

---

**Instituto Mexicano de Tecnología del Agua**  
Coordinación de Riego y Drenaje  
Subcoordinación de Ingeniería de Riego

---

**Proyecto interno**  
RD1806.1

---

**Informe Final**

---

**SISTEMAS INNOVADORES, JARDINERÍA Y HORTICULTURA  
VERTICAL EN EL IMTA**

**Jorge Flores Velázquez**  
(Jefe de Proyecto)

**México, 2018**

## **INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA**

### **Director General**

Dr. Felipe I. Arreguín Cortés

### **Coordinador de Riego y Drenaje**

Dr. Nahún Hamed García Villanueva

### **Subcoordinador de Ingeniería de Riego**

Dr. Waldo Ojeda Bustamante

### **Jefe de Proyecto**

Dr. Jorge Flores Velázquez

---

### **Participantes del IMTA**

Dr. Jorge Flores Velázquez

Dr. Waldo Ojeda Bustamante

M. C. Juan Manuel Ángeles Hernández

M. I. Pablo Gallardo Almanza

M. I. Luis Gómez Lugo

Dr. José Javier Ramírez Luna

Dr. Nahún Hamed García Villanueva

---

### **Apoyo Externo**

L.I. María Fernanda Vargas Rodríguez

Dirichlet Gallardo Becerra

## ÍNDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>1</b>
<b>3</b>	<b>ENTREGABLES</b> .....	<b>1</b>
<b>4</b>	<b>ACTIVIDADES</b> .....	<b>2</b>
4.1	COMPILACIÓN DE INFORMACIÓN PLANTEAMIENTO TÉCNICO .....	2
4.1.1	<i>Marco teórico</i> .....	2
4.1.1.1	Jardinería y biosistemas urbanos.....	2
4.1.1.2	Agricultura urbana.....	7
4.1.1.3	Muros verdes .....	8
4.1.1.4	Clasificación de muros verdes .....	10
4.1.1.5	Plant factory (fábrica de plantas).....	13
4.1.1.6	Vertical farm (granja vertical) .....	14
4.1.1.7	Cuarta generación de la agricultura .....	15
4.1.2	<i>Material vegetal</i> .....	19
4.1.2.1	Plantas.....	19
4.1.3	<i>Componentes de un biosistema vertical</i> .....	29
4.1.3.1	Geomallas .....	29
4.1.3.2	Estructuras .....	29
4.1.3.3	Medio de cultivo (sustratos) .....	30
4.1.3.4	Propiedades físicas de los sustratos de cultivo. ....	31
4.1.3.5	Propiedades químicas de los sustratos de cultivo. ....	32
4.1.3.6	Propiedades biológicas de los sustratos de cultivo. ....	34
4.1.3.7	Características del sustrato ideal. ....	35
4.1.3.8	Tipos de sustratos.....	36
4.1.3.9	Descripción general de algunos sustratos.....	37
4.1.3.10	Sensores .....	41
4.1.3.11	Programación .....	42
4.1.4	<i>Plant Factory</i> .....	47
4.1.4.1	Conceptos básicos: Closed Plants Production Systems (Cpps).....	47
4.1.4.1.2	ROL DE LA FÁBRICA DE PLANTAS CON LUCES ARTIFICIALES (PFAL) EN ZONAS URBANAS. 51	
4.1.4.2	Base Fisiológicas: Medio ambiente y su efecto.....	54
4.1.4.3	Diseño del sistema: construcción cultivo y manejo.....	57
4.1.4.4	PFAL: OPERACIÓN Y PERSPECTIVAS .....	63
4.1.4.5	Conclusión: Características de ahorro y consumo de recursos de las PFALs 65	
4.1.4.6	Proyecto Ejecutivo: Agricultura Urbana y Biosistemas .....	66
4.1.4.7	Plan de desarrollo Muro Verde vertical .....	67

4.1.4.8	Planeación para la producción de cultivos en zonas urbanas .....	72
4.1.4.9	Conclusiones .....	78
<b>4.2</b>	<b>INSTALACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS PARA EL MURO VERDE .....</b>	<b>79</b>
<b>4.2.1</b>	<b><i>Implementación del biosistema muro verde</i>.....</b>	<b>79</b>
4.2.1.1	Jardín vertical .....	79
4.2.1.2	¿Por qué muros verdes?.....	80
4.2.1.3	Beneficios .....	82
4.2.1.4	Componentes de un muro verde.....	82
4.2.1.5	Componentes activos .....	83
4.2.1.6	Componentes estables .....	83
4.2.1.7	Elementos auxiliares.....	83
4.2.1.8	Requerimientos mínimos .....	83
4.2.1.9	Elaboración del jardín vertical .....	83
4.2.1.10	Inicio .....	84
4.2.1.11	Planeación.....	85
4.2.1.12	Ejecución del Proyecto .....	87
4.2.1.13	Adecuación del muro .....	89
4.2.1.14	Sistema de anclaje.....	90
4.2.1.15	Sistema modular .....	93
4.2.1.16	Colocación de especies vegetales .....	96
4.2.1.17	Traslado e instalación de los módulos .....	101
4.2.1.18	Diseño y colocación de sistemas auxiliares .....	105
4.2.1.19	Automatización de la operación de riego e iluminación usando internet de las cosas (IoT).....	111
4.2.1.20	Catálogo de Especies para muros verdes.....	114
4.2.1.21	Otras especies.....	120
<b>4.2.2</b>	<b><i>Manual de operación del biosistema</i>.....</b>	<b>123</b>
4.2.2.1	Elaboración del jardín vertical .....	123
4.2.2.2	Mantenimiento de jardines verticales .....	123
<b>4.2.3</b>	<b><i>Ahorro de agua en la jardinería</i> .....</b>	<b>127</b>
4.2.3.1	El ahorro de agua en la jardinería .....	127
4.2.3.2	Gestión agronómica del agua: el suelo .....	128
4.2.3.3	Aportación de agentes retenedores de agua.....	128
4.2.3.4	Protección del suelo: uso de almohadillados.....	129
4.2.3.5	Gestión agronómica del agua: el riego.....	129
4.2.3.6	Conocimiento de la planta.....	130
4.2.3.7	Gestión de la actuación humana: el mantenimiento .....	131
4.2.3.8	Actividades de mantenimiento .....	132
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>133</b>
<b>6</b>	<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>134</b>



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4.1	Agricultura artificial .....	4
Figura 4.2	Agricultura urbana (IMTA, 2012).....	5
Figura 4.3	Fracción de asimilación de nutrientes por los frutos.....	6
Figura 4.4	Fases en la implementación de la GIRH (FAO, 2014).....	7
Figura 4.5	Agricultura urbana.....	8
Figura 4.6	Muro verde natural.....	9
Figura 4.7	Ventajas de un muro verde .....	10
Figura 4.8	Muro verde interior.....	11
Figura 4.9	Ventajas y desventajas del muro verde tradicional .....	11
Figura 4.10	Muro verde en exterior.....	12
Figura 4.11	Ventajas y desventajas de muros verdes con medios auxiliares .....	12
Figura 4.12	Plant factory.....	14
Figura 4.13	Vertical farm .....	15
Figura 4.14	Cuarta revolución de la agricultura .....	17
Figura 4.15	Catálogo de plantas, especies “A” (cactáceas).....	19
Figura 4.16	Catálogo de plantas, especies “B” (cactáceas).....	20
Figura 4.17	Catálogo de plantas, especies “C” (cactáceas).....	21
Figura 4.18	Ficus repens .....	22
Figura 4.19	Geranio.....	22
Figura 4.20	Soleirolia.....	23
Figura 4.21	Carpobrotus edulis.....	24
Figura 4.22	Verbena.....	24
Figura 4.23	Petunias .....	25
Figura 4.24	Vinca minor.....	25
Figura 4.25	Cissus striata .....	26
Figura 4.26	Sedum.....	26
Figura 4.27	Vitadinia.....	27
Figura 4.28	Codiaeum variegatum .....	27
Figura 4.29	Membranas portantes .....	29
Figura 4.30	Estructuras para acondicionar el muro verde.....	30
Figura 4.31	Propiedades físicas de los sustratos de cultivo.....	31
Figura 4.32	Propiedades químicas de los sustratos de cultivo.....	33
Figura 4.33	Propiedades biológicas de los sustratos de cultivo .....	34
Figura 4.34	Sensor de temperatura .....	41
Figura 4.35	Arduino UNO .....	42
Figura 4.36	Arduino Mega 2560 R3 .....	43
Figura 4.37	Módulo HL-69 .....	43
Figura 4.38	Módulo DHT11.....	44
Figura 4.39	Módulo DS3231 .....	45
Figura 4.40	Relevador de control.....	46
Figura 4.41	Implicaciones en el desarrollo de la Fábrica de Plantas.....	47
Figura 4.42	Perspectivas agrícolas y poblacional.....	48
Figura 4.43	Recursos y su desperdicio en una Comunidad Urbana.....	48
Figura 4.44	Producción de cosechas en la fábrica de plantas .....	49
Figura 4.45	Consumo de recursos en zonas urbanas .....	49
Figura 4.46	Consumo de recursos en un sistema abierto.....	50

Figura 4.47 Sistema de producción Fábrica de plantas en Japón, caso de éxito .....	50
Figura 4.48 Principios básicos de la fábrica de plantas en zonas urbanas .....	52
Figura 4.49 Bases conceptuales para el aprovechamiento de recursos en el sistema i-RTG .....	53
Figura 4.50 Instalaciones para Fábrica de plantas .....	54
Figura 4.51 Sistema de producción en capas con hidroponía .....	57
Figura 4.52 Sistema hidropónico tipo balsa .....	58
Figura 4.53 Propagación de especies .....	59
Figura 4.54 Sistema de balsa. Hidroponía .....	60
Figura 4.55 Sistema de producción comercial, Utah .....	61
Figura 4.56 Desarrollo de Raíces en hidroponía .....	61
Figura 4.57 Uso de Luces LED .....	63
Figura 4.58 Materiales utilizados en el biosistema muro verde .....	69
Figura 4.59 Muro vivo a instrumentar .....	70
Figura 4.60 Alternativas para la cosecha de lluvia .....	71
Figura 4.61 Fachada original para instrumentar .....	72
Figura 4.62 Muro verde, producción de especies con luces LED y solución nutritiva. Photo courtesy of Plenty .....	74
Figura 4.63 Manejo del cultivo en capas .....	74
Figura 4.64 Características de producción. (Fuente: zimbio.com) .....	75
Figura 4.65 Proceso de Implantación de una fábrica de plantas .....	75
Figura 4.66 Prototipo inicial IMTA-PF .....	76
Figura 4.67 Vista en sección de una plant Factory (Fuente: Agrikubic) .....	77
Figura 4.68 Vista fachada trasera de una <i>plant Factory</i> (Fuente: Agrikubic) .....	78
Figura 4.69 Selección del muro en el IMTA para el diseño del muro verde vertical .....	79
Figura 4.70 Pared frontal del edificio de Riego y Drenaje .....	80
Figura 4.71 Jardines colgantes de Babilonia ( <a href="https://www.nationalgeographic.com.es/historia/grandes-reportajes/">https://www.nationalgeographic.com.es/historia/grandes-reportajes/</a> ) .....	81
Figura 4.72 Muro verde (L'oasis d'Aboukir, Paris) creado por Patrick Blanc .....	81
Figura 4.73 Diversidad de plantas de especies de la familia crasulácea .....	85
Figura 4.74 Alternativas en el diseño del muro verde con el logotipo institucional .....	86
Figura 4.75 Composición del sistema modular para muros verdes .....	87
Figura 4.76 Diseño final del logotipo y vegetación del muro verde .....	88
Figura 4.77 Componentes y paleta vegetal (especies seleccionadas) .....	88
Figura 4.78 Proceso y aplicación de la doble capa de impermeabilizante .....	90
Figura 4.79 Detalle de la instalación de tiras de carga .....	91
Figura 4.80 Definición de distribución de cargas en el muro .....	91
Figura 4.81 Tiras de cargas a nivel sostenidas con varilla roscada .....	92
Figura 4.82 Distribución de las tiras de cargas en el muro .....	92
Figura 4.83 Instalación final de las tiras de cargas en el muro .....	92
Figura 4.84 Proceso de instalación basado en módulos y capas (Generación Verde, 2018) .....	94
Figura 4.85 Sistema modular (detalle) .....	94
Figura 4.86 Módulos terminados .....	95
Figura 4.87 Composición del módulo portante .....	95
Figura 4.88 Bolsa contenedora del sustrato .....	96
Figura 4.89 Preparación de esquejes y módulos .....	97
Figura 4.90 Plantas empleadas e instaladas en el muro verde en el IMTA .....	98
Figura 4.91 <i>Graptosedum paraguayensis</i> .....	98
Figura 4.92 <i>Sedum acevedoi</i> .....	99
Figura 4.93 <i>Sedum morganianum</i> "burrito" .....	99
Figura 4.94 <i>Sedum nussbaumerianum</i> .....	100
Figura 4.95 <i>Sedum clavatum</i> .....	100
Figura 4.96 <i>Graptosedum Darley Sunshine</i> .....	100
Figura 4.97 Manejo y traslado de módulos .....	101
Figura 4.98 Acomodo de módulos en el suelo para ordenar la instalación .....	102

Figura 4.99	Colocación de grapas de nivel .....	102
Figura 4.100	Maniobras de instalación.....	103
Figura 4.101	Avance en la instalación de módulos.....	104
Figura 4.102	Instalación terminada del muro verde.....	104
Figura 4.103	Características del sistema de riego.....	107
Figura 4.104	Instalación de medios auxiliares para el sistema de riego.....	108
Figura 4.105	Sistema de iluminación en tierra.....	109
Figura 4.106	Conducción de los sistemas auxiliares, riego e iluminación .....	110
Figura 4.107	Toma eléctrica para el sistema de iluminación en tierra.....	110
Figura 4.108	Componentes de la caja controladora con el Cloudino .....	112
Figura 4.109	Acceso a la programación Cloudino .....	114
Figura 4.110	Conchita de Hidalgo .....	114
Figura 4.111	Echeveria affinis Walther .....	115
Figura 4.112	Uñas de gato.....	115
Figura 4.113	Cola de burro .....	116
Figura 4.114	Echeverría Glauca.....	116
Figura 4.115	Graptopétalo Madreperla .....	117
Figura 4.116	Hawortia.....	117
Figura 4.117	Helecho.....	118
Figura 4.118	Madre perla.....	118
Figura 4.119	Uña de gato.....	119
Figura 4.120	Fitonia .....	119
Figura 4.121	Perejil.....	120
Figura 4.122	Hierbabuena.....	120
Figura 4.123	Tomillo .....	121
Figura 4.124	Lechuga .....	121
Figura 4.125	Lechuga orejona.....	122
Figura 4.126	Lechuga italiana .....	122
Figura 4.127	Labores de mantenimiento de un jardín vertical.....	124
Figura 4.128	Muchas especies mediterráneas y muchas otras que no lo son de origen y que, en cambio, han sido utilizadas tradicionalmente en nuestra jardinería, se adaptan muy bien a condiciones restrictivas de agua.....	130
Figura 4.129	Cubiertas ecológicas o cubiertas extensivas, son un ejemplo de cómo instalar vegetación en condiciones extremas, con bajo mantenimiento y sin riego. A) cubierta extensiva experimental en Vilablareix (Girona), destaca Saponaria ocymoides; B) Dorycnium pentaphyllum; C) Thymus vulgaris ssp. Palearensis en primer plano, al fondo Saponaria ocymoides; D) Sedum sp ...	132



