del expansor PCA9548

A2	A1	A0	Dirección
L	L	L	0x70
L	L	H	0x71
L	H	L	0x72
L	H	H	0x73
H	L	L	0x74
H	L	H	0x75
H	H	L	0x76
H	H	H	0x77

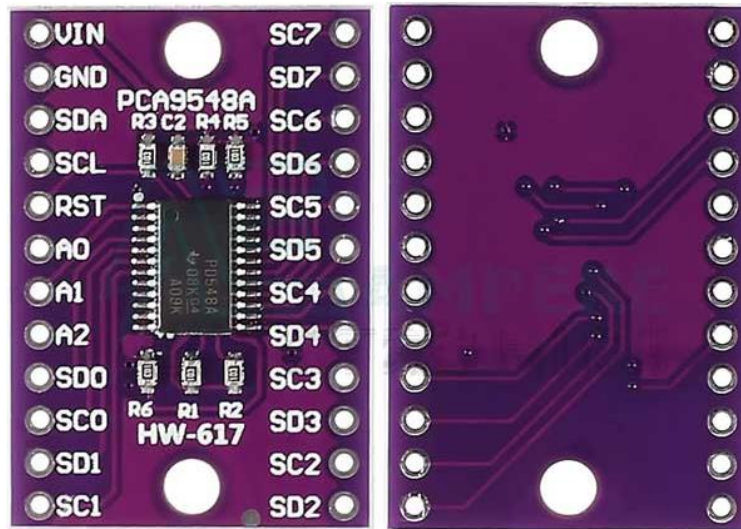


Figura 26. Expansor I2C PCA9548A

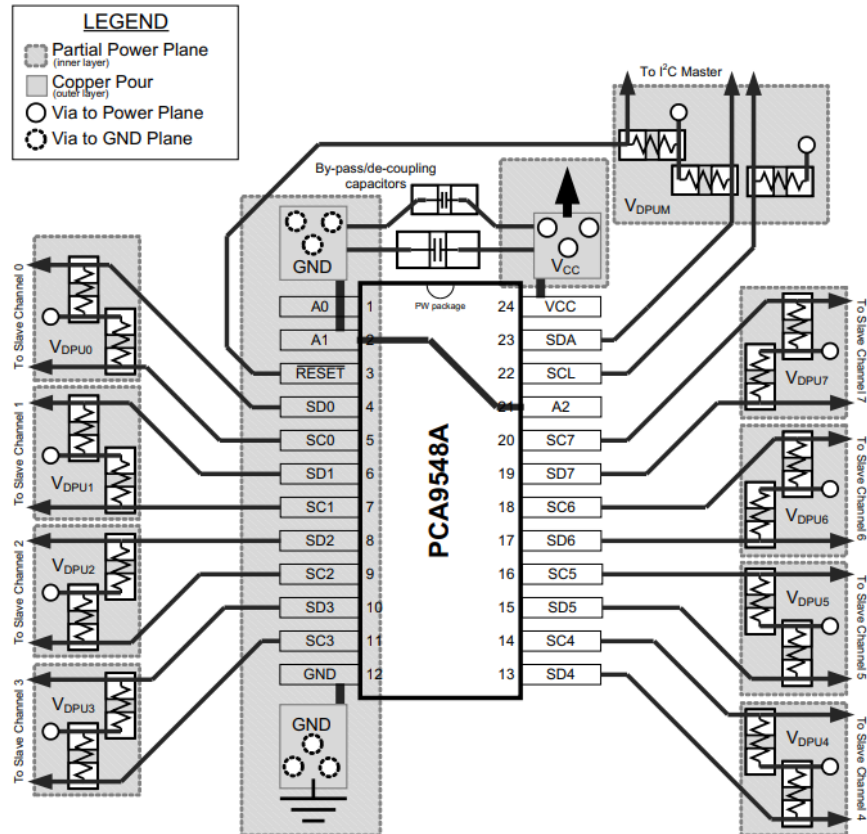


Figura 28. Layout del módulo expensor I2C

5 – Caja auxiliar de conexiones

La gran cantidad de sensores utilizados en este proyecto provoca que, con el objetivo de facilitar la instalación y que en la caja del datalogger no se acumulen numerosos módulos electrónicos que ocupan demasiado espacio, sea necesario la utilización de una caja auxiliar de conexiones. Esta caja contiene una PCB diseñada específicamente para este proyecto y en la que se conectan todos los sensores. Además, en ella también se incluyen todos los módulos de acondicionamiento de las señales de los sensores (por ejemplo, los sensores de humedad y los de conductividad necesitan un módulo que transforme su señal en una señal estándar que se pueda leer a través de un microcontrolador) y el expensor I2C.

Los sensores se conectan a la caja auxiliar de conexiones y, a su vez, ésta se conecta con la caja principal del Datalogger.



Figura 29. Caja auxiliar de conexiones

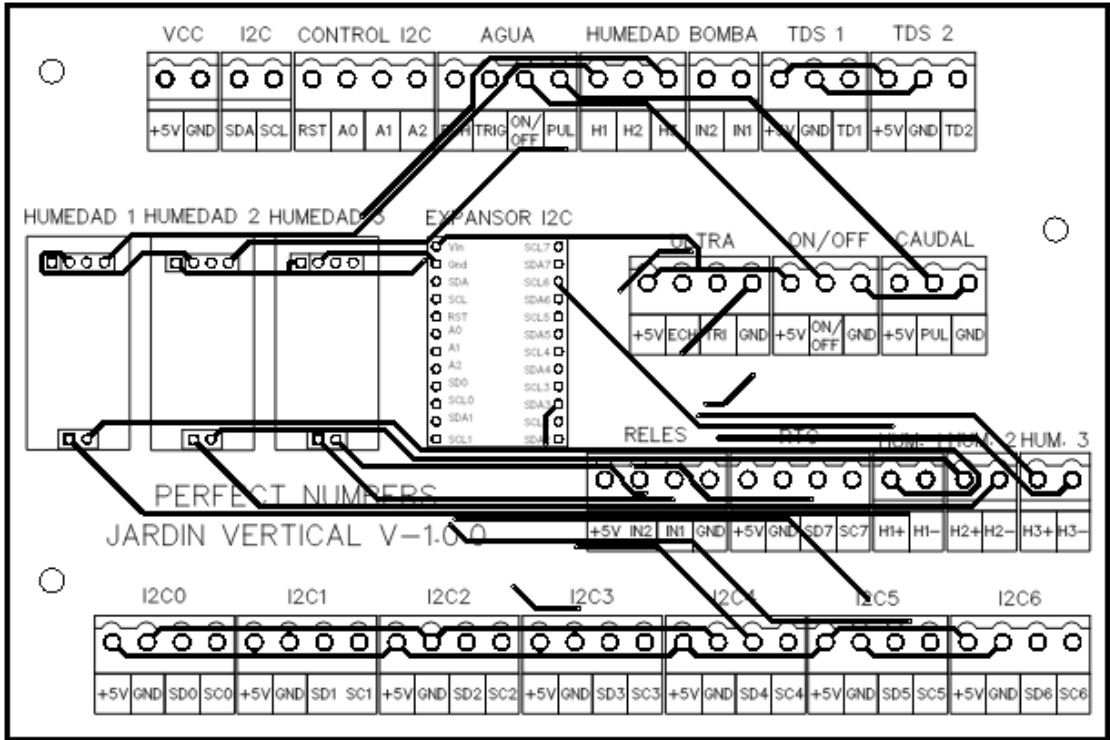


Figura 30. Layout PCB de la caja auxiliar de conexiones

Teniendo en cuenta todo lo comentado hasta ahora, la instalación queda de la siguiente manera:



Figura 31. Esquema de conexiones



Figura 32. Dataloggers, cajas de auxiliares de conexiones y sensores montados en jardines

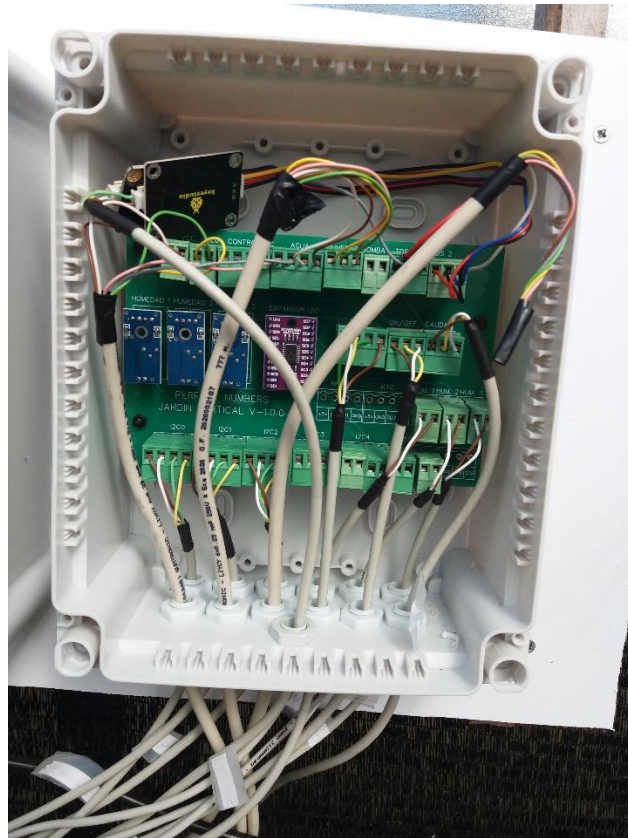


Figura 33. Caja auxiliar de conexiones

ACT. 2.3. ESTUDIO Y DEFINICIÓN DE LA COLOCACIÓN DE LOS SENSORES EN LA ESTRUCTURA DE JARDÍN VERTICAL. MESES 1-7.

RESULTADO: determinación de la localización exacta de los sensores dentro de la estructura de jardín vertical.

Para la evaluación del funcionamiento de los sensores y su ubicación en los paneles modulares de jardín vertical se hizo un ensayo en el invernadero de vidrio de la Escuela Politécnica Superior de Ingeniería de la USC en Lugo. Se ensayaron los dos tipos de soporte de cultivo en sistema hidropónico recirculante previamente seleccionados:

- Sistema de tela con bolsillos (Figura 34): formado por dos capas de fieltro reciclado suministrado por Paisajismo Urbano® grapadas sobre planchas de PVC espumado de 18 mm de espesor, donde se formaron los bolsillos en el momento de instalación de las plantas al grapar la tela exterior.



Figura 34. Sistema de tela con bolsillos, detalle de los fieltros (derecha) e instalación de las plantas con formación de los bolsillos por grapado (izquierda)

- Sistema de lana de roca (Figura 35): formado por una lámina de lana de roca de 4 cm de espesor del sistema Urbanscape®, reforzada con malla plástica de 1 cm de luz y fijada a planchas de PVC espumado de 18 mm de espesor con soportes plásticos dispuestos al tresbolillo de 22 cm de lado. Para la instalación de las plantas con cepellón se retiró el volumen equivalente de lana de roca.



Figura 35. Sistema en lana de roca, detalle de los materiales (derecha) y panel de 1,5 x 2 m montado y preparado para su instalación (derecha)

Además, ambos sistemas se ensayaron dos tamaños de paneles con 2 niveles de sensorización, de cada uno de los cuales se fabricaron 3 unidades, dando un total de 12 paneles en ensayo:

- Paneles grandes

- Dimensión: de 150 cm de ancho x 200 cm de altura
- Orientación: oeste
- Sistema hidropónico recirculante formado por:
 - Depósito opaco de polietileno (PE) de 200 L
 - Bomba sumergible modelo RS-7803 de Oceanoshop, de 70 W 220-240 VAC, 6000 L/h de caudal y 3,5 m de altura máxima de impulsión, compatible con agua salada.
 - Conducción por tubería de PE de 16 mm y emisores formados por microtubos de 3x1 mm de 2 cm de longitud insertados cada 5 cm en la tubería que recorrió el panel por su parte superior.
 - Sistema de recogida de drenajes para recirculación mediante canaletas de PVC
- Nivel de sensorización alto, que incluyó todos los parámetros y sensores probados:

- humedad: 3 tipos de sensores a 3 alturas: en el tercio superior, medio y tercio inferior
- luz: con sensores orientados hacia arriba y situados en soportes metálicos 20 cm por delante de la superficie del panel y a 3 alturas: en el tercio superior, medio y tercio inferior
- nivel de agua en el depósito
- TDS
- flujo de agua

Todos los sensores fueron debidamente cableados manteniendo la impermeabilidad y conectados al sistema de monitorización diseñado por Perfect Numbers, formado por 2 cajas estancas (1 de control y otra auxiliar de conexiones), con envío de datos a un sitio web y a una app para la visualización y descarga de datos, para lo que se instaló un modem al efecto.