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1	Características de riego, luz y temperatura del ficus repens .....	22
Tabla 4.2	Características de riego, luz y temperatura del geranio.....	22
Tabla 4.3	Características de riego, luz y temperatura del soleirolia soleirolia .....	23
Tabla 4.4	Características de riego, luz y temperatura de Carpobrotus edulis.....	24
Tabla 4.5	Características de riego, luz y temperatura de verbena .....	24
Tabla 4.6	Características de riego, luz y temperatura de Petunias .....	25
Tabla 4.7	Características de riego, luz y temperatura de vinca minor .....	25
Tabla 4.8	Características de riego, luz y temperatura de cissus striata .....	26
Tabla 4.9	Características de riego, luz y temperatura de sedum.....	26
Tabla 4.10	Características de riego, luz y temperatura de vitadinia .....	27
Tabla 4.11	Características de riego, luz y temperatura de codiaeum variegatum.....	27
Tabla 4.12	Propiedades de las turbas (Fernández et al., 1998).....	38
Tabla 4.13	Propiedades de la lana de roca (Fernández et al., 1998).....	39
Tabla 4.14	Propiedades físicas/tamaño de las partículas (mm de diámetro), Fernández et al., 1998 ..	40
Tabla 4.15	Especificaciones del sensor de temperatura.....	41
Tabla 4.16	Especificaciones del arduino .....	42
Tabla 4.17	Especificaciones del Arduino Mega 2560 R3 .....	43
Tabla 4.18	Especificaciones del módulo HL-69 .....	43
Tabla 4.19	Especificaciones del módulo DHT11 .....	44
Tabla 4.20	Especificaciones del módulo DS3231 .....	45
Tabla 4.21	Especificaciones del relevador de control .....	46
Tabla 4.22	Componentes para la automatización.....	46
Tabla 4.23	Valores de los factores del coeficiente del jardín utilizados por Costello et al. (2000) para calcular las necesidades de agua en jardinería .....	106
Tabla 4.24	Características de conchita de Hidalgo.....	114
Tabla 4.25	Características de Echeveria affinis Walther.....	115
Tabla 4.26	Características de Uñas de gato.....	115
Tabla 4.27	Características de Cola de burro .....	116
Tabla 4.28	Características de Echeverría Glauca .....	116
Tabla 4.29	Características de Graptopétalo, Madreperla.....	117
Tabla 4.30	Características de Hawortia.....	117
Tabla 4.31	Características de Helecho .....	118
Tabla 4.32	Características de Madre perla.....	118
Tabla 4.33	Características de Uña de gato .....	119
Tabla 4.34	Características de Fitonia.....	119
Tabla 4.35	Características del perejil .....	120
Tabla 4.36	Características de la hierbabuena .....	120
Tabla 4.37	Características de la hierbabuena .....	121
Tabla 4.38	Características de la lechuga vulcan var. vulcan.....	121
Tabla 4.39	Características de la lechuga orejona var. Parris Island.....	122
Tabla 4.40	Características de la lechuga italiana var. tropicana .....	122



## **1 INTRODUCCIÓN**

En la actualidad la mayoría de la población vive en ciudades. Esto conlleva una explotación excesiva de los recursos naturales, un aumento acelerado de la demanda de recursos, además de un incremento de la contaminación atmosférica y del agua. Esto nos señala la necesidad de buscar alternativas para crear ciudades sostenibles.

La utilización de la vegetación en la arquitectura, tiene una interesante influencia en esta por su capacidad para modificarla. Además de su función estética, está su intervención más funcional.

Esto es debido principalmente a sus excelentes cualidades aislantes, fruto de la combinación de plantas junto con su capa de tierra, ya que en los climas fríos, hace que se retenga el calor en el interior de la casa, en cambio en climas calurosos actúa de manera inversa dificultando la entrada de calor del exterior.

Actualmente, existen y se están implantando toda una serie de nuevos sistemas constructivos que facilitan y posibilitan el poder incorporar muchos otros tipos de plantas a las fachadas de edificios, paredes y muros mediante unas estructuras tridimensionales verticales como son los paneles y también los geoproductos. Esta tipología de construcción está ayudando a evolucionar mucho conceptual y técnicamente el concepto de los ajardinamientos verticales, respecto de los sistemas más tradicionales.

Este crecimiento tecnológico en cuanto a la fabricación de jardines verticales viene motivado por la creciente consideración de la sociedad en cuanto a los espacios verdes y la calidad ambiental de las ciudades; animado a su vez por el creciente empeoramiento de las condiciones ambientales que rodean a las ciudades debido a la enorme cantidad de contaminación existente como a la reducción de las áreas verdes de las ciudades.

## **2 OBJETIVOS**

Generar infraestructura para la promoción, difusión y transferencia de tecnologías verdes en zonas urbanas, partiendo de la instalación de un muro verde en el IMTA.

## **3 ENTREGABLES**

- Muro verde en el exterior del edificio de Riego y Drenaje (se describe en la sección 4.2 del presente documento).
- Informe final que es el presente documento en donde se documentan las actividades realizadas, los productos comprometidos y resultados del presente proyecto.

## 4 ACTIVIDADES

### 4.1 Compilación de información planteamiento técnico

#### 4.1.1 Marco teórico

##### 4.1.1.1 Jardinería y biosistemas urbanos

Entre los 42 países de América Latina y el Caribe suman 595 millones de habitantes. A partir de 2010 esta población se ubica en zonas principalmente urbanas (ONU, 2012). Para 2040, dos billones de personas estarán habitando las principales ciudades. La evolución de la gestión integrada de los recursos hídricos ha pasado (o está en ese proceso) del manejo de la cuenca a la gestión hídrica en la ciudad. La agricultura también está migrando a las ciudades sumando el intensivo consumo de recursos al consumo de la población.

En energía se estima un incremento del 35% en la demanda global, uso de energía en los edificios residenciales y comerciales es responsable del 40%, aproximadamente del consumo total de energía y del 36% de las emisiones totales comunitarias de CO<sub>2</sub>. Por tanto, los edificios pueden llegar a ser uno de los principales espacios en la carrera por un mejor uso de la energía y contra el Cambio Climático (Sánchez, 2015).

Un porcentaje similar será en el recurso hídrico. La gestión integrada de recursos hídricos "GIRH es un proceso que promueve la gestión y el desarrollo coordinados del agua, el suelo" y demás recursos para potenciar su uso "sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas vitales". En la zona metropolitana de la Ciudad de México habitan más de 22 millones de una población apostada en aproximadamente 8,000 km<sup>2</sup>, lo que implica una densidad de habitantes de las más altas del mundo que ha ido absorbiendo la zona rural por la urbana. Frente a ello, se han puesto en marcha tecnologías disruptivas con el fin de atender la transformación del sector.

La urbanización de la población se inició por una combinación de dos grandes circunstancias estructurales: por una parte, el proceso de industrialización y de modernización sociocultural de los países, cuyo espacio estuvo en las ciudades; y la segunda, el estancamiento productivo y social del campo y la aguda inequidad en el acceso a los recursos. Esta combinación provocó el agudizamiento de las brechas efectivas y de oportunidades entre ambos ámbitos, dando como resultado el deterioro del medio rural como forma de vida y detonador de la exponencial migración de su población (CELADE-ECLAC, 2012).

Agricultura urbana, fábrica de plantas, granjas verticales, muros y azoteas verdes, son solo algunas de las tecnologías que han surgido y de manera exponencial se han



posicionado como alternativas de producción agrícola. La implementación de estas tecnologías indiscutiblemente pertenece a la cuarta generación de la agricultura, también llamada *big data*, donde todo está interconectado y puede ser operado y gestionado con ceros y unos. Pero, además, implica gestión del recurso mediante tratamiento de aguas residuales, reciclaje del agua, cosecha de lluvia y de gestión de la demanda. En este trabajo se expone la viabilidad en la implantación de estas tecnologías, sus ventajas y requerimientos desde el punto de vista hídrico.

#### 4.1.1.1.1 Tecnologías disruptivas en el sector agrícola

Uno de los principales avances en el desarrollo del sector agrícola ha sido lograr un incremento en los rendimientos, con lo cual ha sido posible redireccionar los objetivos de altas productividades por las propiedades del cultivo, desde luego sin dejar de lado el uso eficiente de los recursos.

Uno de los problemas del siglo XXI es la rapidez con que suceden las cosas y en consecuencia la mala alimentación de la población debido a la rapidez de la vida misma lo que deriva en poco tiempo para hacer una comida saludable; la reducción de la calidad de vida se asocia con el sedentarismo y la falta de tiempo para ejercitarse (Buzby, 2011), lo cual está siendo adaptado por la horticultura protegida como un reto.

Cabe destacar que, esta técnica no solo implica la producción de cultivos, captación de CO<sub>2</sub>, amortiguamiento del ruido, disipación de la contaminación, estabilización del clima; por lo que la utilidad es vasta y los límites se encuentran en la creatividad de la población.

##### **A. Luces artificiales de colores (LED)**

Lograr que la planta misma en su fisiología incremente propiedades ha sido posible usando herramientas como el fertirriego o el uso de luces artificiales o LED que además que aporta soluciones al consumo de energía, provee de características específicas a los productos hortícolas como el tomate o lechuga.

El uso de luces artificiales ayuda a inducir crecimiento del cultivo en momentos específicos de su desarrollo y con ello manipular las características, como intensificar el follaje con el fin de atenuar la fotosíntesis en edad temprana (Figura 4.1).

##### **B. Agricultura urbana**

El ininterrumpido crecimiento de las ciudades ha dado como resultado una reducción o en algunos casos la eliminación de zonas de cultivo. Buscando alternativas, se desarrolló la agricultura urbana, techos y paredes verdes. Esta tecnología actualmente compite fuertemente con la protegida al menos en superficie.

Una de las ventajas de la horticultura urbana es la disposición de tecnologías que permiten cultivar y cosechar productos en un mismo espacio y poder disponer de

ella de manera casi inmediata. Con la agricultura protegida surgieron formas artificiales de producción agrícola, que han alcanzado un máximo en la agricultura urbana (Figura 4.2).

Además, un aspecto que ha comenzado a marcar diferencias es la calidad del consumo, con productos cultivados de manera totalmente orgánica.



**Figura 4.1** Agricultura artificial

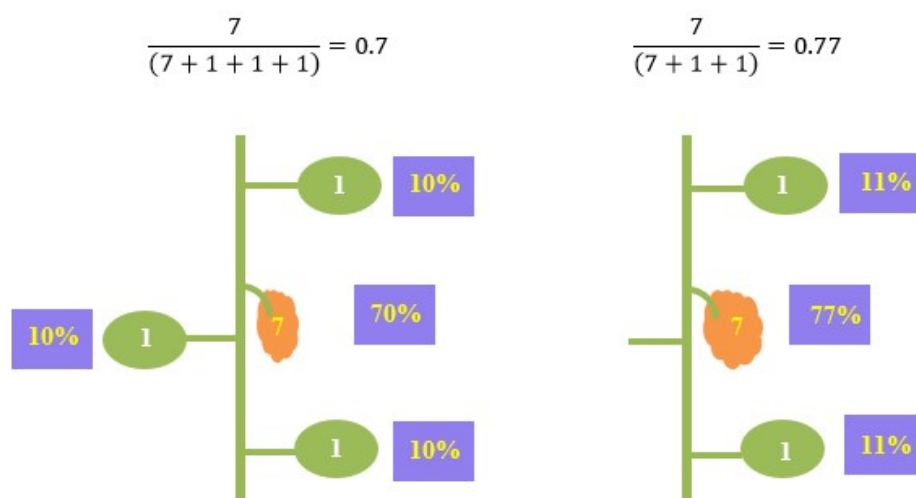
La zona metropolitana de la hoy Ciudad de México alberga más de 22 millones de habitantes apostados en aproximadamente 8,000 km<sup>2</sup>, lo que implica una densidad de habitantes de las más altas del mundo que ha ido absorbiendo la zona rural por la urbana. Lo anterior prácticamente signa las bases para la implementación de la agricultura urbana casi de manera “*per se*”, cuyo sistema ha de permitir la producción de entre 5 y 10 cultivos entre hortalizas, verduras y hasta medicinales de autoconsumo, en sistemas verticales, azoteas o balcones.



Figura 4.2 Agricultura urbana (IMTA, 2012)

### C. Fábrica de plantas

La evolución de la agricultura se mantiene en constante crecimiento; el concepto de fábrica de plantas consiste en la producción de cultivos con el menor “gasto” de recursos. Esto está siendo posible mediante el conocimiento específico de la fisiología de la planta y en consecuencia llevar a cabo un manejo exquisito de la misma. Por ejemplo, estudios realizados por el grupo de trabajo del Dr. Marcelis de la Universidad de Wageningen en Holanda han puesto en evidencia que las plantas cultivadas mantienen diferente condición física a lo largo del día y desde luego una marcada diferencia por ejemplo de temperatura entre el día y la noche (comunicación directa). Esto implica que los requerimientos también son diferentes. En términos prácticos, dicho grupo de investigación sostiene que, en el tomate, la mejor relación “fuente-sumidero” ocurre cuando el índice de área foliar (FAI, por sus siglas en inglés) es de 3.5.