- Vegetación: en estos paneles se instalaron plantas en un marco de 15 x 15 cm, resultando 10 columnas y 13 filas, un total de 130 plantas, que fueron de 5 especies de las seleccionadas en el ensayo de fitotrom, cada una ocupando 2 columnas (26 plantas):
 - *Ajuga reptans* 'Black Scallop'
 - *Brachyscome angustifolia* Brasco® Violet
 - *Sedum rupestre* 'Angelina'
 - *Phlox Phloxstar* 'Red'
 - *Hedera helix* 'Miniata Variegata'

En cada una de las 3 repeticiones de cada sistema se alteró de forma aleatoria la sucesión de especies.

- Paneles pequeños

- Dimensión: de 75 cm de ancho x 500 cm de altura
- Orientación: sur
- Sistema hidropónico recirculante formado por:
 - Depósito opaco de polietileno (PE) de 17 L
 - Bomba sumergible de 15 W 220-240 VAC, 1000 L/h de caudal y 1,25 m de altura máxima de impulsión, grado de impermeabilización IP67, compatible con agua salada, suministrada por Suslow.
 - Conducción por tubería de PE de 16 mm y emisores formados por microtubos de 3x1 mm de 2 cm de longitud insertados cada 5 cm en la tubería que recorrió el panel por su parte superior.

- Sistema de recogida de drenajes: vertido directo en el depósito.
- Nivel de sensorización bajo, que incluyó los parámetros relacionados con el funcionamiento del sistema hidropónico:
 - nivel de agua en el depósito
 - TDS
 - flujo de agua

Los sensores fueron cableados y conectados al sistema de monitorización de modo equivalente a los paneles pequeños.

- Vegetación: en estos paneles se instalaron plantas en un marco de 15 x 15 cm, resultando 6 columnas y 3 filas, un total de 18 plantas, que fueron de 3 especies de las seleccionadas en el ensayo de fitotrom, cada una ocupando 2 columnas (6 plantas):
 - *Ajuga reptans* 'Black Scallop'
 - *Brachyscome angustifolia* Brasco® Violet
 - *Sedum rupestre* 'Angelina'
 - *Phlox Phloxstar* 'Red'
 - *Hedera hélix* 'Miniata Variegata'

En cada una de las 3 repeticiones de cada sistema se alteró de forma aleatoria la sucesión de especies.



Figura 36. Vista general de los 6 paneles grandes en ensayo: tela con bolsillos (izquierda) y lana de roca (derecha)



Figura 37. Vista general de los 6 paneles pequeños en ensayo: tela con bolsillos (izquierda) y lana de roca (derecha)

La solución nutritiva para el riego de los paneles se preparó a partir de un abono NPK (Mg-S) 15-5-30 (2-10) con micronutrientes a una concentración de 0,5 g/L, lo que supuso un incremento de conductividad eléctrica (CE) de aproximadamente 0,7 dS/m. La solución final tuvo una CE de aproximadamente 0,85 dS/m ya que la del agua de riego rondaba los 0,15 dS/m. La solución fue reponiéndose a medida que se consumía y fue controlándose la evolución de su concentración a lo largo del ensayo. Dado que el abono no contenía calcio, se aplicó vía folia por pulverización.

Los sensores instalados en los paneles fueron permanentemente alimentados y por el sistema de monitorización, por lo que sus medidas fueron continuas según el tiempo de medición de cada uno, pero para el seguimiento se hizo un registro de los datos cada 5 minutos. Además, se registró la temperatura y humedad relativa ambiente del invernadero cada 10 minutos mediante un registrador Escort iLog El-HS-D-32-L

De la experiencia de montaje y operación de los sensores durante varios meses de ensayo se derivó información relativa a su rendimiento y a la posición en que puede ser más conveniente su instalación definitiva

- **Nivel de agua**

En las figuras 38 y 39 se muestran las relaciones y rectas de regresión entre el volumen de solución nutritiva y las lecturas de distancia de los dos modelos de distanciómetros por ultrasonidos utilizados tanto en los paneles grandes como en los pequeños

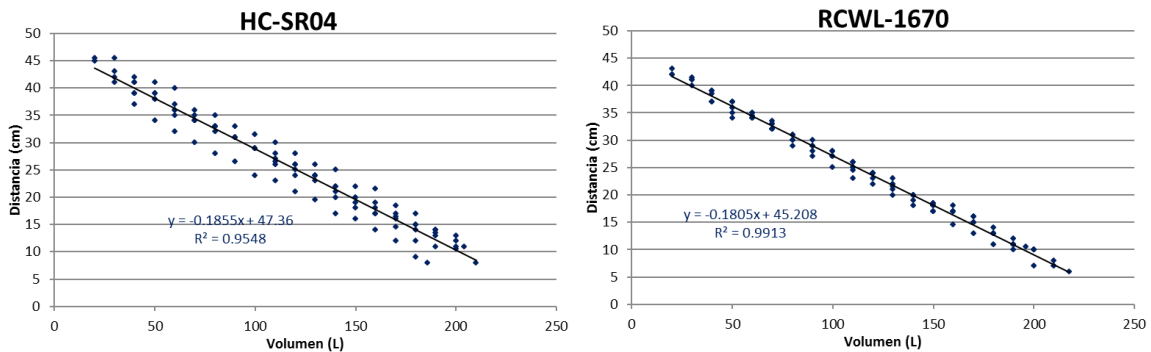


Figura 38. Relación entre el volumen de solución nutritiva en el depósito de los paneles pequeños y la medida de los sensores de distancia instalados.

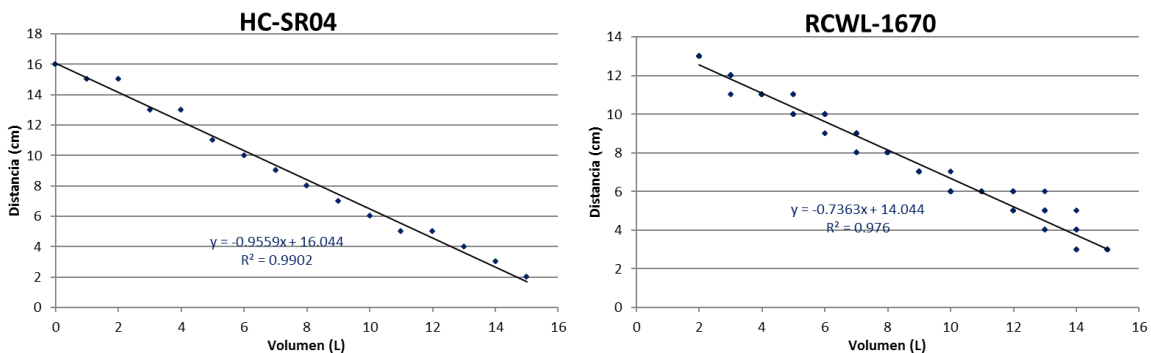


Figura 39. Relación entre el volumen de solución nutritiva en el depósito de los paneles grandes y la medida de los sensores de distancia instalados.

Las lecturas de distancia con estos sensores fueron razonablemente precisas para el uso requerido (Figura 40). Sin embargo, los sensores HC-SR04 después de un tiempo dieron problemas importantes de irregularidad en las lecturas y acabaron por dejar de funcionar, lo que se achacó a la corrosión de los elementos sensibles debido a la acumulación de humedad por condensación. La aparición de este problema está relacionada con la forma de instalación y no siempre tiene que darse, pero el sensor RCWL-1670 no lo sufrió, por lo que es preferible por seguridad.

En cuanto a la colocación, por su forma de medir deben situarse por encima del depósito de solución nutritiva, orientado a la superficie del líquido, teniendo en cuenta que tienen una distancia mínima de medición y el ángulo de apertura (2 cm y 15° respectivamente en los 2 modelos ensayados). Debe evitarse la posibilidad de que se moje la parte electrónica, preferentemente situándolo en una caja estanca o al menos lejos de posibles salpicaduras y de la condensación. Si se quiere que el depósito pueda moverse y retirarse para posibles operaciones de limpieza o mantenimiento el sensor no debe sujetarse en el propio depósito o debe ser fácil de desconectar del cable. Posicionar el sensor en el propio depósito cerca del nivel de agua favorece la acumulación de condensación en el sensor que puede acortar la vida útil del sensor por corrosión, que afectaría al HC-SR04, mientras que el RCWL-1670 sería resistente.

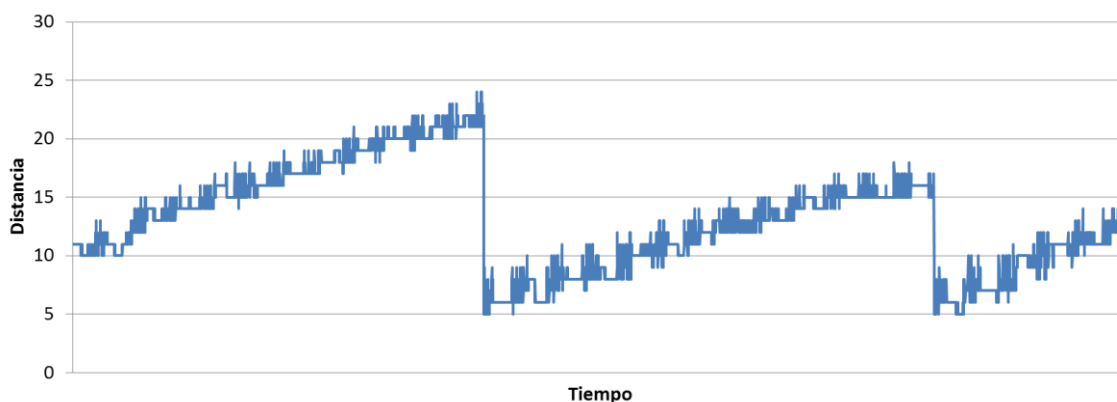


Figura 40. Lecturas de distanciómetro por ultrasonidos en un bidón de panel grande durante dos ciclos de llenado y vaciado de la solución nutritiva.

Por su parte el sensor capacitivo XKC-Y25-V es de utilidad más limitada, ya que no aporta información del estado de nivel en un momento concreto, sino sólo si el nivel de líquido está por encima o por debajo de un valor, por lo que sólo tendría utilidad en la configuración de alarmas. Y para este uso la lectura no se mostró suficientemente estable, ya que en la lectura continua hay momentos en los que la lectura cambia sin que haya razón para ello y eso daría lugar a la generación de alarmas falsas. Tiene posibilidad de regulación de la sensibilidad, pero eso puede hacer disminuir la frecuencia del comportamiento errático, pero no lo llega a eliminar totalmente. Por tanto, este sensor se mostró poco útil.

- Humedad

El rango de lecturas fue desde 1023 en seco y 350 cuando se sumergió en la solución nutritiva. Colocados en los paneles tanto de tela como de lana se pudo establecer una relación de la lectura con la humedad de los materiales (Figura 41), si bien se observó un cambio de lectura bastante reducido entre el valor de los materiales escurridos y totalmente en seco (1023), lo que condiciona su uso para configurar una alarma de secado excesivo.

La evolución de las lecturas de estos sensores describió bien los ciclos de humectación-secado y los gradientes de humedad entre las tres alturas a las que fueron instalados (Figura 42). Sin embargo, los valores concretos obtenidos por todos los sensores colocados a lo largo del tiempo no son totalmente consistentes y pareció que fueron bastante afectados por la forma de instalación y concretamente con el contacto con la lana o la tela. Por tanto, no se puede esperar una lectura precisa y regular de estos sensores, de modo que pueden ser útiles para dar una información aproximada del estado de humedad y también para configurar una alarma de secado excesivo del panel; pero su respuesta no es suficientemente fiable y precisa como por ejemplo para programar los riegos en base a su lectura.