Los números amarillos dentro de las hojas y el racimo= fuerza de sumidero  
**Figura 4.3 Fracción de asimilación de nutrientes por los frutos**

Las nuevas tendencias en horticultura avanzan con pasos agigantados, las herramientas tecnológicas, el uso de microsensores, controladores, actuadores, luces artificiales, etc., son solo algunos de los proyectos que están siendo adecuados para que sean económicamente viables a cualquier usuario, mientras tanto, las nuevas generaciones de horticultores, deben estar conscientes que, si desean permanecer en este mercado, es conveniente:

- Desarrollar un alto nivel en el conocimiento fisiológico de la planta.
- Ser capaz de combinar la producción hortícola con los modelos matemáticos.
- Habilidades en el manejo del cultivo, de acuerdo a las variaciones geográficas o ambientales.
- Profundo conocimiento del manejo de las variables climáticas y capacidad de adaptación.

#### 4.1.1.1.2 La gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH) en la cuenca

La agricultura es una actividad que, en la evolución tecnológica, ya muy poca conserva con respecto a su inicio como sistema de producción. Los incommensurables cuerpos de agua han desaparecido, y los que quedan en mayor o menor grado están contaminados. La agricultura es un gran consumidor de los recursos naturales, agua, suelo, aire, ambiente.

El fundamento de la GIRH se ha constituido como el instrumento para conducir el sector hacia el desarrollo, mediante la gestión eficiente, equitativa y sostenible de un recurso que cada día será más limitado (FAO, 2018).

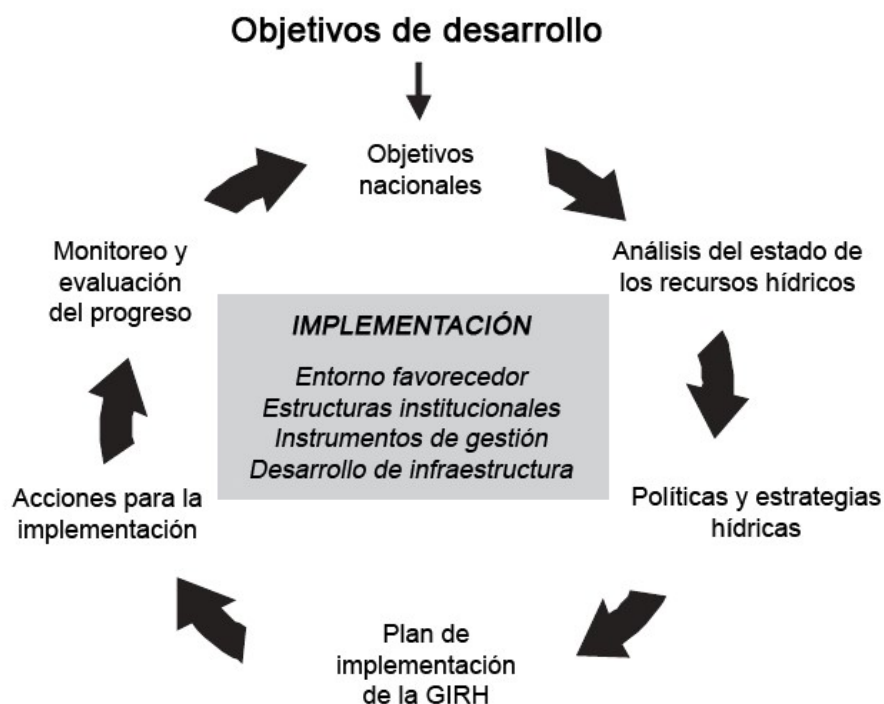


Figura 4.4 Fases en la implementación de la GIRH (FAO, 2014)

La gestión del riego agrícola en México, está basado en la distribución espacial de las cuencas hidrológicas. La designación del agua de riego, inicia desde la parcela, con los requerimientos de riego de los cultivos que se van a sembrar y con ello inicia la estimación de láminas hasta la fuente, que son las presas de almacenamiento.

#### 4.1.1.2 Agricultura urbana

Se trate de agricultura vertical, fábricas de plantas, agricultura urbana, cultivo en invernaderos o de cultivos en azoteas, es notoria la tendencia y el interés mundial por desarrollar una agricultura altamente productiva bajo un medio ambiente controlado (Biosistemas). Bajo este campo de actuación destacan diversas opciones y alternativas novedosas, basadas en la innovación científica y tecnológica, con fines de autoconsumo, ornato, mejora ambiental, medicinal, usos recreativos y empresariales.

La agricultura urbana es la práctica agrícola y pecuaria en las ciudades, que por iniciativa de los productores afincados en las ciudades y sus alrededores; utilizan los mismos recursos locales, como mano de obra, espacios, agua y desechos sólidos orgánicos y químicos, así como servicios, con el fin de generar productos de autoconsumo y también destinados a la producción de alimentos para el autoconsumo y venta en el mercado.

Lo habitual es que la agricultura urbana esté destinada a la obtención de alimentos frescos. Al tener acceso inmediato a cultivos, quienes viven en las ciudades incrementan



su seguridad alimentaria, ya que no dependen solo de las materias primas que llegan desde los campos.

Otro beneficio que aporta la agricultura urbana es que reduce el uso de energía y, por lo tanto, contribuye a minimizar la contaminación. Al no tener que trasladar los alimentos desde otras zonas, no se movilizan vehículos contaminantes con la carga correspondiente.



Figura 4.5 Agricultura urbana

La agricultura urbana puede ser definida como el cultivo de plantas y la cría de animales en el interior y en los alrededores de las ciudades. La agricultura urbana y periurbana proporciona productos alimentarios de distintos tipos de cultivos (granos, raíces, hortalizas, hongos, frutas), animales (aves, conejos, cabras, ovejas, ganado vacuno, cerdos, cobayas, pescado, etc.) así como productos no alimentarios (plantas aromáticas y medicinales, plantas ornamentales, productos de los árboles).

**La agricultura urbana incluye la silvicultura – para producir frutas y leña.**

Las hortalizas tienen un ciclo de producción corto, algunas se pueden recolectar a los 60 días de la siembra, lo cual se adecua a la agricultura urbana. Los huertos pueden ser hasta 15 veces más productivos que las fincas rurales. Un espacio de apenas un metro cuadrado puede proporcionar 20 kg de comida al año. Los horticultores urbanos gastan menos en transporte, envasado y almacenamiento, y pueden vender directamente a puestos de comida en la calle y en el mercado, así obtienen más ingresos en lugar de que vayan a parar a los intermediarios (*Fao.org*).

*4.1.1.3 Muros verdes*

El muro verde surge del trabajo sobre los principios de protección de los valores naturales, del fomento de un desarrollo sostenible y la necesidad de proteger el entorno. El muro verde es una estructura de contención que consiste en un núcleo de suelo reforzado donde las solicitaciones a las que está sometido son soportadas por geomallas,

que permite inclinaciones variables y sin limitaciones de altura, con la particularidad de que el paramento es vegetalizable.

Es una instalación cubierta de plantas de diversas especies que son cultivadas en una estructura especial, dando la apariencia de ser un jardín, pero con una ubicación en vertical. La principal característica de esta tipología es que la planta obtiene todos los nutrientes necesarios directamente del suelo ya que es donde se encuentran sus raíces. Se trata, por tanto, de un sistema con un crecimiento lento, ya que tarda varios años en avanzar debido al propio desarrollo de la planta.

Un muro verde es una instalación cubierta de plantas de diversas especies que son cultivadas en una estructura especial, dando la apariencia de ser un jardín, pero con una ubicación en vertical. Las paredes de cultivo son una forma de agricultura o jardinería urbana. Suelen acometerse como un trabajo artístico por su belleza, pero también, incrementan los niveles de oxígeno en el aire de recirculación.



**Figura 4.6 Muro verde natural**

Asimismo, es un medio de reutilización del agua, al menos del agua utilitaria. Las plantas pueden purificar el agua contaminada (agua gris) por digestión de los nutrientes disueltos. Las bacterias mineralizan los componentes orgánicos para hacerlos disponibles para las plantas.

Las paredes de cultivo son muy prácticas para ciudades, en especial en áreas verticales. También para áreas áridas, ya que el agua de circulación en la pared vertical es menos evaporable que en jardines horizontales. En áreas áridas y calurosas, estas paredes

pueden formar parte de las paredes externas de un edificio, y poder refrescarlas. (issuu/guía techos verdes, jardines verticales).



Figura 4.7 Ventajas de un muro verde

#### 4.1.1.4 Clasificación de muros verdes

##### 4.1.1.4.1 Muros verdes tradicionales

Este tipo engloba los sistemas donde las plantas se encargan de cubrir, en mayor o menor medida, la fachada, sin necesidad de una estructura o sistema constructivo que favorece este crecimiento.

Por ello, este sistema se limita casi en exclusiva a las plantas trepadoras, ya que son las únicas que pueden adherirse al paramento vertical. También entrarían en esta clasificación las plantas enredaderas, que utilizan los soportes existentes (vallas, pilares) para avanzar en su crecimiento.





Figura 4.8 Muro verde interior

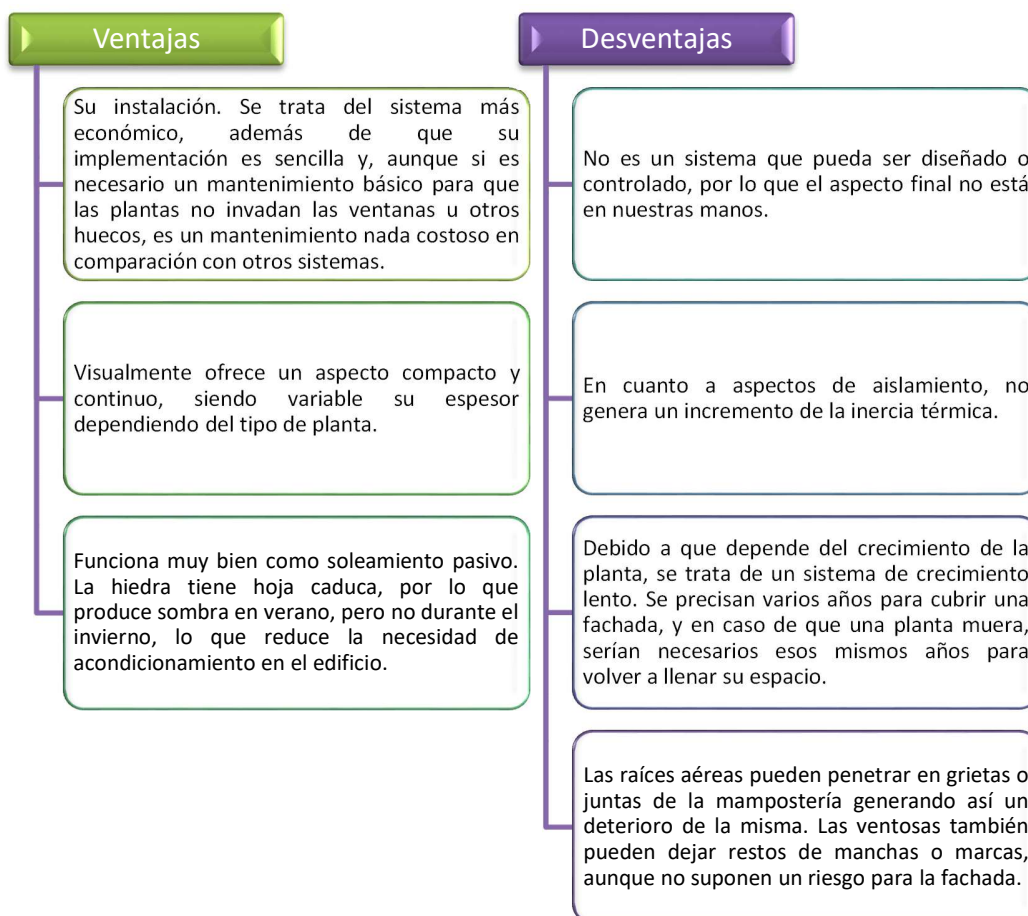


Figura 4.9 Ventajas y desventajas del muro verde tradicional

#### 4.1.1.4.2 Muros verdes con medios auxiliares

Para aquellas especies que no disponen de propiedades adherentes, se pueden instalar distintos medios auxiliares que propicien el crecimiento de las plantas. Las soluciones son tantas como se pueden imaginar, combinando cables, mallas, tensores, abrazadas, etc.



Figura 4.10 Muro verde en exterior

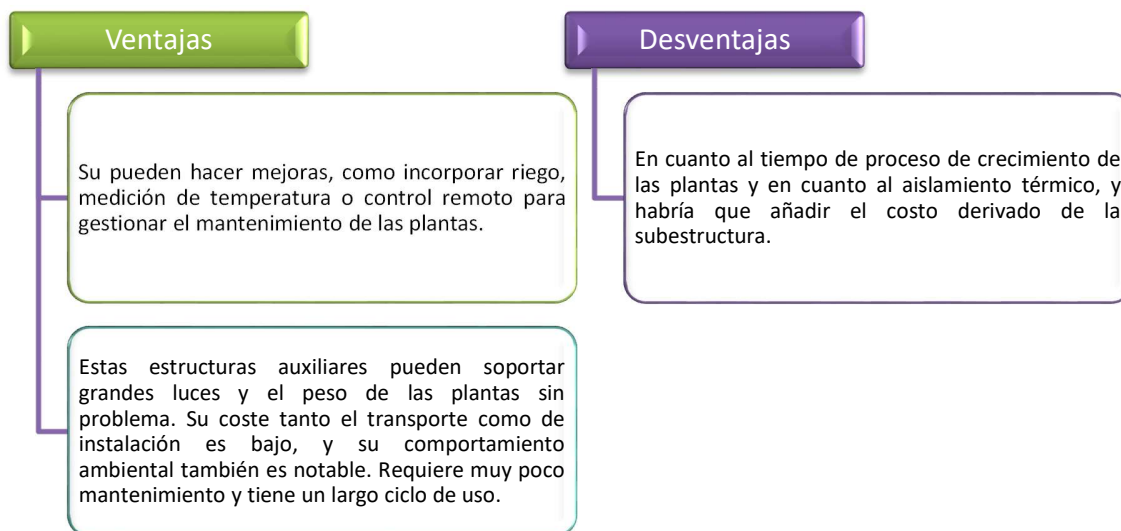


Figura 4.11 Ventajas y desventajas de muros verdes con medios auxiliares

#### 4.1.1.5 *Plant factory (fábrica de plantas)*

Plant factory es una instalación que ayuda a la producción constante de vegetales de alta calidad durante todo el año controlando artificialmente el entorno de cultivo (por ejemplo, luz, temperatura, humedad, concentración de dióxido de carbono y solución de cultivo), permitiendo a los productores planificar la producción.