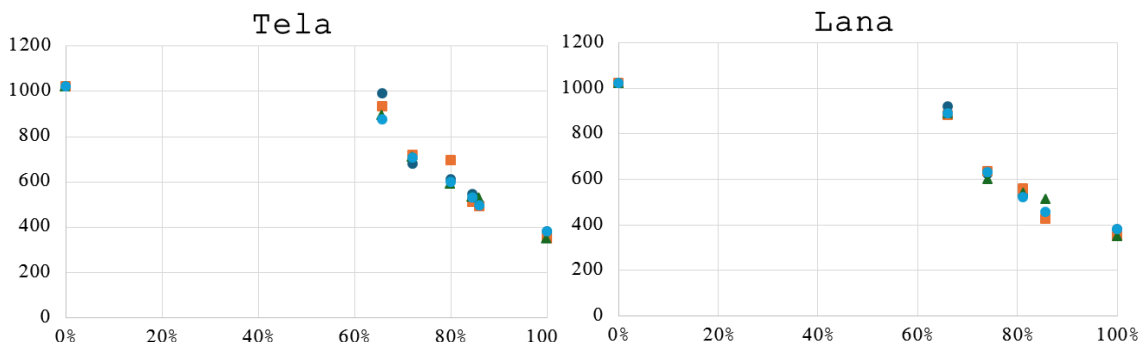


Figura 41. Relación entre las lecturas de los sensores de humedad y el contenido de humedad de los materiales (izquierda: tela con bolsillos; derecha: lana de roca)

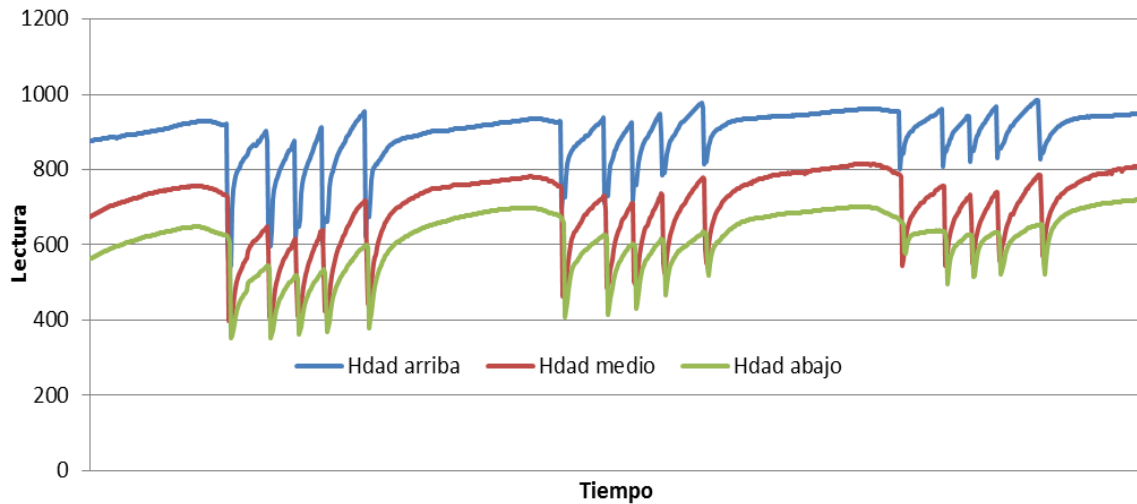


Figura 42. Evolución de las lecturas de sensores de humedad colocados a tres alturas en los paneles a lo largo de 3 días con 5 riegos programados.

Los sensores resistivos FC-28 mostraron un buen comportamiento tras su instalación, pero unos meses después su respuesta fue haciéndose mejor hasta dejar de medir completamente debido al deterioro de las placas metálicas que constituyen el elemento sensible de la sonda YL-69. Es sabido acortan la vida útil de esta sonda tanto su permanencia continua en el sustrato húmedo como el hecho de estar continuamente alimentada en vez de recibir corriente únicamente para medidas puntuales. Este problema no lo tuvieron los sensores HD-38, con sonda resistente a la corrosión, ni los sensores capacitivos.

En cuanto a la posición recomendada puede depender de la finalidad con que se usen. De cara a establecer una alarma de secado excesivo por falta o insuficiencia de riego la posición más adecuada es la superior, ya que es la que más seca permanece en todo momento. En ese caso se podría establecer la lectura de alarma en valores cercanos al seco total (por ejemplo 1000) con el inconveniente de la baja sensibilidad del sensor en esa zona de la curva de respuesta. Con el objetivo de dar información del estado de humedad del panel, de forma más cualitativa que cuantitativa (adecuada, alta o baja) quizá la posición más representativa fuera la central, pero también la posición superior podría ser usada; la posición inferior siempre permanece muy húmeda, con menos oscilación de contenido de agua, por lo que sería la menos representativa para este propósito.

-

-

-

- Conductividad eléctrica

Los dos sensores de total de sólidos disueltos (TDS) mostraron un comportamiento similar (Figura 43). Sus lecturas fueron bastante parecidas y sólo aproximadas al valor real. Además, hay una cierta falta de estabilización de la medida, que da lugar a una oscilación continua de en torno a 100 ppm. Por tanto, la utilidad de estos modelos de sensor es limitada y sería bueno recurrir a otros modelos de respuesta más fiable, pero aun así podrían ser utilizados para configurar alarmas en rangos amplios.

Por otra parte, como la conductividad eléctrica depende de la temperatura hay una variación de los valores obtenidos con la temperatura de la solución nutritiva, que se puede observar a corto plazo en los ciclos día-noche y a largo plazo entre épocas del año. Esta variación podría compensarse posteriormente mediante una ecuación para dar el valor a una temperatura de referencia, para lo que sería necesario medir la temperatura del líquido con un sensor adicional.

En cuanto a la posición, la parte sensible del sensor debe estar introducida permanentemente en la solución nutritiva y no debe estar en contacto con la pared del depósito, pues esto podría afectar a su medida. Como el sensor es impermeable no es necesario perforar el depósito, sino que puede ser simplemente introducida y suspendida del cable a la altura deseada. La acumulación de sedimentos en la parte sensible de la sonda puede acabar afectando a la medida, por lo que será necesario limpiarla al menos cuando se limpie el depósito de solución nutritiva.

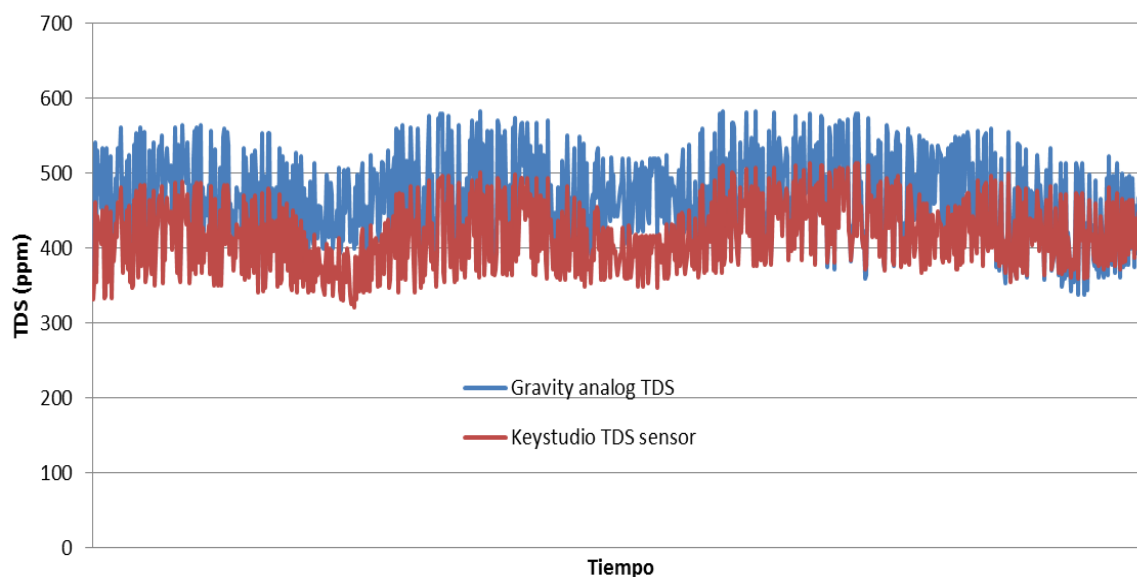


Figura 43. Evolución de las lecturas de sensores de conductividad eléctrica a lo largo de 3 días.

- **Flujo de agua**

El caudalímetro YF-S201 utilizado detectó adecuadamente los riegos realizados (Figura 44). Como la lectura de su señal se limitó a la presencia/ausencia de caudal la precisión en el valor del mismo no fue registrada por no tener significación.

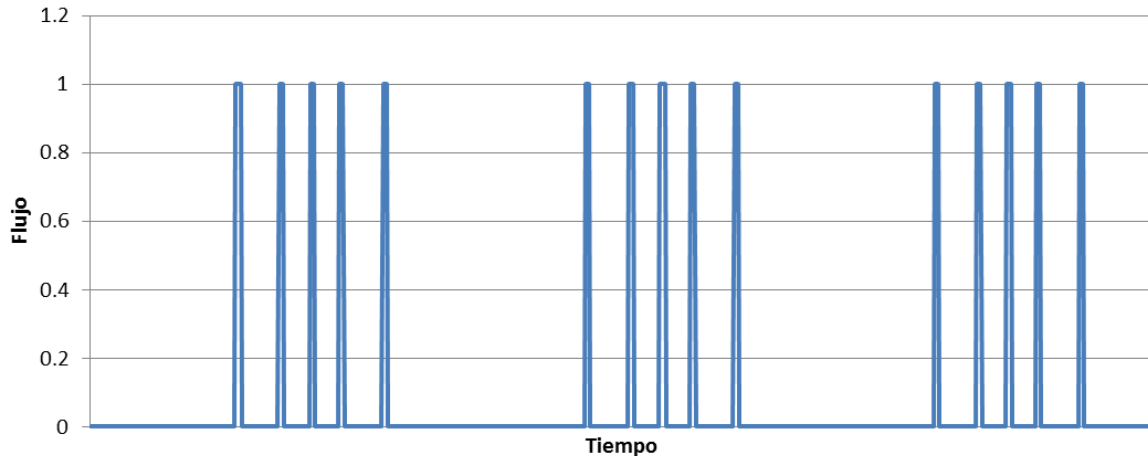


Figura 44. Lectura del caudalímetro (presencia/ausencia de flujo) a lo largo de 3 días con 5 riegos diarios programados.

Por tanto, este sensor resultó adecuado para el uso requerido y su posición puede ser cualquiera entre la salida de la bomba y los emisores de riego.

- **Iluminación**

Los luxómetros instalados a tres alturas en los paneles reflejaron adecuadamente la evolución de la iluminación con precisión razonable (Figura 45). Las medidas fueron bastante estables, aunque algunos días en los momentos de mayor iluminación puede haber bastante oscilaron sobre todo en la parte inferior, que se relaciona con la presencia de nubosidad, lo cual ocurre por estar colocados en invernadero y no debería darse tanto en una situación de interior.

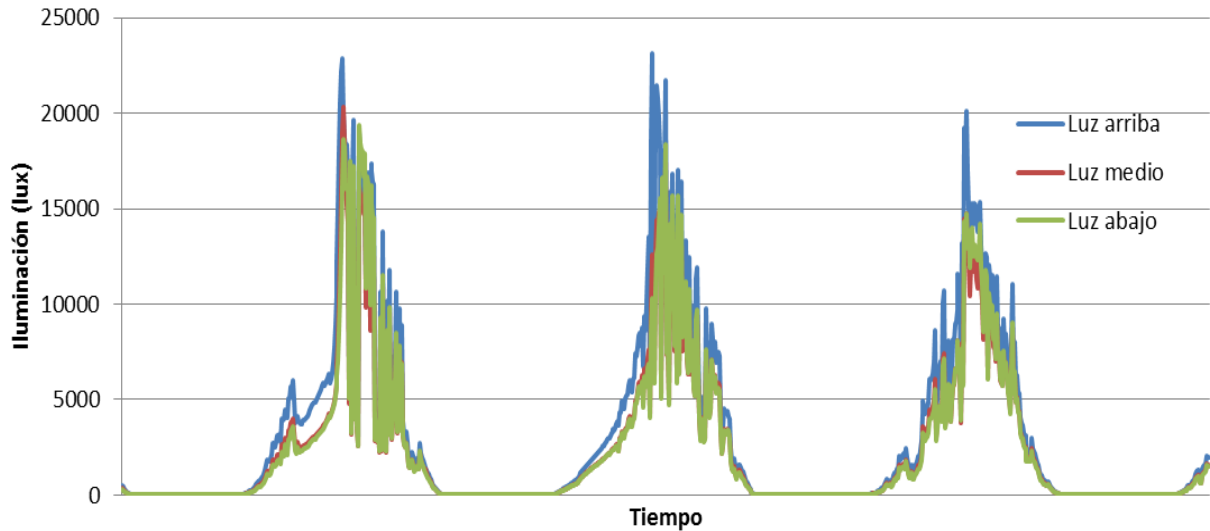


Figura 45. Evolución de las lecturas de los luxómetros colocados a tres alturas en los paneles a lo largo de 3 días.