Al controlar el entorno interno, las fábricas de plantas pueden producir verduras de dos a cuatro veces más rápido que con un cultivo típico al aire libre. Además, como se usan múltiples estantes de cultivo, se facilita la producción masiva de vegetales en un espacio pequeño.

#### **Ventajas.**

- Proporciona producción agrícola estable durante todo el año.
- Se puede establecer en casi cualquier lugar, por ejemplo, un parque industrial o una tienda vacía en un distrito comercial. No requiere grandes tierras de cultivo.
- Puede ser un uso eficiente de la tierra por cultivo de etapas múltiples.
- Para lograr una mayor productividad a través de la automatización y el cultivo múltiple.
- Los productos pueden ser uniformes en tamaño y forma, por lo que su procesamiento es muy sencillo.
- El contenido de un nutriente puede aumentar.
- La cosecha es segura porque no contiene pesticidas.

#### **Las acciones necesarias para una mayor promoción son las siguientes.**

- Disminuir el costo de las instalaciones y la energía.
- Establecimiento de tecnología de cultivo y desarrollo de recursos humanos.
- Desarrollo y expansión de variedades de cultivos que plantan.



**Figura 4.12 Plant factory**

#### 4.1.1.6 Vertical farm (granja vertical)

Las granjas verticales son aquellas granjas que se desarrollan en edificios o rascacielos acondicionados para que se pueda llevar a cabo la producción, ya sea como agricultura, acuicultura o ganadería en el interior de estos. El concepto de granjas verticales se ha explorado por décadas, pero hasta ahora es que se muestra económicamente viable. Empresas dedicadas a este negocio están germinando cosechas de productos que normalmente toman 30 días en el campo en períodos de 16 días, utilizando 95% menos agua, 50% menos fertilizante, cero pesticidas, herbicidas y fungicidas.

Al tener granjas verticales estas contribuyen a que los habitantes de la comunidad suplan todas sus necesidades alimenticias reutilizando infraestructuras acondicionadas con tecnología de punta; utilizan luz artificial, control climatológico y redes sensoriales. En un futuro no muy lejano se espera que el consumidor se convierta entonces en el productor y el habitante del jardín.

#### **Las ventajas de las granjas verticales son numerosas:**

- Rendimientos elevados a lo largo del año (se pueden cosechar cantidades significativas de hortalizas sobre una superficie relativamente pequeña).
- Llegada a madurez de las hortalizas más rápida, permitiendo varias cosechas al año.
- Reducción del uso del agua.
- Ausencia de pesticidas y organismos genéticamente modificados (OGM).
- Ausencia de enfermedades debido a plagas ya que las plantas se cultivan fuera de suelo.
- Ausencia de maquinaria agrícola tradicional: tractores, pulverizadores, sembradoras, entre otros.
- Reciclaje integral de los nutrientes que no fueron utilizados.



### Las granjas verticales están formadas básicamente por los siguientes elementos:

1. **Paneles solares**. La mayoría de las granjas verticales planteadas serían autoabastecibles mediante su propio sistema energético. Los paneles solares rotatorios en dirección del sol (seguidores solares) instalados en la parte alta del edificio son una de las posibilidades. Además, serviría para mantener el interior fresco de la granja.
2. **Turbina de viento espiral**. Una alternativa o un complemento es una espiral rotativa eólica. Estaría colocada también en la parte alta del edificio con el fin de generar energía eólica.
3. **Paneles de cristal especiales** para que el agua deslice lo mejor posible. De esta forma ensucia menos, permite mayor claridad y entrada de luz, y el agua que se recoge para su tratamiento es mayor que si se quedara adherida, ya que se evaporaría.
4. **Sala de control**. El edificio entero estaría controlado 24 horas por un equipo de especialistas.
5. **La arquitectura**. Con un diseño circular que permitiría aprovechar de forma más eficiente el espacio. Además, permite una máxima iluminación natural en el centro.
6. **Los cultivos**. Los expertos estiman que un edificio de estas características podría proporcionar fruta, verdura, agua, pescado y carne para unas 50 mil personas. Toda una granja con cultivos y ganadería en un rascacielos.



Figura 4.13 Vertical farm

#### 4.1.1.7 Cuarta generación de la agricultura

La agricultura ha sufrido en los últimos 100 años tres revoluciones que la han llevado a ser la actividad tal y como la conocemos ahora mismo. Sin embargo, en estos mismos momentos, somos testigos de una nueva revolución. Una revolución que se escribe en 0 y 1.

La agricultura es un sector que ha ido incorporando las tecnologías ya consolidadas en otras industrias. La *primera revolución* fue el cambio de la tracción animal por la tracción mecánica, cuando está ya estaba consolidada en otras industrias e incluso en el transporte de personas por mar.

Décadas después, los descubrimientos de Haber-Bosch, permitieron crear fertilizantes de síntesis que potenciaban el crecimiento de los cultivos nunca antes vistos. La *segunda revolución* de la agricultura estaba en marcha.

Tras la Segunda Gran Guerra, Norman Borlaug preocupado por las escasas producciones que obtenían los países tras un evento tan lesivo para la humanidad, comenzó a mejorar las plantas de los principales cultivos del mundo. La *Revolución Verde* llegó, y evolucionó la agricultura hasta como la conocemos hoy en día, la agricultura moderna (o agricultura industrial).

Y ahora mismo, estamos inmersos en una nueva revolución agrícola. Una revolución que está acercando dos mundos tan alejados como son el trabajo en la tierra con la informática y la gestión masiva de datos, o *Big Data*. La Revolución de los datos ha llegado a la agricultura.

La dimensión 4.0 de la que hablamos es una dimensión en la que todo está conectado. Todo emite datos que pueden ser captados y analizados de forma masiva. Y tras ese análisis, el usuario recibe las mejores opciones para no errar en su decisión.

Y esta 4.0 era es aplicable, y se está aplicando, en la agricultura hoy en día. Muchos actores han visto una gran oportunidad para hacer la agricultura más productiva, más sostenible y menos consumista de recursos. Y todo ello, con solo analizar los datos que podemos obtener desde un olivo o animal, hasta las ventas del producto en los mercados internacionales.

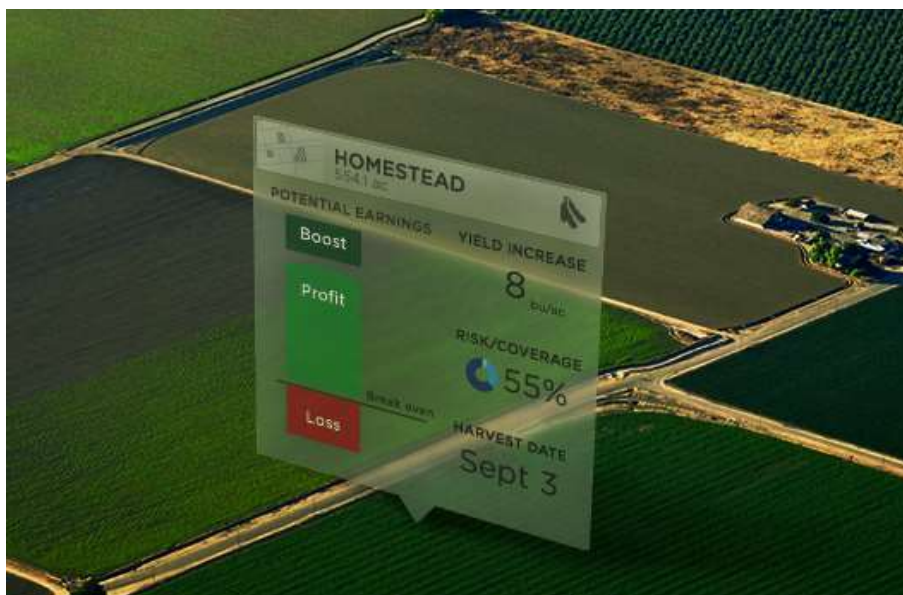


Figura 4.14 Cuarta revolución de la agricultura





## 4.1.2 Material vegetal

### 4.1.2.1 Plantas

México es el país con la mayor cantidad de especies de la familia de las cactáceas; las imágenes siguientes muestran la diversidad y parecido de las plantas utilizadas en la jardinería en general, presentada por la empresa verde vertical.



Figura 4.15 Catálogo de plantas, especies "A" (cactáceas)

**VERDEVERTICAL**  
EL DESTINO ES EL ORIGEN

CATÁLOGO DE PLANTAS  
ESPECIES "B"



Figura 4.16 Catálogo de plantas, especies "B" (cactáceas)



**VERDEVERTICAL**  
EL DESTINO ES EL ORIGEN

CATÁLOGO DE PLANTAS  
ESPECIES "C"



Figura 4.17 Catálogo de plantas, especies "C" (cactáceas)

Las figuras anteriores muestran la gran diversidad de especies existentes susceptibles de ser acondicionadas en espacios urbanos; de forma aislada o en jardines verticales u horizontales.

La oportunidad de ser colocados dependerá de las condiciones medioambientales. A continuación, se presentan algunas características de cada especie.

#### 4.1.2.1.1 Ficus repens

Ficus Repens es un miembro encantador de la especie Ficus que posee hojas un poco más pequeñas que el resto y se caracterizan por tener ligeramente una forma de corazón. Generalmente, se cultiva como una planta de interior, pero también puede ser cultivado en exteriores, en climas sin inviernos pesados.



Figura 4.18 Ficus repens

Tabla 4.1 Características de riego, luz y temperatura del ficus repens

Riego	Luz y temperatura
Regar moderadamente cada 4-5 días durante el verano con agua a temperatura ambiente, reducir los riegos en invierno cada 8-10 días, esperando a que la tierra se seque entre riego y riego. Resiste bien el ambiente seco, por lo que no es preciso pulverizarla.	Debe estar en una situación muy luminosa, pero sin luz solar directa. En invierno, debe estar entre 10 y 15°C.

#### 4.1.2.1.2 Geranio

Los geranios son plantas de exterior con flores de atractivos y vivos colores. Florecen durante el verano y son bastante resistentes.



Figura 4.19 Geranio

Tabla 4.2 Características de riego, luz y temperatura del geranio

Riego	Luz y temperatura
En primavera y verano hay que regar los geranios con frecuencia, al menos dos veces por semana, mientras que en otoño basta con un riego semanal. Durante el invierno casi no necesitan agua. Es importante evitar los encharcamientos.	El geranio necesita mucha luz, así como algunas horas de luz solar directa para mejorar su floración. Se puede situar a pleno sol o en semi-sombra asegurándonos de que reciba una buena ración de rayos solares y al mismo tiempo protección durante las horas más calurosas del día. Demasiada sombra puede provocar que la planta de menos flores.  El geranio puede soportar temperaturas de hasta 30°C pero no resiste el frío (menos de 10°C) ni las heladas. Por eso es conveniente protegerlos en invierno.

#### 4.1.2.1.3 Soleirolia soleirolia

Usualmente, los ejemplares de soleirolia no superan los 15 centímetros de alto y lucen hojas verdes, pequeñas y redondeadas que mantienen su color durante casi todo el año.



Figura 4.20 Soleirolia

Tabla 4.3 Características de riego, luz y temperatura del soleirolia soleirolia

Riego	Luz y temperatura
<p>Como se trata de una planta que necesita de mucha humedad, debe ser sometida a un riego moderado pero regular, teniendo cuidado de que el sustrato jamás se seque pero que al mismo tiempo el agua no quede encharcada.</p>	<p>Esta planta necesita estar ubicada en un lugar con mucha luz, aunque siempre debe evitarse el sol directo, debido a que éste puede quemar las hojas con bastante facilidad. En aquellas zonas donde el sol se perciba más fuerte, la soleirolia puede cultivarse en jardines, teniendo cuidado de ubicarla en el área más sombría y húmeda.</p> <p>El geranio puede soportar temperaturas de hasta 30°C pero no resiste el frío (menos de 10°C) ni las heladas. Por eso es conveniente protegerlos en invierno.</p> <p>La soleirolia prefiere los climas templados, es resistente a las heladas suaves (siempre que no sean inferiores a los 0 grados centígrados) y no soporta el sol fuerte.</p>



#### 4.1.2.1.4 *Carpobrotus edulis*

*Carpobrotus edulis* crece por estolones que se propagan a lo largo de la superficie del suelo, produciendo nuevos retoños a todos los demás nodos. Esta característica le permite colonizar nuevas; es un invasor agresivo en muchos hábitats costeros de todo el mundo y tiene un efecto negativo sobre la diversidad de la flora nativa (Roiloa et al., 2013).



Figura 4.21 *Carpobrotus edulis*

Tabla 4.4 Características de riego, luz y temperatura de *Carpobrotus edulis*

Riego	Luz y temperatura
Los riegos serán moderados excepto en verano, que aumentarán un poco. Es una planta ultrarresistente a la sequía, utilizándose para revegetar taludes secos y escarpados en zonas costeras.	Las ubicaremos a pleno sol, orientadas al sur, y debemos tener en cuenta que tolera altas temperaturas pero no las heladas. Los requerimientos son: luz, pleno sol; temperaturas, resiste -6°C; tolera suelos salinos, crece en suelos pobres y secos.

#### 4.1.2.1.5 Verbena

Son plantas con hojas pequeñas, de verde oscuro, irregularmente dentadas, con aromas agradables a especia. Las flores, de colores variados aparecen reunidas en cabezuelas muy densas.



Figura 4.22 Verbena

Tabla 4.5 Características de riego, luz y temperatura de verbena

Riego	Luz y temperatura
Es una planta bastante resistente a la sequía. Un riego semanal suele ser suficiente una vez estén bien adaptadas al terreno. Es importante no regar en demasía debiendo dejar un par de días el terreno seco antes de volver a regar.	Prefiere el sol, aunque tolera la semisombra. Es una planta amante de climas templados o cálidos. No soporta las heladas, por lo que es mejor plantarla en lugares donde los inviernos no son muy duros.

#### 4.1.2.1.6 Petunias

Las petunias son unas flores bellas que requieren mucha menos agua que otras flores de su mismo estilo. Las petunias crecen durante todo el año y están disponibles en una gran variedad de colores por lo que embellecerán el jardín durante los 365 días que dura el año. Estas plantas, aunque aguantan bien con poca agua, requieren sol y una tierra bien drenada para poder sobrevivir.



**Figura 4.23** Petunias

**Tabla 4.6** Características de riego, luz y temperatura de Petunias

Riego	Luz y temperatura
Estas plantas se adaptan bien al calor. Regar una vez por semana es suficiente. En invierno espacia a un riego cada 14 días. Regar dos veces por semana en verano y una en invierno.	Las petunias necesitan entre 4-5 horas de sol, pueden crecer con sombra parcial pero tendrán menos flores. Si quieres que luzcan sus bonitas flores al menos 4 horas de sol diarias necesitarán. Aptas en temperaturas cálidas entre 16 y 25°C.

#### 4.1.2.1.7 Vinca mayor o minor

La vinca es una planta perfecta para cubrir zonas del jardín, como rocallas o taludes, por su frondosidad. Las hojas de la vinca son perennes, ovaladas, de pequeño tamaño y se mantienen siempre verdes.



**Figura 4.24** Vinca minor

**Tabla 4.7** Características de riego, luz y temperatura de vinca minor

Riego	Luz y temperatura
Los riegos deben ser moderados en todas las épocas del año; en verano aumentarlos si el calor es intenso, pues la falta de agua hace menor la floración.	La mayoría de las especies necesitan situarse a la sombra o semisombra y viven mejor en regiones de clima templado, donde las temperaturas anuales estén comprendidas entre los 15°C y los 25 °C. Son muy apropiadas para poner en jardineras por su rápido crecimiento. No supera los 50 cm de altura.

#### 4.1.2.1.8 Cissus striata

Son arbustos de porte colgante o trepador que presentan elegantes hojas con forma de rombo y color verde oscuro brillante compuestas por tres folíolos. No suelen florecer, pero si lo hacen las flores no tienen interés ornamental.



Figura 4.25 Cissus striata

Tabla 4.8 Características de riego, luz y temperatura de cissus striata

Riego	Luz y temperatura
Necesitará riegos regulares, con agua sin cal, en primavera y verano para que la tierra siempre mantenga un cierto grado de humedad pues no toleran la sequía. Conviene rociar la planta de vez en cuando especialmente en verano.	La mejor exposición es una luminosa, pero sin sol directo y una temperatura más bien fresca. El calor excesivo hace que las hojas se pongan marrones en la punta. Es mejor que la temperatura no baje de los 10 °C aunque les conviene un período de reposo a unos 12-15 °C. No les gusta el calor excesivo y la mala ventilación.

#### 4.1.2.1.9 Sedum

El sedum palmeri es una planta suculenta de crecimiento rápido y porte rastrero que alcanza los 15 cm de altura. Las hojas, de color verde claro, se disponen en roseta y son planas y suculentas. Produce atractivas flores de color amarillo. Florecen en invierno.



Figura 4.26 Sedum

Tabla 4.9 Características de riego, luz y temperatura de sedum

Riego	Luz y temperatura
Regar de forma moderada, por ejemplo, una vez por semana en primavera y verano, cada 2 semanas en otoño y una vez al mes en invierno. Resisten muy bien la sequía.	Las plantas de sedum son plantas que solicitan mucha luz, también sol directo, en todas las estaciones del año. Lo óptimo es una exposición al sur y evitar en cambio una exposición al norte. No tienen grandes problemas con las temperaturas máximas mientras que las invernales tienen que andar entre 10-13 °C, pero atención a que no bajen de 10°C. Si las temperaturas llegan a estos valores, asegúrese de dejar la planta perfectamente seca.



#### 4.1.2.1.10 Vitadinia

Es una planta rastrera vivaz que se extiende mediante estolones y mide hasta 25 cm de altura. Posee pequeñas hojas recortadas finamente. Sus atractivas flores, azules o malvas, surgen en grandes cantidades y se parecen a las margaritas. Florecen durante toda la primavera y el verano.



Figura 4.27 Vitadinia

Tabla 4.10 Características de riego, luz y temperatura de vitadinia

Riego	Luz y temperatura
Los riegos deberán ser moderados ya que es bastante resistente a la sequía; es mejor esperar a que la tierra de haya secado del todo antes de volver a regar.	La vitadinia azul prospera en exposición de pleno sol y es capaz de tolerar alguna helada de hasta -7 °C. No es exigente con el suelo mientras esté bien drenado, pudiendo vivir en suelos calcáreos y pobres.

#### 4.1.2.1.11 Codiaeum variegatum

Pertenece a la familia de las Euforbiáceas. Es un género que comprende una amplia gama de plantas decorativas. Tiene su origen en Malasia, Polinesia e Indias orientales. Las hojas son alternas, pecioladas, perennes y de formas diversas: lobuladas, ovaladas, trilobulares, lanceoladas; con distintos tonos de verde, blanco, rosa, rojo, amarillo y marrón. Las flores son diminutas y no tienen interés decorativo.



Figura 4.28 Codiaeum variegatum

Tabla 4.11 Características de riego, luz y temperatura de codiaeum variegatum

Riego	Luz y temperatura
Los riegos deberán ser regulares para mantener la tierra húmeda, pero sin encharcarla. Es planta ideal para cultivar en macetas con reserva de agua. De esta forma se autoabastecen durante una buena temporada. Conviene regarlo con el agua ligeramente tibia.	El crotón es bastante exigente en cuanto a nivel de luminosidad. Debe colocarse cerca de una ventana evitando la incidencia de sol directo, que podría quemar y dañar los característicos matices coloristas de sus hojas. Requiere una temperatura constante y cálida a lo largo del año, y evitaremos las corrientes de aire. Ideal 18°-24°C, mín. 5°-9°C.



### 4.1.3 Componentes de un biosistema vertical

#### 4.1.3.1 Geomallas

Módulos de geotextil especial para MUROS VERDES O JARDINES VERTICALES reforzado y de larga durabilidad, es el material indicado y perfecto para elaborarlos, sin ningún problema de desgarro, ni problemas de humedad, están cosidos con hilo resistente a máquina profesional, las bolsas ya vienen abiertas listas para instalar las plantas, en la parte posterior lleva su geo membrana la cual funciona como protector a la pared esto hace que no haya filtraciones de agua ni humedad en la pared.

Medidas de todo el módulo: por lo general son de un metro ancho por un metro de alto; aunque se pueden fabricar a diferentes medidas para ser adaptadas al espacio y sobre todo de manejo.

Medidas de las bolsas: 20 cm de ancho por 20 cm de alto (ideal para desarrollo de una planta).

Cantidad de Bolsas o módulos: 16 bolsas para instalación de plantas en un metro cuadrado.



Figura 4.29 Membranas portantes

#### 4.1.3.2 Estructuras

Es diversa la colocación de muros verdes o vivos, pueden ser directamente en la pared portante o pueden hacerse estructuras para reforzar la misma, o simplemente por

cuestiones de manejo o seguridad. Para este caso se colocaron traveses de carga por cada línea de módulos con el fin de distribuir el peso de los módulos que contienen las plantas. Están fabricados de fierro forjado; y sobre estos fueron colocados los módulos mediante la adaptación de una grapa.

La idea de contemplar el uso de sistemas modulares es para poder establecer un mayor control al diseño de muros vertical; en este sentido para este proyecto en específico se contempla usar estas estructuras para formar el diseño que se presenta en la siguiente figura.



**Figura 4.30 Estructuras para acondicionar el muro verde**

#### *4.1.3.3 Medio de cultivo (sustratos)*

Un sustrato es todo material sólido distinto del suelo, natural, de síntesis o residual, mineral u orgánico, que, colocado en un contenedor, en forma pura o en mezcla, permite

el anclaje del sistema radicular de la planta, desempeñando, por tanto, un papel de soporte para la planta. El sustrato puede intervenir o no en el complejo proceso de la nutrición mineral de la planta (*infoagro/industria-auxiliar/sustrato*).

#### 4.1.3.4 Propiedades físicas de los sustratos de cultivo.

Son cinco las propiedades físicas de los sustratos de los cultivos (Figura 4.31). Posteriormente se describen ampliamente cada una de ellas.

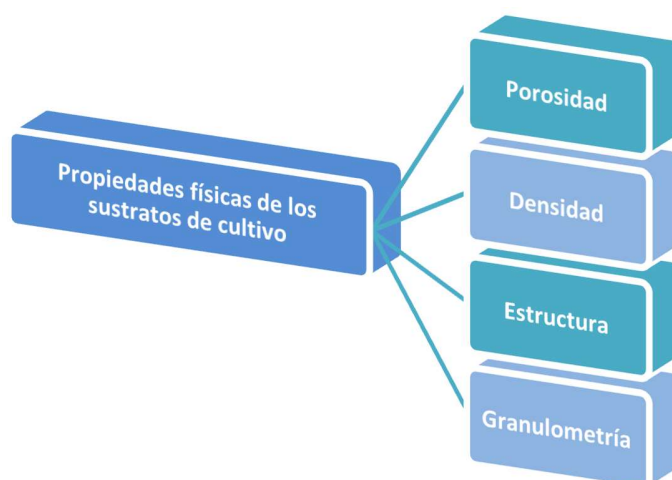


Figura 4.31 Propiedades físicas de los sustratos de cultivo

##### a) Porosidad.

Es el volumen total del medio no ocupado por las partículas sólidas y, por tanto, lo estará por aire o agua en una cierta proporción. Su valor óptimo no debería ser inferior al 80–85%, aunque sustratos de menor porosidad pueden ser usados ventajosamente en determinadas condiciones.

La porosidad debe ser abierta, pues la porosidad ocluida, al no estar en contacto con el espacio abierto, no sufre intercambio de fluidos con él y por tanto no sirve como almacén para la raíz. El menor peso del sustrato será el único efecto positivo. El espacio o volumen útil de un sustrato corresponderá a la porosidad abierta.

El grosor de los poros condiciona la aireación y retención de agua del sustrato. Poros gruesos suponen una menor relación superficie/volumen, por lo que el equilibrio tensión superficial/fuerzas gravitacionales se restablece cuando el poro queda solo parcialmente lleno de agua, formando una película de espesor determinado.

El equilibrio aire/agua se representa gráficamente mediante las curvas de humectación. Se parte de un volumen unitario saturado de agua y en el eje de ordenadas se representa



en porcentaje el volumen del material sólido más el volumen de porosidad útil. Se les somete a presiones de succiones crecientes, expresadas en centímetros de columnas de agua, que se van anotando en el eje de abscisas. A cada succión corresponderá una extracción de agua cuyo volumen es reemplazado por el equivalente de aire. De modo que a un valor de abscisas corresponde una ordenada de valor igual al volumen del material sólido más el volumen de aire. El volumen restante hasta el 100% corresponde al agua que aún retiene el sustrato (*Infoagro/industria-auxiliar/sustrato*).

### **b) Densidad.**

La densidad de un sustrato se puede referir bien a la del material sólido que lo compone y entonces se habla de densidad real, o bien a la densidad calculada considerando el espacio total ocupado por los componentes sólidos más el espacio poroso, y se denomina porosidad aparente.

La densidad real tiene un interés relativo. Su valor varía según la materia de que se trate y suele oscilar entre 2.5–3 para la mayoría de los de origen mineral. La densidad aparente indica indirectamente la porosidad del sustrato y su facilidad de transporte y manejo. Los valores de densidad aparente se prefieren bajos (0.7–1.0) y que garanticen una cierta consistencia de la estructura.

### **c) Estructura.**

Puede ser granular como la mayoría de los sustratos minerales o bien fibrilares. La primera no tiene forma estable, acoplándose fácilmente a la forma del contenedor, mientras que la segunda dependerá de las características de las fibras. Si son fijadas por algún tipo de material de cementación, conservan formas rígidas y no se adaptan al recipiente, pero tienen cierta facilidad de cambio de volumen y consistencia cuando pasan de secas a mojadas.

### **d) Granulometría.**

El tamaño de los gránulos o fibras condiciona el comportamiento del sustrato, ya que además de su densidad aparente varía su comportamiento hídrico a causa de su porosidad externa, que aumenta de tamaño de poros conforme sea mayor la granulometría.

#### *4.1.3.5 Propiedades químicas de los sustratos de cultivo.*

La reactividad química de un sustrato se define como la transferencia de materia entre el sustrato y la solución nutritiva que alimenta las plantas a través de las raíces. Esta transferencia es recíproca entre sustrato y solución de nutrientes y puede ser debida a

reacciones de distinta naturaleza, como son químicas, fisicoquímicas y bioquímicas (Figura 4.32):

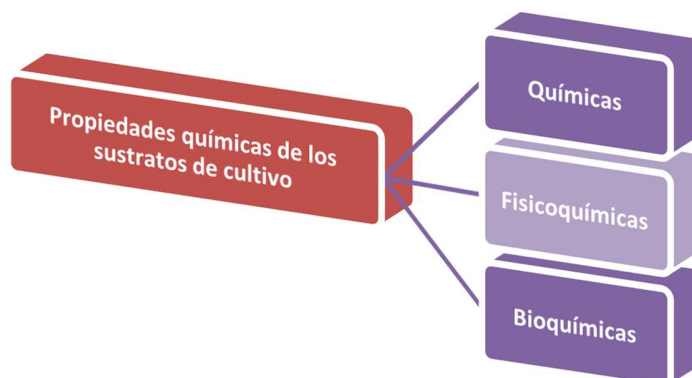


Figura 4.32 Propiedades químicas de los sustratos de cultivo

#### a) Químicas.

Se deben a la disolución e hidrólisis de los propios sustratos y pueden provocar:

- Efectos fitotóxicos por liberación de iones  $H^+$  y  $OH^-$  y ciertos iones metálicos como el  $CO_2^+$ .
- Efectos carenciales debido a la hidrólisis alcalina de algunos sustratos que provoca un aumento del pH y la precipitación del fósforo y algunos microelementos.
- Efectos osmóticos provocados por un exceso de sales solubles y el consiguiente descenso en la absorción de agua por la planta.

#### b) Fisicoquímicas.

Son reacciones de intercambio de iones. Se dan en sustratos con contenidos en materia orgánica o los de origen arcilloso (arcilla expandida) es decir, aquellos en los que hay cierta capacidad de intercambio catiónico (CIC). Estas reacciones provocan modificaciones en el pH y en la composición química de la solución nutritiva por lo que el control de la nutrición de la planta se dificulta.

#### c) Bioquímicas.

Son reacciones que producen la biodegradación de los materiales que componen el sustrato. Se producen sobre todo en materiales de origen orgánico, destruyendo la estructura y variando sus propiedades físicas. Esta biodegradación libera  $CO_2$  y otros elementos minerales por destrucción de la materia orgánica.