Los valores de iluminación fueron elevados sobre todo en las horas centrales del día y a pesar de que se utilizó malla de sombreo para limitar la radiación y el ascenso de temperatura en el invernadero. Los valores de los sensores situados en la parte de arriba fueron ligeramente superiores a los de aquellos situados en posición central o inferior. Esto también tiene relación con la localización en invernadero, pero una vez situados en interior las condiciones de iluminación cambiarían bastante y pueden ser muy variable en función de las condiciones de orientación de la estancia y de la posición concreta del panel.

A lo largo del tiempo en que la vegetación de los paneles fue creciendo fue sombreando parcialmente los sensores, con diferencias entre repeticiones debido al diferente crecimiento de las especies situadas alrededor de los sensores en cada una, lo que dio lugar a una mayor irregularidad en las lecturas de los distintos paneles. Además, sombreo parcial afectó sobre todo en los momentos del día cuando la iluminación es más oblicua, que en los paneles grandes fue sobre todo por la mañana dada la orientación al oeste.

En cualquier caso, como el objetivo del luxómetro es encender la luz artificial de apoyo cuando no sea suficiente la iluminación natural su posición debe ser fuera del lugar de influencia de la iluminación artificial. De no ser así cuando no hubiera suficiente luz se encendería la iluminación de apoyo y el sensor pasaría a registrar un nivel suficiente de luz, lo que daría lugar al apagado de la lámpara, generando un ciclo continuo de encendidos y apagados. Por tanto, la posición elevada por encima de la zona de iluminación de la lámpara puede ser la más adecuada, donde además está libre del sombreo de la vegetación.

Las posiciones laterales o inferior también podrían llegar a ser válidas en función del diseño del panel, aunque es más fácil que estén influidas por el sombreado de otros elementos de la estancia como mobiliario.

ACT. 2.4. ESTABLECIMIENTO DE LÍMITES DE ALARMA Y RANGOS DE AUTOMATIZACIÓN DE LOS DIFERENTES SENSORES PARA MONITORIZACIÓN.

RESULTADO: obtención de datos de límites y rangos de automatización.

Del análisis de los datos de los ensayos anteriores y la experiencia del montaje y mantenimiento del sistema de monitorización se deriva la siguiente recomendación de uso del sistema y programación de posibles alarmas y automatización

- **Humedad del sustrato**

- Sensor: resistivo HD-38 o capacitivo V.2
- Posición: insertados en el sustrato en la parte alta del panel
- Respuesta automática: no, el riego debe ser programado por tiempos
- Alarmas: secado excesivo por falta de riego.
 - Valor umbral: 1000
 - Acción requerida:
 - revisar que los riegos se están realizando.
 - cambiar la programación de riego acortando el intervalo entre riegos
- Información en la app: estado de humedad según rangos cualitativos (>1000: baja, 750-1000: adecuada, <750: alta)

- **Nivel de solución nutritiva en el depósito**

- Sensor: distanciómetro por ultrasonidos RCWL-1670
- Posición: por encima del nivel máximo del líquido (al menos 2 cm), fijado en el depósito o por encima
- Respuesta automática: no
- Alarmas: volumen de solución nutritiva bajo.
 - Valor umbral: según las condiciones particulares de instalación. El volumen de solución nutritiva máximo disponible será la capacidad del depósito menos el volumen mínimo para que aspire la bomba correctamente. Para la fijación

de la alarma debe tenerse en cuenta el volumen que se aspira en cada riego y el gasto máximo de agua diario, para que la alarma avise al menos con 1 día de antelación. Además los valores de distancia medidos dependen de la posición donde esté instalado el sensor. Los valores en los paneles ensayados fueron:

	Paneles pequeños	Paneles grandes
Volumen depósito (L)	17	200
Volumen mínimo bomba (L)	5	35
Volumen máximo disponible (L)	12	165
Gasto riego (L)	2,6	16,5
Gasto diario máximo (L)	0,9	8,2
Volumen mínimo alarma (L)	8,5	60
Distancia alarma (cm)	8	35

- Acción requerida: rellenar el depósito con solución nutritiva
- Información en la app: nivel de solución disponible, en % sobre el volumen máximo disponible

- **Conductividad eléctrica**

- Sensor: Gravity Analog TDS o Keystudio TDS sensor
- Posición: introducido en la solución nutritiva sin contacto con las paredes
- Respuesta automática: no
- Alarmas: degradación de la solución nutritiva.
 - Valores umbrales: 200 y 700 ppm
 - Acción requerida:
 - renovar la solución nutritiva vaciando totalmente el depósito y volviendo a rellenarlo
 - si se repite cambiar la concentración de la solución nutritiva al preparar
- Información en la app: concentración de la solución nutritiva (<200: muy baja, 200-350: baja, 350-550: adecuada, 550-700: alta, >700: muy alta)

- **Flujo de agua**

- Sensor: Caudalímetro YF-S201
- Posición: en la conducción de riego entre la bomba y los emisores
- Respuesta automática: no
- Alarmas: falta de un riego programado.
 - Valores umbrales: valor 0 (no riego) los datos recogidos durante el periodo en que está programado un riego. Para ello el tiempo de riego no puede ser inferior al intervalo de envío de medidas.
 - Acción requerida:
 - revisar la alimentación eléctrica y el funcionamiento de la bomba
 - revisar que no falte agua en el depósito
 - revisar que no haya atascamiento en las tuberías
- Información en la app: regando/no regando

- **Iluminación**

- Sensor: luxómetro
- Posición: en la parte alta del panel fuera de la influencia de la luz de apoyo
- Respuesta automática: encendido de la luz de apoyo cuando una o varias lecturas consecutivas estén por debajo del umbral durante un periodo del día (8 horas mínimo)
 - Valor umbral: 1000 lux
- Alarmas: no.
- Información en la app: nivel de iluminación y encendido de la luz

ACT. 2.5. DIMENSIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS DEL JARDÍN EN FUNCIÓN DEL TAMAÑO DEL MISMO Y DE LOS LÍMITES DE ALARMA Y RANGOS DE AUTOMATIZACIÓN DE LOS DIFERENTES SENSORES.

RESULTADO: selección del tamaño (tanques), potencia (motor), diámetro tuberías de riego y selección de goteros, etc. De los diferentes elementos que conformarán el kit completo de jardín vertical.

Los elementos a cuantificar hacen referencia al sistema de riego del sistema hidropónico recirculante y de la experiencia del montaje y mantenimiento del sistema en los dos tamaños de paneles ensayados se deriva las siguientes pautas para el diseño.

- **Volumen del depósito:**

Depende del número de días de autonomía que se quiera dar al sistema y del gasto diario previsto en unas condiciones. El gasto diario depende de las condiciones ambientales, del tamaño del panel y también de otros factores, como el estado de crecimiento de las plantas, o la presencia de solución en las canaletas de drenaje desde donde se evapora.

En los paneles ensayados y en condiciones de altas necesidades (temperaturas máximas por encima de 30 °C) el gasto de agua puede rondó los . A este volumen hay que añadir el volumen por debajo del cual la bomba no aspira correctamente.

	Paneles pequeños	Paneles grandes
Volumen depósito (L)	17	200
Volumen mínimo bomba (L)	5	35
Volumen máximo disponible (L)	12	165
Gasto riego (L)	2,6	16,5
Gasto diario máximo (L)	0,9	8,2
Autonomía mínima (días)	10	18

- **Emisores de riego**

No es fácil utilizar goteros puesto que requieren una presión de trabajo siempre por encima de 0.5 kg/cm² (5 m.c.a.) lo que supone mucha presión adicional para una bomba pequeña que se pretende utilizar. Por ello se propone el diseño utilizado de una porción (2 cm) de microtubo de 1x3 mm insertado directamente en la tubería

- **Conducciones.**

La tubería de polietileno de 16 mm utilizada para las conducciones en los 2 tamaños de panel resultó adecuada

- **Bomba:**

Es preferible de tipo sumergible frente a las situadas en el exterior del depósito para evitar la perforación del mismo y para que sean más sencillas las operaciones de limpieza tanto del depósito como de la bomba.

Altura máxima de impulsión: incluso usando el sistema de emisores propuesto se necesitará que la bomba tenga una altura máxima de impulsión al menos 1 m.c.a. adicional a la altura a la que debe impulsar realmente el agua (desde la posición de la bomba hasta la parte alta del panel)

Caudal máximo: para un riego regular el caudal disponible en cada emisor debe ser de 1 L/min (60 L/h x nº emisores). Ese caudal debe estar disponible a la altura real de impulsión, teniendo en cuenta que el caudal máximo indicado en las características de la bomba corresponde a una altura de impulsión de 0 m.c.a. mientras que el caudal se anula (0 L/h) en la altura máxima con una relación que se puede considerar lineal.

Las bombas instaladas en los 2 tamaños de paneles cumplieron estos requisitos y dieron un servicio adecuado

HITO 3: ESTUDIO DE ELEMENTOS, CREACIÓN DE CAJA DE MONITORIZACIÓN PARA EL KIT DE MONTAJE DEL JARDÍN VERTICAL, PROGRAMACIÓN Y CREACIÓN DE SOFTWARE Y CREACIÓN DE APLICACIÓN MÓVIL PARA USUARIOS TIPO HOBBY.

ACT. 3.1. ESTUDIO DE ELEMENTOS Y CREACIÓN DE CAJA DE MONITORIZACIÓN PARA EL KIT DE MONTAJE DEL JARDÍN VERTICAL.

RESULTADO: obtención de un prototipo real de caja de monitorización

Una vez extraídas las primeras conclusiones de los ensayos realizados por la universidad, se ha optado por reducir de forma considerable el número de sensores a utilizar en la versión definitiva del kit. Los motivos que han llevamos a la toma de esta decisión son varios, tales como minimizar los costes, facilitar la instalación, suprimir el uso de la caja auxiliar de conexiones, reducir el tamaño del datalogger o evitar que el usuario disponga de un exceso de información innecesaria que provoque una mala toma de decisiones.

Por lo tanto, teniendo en cuenta estas consideraciones, el listado de sensores utilizados en el kit es el siguiente:

Tabla 8. Listado de sensores utilizados en el prototipo final

Magnitud	Tipo de sensor	Modelo	Núm. Unidades
Nivel de agua	Ultrasonidos	HC-SR04	1
Intensidad lumínica	Luxómetro		1
Conductividad	Sensor TDS	Gravity Analog TDS	1

A continuación, se muestran fotografías de la instalación de los prototipos finales en los que se han reducido todos los elementos mencionados en este documento:



Figura 46. Instalación del prototipo final (sin caja auxiliar de conexiones)



Figura 47. Instalación del prototipo final (sin caja auxiliar de conexiones) (2)

Proceso de montaje del kit

La instalación del datalogger se realiza de manera muy sencilla conectando los sensores a la placa principal del equipo. A continuación, se detallan los elementos y los lugares de conexión:

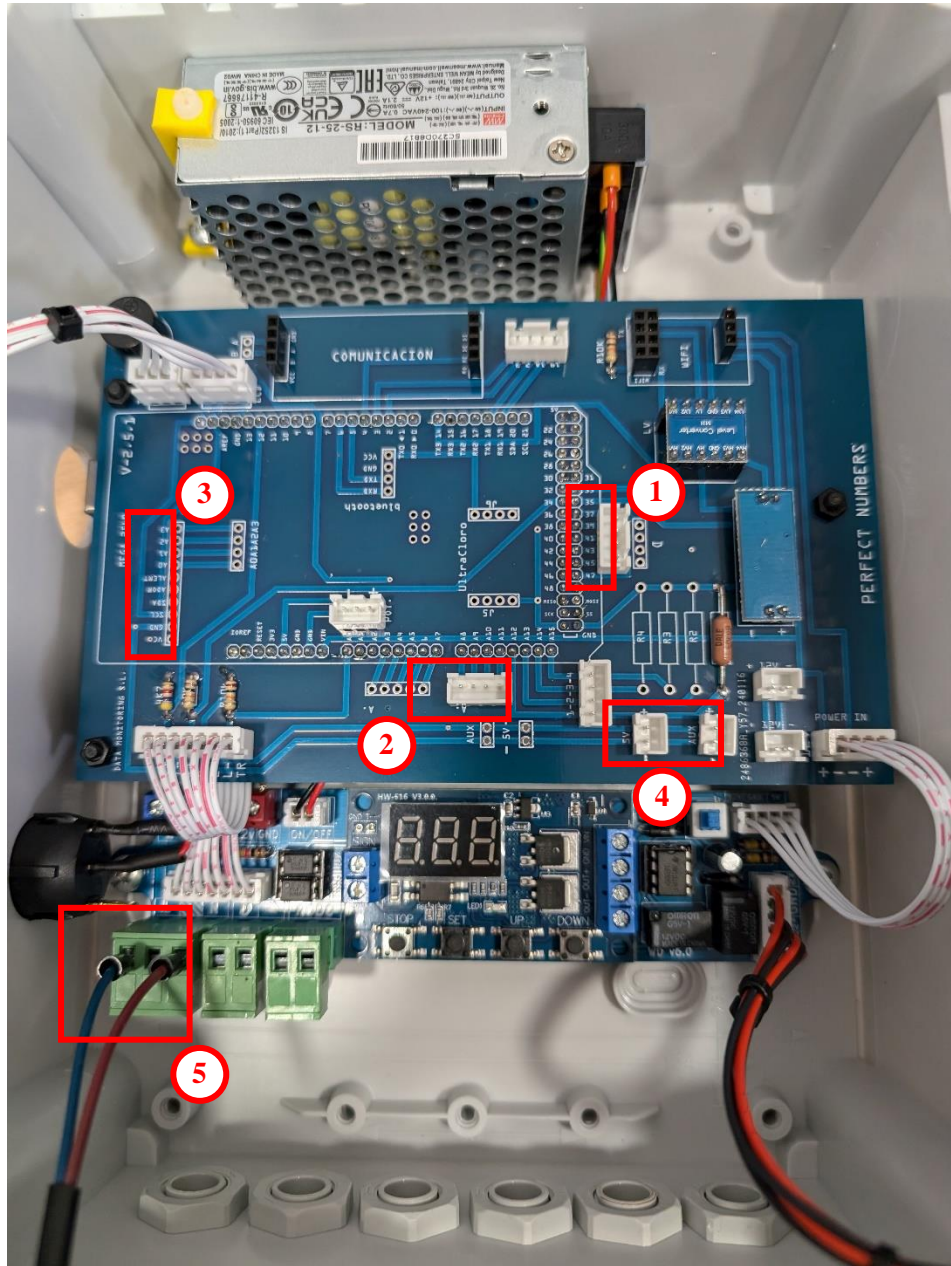


Figura 48. Lugar de conexión de los sensores

- 1 – Conexión del sensor de ultrasonidos
- 2 – Conexión del sensor de conductividad
- 3 – Conexión del sensor de intensidad lumínica
- 4 – Salida de tensión de 5Vcc para alimentar los sensores
- 5 – Alimentación eléctrica del equipo a 230Vca

Los conectores utilizados en el datalogger son conectores hembra de tipo JST XP de 2,5mm de paso. Para poder conectar los sensores se necesitan los correspondientes conectores macho JST XP de 2,5mm de paso, que ya van incluidos en el kit, junto a los sensores.

ACT. 3.2. ESTUDIO DE LA PROGRAMACIÓN Y CREACIÓN DE SOFTWARE DE APLICACIÓN MÓVIL PARA USUARIOS TIPO HOBBY.

RESULTADO: obtención de software y de aplicación móvil para monitorización de los parámetros a medir y a controlar en el jardín.

- **OBJETIVO:**

La aplicación Jardines Verticales monitoriza un panel vertical de planta viva para interiores. Sirve para asegurar el mantenimiento óptimo de las plantas mediante el control continuo de condiciones cruciales como son: la temperatura, la luminosidad y el nivel de agua de riego. Al proporcionar datos en tiempo real, la aplicación ayuda a mantener las plantas saludables y brillantes, creando un ambiente interior más agradable y estéticamente atractivo.

Si la temperatura ambiente se desvía de los niveles ideales, la aplicación puede alertar al usuario para ajustar el clima; si la luminosidad es insuficiente, puede recomendar aumentar la luz artificial; y si el nivel de agua es bajo, puede notificar al usuario para que riegue las plantas a tiempo, evitando el estrés hídrico.

- **INSTALACIÓN:**

Lo primero que debemos hacer para poder usar esta aplicación es llevar a cabo el proceso de instalación de la misma. En este apartado, nos centramos en explicar paso a paso como va a ser dicho proceso.

Abrimos en nuestro dispositivo móvil la tienda de aplicaciones que tenga en función del sistema operativo. Play Store en caso de que este sea Android o App Store en caso de que sea IOS.

Realizamos una búsqueda en la respectiva tienda de aplicaciones del nombre de la aplicación a descargar, en este caso Jardines Verticales.

Pulsamos en el botón “Instalar”.

Después de esto, si la instalación acabó de forma correcta, podemos ver dicha aplicación en el menú de nuestro móvil.

- **INICIAR SESIÓN**

Una vez instalada la aplicación, entramos en ella y lo primero que podemos ver es una pantalla de bienvenida en la que debemos de hacer click en el botón “Iniciar sesión”. Esto nos lleva directamente a la siguiente pantalla, donde debemos poner nuestras credenciales para poder tener acceso a la pantalla principal de la aplicación en la que salen todos los jardines asociados al usuario introducido.

- **PESTAÑAS DE LA APLICACIÓN:**

Vamos a explicar de lo que trata y que información se muestra en cada una de las pestañas de nuestra aplicación. Esta cuenta con 3 pestañas principales: Inicio, Mapa y Cuenta.

Inicio

A simple vista vemos una lista con información de los jardines asociados, tal como: el nombre del jardín, el cliente y, en caso de estar enviando y recibiendo datos de este, el valor del nivel de agua del jardín. Además, existe en la parte superior un contador de dispositivos activos. En el menú desplegable de la parte superior derecha, también hay una configuración de notificaciones en la que podemos personalizar las mismas a nuestro gusto.



Mapa

En esta pestaña podemos ver la localización exacta de nuestros jardines, señalizada por un icono con la foto del jardín seleccionado. Aparte de eso, al hacer click en el icono, nos aparece el nombre del mismo.



Cuenta

Aquí tenemos toda la información importante de la aplicación, tal como podemos ver en la captura: nombre completo del cliente, correo introducido para el inicio de sesión, correo introducido para el aviso de las notificaciones por correo y la versión actual de la aplicación que se está usando.



- **DISPOSITIVO:**

Vamos a explicar la información que se ve al entrar en cada uno de los jardines:

Dentro de cada una de las “cartas” de los jardines se encuentra toda la información de las lecturas de los sensores que tienen. Estas lecturas son: nivel de agua, luminosidad, conectividad, humedad y flujo de agua. Los valores de los tres primeros parámetros leídos pueden ser visualizados más cómodamente en gráficas que aparecen a la hora de hacer click sobre ellos y/o también en el primer icono que vemos en la parte superior derecha de la pantalla.



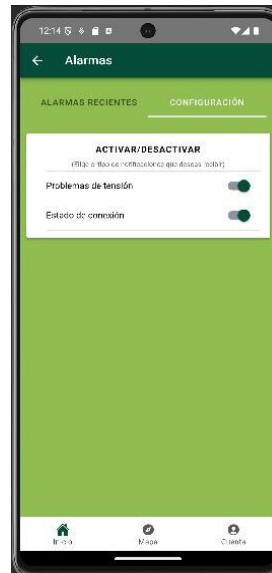
Gráficas de visualización

Dichas gráficas, tienen un selector de período en el que podemos ajustar el tiempo desde cuando y hasta cuando se cogen los datos medidos para que se plasmen en las diversas gráficas.



Alarmas

Por último, también podemos entrar en el menú de las alarmas (segundo icono situado en la parte superior derecha) en el cuál podemos ver la información de las alarmas del jardín que estamos viendo y un apartado de configuración de estas.



HITO 4: FORMACIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS PANELES AUTOPORTANTES DE PLANTA DE EXTERIOR ADAPTADAS A JARDINES VERTICALES DE INTERIOR EN VIVERO.

ACT. 4.1. FORMACIÓN DE LOS PANELES AUTOPORTANTES DIRECTAMENTE EN VIVERO DE PRODUCCIÓN EN CUANTO AL MONTAJE DE LA ESTRUCTURA + PLANTA

RESULTADO: obtención de un prototipo de panel autoportante con planta viva que incluya estructura, tela, substrato y planta.

Se montaron paneles de jardinería vertical de 1,5 m de ancho y 2 m de altura en dos sistemas hidropónicos. Uno consistió en un sistema de tela con bolsillos formados “in situ” a partir de 2 capas de fieltro grapadas y el otro en una lámina de lana de roca de 4 cm de espesor sujeta por varios soportes y reforzada con malla plástica (Figura 49). En ambos sistemas el soporte fue PVC espumado de 1 cm de grosor sobre rastreles. Se fertirrigó continuamente en un sistema recirculante mediante una tubería de goteros con un caudal de 2 L·h⁻¹ cada 5 cm en la parte alta.

El tamaño estándar de todos los paneles para producción en vivero fue de 1,5 m de ancho y 2 m de altura; de forma que para las siguientes fases de montaje en empresa de jardinería, estos fueron cortados a medida. Además, para ambos sistemas se usaron plántulas enraizadas que se dispusieron en los paneles a un marco de 15 x 15. La mayor parte de las plántulas enraizadas fueron producidas y/o engordadas en el propio vivero hasta el tamaño deseado.



Figura 49. Visión general del ensayo de dos sistemas hidropónicos. A la izquierda paneles de tela de fieltro y a la derecha paneles de lana de roca.

ACT. 4.2. DETERMINACIÓN DE PUNTOS CRÍTICOS DEL PROCESO, DEL COSTE DE INSUMOS, DE NECESIDADES DE SUPERFICIE/INSTALACIONES Y DEL TIEMPO NECESARIO POR UNIDAD PRODUCTIVA; ASÍ COMO DEL COSTE DE OBTENCIÓN DE LOS PRODUCTOS FINALES.

RESULTADO: conocimiento de costes de cada una de las unidades de obra del proceso de fabricación y necesidades de la empresa en cuanto a superficies/instalaciones para posterior escalado industrial.

En cuanto a los **puntos críticos del proceso productivo** en vivero, los dividiremos en bloques para una mejor organización. Estos puntos críticos que a continuación se describen son aquellos en los que se ha de poner mayor atención para asegurar una formación exitosa de paneles autoportantes de planta en el vivero de producción:

- **PLANTA:**

- Hacer una producción en bloques, es decir, respetando la utilización de unidades de riego y fertilización por lotes de paneles que tengan planta en el mismo estadio fenológico y de crecimiento.

- Seleccionar plantas en el tamaño óptimo, tanto de la parte vegetativa (aérea) como de la parte radicular, adecuando por tanto el tamaño de las mismas a los orificios de trasplante de los paneles en producción. Además, seleccionar lotes de planta con un tamaño homogéneo para que los paneles también se desarrollen de forma homogénea y alcancen tapizados armoniosos al final del proceso productivo.

- Promover el crecimiento vegetativo mediante pinzados periódicos, también para remover flores y otras estructuras vegetativas no deseadas.

- Seleccionar plantas en un estadio fenológico adecuado, de crecimiento vegetativo, sin florecimiento, para acelerar el proceso de tapizado de los paneles.

- No trasplantar en condiciones ambientales extremas de frío, humedad o calor para que la aclimatación de la planta sea lo más rápida posible y asegurar así un enraizamiento exitoso sin pérdida de planta, evitando de esta forma reposiciones posteriores.

- Utilizar planta que haya sido esquejada y engordada en substratos de cultivo de textura y estructura suelta, fácil de limpiar, para que al manipularlas no haya rotura de parte radicular.

- **RIEGO:**

- Disponer de alarmas para localizar fallos en los riegos programados, por ejemplo, mediante un sensor tipo caudalímetro.
- Revisión diaria de la programación por parte del personal para adecuar las necesidades hídricas en función del tamaño de la planta y de las condiciones meteorológicas.

- **ESTRUCTURA DE LOS PANELES:**

- Hacer cortes limpios en las telas de fieltro con cuchillas afiladas para evitar que esta se deshilache y pingue agua a partes no deseadas de la estructura.
- Montar los paneles de PVC inmediatamente después del corte y almacenarlos en un lugar seco y a temperaturas suaves para evitar que estos se retuerzan.