Normalmente se prefieren los sustratos inertes frente a los químicamente activos. La actividad química aporta a la solución nutritiva elementos adicionales por procesos de hidrólisis o solubilidad. Si éstos son tóxicos, el sustrato no sirve y hay que descartarlo, pero, aunque sean elementos nutritivos útiles entorpecen el equilibrio de la solución al superponer su incorporación un aporte extra con el que habrá que contar, y dicho aporte no tiene garantía de continuidad cuantitativa (temperatura, agotamiento, etc.). Los procesos químicos también perjudican la estructura del sustrato, cambiando sus propiedades físicas de partida.

#### 4.1.3.6 Propiedades biológicas de los sustratos de cultivo.

Cualquier actividad biológica en los sustratos es claramente perjudicial. Los microorganismos compiten con la raíz por oxígeno y nutrientes. También pueden degradar el sustrato y empeorar sus características físicas de partida. Generalmente disminuye su capacidad de aireación, pudiéndose producir asfixia radicular. La actividad biológica está restringida a los sustratos orgánicos y se eliminarán aquellos cuyo proceso degradativo sea demasiado rápido.

Así las propiedades biológicas de un sustrato se pueden concretar en:

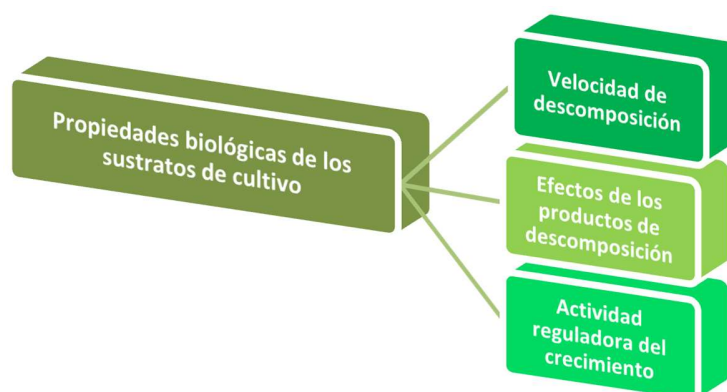


Figura 4.33 Propiedades biológicas de los sustratos de cultivo

##### a) Velocidad de descomposición.

La velocidad de descomposición es función de la población microbiana y de las condiciones ambientales en las que se encuentre el sustrato. Esta puede provocar deficiencias de oxígeno y de nitrógeno, liberación de sustancias fitotóxicas y contracción del sustrato. La disponibilidad de compuestos biodegradables (carbohidratos, ácidos grasos y proteínas) determina la velocidad de descomposición.



## **b) Efectos de los productos de descomposición.**

Muchos de los efectos biológicos de los sustratos orgánicos se atribuyen a los ácidos húmicos y fúlvicos, que son los productos finales de la degradación biológica de la lignina y la hemicelulosa. Una gran variedad de funciones vegetales se ven afectadas por su acción.

## **c) Actividad reguladora del crecimiento.**

Es conocida la existencia de actividad auxínica en los extractos de muchos materiales orgánicos utilizados en los medios de cultivo.

### *4.1.3.7 Características del sustrato ideal.*

El mejor medio de cultivo depende de numerosos factores como son el tipo de material vegetal con el que se trabaja (semillas, plantas, estacas, etc.), especie vegetal, condiciones climáticas, sistemas y programas de riego y fertilización, aspectos económicos, etc.

Para obtener buenos resultados durante la germinación, el enraizamiento y el crecimiento de las plantas, se requieren las siguientes características del medio de cultivo:

#### **a. Propiedades físicas:**

- Elevada capacidad de retención de agua fácilmente disponible.
- Suficiente suministro de aire.
- Distribución del tamaño de las partículas que mantenga las condiciones anteriores.
- Baja densidad aparente.
- Elevada porosidad.
- Estructura estable, que impida la contracción (o hinchazón del medio).

#### **b. Propiedades químicas:**

Baja o apreciable capacidad de intercambio catiónico, dependiendo de que la fertirrigación se aplique permanentemente o de modo intermitente, respectivamente.

- Suficiente nivel de nutrientes asimilables.
- Baja salinidad.
- Elevada capacidad tampón y capacidad para mantener constante el pH.
- Mínima velocidad de descomposición.

### c. Otras propiedades.

- Libre de semillas de malas hierbas, nematodos y otros patógenos, y sustancias fitotóxicas.
- Reproductividad y disponibilidad.
- Bajo coste.
- Fácil de mezclar.
- Fácil de desinfectar y estabilidad frente a la desinfección.
- Resistencia a cambios externos físicos, químicos y ambientales.

#### 4.1.3.8 Tipos de sustratos.

Existen diferentes criterios de clasificación de los sustratos, basados en el origen de los materiales, su naturaleza, sus propiedades, su capacidad de degradación, etc.

#### A) Según sus propiedades.

- **Sustratos químicamente inertes.** Arena granítica o silíceo, grava, roca volcánica, perlita, arcilla expandida, lana de roca, etc.
- **Sustratos químicamente activos.** Turbas rubias y negras, corteza de pino, vermiculita, materiales ligno-celulósicos, etc.

Las diferencias entre ambos vienen determinadas por la capacidad de intercambio catiónico o la capacidad de almacenamiento de nutrientes por parte del sustrato. Los sustratos químicamente inertes actúan como soporte de la planta, no interviniendo en el proceso de adsorción y fijación de los nutrientes, por lo que han de ser suministrados mediante la solución fertilizante. Los sustratos químicamente activos sirven de soporte a la planta, pero a su vez actúan como depósito de reserva de los nutrientes aportados mediante la fertilización. Almacenándolos o cediéndolos según las exigencias del vegetal (*Infoagro/industria-auxiliar/sustrato*).

#### B) Según el origen de los materiales.

- Materiales orgánicos.

De origen natural. Se caracterizan por estar sujetos a descomposición biológica (turbas).

De síntesis. Son polímeros orgánicos no biodegradables, que se obtienen mediante síntesis química (espuma de poliuretano, poli estireno expandido, etc.).

Subproductos y residuos de diferentes actividades agrícolas, industriales y urbanas. La mayoría de los materiales de este grupo deben experimentar un proceso de compostaje, para su adecuación como sustratos (cascarillas de arroz, pajas de

cereales, fibra de coco, orujo de uva, cortezas de árboles, serrín y virutas de la madera, residuos sólidos urbanos, lodos de depuración de aguas residuales, etc.) (Infoagro/industria-auxiliar/sustrato).

- Materiales inorgánicos o minerales.

De origen natural. Se obtienen a partir de rocas o minerales de origen diverso, modificándose muchas veces de modo ligero, mediante tratamientos físicos sencillos. No son biodegradables (arena, grava, tierra volcánica, etc.).

Transformados o tratados. A partir de rocas o minerales, mediante tratamientos físicos, más o menos complejos, que modifican notablemente las características de los materiales de partida (perlita, lana de roca, vermiculita, arcilla expandida, etc.).

Residuos y subproductos industriales. Comprende los materiales procedentes de muy distintas actividades industriales (escorias de horno alto, estériles del carbón, etc.) (Infoagro/industria-auxiliar/sustrato).

#### 4.1.3.9 Descripción general de algunos sustratos.

##### 1. Sustratos naturales

###### a. Agua.

Es común su empleo como portador de nutrientes, aunque también se puede emplear como sustrato.

###### b. Gravas.

Suelen utilizarse las que poseen un diámetro entre 5 y 15 mm. Destacan las gravas de cuarzo, la piedra pómez y las que contienen menos de un 10% en carbonato cálcico. Su densidad aparente es de 1.500–1.800 Kg/m<sup>3</sup>. Poseen una buena estabilidad estructural, su capacidad de retención del agua es baja si bien su porosidad es elevada (más del 40% del volumen). Su uso como sustrato puede durar varios años. Algunos tipos de gravas, como las de piedra pómez o de arena de río, deben lavarse antes de utilizarse. Existen algunas gravas sintéticas, como la vermiculita, obtenida por tratamiento térmico de pizarras (*Infoagro/industria-auxiliar/sustrato*).

###### c. Arenas.

Las que proporcionan los mejores resultados son las arenas de río. Su granulometría más adecuada oscila entre 0.5 y 2 mm de diámetro. Su densidad aparente es similar a la grava. Su capacidad de retención del agua es media (20% del peso y más del 35% del volumen); su capacidad de aireación disminuye con el tiempo a causa de la compactación; su capacidad de intercambio catiónico

es nula. Es relativamente frecuente que su contenido en caliza alcance el 8–10%. Algunos tipos de arena deben lavarse previamente. Su pH varía entre 4 y 8. Su durabilidad es elevada. Es bastante frecuente su mezcla con turba, como sustrato de enraizamiento y de cultivo en contenedores (*Infoagro/industria-auxiliar/sustrato*).

#### d. Tierra Volcánica.

Son materiales de origen volcánico que se utilizan sin someterlos a ningún tipo de tratamiento, proceso o manipulación. Están compuestos de sílice, alúmina y óxidos de hierro. También contiene calcio, magnesio, fósforo y algunos oligoelementos. Las granulometrías son muy variables al igual que sus propiedades físicas. El pH de las tierras volcánicas es ligeramente ácido con tendencias a la neutralidad. La CIC es tan baja que debe considerarse como nulo. Destaca su buena aireación, la inercia química y la estabilidad de su estructura. Tiene una baja capacidad de retención de agua, el material es poco homogéneo y de difícil manejo (*Infoagro/industria-auxiliar/sustrato*).

#### e. Turbas.

Las turbas son materiales de origen vegetal, de propiedades físicas y químicas variables en función de su origen. Se pueden clasificar en dos grupos: turbas rubias y negras. Las turbas rubias tienen un mayor contenido en materia orgánica y están menos descompuestas, las turbas negras están más mineralizadas teniendo un menor contenido en materia orgánica (*Infoagro/industria-auxiliar/sustrato*).

Es más frecuente el uso de turbas rubias en cultivo sin suelo, debido a que las negras tienen una aireación deficiente y unos contenidos elevados en sales solubles. Las turbias rubias tienen un buen nivel de retención de agua y de aireación, pero muy variable en cuanto a su composición ya que depende de su origen. La inestabilidad de su estructura y su alta capacidad de intercambio catiónico interfiere en la nutrición vegetal, presentan un pH que oscila entre 3.5 y 8.5. Se emplea en la producción ornamental y de plántulas hortícolas en semilleros (*Infoagro/industria-auxiliar/sustrato*).

**Tabla 4.12 Propiedades de las turbas (Fernández et al., 1998)**

Propiedades	Turbas rubias	Turbas negras
Densidad aparente (gr/cm <sup>3</sup> )	0.06 – 0.1	0.3 – 0.5
Densidad real (gr/cm <sup>3</sup> )	1.35	1.65 – 1.85
Espacio poroso (%)	94 o más	80 - 84
Capacidad de absorción de agua (gr/100 gr m. s.)	1.049	287
Aire (% volumen)	29	7,6
Agua fácilmente disponible (% volumen)	33.5	24
Agua de reserva (% volumen)	6.5	4.7
Agua difícilmente disponible (% volumen)	25.3	47.7
C.I.C. (meq/100 gr)	110 - 130	250 o más

**f. Corteza de pino.**

Se pueden emplear cortezas de diversas especies vegetales, aunque la más empleada es la de pino, que procede básicamente de la industria maderera. Al ser un material de origen natural posee una gran variabilidad. Las cortezas se emplean en estado fresco (material crudo) o comportadas. Las cortezas crudas pueden provocar problemas de deficiencia de nitrógeno y de citotoxicidad. Las propiedades físicas dependen del tamaño de sus partículas, y se recomienda que el 20–40% de dichas partículas sean con un tamaño inferior a los 0.8 mm. Es un sustrato ligero, con una densidad aparente de 0.1 a 0.45 g/cm<sup>3</sup>. La porosidad total es superior al 80–85%, la capacidad de retención de agua es de baja a media, siendo su capacidad de aireación muy elevada. El pH varía de medianamente ácido a neutro. La CIC es de 55 meq/100 g. (*infoagro/industria-auxiliar/sustrato*).

**g. Fibra de coco.**

Este producto se obtiene de fibras de coco. Tiene una capacidad de retención de agua de hasta 3 o 4 veces su peso, un pH ligeramente ácido (6.3–6.5) y una densidad aparente de 200 kg/m<sup>3</sup>. Su porosidad es bastante buena y debe ser lavada antes de su uso debido al alto contenido de sales que posee.

**2. Sustratos artificiales.**

**a. Lana de roca.**

Es un material obtenido a partir de la fundición industrial a más de 1,600 °C de una mezcla de rocas basálticas, calcáreas y carbón de coque. Finalmente, al producto obtenido se le da una estructura fibrosa, se prensa, endurece y se corta en la forma deseada. En su composición química entran componentes como la sílice y óxidos de aluminio, calcio, magnesio, hierro, etc.

Es considerado como un sustrato inerte, con una CIC casi nula y un pH ligeramente alcalino, fácil de controlar. Tiene una estructura homogénea, un buen equilibrio entre agua y aire, pero presenta una degradación de su estructura, lo que condiciona que su empleo no sobrepase los tres años.

Es un material con una gran porosidad y que retiene mucha agua, pero muy débilmente, lo que condiciona una disposición muy horizontal de las tablas para que el agua se distribuya uniformemente por todo el sustrato (*Infoagro/industria-auxiliar/sustrato*).

**Tabla 4.13 Propiedades de la lana de roca (Fernández et al., 1998)**

Propiedades de la lana de roca	
Densidad aparente (gr/cm <sup>3</sup> )	0.09
Espacio poroso (%)	96.70
Material sólido (% volumen)	3.30
Aire (% volumen)	14.90

Agua fácilmente disponible + agua de reserva (% volumen)	77.80
Agua difícilmente disponible (% volumen)	4.00

**b. Perlita.**

Material obtenido como consecuencia de un tratamiento térmico a unos 1,000–1,200°C de una roca silíceo volcánica del grupo de las riolitas. Se presenta en partículas blancas cuyas dimensiones varían entre 1.5 y 6 mm, con una densidad baja, en general inferior a los 100 Kg/m<sup>3</sup>. Posee una capacidad de retención de agua de hasta cinco veces su peso y una elevada porosidad; su CIC es prácticamente nula (1.5–2.5 meq/100 g); su durabilidad está limitada al tipo de cultivo, pudiendo llegar a los 5–6 años. Su pH está cercano a la neutralidad (7–7.5) y se utiliza a veces, mezclada con otros sustratos como turba, arena, etc. (*infoagro/industria-auxiliar/sustrato*).