- **PERSONAL:**

- Formar continuamente al personal en las labores técnicas necesarias y elaborar para su cumplimiento una guía de actuaciones diarias.

En la tabla 4 que se adjunta a continuación se detallan también los **costes de los insumos** para la fabricación de una unidad de panel de jardín vertical de dimensiones 75 x 100 cm, tanto en tela de fieltro como en lana de roca. Se incluyen también, por resultar relevantes, los costes de los insumos del montaje final del kit en la empresa de jardinería; en donde se puede observar que el coste por panel asciende a 361,24 € en término medio; media entre los costes de obtención en sistemas de paneles vegetales a base de lana de roca y a base de tela de fieltro.

En la tabla 9 se especifican los costes de los componentes agrupándolos en 5 bloques: panel vegetal, estructura, riego, sensorización e iluminación. Si únicamente se hiciese referencia a los costes de producción del panel en vivero de producción de planta, previamente al montaje del kit, únicamente se abarcarían los bloques de panel vegetal. Cabe destacar que con mucha diferencia el bloque que más hace elevar el precio del producto final es el de la sensorización con 181,63 €, seguido del riego con

66,97 €, del panel vegetal 43,72 €, de la estructura con 42,16 € y por último de la iluminación con 26,76 €.

Tabla 9. Detalle del coste de los insumos necesarios para fabricar un panel vegetal estándar.

Producto: JARDÍN VERTICAL 75x100 361,24 €

Item	Componentes	Especificaciones	Unidad	Cantidad	Precio	Precio Unit.	Importe
1	PANEL VEGETAL 75 x 100 m						43,72 €
1.1.	PANEL VEGETAL A BASE DE LANA DE ROCA						45,70 €
1.1.1.	PLANCHA DE LANA DE ROCA	Tamaño de 3 m x 1 m	ud	0,25	38,13 €	38,13 €	9,53 €
1.1.2.	PLANCHA PVC	Tamaño de 1,5 x 2 m	ud	0,25	59,16 €	59,16 €	14,79 €
1.1.3.	PLANTA	Cada panel lleva 30 plantas tamaño alveolo 5-6 cm	ud	30	0,50 €	0,50 €	15,00 €
1.1.4.	REMACHES SUJECCIÓN DE LA MALLA PLÁSTICA CON LA LANA	8 remaches por panel por cuadro	ud	8	0,25 €	0,25 €	2,00 €
1.1.5.	MALLA PLÁSTICA DE SUJECCIÓN DE LA LANA	25 m malla premium 5*5 c105 verde	und	0,04	109,39 €	109,39 €	4,38 €
1.2.	PANEL VEGETAL A BASE DE TELA DE FIELTRO		m2				41,75 €
1.1.1.	TELA DE FIELTRO	Tamaño rollo 50 m x 2 m (cada panel lleva 2 capas de tela + cubre tuberías)	ud	0,015	548,00 €	548,00 €	8,22 €

1.1.2.	PLANCHA PVC		Tamaño de 1,5 x 2 m	ud	0,25	59,16 €	59,16 €	14,79 €
1.1.3.	PLANTA		Cada panel lleva 30 plantas tamaño alveolo 5-6 cm	ud	30	0,50 €	0,50 €	15,00 €
1.1.6.	GRAPAS ACERO INOXIDABLE		Paquete de 10000 unidades, cada m2 lleva unas 100 grapas	ud	100	124,70 €	0,04 €	3,74 €
2	ESTRUCTURA							42,16 €
2.1	Madera	Cerco de madera, rastrel termotratado 4x4 cm	Rastrel de 6 m	ud	1	15,00 €	15,00 €	15,00 €
2.1	Madera	Tabla de abeto de 25x200 cm		ud	2	10,00 €	10,00 €	20,00 €
2.3	Tornillería	Tirafondos 6*80		ud	20	0,07 €	0,07 €	1,40 €
2.4	Bisagra y pasador	60*40 mm	Conjunto en acero inoxidable	ud	2	2,88 €	2,88 €	5,76 €
3	RIEGO							66,97 €
3.1	Bomba	BOMBA 2500L/H 45W XL-134 Hmax: 2,3 m asp. directa	oceanoshop.com	ud	1	32,95 €	32,95 €	27,23 €

3.2	Depósito	Garrafa de 12 L DIN 96 420 x 120 x 260 mm	masquecamper.com	ud	1	17,25 €	17,25 €	14,26 €
3.3	Canalón	Canalón d33 cm 4 m	Plastifer / S. La Ronda	m	4	13,29 €	3,32 €	3,32 €
3.4	Tapa	Tapa universal canalón d33	Plastifer / S. La Ronda	ud	1	2,53 €	2,53 €	2,53 €
3.5	Bajada	Bajada lateral d33	Plastifer / S. La Ronda	ud	1	7,80 €	7,80 €	7,80 €
3.6	Reducción	Tapa con reducción 110/32	Plastifer / S. La Ronda	ud	1	1,21 €	1,21 €	1,21 €
3.7	Enlace	Enlace canalón d33	Plastifer / S. La Ronda	ud	1	3,71 €	3,71 €	3,71 €
3.8	Gancho	Ganchos soporte canalón d33	Plastifer / S. La Ronda	ud	2	2,79 €	2,79 €	5,58 €
3.9	Tubería	Tubería riego D16	100 m	m	2,5	23,00 €	0,23 €	0,58 €
3.10	Goteros	goteros autocompensantes 4L		ud	5	0,15 €	0,15 €	0,75 €
4	SENSORIZACIÓN							181,63 €
4.1	Data Logger	Data Logger sen batería		ud	1	132,23 €	132,23 €	132,23 €
4.2	Nivel	HC-SR04 con soporte	Soporte metacrilato 3mm	ud	1	1,48 €	1,48 €	1,48 €

	Agua		transparente para sensor ul					
4.3	Luz	Sensor de luminosidad	Gravity: I2C IP68 Waterproof Ambient Light Sensor (1-655351x)	ud	1	20,66 €	20,66 €	20,66 €
4.4	Conducti vidad	Sensor analógico TDS meter v1.0		ud	1	12,40 €	12,40 €	12,40 €
4.5	Reloj	Módulo reloj DS3231 RTC + Batería		ud	1	2,47	2,47 €	2,47 €
4.6	Caja	Caja de conexiones LEGRAND 035966 S/ENT		ud	1	7,02	7,02 €	7,02 €
4.7	Caja	PCB para caja de conexiones		ud	1	5,37	5,37 €	5,37 €
5	ILUMINACIÓN							26,76 €
5.1	Soporte+ lámpara	Lámpara de cultivo 2 cabezas 166 led 3000K 5000K	Alimentación USB	Ud	1	14,74 €	14,74 €	12,18 €
5.2	Cable	RV-K 2,5mm 25m		m	3	32,00 €	1,28 €	3,84 €
5.3	Cargador USB	Hama cargador USB d		ud	1	10,74 €	10,74 €	10,74 €

Por otra parte, para la determinación de la **superficie necesaria de invernadero** para la producción de un panel vegetal de 0,75 m x 1,00 m, es necesario puntualizar que los paneles han de producirse ya en posición vertical para que los hábitos de crecimiento de las distintas plantas utilizadas sean los correctos; que para optimizar el espacio y la mano de obra, se produjeron en dimensiones mayores (2 m de altura y 1,5 m de anchura) para posteriormente cortarse al tamaño de comercialización del producto final; y que no se pueden colocar muy juntos los unos de los otros, ni de otras estructuras altas, pues estos se hacen sombra y entonces las plantas no crecen de forma adecuada. Por lo que se ha optado por un sistema de producción mixto en invernadero, de forma que se pueda aprovechar cada túnel tanto para la producción de planta ornamental de porte bajo en contenedor como para la producción de paneles vegetados.

Si se tiene en cuenta todo lo anterior, no sería correcto repercutir la amortización de la superficie por completo a los paneles vegetales; por lo que para el cálculo se opta por repercutir solamente la mitad. Para ello, se estima que el precio de un invernadero bitúnel de 16 x 32 m² es de 25.000 €, con un periodo de amortización de 10 años, una producción de 3 ciclos de paneles al año (en término medio se tarda unos 3 meses por ciclo), y una producción de 80 paneles por ciclo; **supone una necesidad de 6,4 m² de invernadero por panel de tamaño comercial y ciclo y un coste de 6 € en instalaciones por panel** (teniendo en cuenta ya gastos indirectos y sin tener en cuenta el precio del terreno).

Por otra parte, para el montaje en vivero de producción de planta de un panel vegetal de tamaño comercial se necesitan unas 2,5 horas de trabajo del personal de campo; así como la imputación de 0,25 h semanales de trabajos de mantenimiento (3,2 h por ciclo y panel), lo que supone un **coste en personal de 109,7 € por panel**. Además, una vez terminada la producción, en la empresa de jardinería se ha de acabar de montar el kit por completo antes de enviarlo a cliente, lo que supone 3 horas más de trabajo del personal por panel (41,12 €).

Lo que estimadamente supone un **coste de fabricación total de 159,42 € por panel en vivero de producción de planta** y un coste total de **kit completo de panel vegetal** para enviar a cliente (sin portes de transporte) de **518,06 €**.

ACT. 4.3. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DURANTE Y AL FINAL DE LA CREACIÓN DE LOS PANELES MEDIANTE ANÁLISIS DE IMAGEN.

RESULTADO: obtención de paneles autoportantes con al menos 5 especies de plantas con rápida velocidad de crecimiento y cobertura de las estructuras.

Los prototipos de paneles descritos en los resultados de la actividad 4.1. se colocaron en un invernadero multitúnel con cubierta de placa ondulada de poliéster situado en Sober (Lugo). En estos paneles se establecieron 10 especies/variedades ornamentales distintas (Tabla 10). Para ambos sistemas se usaron plántulas enraizadas que se dispusieron en los paneles a un marco de 15 x 15, resultando así 13 filas y 10 columnas de plántulas por panel; de forma que cada especie ocupó dos columnas y en cada panel se dispusieron 5 especies distintas. Además, hubo 3 repeticiones por especie repartidas aleatoriamente en 6 paneles por sistema.

A lo largo de 3 meses, de julio a septiembre, se tomaron fotografías periódicas para estimar el porcentaje de cobertura vegetal por especie y altura de las mismas en el panel (arriba, medio y abajo). Las imágenes se procesaron mediante análisis de imagen con el programa CAPS (Telenatura, 2005).

Tabla 10. Relación de especies ornamentales utilizadas en el ensayo de jardinería vertical hidropónica

Especies ornamentales utilizadas
<i>Ajuga reptans</i> 'Black Scallop'
<i>Ajuga reptans</i> 'Chocolate Chip'
<i>Brachyscome angustifolia</i> 'Brasco Violet'
<i>Lysimacha nummularia</i> 'Goldii'
<i>Felicia amelloides</i> 'Felicity Blue'
<i>Hedera helix</i> 'Miniata Variegata'
<i>Lavandula stoechas</i> 'Grand Purple'
<i>Pelargonium peltatum</i> Decora Bicolor
<i>Sedum reflexum</i> 'Angelina'
<i>Sedum tetraclinum</i> 'Coral Reef'

En la figura 50 se muestran los valores de cobertura foliar alcanzada al final del ensayo en invernadero para todas las especies evaluadas. Se puede observar que en general las especies que alcanzaron una mayor cobertura, en concreto por encima del 80%, son las dos variedades de *Ajuga reptans* ensayadas, *Lavandula stoechas* y *Lysimachia nummularia*. Las especies que alcanzaron una cobertura foliar más baja (por debajo del 40%) fueron *Sedum reflexum*, *Pelargonium peltatum* y *Felicia amelloides*.

Por otra parte, las coberturas foliares fueron mayores en el sistema hidropónico a base de tela de fieltro, a excepción de *Sedum reflexum*, *Pelargonium peltatum* y *Felicia amelloides* que tuvieron un tapizamiento mejor en la lana de roca. Las diferencias más acusadas se dieron en las plantas de lavanda, felicia, lysimachia y hiedra, siendo la cobertura foliar mayor en la tela de fieltro en más de un 30% en lavanda y felicia, y de casi un 20% en lysimachia y hiedra. En el resto de especies las diferencias de crecimiento entre los dos sistemas fueron menores (menos del 10%).

También se presentan las coberturas foliares alcanzadas al final del ensayo por especie y posición, es decir, en función de la altura de colocación de las plantas dentro del panel, tanto para el sistema hidropónico en lana de roca (figura 51), como para el sistema hidropónico en tela de fieltro (figura 52). En general, para ambos sistemas, las coberturas foliares registradas en la parte baja de los paneles fueron más altas que en las partes medias y altas. Excepciones a lo anterior fueron las dos variedades de ajuga y las dos especies de sedum en la lana de roca, ya que alcanzaron mayor capacidad tapizante en las partes medias y altas de los paneles.



Figura 50. Cobertura foliar media alcanzada al final del ensayo por especie y por sistema hidropónico. Sedum 1 = *Sedum reflexum* 'Angelina', Sedum 2 = *Sedum tetraclinum* 'Coral Reef', Pelargonium = *Pelargonium peltatum* Decora Bicolor, Lysimachia = *Lysimachia nummularia* 'Goldii', Lavandula = *Lavandula stoechas* 'Grand Purple', Hedera = *Hedera helix* 'Miniata Variegata', Felicia = *Felicia amelloides* 'Felicity Blue', Brachyscome = *Brachyscome angustifolia* 'Brasco Violet', Ajuga 1 = *Ajuga reptans* 'Black Scallop', Ajuga 2 = *Ajuga reptans* 'Chocolate Chip' y TF= tela de fieltro y LR = lana de roca.

También son excepciones a lo anterior, la felicia y las dos especies de sedum en la tela de fieltro, pues estas plantas crecieron más durante el ensayo en las partes altas de los paneles; y también las lysimachias y los geranios en estos sistemas de jardinería vertical pues alcanzaron mayor tamaño, y por lo tanto, mayor porcentaje de cobertura foliar en las partes medias de los paneles.

La diferencia de cobertura foliar hallada entre los dos sistemas para la mayor parte de las especies ensayadas no se puede explicar en base a las diferencias de retención de agua de la lana de roca en comparación con la tela de fieltro, ya que en este ensayo no se monitorizó de forma continua y paralela el contenido de humedad mediante sensorización. Estos datos se obtendrán posteriormente, ya que actualmente estos parámetros se están midiendo y monitorizando mientras se desarrollan las plantas

al mismo tiempo y se analiza su evolución en cobertura foliar en otro ensayo diferente y complementario.

Esto último permitirá conocer las preferencias hídricas de las distintas especies aquí ensayadas para preferenciar su ubicación en altura dentro de los jardines verticales. Lo que sí que se puede adelantar, es que el hecho de que la mayor parte de las especies alcanzaran una cobertura foliar mayor en la parte baja de los paneles se debe a la mayor cantidad de agua disponible para las mismas a lo largo del día, en comparación con las partes medias y altas de los paneles; pues estas partes siempre se secaban antes debido a una cuestión natural de gradiente hídrico.

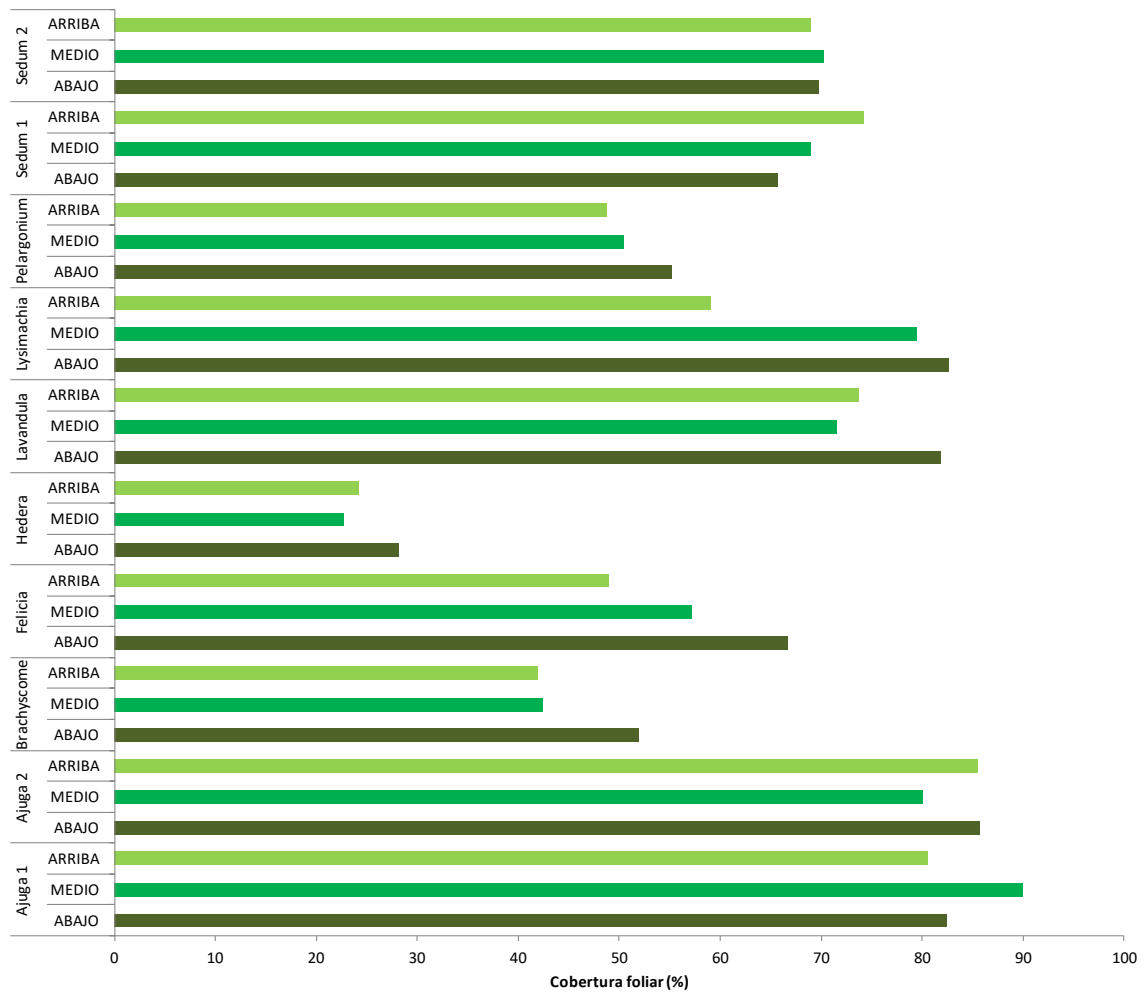


Figura 51. Cobertura foliar media alcanzada al final del ensayo por especie y posición en el sistema hidropónico de lana de roca. Sedum 1 = *Sedum reflexum* 'Angelina', Sedum 2 = *Sedum tetraclinum* 'Coral Reef', Pelargonium = *Pelargonium peltatum* Decora Bicolor, Lysimachia = *Lysimachia nummularia* 'Goldii', Lavandula = *Lavandula stoechas* 'Grand Purple', Hedera = *Hedera helix* 'Miniata Variegata', Felicia = *Felicia amelloides* 'Felicity Blue', Brachyscome = *Brachyscome angustifolia* 'Brasco Violet', Ajuga 1 = *Ajuga reptans* 'Black Scallop' y Ajuga 2 = *Ajuga reptans* 'Chocolate Chip'.

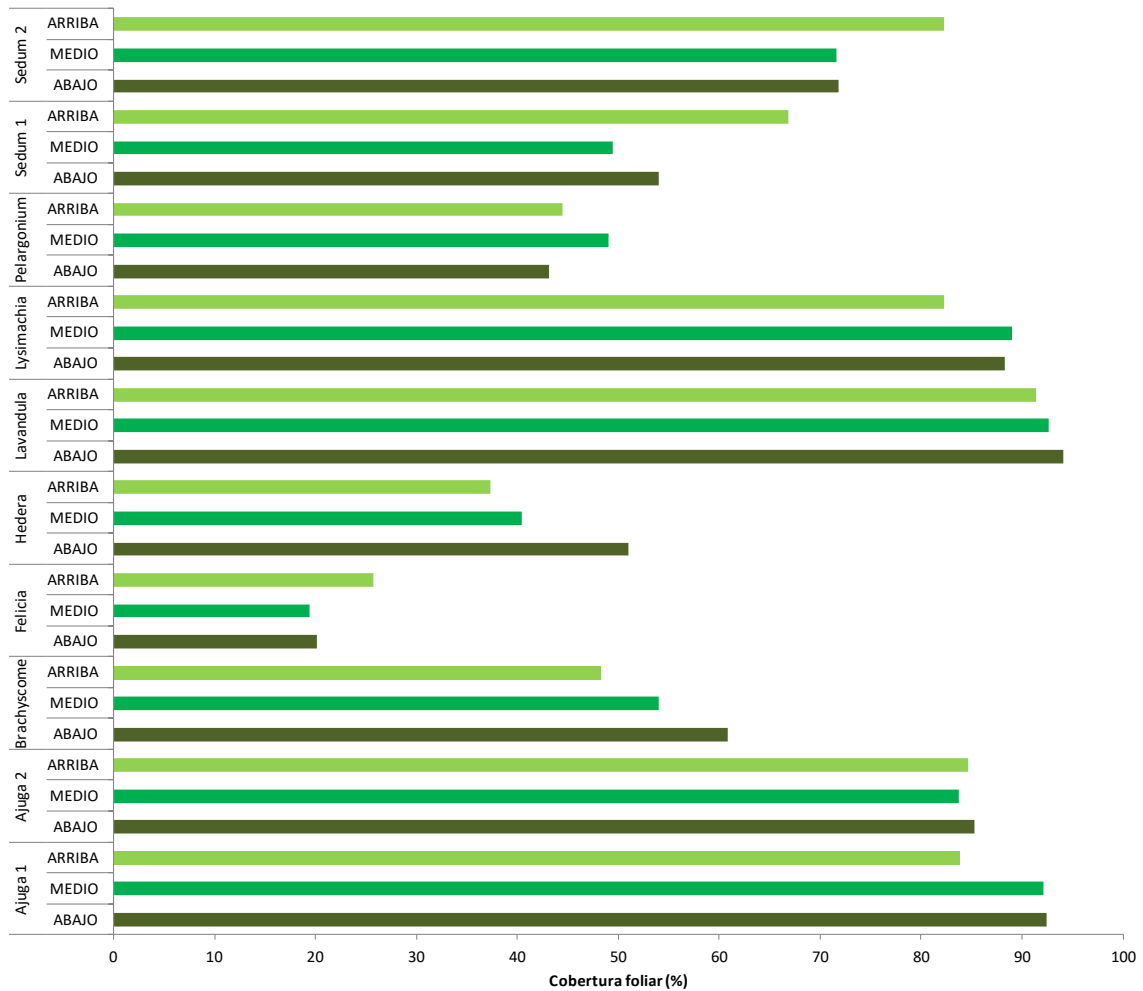


Figura 52. Cobertura foliar media alcanzada al final del ensayo por especie y posición en el sistema hidropónico de tela de fieltro. Sedum 1 = *Sedum reflexum* 'Angelina', Sedum 2 = *Sedum tetraclinum* 'Coral Reef', Pelargonium = *Pelargonium peltatum* Decora Bicolor, Lysimachia = *Lysimachia nummularia* 'Goldii', Lavandula = *Lavandula stoechas* 'Grand Purple', Hedera = *Hedera helix* 'Miniata Variegata', Felicia = *Felicia amelloides* 'Felicity Blue', Brachyscome = *Brachyscome angustifolia* 'Brasco Violet', Ajuga 1 = *Ajuga reptans* 'Black Scallop' y Ajuga 2 = *Ajuga reptans* 'Chocolate Chip'.



Figura 53. Cobertura foliar de *Lysimachia nummularia* 'Goldii', *Lavandula stoechas* 'Grand Purple', *Pelargonium peltatum* Decora Bicolor y *Hedera helix* 'Miniata Variegata' (de izquierda a derecha).

HITO 5: FORMACIÓN Y EVALUACIÓN DEL KIT COMPLETO DE MONTAJE DEL JARDÍN VERTICAL TIPO HOBBY

ACT. 5.1. SELECCIÓN DE ELEMENTOS Y FORMACIÓN DEL KIT COMPLETO DE MONTAJE DEL JARDÍN VERTICAL TIPO HOBBY.

RESULTADO: elaboración de pequeña guía de definición técnica de cada uno de los elementos seleccionados.

Especificado ya en la descripción de la tabla de insumos en la actividad 4.2., en la descripción de la actividad 1.1, 1.3., 2.1. y 5.3.

ACT. 5.2. EVALUACIÓN DEL KIT COMPLETO EN CUANTO A CALIDAD DE LOS ELEMENTOS Y FUNCIONAMIENTO DE LA APLICACIÓN MÓVIL.