**Tabla 4.14 Propiedades físicas/tamaño de las partículas (mm de diámetro), Fernández et al., 1998**

Propiedades de la perlita			
Propiedades físicas	Tamaño de las partículas (mm de diámetro)		
	0-15 (Tipo B-6)	0-5 (Tipo B-12)	3-5 (Tipo A-13)
Densidad aparente (Kg/m <sup>3</sup> )	50-60	105-125	100-120
Espacio poroso (%)	97.8	94	94.7
Material sólido (% volumen)	2.2	6	5.3
Aire (% volumen)	24.4	37.2	65.7
Agua fácilmente disponible (% volumen)	37.6	24.6	6.9
Agua de reserva (% volumen)	8.5	6.7	2.7
Agua difícilmente disponible (% volumen)	27.3	25.5	19.4

**c. Vermiculita.**

Se obtiene por la exfoliación de un tipo de micas sometido a temperaturas superiores a los 800 °C. Su densidad aparente es de 90 a 140 kg/m<sup>3</sup>, presentándose en escamas de 5–10 mm. Puede retener 350 litros de agua por metro cúbico y posee buena capacidad de aireación, aunque con el tiempo tiende a compactarse. Posee una elevada CIC (80–120 meq/l). Puede contener hasta un 8% de potasio asimilable y hasta un 12% de magnesio asimilable. Su pH es próximo a la neutralidad (7–7.2) (*Infoagro/industria-auxiliar/sustrato*).

**d. Arcilla expandida.**

Se obtiene tras el tratamiento de módulos arcillosos a más de 100 °C, formándose como unas bolas de corteza dura y un diámetro, comprendido entre 2 y 10 mm. La densidad aparente es de 400 Kg/m<sup>3</sup> y posee una baja capacidad de retención de agua y una buena capacidad de aireación. Su CIC es prácticamente nula (2–5 meq/l). Su pH está comprendido entre 5 y 7. Con relativa frecuencia se mezcla con turba, para la elaboración de sustratos (*Infoagro/industria-auxiliar/sustrato*).

**e. Poliestireno expandido.**

Es un plástico troceado en flóculos de 4–12 mm, de color blanco. Su densidad es muy baja, inferior a 50 Kg/m<sup>3</sup>. Posee poca capacidad de retención de agua y una buena posibilidad de aireación. Su pH es ligeramente superior a 6. Suele utilizarse mezclado con otros sustratos como la turba, para mejorar la capacidad de aireación (*Infoagro/industria-auxiliar/sustrato*).

4.1.3.10 Sensores

4.1.3.10.1 Sensor LM35

El LM35 es un sensor de temperatura analógico, con una precisión calibrada de 1°C. No necesita circuitería externa ni ajustes de calibración para funcionar, su rango de medición abarca desde -55°C hasta 150°C. La salida es lineal y cada grado centígrado equivale a 10mV, el empaquetado de este sensor es through-hole TO-92. Es ideal para aplicaciones remotas ya que consume menos de 60 µA de corriente. Es compatible con Arduino, PIC, EMBED, AVR o cualquier microcontrolador.

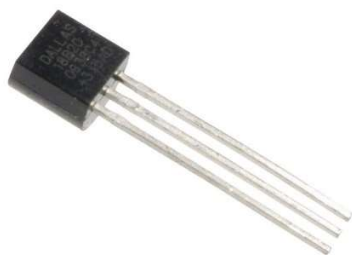


Figura 4.34 Sensor de temperatura

Tabla 4.15 Especificaciones del sensor de temperatura

Especificaciones
Calibrado en centígrados.
Factor de escala lineal 10.0 mV/°C.
Rango de medición de -55° a +150°C.
Ideal para aplicaciones remotas.
Bajo costo.
Funciona de 4-30 V.
Consumo menor a 60 µA.
Baja impedancia.

4.1.3.10.2 Arduino

Con esta placa de programación Arduino UNO se desarrollan dispositivos o realizan proyectos de manera muy sencilla. La placa Arduino UNO puede tomar información del entorno a través de sus entradas analógicas y digitales para controlar casi cualquier cosa como luces, motores y otros actuadores. El software de programación de esta placa es abierto, la distribución de sus pines es XBee. Tiene 6 pines de entrada analógica y además es compatible con campos extra para funciones como Bluetooth, infrarrojo y otros sensores.





**Figura 4.35** Arduino UNO

**Tabla 4.16** Especificaciones del arduino

Especificaciones	
Microcontrolador:	ATMEGA328P
Alimentación:	5 – 12 Vcc
Frecuencia de operación:	16 MHz
Puertos de entrada analógica:	6
Puertos de entrada/salida digital:	13
(incluyendo puertos PWM)	
Capacidad de memoria flash:	32 Kb
SRAM:	2 KB
EEPROM:	1 KB
Salida PWM:	Si
Salida de voltaje:	5 Vcc
Switch reset:	Si
Comunicación a la PC:	Si
Software empleado:	Arduino

#### 4.1.3.11 Programación

##### 4.1.3.11.1 Arduino Mega 2560 R3

Arduino Mega es una tarjeta de desarrollo open-source construida con un microcontrolador modelo Atmega2560 que posee pines de entradas y salidas (E/S), analógicas y digitales. Esta tarjeta es programada en un entorno de desarrollo que implementa el lenguaje Processing/Wiring. Arduino puede utilizarse en el desarrollo de objetos interactivos autónomos o puede comunicarse a una PC a través del puerto serial (conversión con USB) utilizando lenguajes como Flash, Processing, MaxMSP, etc.

El Arduino Mega tiene 54 pines de entradas/salidas digitales (14 de las cuales pueden ser utilizadas como salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UARTs (puertos seriales por hardware), cristal oscilador de 16MHz, conexión USB, jack de alimentación, conector ICSP y botón de reset. Arduino Mega incorpora todo lo necesario para que el microcontrolador trabaje; simplemente se conecta a la PC por medio de un cable USB o con una fuente de alimentación externa (9 hasta 12VDC). El Arduino Mega es compatible con la mayoría de los shields diseñados para Arduino Duemilanove, diecimila o UNO.

Esta nueva versión de Arduino Mega 2560 adicionalmente a todas las características de su sucesor utiliza un microcontrolador ATmega8U2 en vez del circuito integrado FTDI. Esto permite mayores velocidades de transmisión por su puerto USB y no requiere drivers para Linux o MAC (archivo inf es necesario para Windows) además ahora cuenta con la capacidad de ser reconocido por el PC como un teclado, mouse, joystick, etc. (Torrente Artero, 2013).



Figura 4.36 Arduino Mega 2560 R3

Tabla 4.17 Especificaciones del Arduino Mega 2560 R3

Especificaciones
Microcontrolador: ATMEGA2560
Voltaje de operación: 5V
Voltaje de entrada: 7-12V
Entradas y salidas digitales (I/O pins): 54
Entradas analógicas (input pin): 16
Memoria flash: 256KB
SRAM: 8KB
EEPROM: 4KB
Clock speed: 16MHz
Peso: 200g

#### 4.1.3.11.2 Módulo HL-69

El módulo HL-69, un sensor de humedad de suelo resulta ser otro módulo que utiliza la conductividad entre dos terminales para determinar ciertos parámetros relacionados a agua, líquidos y humedad.

Consiste en dos placas separadas entre sí por una distancia determinada. Ambas placas están recubiertas de una capa de material conductor. Si existe humedad en el suelo se creará un puente entre una punta y otra, lo que será detectado por un circuito de control con un amplificador operacional que será el encargado de transformar la conductividad registrada a un valor analógico que podrá ser leído por Arduino.

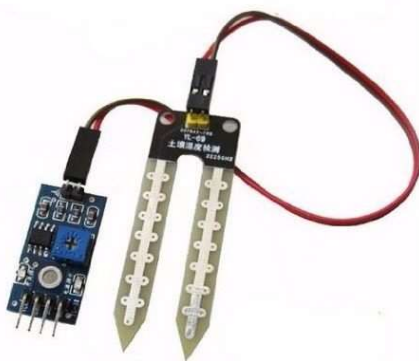


Figura 4.37 Módulo HL-69

Tabla 4.18 Especificaciones del módulo HL-69

Especificaciones
Sensibilidad ajustable ajustando el potenciómetro digital (en azul).
Voltaje de operación: 3.3V ~ 5V
Modo de salida dual, salida digital y salida analógica más precisa.
Agujeros de montaje para una fácil instalación.
Dimensiones PCB: 30mm * 16mm
Dimensiones de sonda: 60mm * 30mm
Indicador de energía. Indicador alimentación (rojo) e indicador de salida de conmutación digital (verde).
El módulo tiene un amplificador LM393.

#### 4.1.3.11.3 Módulo DHT11

Este sensor de temperatura y humedad DHT11 dispone de una salida calibrada de señal digital con la temperatura y el complejo sensor de humedad. Su tecnología garantiza la alta fiabilidad y una excelente estabilidad a largo plazo.

Un alto rendimiento de 8-bits; Este sensor incluye un elemento resistivo y una sensación de mojado NTC dispositivos de medición de temperatura. Tiene una excelente calidad, rapidez de respuesta, la capacidad anti-interferencia y ventajas de rendimiento.

Los sensores cuentan con calibración extremadamente precisa de la cámara de humedad de calibración. Los coeficientes de calibración almacenados en la memoria de programa OTP, sensores internos para detectar señales en el proceso.

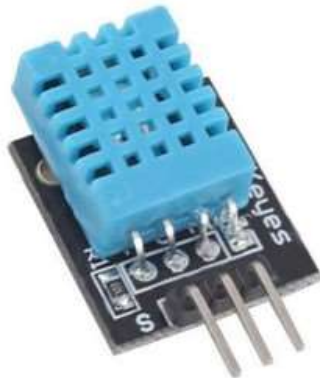


Figura 4.38 Módulo DHT11

Tabla 4.19 Especificaciones del módulo DHT11

Especificaciones
Alimentación: $3Vdc \leq Vcc \leq 5Vdc$
Rango de medición de temperatura: 0 a 50 °C
Precisión de medición de temperatura: $\pm 2.0$ °C.
Resolución Temperatura: 0.1°C
Rango de medición de humedad: 20% a 90% RH.
Precisión de medición de humedad: 4% RH.
Resolución Humedad: 1% RH
Tiempo de sensado: 1 seg.

#### 4.1.3.11.4 Módulo DS3231

El DS3231 es un reloj en tiempo real de alta exactitud que cuenta con un oscilador a cristal con compensación de temperatura (TCXO). El dispositivo incorpora una entrada para batería auxiliar y mantiene la cuenta precisa del tiempo incluso cuando la energía es interrumpida. La integración del cristal en el propio integrado asegura la exactitud a largo plazo del reloj.

El RTC DS3231 mantiene registro de segundos, minutos, horas, día de la semana, fecha, mes y año. La fecha es ajustada automáticamente a final de mes para meses con menos de 31 días, incluyendo las correcciones para año bisiesto. Otras características interesantes del DS3131 son sus 2 alarmas programables que pueden generar

interrupciones a una hora/fecha programada y la salida de onda cuadrada programable que puede ser utilizada por otras partes del circuito como base de tiempo.

El DS3231 se comunica con el microcontrolador a través del bus I2C con solamente 2 pines que pueden ser compartidos por varios dispositivos como memorias EEPROM, Expansores de IO, Controladores PWM, etc. En este módulo acompañando al DS3231 tenemos una memoria I2C que puede ser utilizada para almacenar datos requeridos por la aplicación del usuario. Esta memoria comparte los mismos pines del bus I2C (SDA y SCL) (Olivera Ramos, 2017).

Tabla 4.20 Especificaciones del módulo DS3231



Figura 4.39 Módulo DS3231

Especificaciones
RTC Alta exactitud, maneja todas las funciones para el mantenimiento de fecha/hora.
Exactitud de $\pm 2$ ppm operando a una temperatura de 0°C a +40°C
Módulo cuenta con reloj DS3231 y memoria EEPROM I2C
Cuenta con batería de respaldo
Registro de segundos, minutos, horas, día de la semana, fecha, mes y año con compensación de años bisiestos hasta 2100
El DS3231 Incluye sensor de temperatura con exactitud de $\pm 3$ °C
2 alarmas programables por hora/fecha
Salida de señal cuadrada programable

#### 4.1.3.11.5 Relevador

Un relevador de control, es un switch electromagnético que se emplea como un dispositivo auxiliar en los circuitos de control de arrancadores de motores grandes o directamente como arrancadores en motores pequeños.

El relevador electromagnético abre y cierra un conjunto de contactos cuando su bobina se energiza, la bobina produce un fuerte campo magnético que atrae una armadura móvil, accionando los contactos. Por lo general, los relevadores de control se usan en circuitos de baja potencia y pueden incluir relevadores de tiempo retardado que cierran y abren sus contactos en intervalos de tiempo definidos.

La gran mayoría de los relés utiliza un interesante dispositivo en que parte de la corriente eléctrica del circuito se desvía para realimentar el circuito de control, manteniéndolo en este estado hasta que otra acción externa aplique una corriente al circuito de control. Dispositivos de este tipo se llaman biestables, pues oscilan entre dos estados que no se alteran solos, necesitando una acción externa para modificarlos (Conde et al., 2004).



Figura 4.40 Relevador de control

Tabla 4.21 Especificaciones del relevador de control

Especificaciones
Módulo Relay de 2 canales para Arduino.
Módulo de relevadores (reles) para conmutación de cargas de potencia.
Microcontrolador: Arduino.
Voltaje de funcionamiento: 5 V

#### 4.1.3.11.6 Cotización de material electrónico

En la Tabla 4.22 se listan los componentes utilizados en la automatización del sistema, así como el costo.

Tabla 4.22 Componentes para la automatización

Componente	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo
Arduino Mega 2560 R3 con cable	Tarjeta construida con un microcontrolador Atmega2560	Pieza	1	\$347	\$347
Módulo DS1332	Reloj de Tiempo Real	Pieza	1	\$57	\$57
Módulo DHT11	Sensor de temperatura y humedad del aire	Pieza	1	\$39	\$39
Modulo HL-69	Sensor de humedad de la tierra	Pieza	1	\$32	\$32
Módulo de 2 relevadores	Tarjeta de relés opto acoplada de 2 canales	Pieza	1	\$49	\$49
Interruptor	Interruptor miniatura (Switch) de balancín	Pieza	2	\$6	\$12
Tira de 40 pines	Tira de 40 Pines Hembra-Macho	Pieza	1	\$8	\$8
Placa Fenólica Perforada	Placa Fenólica Tipo Protoboard	Pieza	1	\$29	\$29
				<b>Total final</b>	<b>\$573</b>

#### 4.1.4 Plant Factory

##### 4.1.4.1 Conceptos básicos: Closed Plants Production Systems (Cpps)

###### 4.1.4.1.1 Introducción

El uso de los recursos cada vez más limitados en el sector agrícola, ha venido evolucionando en técnicas cada vez más específicas unificadas en orden de lograr los mayores rendimientos para alimentar una población creciente, con el mínimo de recursos, principalmente agua y energía.