RESULTADO: obtención de un prototipo completo que funcione.

En la empresa colaboradora Arborejardin, cuyo objeto social principal es la ejecución de obras de jardinería, se montaron un total de 10 kits de paneles de tamaño comercial 0,75 m x 1 m. La parte vegetada de los paneles se produjo en el vivero de A Man de Prado en tamaños superiores, y éstos fueron cortados para ajustarse al diseño del prototipo comercial.

Una vez cortados los paneles vegetados se procedió al montaje de los 10 kits (los elementos están individualmente referenciados en la actividad 5.1.), de forma que se ensamblaron en un armazón o estructura, se instaló la parte correspondiente al riego (depósito, bombas, tuberías de riego, etc.) y además se procedió a la monitorización de los mismos mediante la instalación de los diferentes sensores (en concreto, los ya referenciados de luminosidad, caudal y conductividad eléctrica) conectados a sendas cajas de monitorización (una caja de monitorización por kit; en total 10 cajas). Cada kit se configuró en la APP móvil ya desarrollada y se procedió a observar en el tiempo (aproximadamente durante 3 meses) el funcionamiento de los diferentes elementos seleccionados, los rangos de medición y las alarmas preconfiguradas.

Cabe destacar, además, que los kits diseñados no son productos finales, sino que por el momento son el desarrollo de un producto mínimo viable, que seguirá evolucionando y perfeccionándose en el tiempo. Por lo tanto, teniendo en cuenta todo lo descrito, si se evalúan los diferentes elementos por bloques, se pudo observar la validez de la mayor parte de los elementos seleccionados, excepcionando lo siguiente:

- Las plantas sufrieron un deterioro importante debido a una falta de alimentación de agua durante un fin de semana. Durante ese fin de semana aún no estaba preconfigurada la alarma de caudal de agua. Esto evidencia la importancia de que este sensor funcione y lance avisos a la APP continuamente, pues en un corto periodo de tiempo, si sobre todo es coincidente con los meses de más calor del verano, el deterioro de la parte vegetativa puede ser importante.
- La estructura del panel, que se puede apreciar en el desarrollo de la memoria de la actividad 5.3., todavía no es evaluable, ya que es una estructura todavía provisional y sencilla con la que se comenzó a testar un producto mínimo viable de kit.
- En cuanto a los componentes del riego: los depósitos diseñados y las bombas escogidas han servido para las pruebas del producto mínimo viable; pero en su conjunto han de ser substituidas ya que las bombas han sufrido un deterioro muy rápido probablemente causado por las vibraciones derivadas de una deficiente sujeción al fondo del depósito (los depósitos no tenían un fondo lo suficientemente plano). Además, hay que buscar alternativas para toda la conexión de tuberías, de forma que se facilite el montaje por parte del usuario final, ya que las tuberías y los conectores resultaron ser bastante rígidos (es sencillo cambiando de material plástico).
- En cuanto a la electrónica, se hizo un diseño de una caja de monitorización muy grande para que previamente en la USC se pudieran tomar muchos datos a la vez de muchos sensores que se estaban testando; por lo que convendría realizar un diseño de una caja más pequeña ajustada realmente al número de sensores que finalmente portará el kit.
- Por otra parte, la evaluación de la APP ha quedado mermada por los fallos de sensorización. Es decir, hay una parte desarrollada de la APP móvil que no se ha podido testar porque los sensores no son muy fiables (especificado en el desarrollo de la memoria de la actividad 2.3).

ACT. 5.3. ELABORACIÓN DE UNA GUÍA DE MONTAJE Y DE UTILIZACIÓN DE LA APP MÓVIL PARA EL USUARIO FINAL.

El panel se entrega protegido con una estructura adicional de madera y plástico film transparente. Pesa en torno a los 35 Kg y sus dimensiones son 95 cm de ancho, 140 cm de altura, 30 cm de fondo.



PASO 1 .- Retirada del film, y a continuación se retiran los tres tornillos de fijación de la estructura adicional en la parte superior.



PASO 2 .- Retirada de los tres tornillos de fijación inferiores.



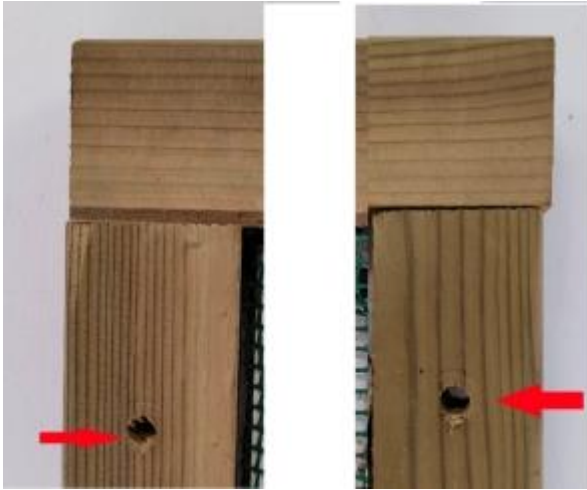
PASO 3 .- Marcar en la pared donde se va a colocar el panel dónde hay que hacer los taladros superiores, separados por 80 cm y al mismo nivel.

Altura mínima desde el suelo de 1,65 cm.

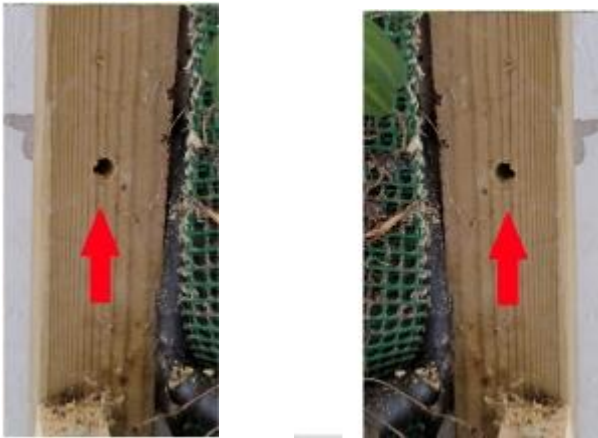
Diámetro del broca 10 mm

PASO 4 .- Presentar en lugar de colocación, introducir los tacos metálicos con tornillo en los orificios superiores, y apretar con llave hexagonal





Paso 5 .- Hacer taladros inferiores y fijar los tornillos metálicos. Apretar con llave hexagonal.



Paso 6 .- Colocación del sensor de conductividad en el depósito.

En primer lugar se retira el capuchón negro.

A continuación se introduce por el orificio redondo lateral superior asegurándose de que la cinta negra está introducida en su totalidad dentro del depósito.





Paso 7 .- Colocación de lámpara, pasando el cable por detrás del panel, y sujetándola con la pinza en el marco superior del panel, en posición centrada, orientando la iluminación hacia el panel..



Paso 8 .- Comprobación de que la bomba está en su posición correcta dentro del depósito y que el tubo de desagüe está centrado en el hueco del depósito.



Paso 9 .- Comprobación de que el sensor de nivel está en posición correcta.



Paso 10 .- Llenado del depósito de agua con fertilizante hasta el nivel marcado como máximo.



Paso 11 .- Enchufar y puesta en marcha.



ACT. 5.4. LANZAMIENTO EXPERIMENTAL Y ESTUDIO DEL MERCADO DEL PRODUCTO MÍNIMO VIABLE DEL KIT COMPLETO MEDIANTE LANDING PAGE.

La web www.kitjardinvertical.com creada específicamente para la difusión del proyecto, ha funcionado a la vez como Landing Page, de forma que en ella se ha incluido un formulario para la recogida de datos de las personas interesadas que desearan recibir información adicional sobre el producto mínimo viable del kit. A continuación se muestra un pantallazo de la encuesta creada:

Responde a la siguiente encuesta:

1. ¿Qué valoras más en un jardín vertical para interiores? (fácil instalación, diseño, tecnología, cuidado automatizado, etc.)

Escribe aquí tu respuesta...

2. ¿Estarías dispuesto a pagar un precio premium por un kit de jardín vertical que incluye monitoreo en tiempo real y automatización a través de una app?

Sí No

3. ¿Cuánto estarías dispuesto a pagar por un kit de jardín vertical con estas características tecnológicas?

Indica un rango de precios...

4. ¿Qué problemas actuales tienes al mantener plantas de interior que crees que este kit podría resolver?

Escribe aquí tu respuesta...

5. ¿Qué tan importante es para ti que el kit sea compatible con dispositivos y plataformas que ya usas (smartphones, asistentes virtuales, etc.)?

Muy importante Moderadamente importante No es importante

Tus datos nos servirán para mejorar el producto y el lanzar PMV del Kit de jardín vertical

Estudio de Mercado

Sin embargo, pese al esfuerzo en la creación de esta Landing Page, ésta ha generado muy poco tráfico de visitas al no haberse hecho campañas específicas de divulgación y posicionamiento en buscadores y redes sociales, ya que estas campañas no estaban contempladas en la ejecución del proyecto. Se contaba generar tráfico a partir de la jornada de puertas abiertas que organizaría la empresa colaboradora Arbojehardin SLU, pero ésta, como así se especifica en el apartado siguiente, no se ha podido realizar; por lo que no ha habido datos suficientes para sacar conclusiones definitivas hasta el momento. La página seguirá activa y se cuenta que en un plazo razonable de tiempo la empresa pueda obtener información relevante.

HITO 6: DIFUSIÓN DE RESULTADOS.

RESULTADO: asistencia al menos a un congreso nacional o internacional, publicación de al menos un artículo en revista internacional, organización de un evento virtual y/o presencial de difusión entre profesionales del sector y potenciales clientes.

- Enviado y publicado el resumen titulado “Respuesta de 10 especies ornamentales en dos sistemas de jardinería vertical hidropónica“ para la participación en las Jornadas de Ciencias Hortícolas que tuvieron lugar del 20 al 22 de marzo de 2024 en Cartagena, dentro del grupo de trabajo Horticultura, Alimentación y Salud, Sustratos, Fresón y otros Frutos Rojos.
- Enviado y publicado el artículo titulado “Respuesta de 10 especies ornamentales en dos sistemas de jardinería vertical hidropónica“ en Actas de Horticultura 94: 128-131.
- Enviado y publicado resumen titulado “Low-requirement plants for energy savings in indoor vertical systems” para la participación en el International Symposium of Urban Horticulture: from Vertical Farming to Planting Design que tuvo lugar del 12 al 16 de mayo en Bucarest-Rumanía.
- Enviado el artículo titulado “Low-requirement plants for energy savings in indoor vertical systems” para su publicación en Acta Horticulturae.
- Enviado y publicado el artículo divulgativo titulado “Desarrollo sostenible y tecnológico de paneles autoportantes de planta para jardinería vertical en Galicia” a la revista AGAEXAR (Asociación Galega de Empresas de Xardinería”. López-Lopez, N., López-Fabal, A., Iglesias-Díaz, M.I. y Lamosa-Quintero, S. 2024. 32: 32-37.
- Página web creada para difusión de resultados del proyecto: www.kitjardinvertical.com.
- Publicación de noticia del proyecto: <https://www.usc.gal/gl/campusterra/novas/campus-terra-reverdece-paredes-urbanas-traves-proxecto-piloto-xardin-vertical>
- Entrevistas de radio de difusión del proyecto en Radio Voz Lugo y en Cadena Ser Lugo: <https://www.radiovoz.com/archivo/69/vocesdelugo/> y

https://cadenaser.com/audio/cadenaser_lugo_hoyporhoylugo_20240805_122000_140000/ minutos 17-28; respectivamente.

- Presentado resumen para el IV Symposium Ibérico de Ingeniería Hortícola que tendrá lugar los días 15 y 22 de noviembre, titulado **“Sensorización y automatización de jardines verticales mediante tecnologías de bajo coste”**. Se enviará también en plazo al artículo completo correspondiente que será publicado en Actas de Horticultura.
- Se está terminando de escribir un artículo científico que se enviará próximamente para publicar. a una revista indexada en el JCR.
- Jornada divulgación: finalmente no se ha podido realizar debido a que por un fallo en la alimentación de agua de los kits de jardines verticales dispuestos en la empresa de Nuevos Jardines estos se han deteriorado. Desde la coordinación del proyecto se creyó conveniente anularla debido a la mala imagen comercial que se podría dar. De esta manera no se imputan costes de organización de la jornada divulgativa ni en la empresa colaboradora Arborejardín ni en la beneficiaria A Man de Prado.