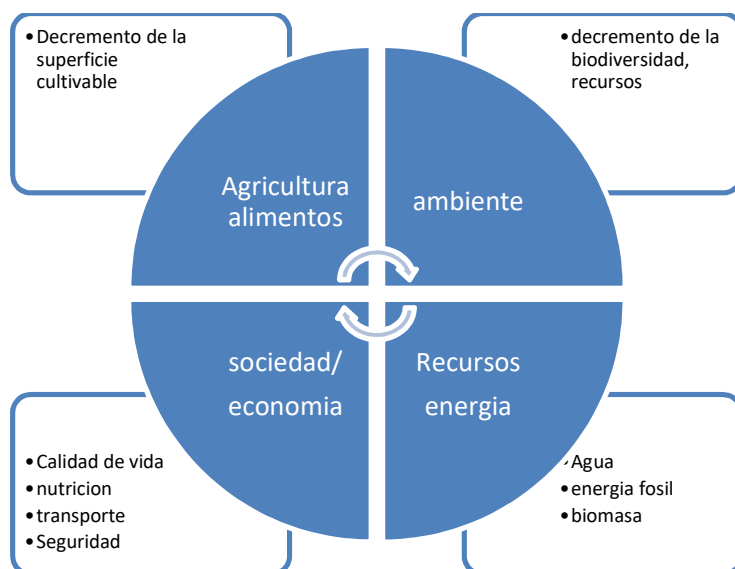


Figura 4.41 Implicaciones en el desarrollo de la Fábrica de Plantas

La dinámica poblacional y migración hacia las ciudades marca una tendencia difícil de cambiar, por lo que es imperativo adoptar estrategias para adaptarse a las nuevas necesidades



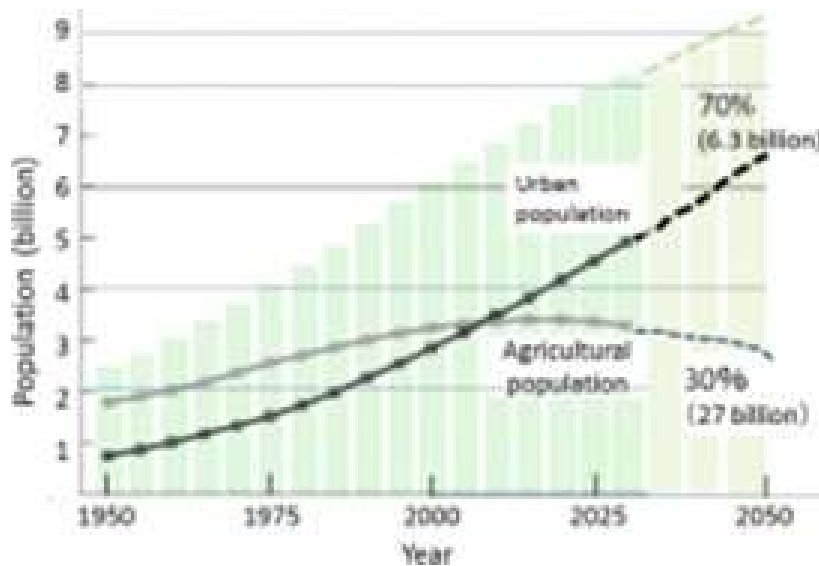


Figura 4.42 Perspectivas agrícolas y poblacional

Las necesidades para establecer un sistema de producción agrícola a campo abierto, como normalmente se desarrolla, han quedado establecidas. Empero, si ese sistema de producción se traslada a la zona urbana, nuevos actores aparecen y un manejo disciplinado en tiempo y espacio surge como un factor más de gestión de recurso.

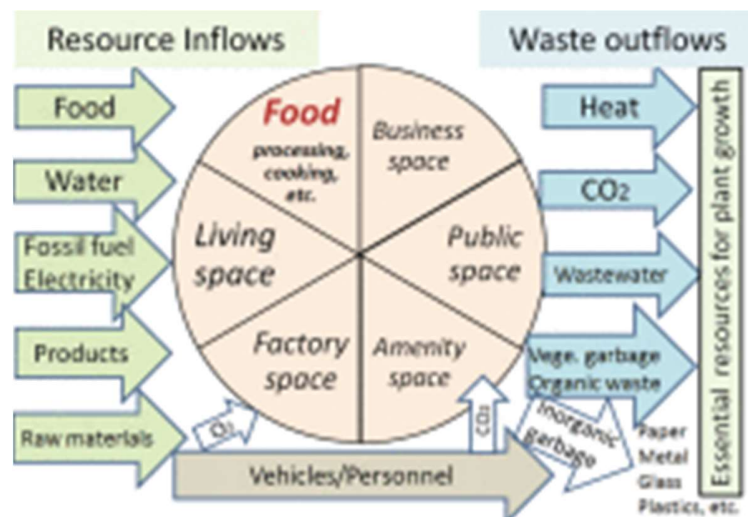


Figura 4.43 Recursos y su desperdicio en una Comunidad Urbana

Requiere re direccionar hacia el tipo de producto por cultivar. Con la reducción de los recursos, es necesario establecer una nueva paleta de cultivos básicos, o susceptibles de cultivar en forma disruptiva. De hecho, existen ya experiencias de arroz cultivado en fábrica de plantas.

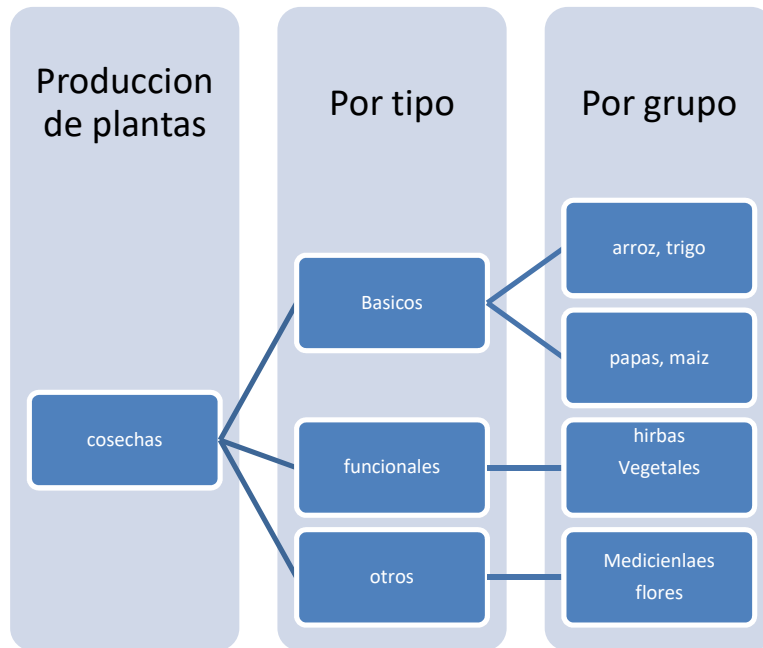


Figura 4.44 Producción de cosechas en la fábrica de plantas

La naturación de las zonas urbanas debe contemplar además del uso eficiente de los recursos, el reúso de los mismos con técnicas de hecho ya establecidas solo enfatizar en tal caso.

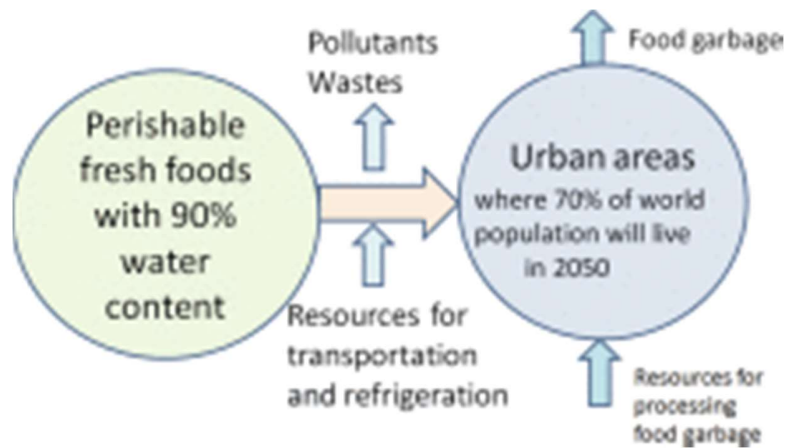


Figura 4.45 Consumo de recursos en zonas urbanas

Y definir los tipos de sistemas por establecer.

A: Consume-dispose (resource through-put) open system



B: Consume-process-recycle/reuse-produce closed system



Figura 4.46 Consumo de recursos en un sistema abierto

Todo lo anterior con el fin de establecer ciudades disruptivas con instalaciones.



Figura 4.47 Sistema de producción Fábrica de plantas en Japón, caso de éxito

En términos generales los requerimientos para una nueva forma de sistema de producción de plantas "Sistema de cultivo vertical en interiores - Fábrica de plantas con iluminación artificial (PFAL)" para la producción eficiente de cultivos y tratar de resolver problemas globales.

Las PFAL no son un reemplazo para los invernaderos convencionales o la producción en campo abierto, sino la creación de nuevos mercados y oportunidades de negocios. Desde luego aún hay que resolver las limitaciones de los sistemas agrícolas convencionales, pero a la par es conveniente abordar las posibles ventajas, desventajas y una serie de desafíos de los PFAL.

#### 4.1.4.1.2 Rol de la fábrica de plantas con luces artificiales (PFAL) en zonas urbanas.

Existe un creciente interés por la producción de alimentos frescos en áreas urbanas, con distintos métodos para lograr una producción eficiente. En este sentido es importante considerar la entrada de recursos y la salida de residuos en áreas urbanas.

De igual manera debe contemplarse la posibilidad de reducir significativamente los residuos de salida utilizando una gran parte de ellos como un recurso esencial para el cultivo de plantas en ecosistemas urbanos. Otra alternativa del biosistema fábrica de plantas y su aplicación con iluminación artificial (PFAL), es necesario atender que tipo de plantas son adecuadas y no adecuadas para PFALs.

#### 4.1.4.1.3 PFAL negocio e investigación en el mundo: situación actual y perspectivas

Evolutivamente se ha logrado establecer la tecnología fábricas de plantas con iluminación artificial (PFAL) en Japón, Taiwán, China, América del Norte y Europa (Inglaterra y los Países Bajos), que incluyen investigación, desarrollo y negocios. Actualmente existe un subsidio gubernamental para PFAL R&D y negocios en Japón.

Las empresas taiwanesas y japonesas han comenzado a exportar y construir PFAL llave en mano en el extranjero. En China, un proyecto nacional sobre tecnología de producción de fábricas de plantas inteligentes fue iniciado en 2013 por científicos de universidades e institutos apoyados por el gobierno. En Corea, el mercado nacional anual del negocio PFAL tiene un valor de casi US \$ 600 millones.

Mientras tanto, en EE. UU. Y Canadá, varias instalaciones comerciales a gran escala se construyeron recientemente para producir productos farmacéuticos de proteínas y verduras de hoja verde. En los Países Bajos, se construyeron dos PFAL relativamente grandes en 2014 y 2015 para I + D por parte de empresas privadas, con el objetivo de comercializar PFAL a gran escala.

#### 4.1.4.1.4 Plant Factory, eficiente recurso para la producción de plantas en ambiente cerrado

Para mejorar la eficiencia en el uso de los recursos de una “fábrica de plantas con iluminación artificial” (PFAL), es importante comprender las características de los componentes principales de PFAL.

Los principales recursos de entrada para el PFAL son luz, agua, CO<sub>2</sub> y electricidad y nutrientes inorgánicos (fertilizantes). La eficiencia de uso de recursos (RUE) para cada componente tiene que ver con el concepto de un sistema de producción de planta cerrada (CPPS) para mejorar RUE.

Las características de la PFAL se comparan con las de un invernadero, principalmente desde el punto de vista de RUE. Se muestra que las eficiencias de uso de agua, CO<sub>2</sub> y energía lumínica son considerablemente más altas en el PFAL que en un invernadero. Por otro lado, hay mucho margen de mejora en las eficiencias de uso de energía eléctrica y luz de la PFAL. Los temas desafiantes para PFAL y RUE también deben ser analizados en cada proyecto.

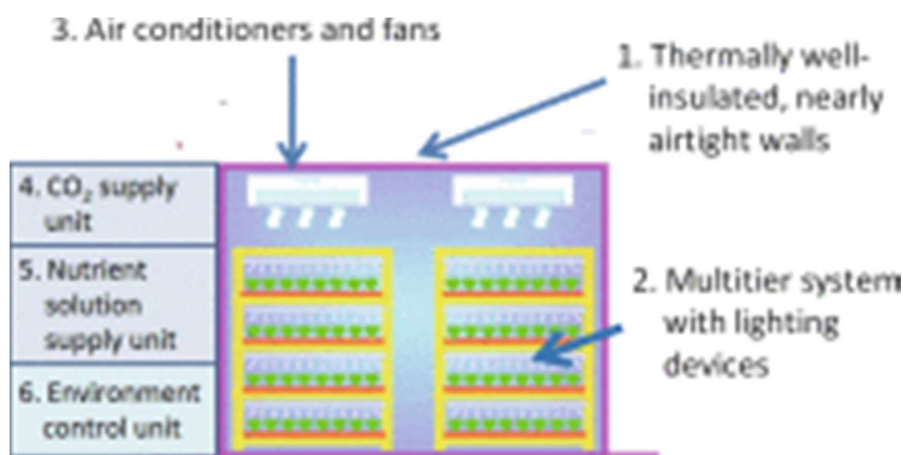


Figura 4.48 Principios básicos de la fábrica de plantas en zonas urbanas

#### 4.1.4.1.5 Micro y Mini-PFALs para mejorar la calidad de vida en zonas urbanas

Describir las características, funciones y ejemplos de micro y mini-PFALs. Algunos residentes que viven en áreas urbanas con pocas posibilidades de cultivar plantas al aire libre recientemente han comenzado a disfrutar de la agricultura en interiores utilizando una fábrica de plantas domésticas con luz artificial (PFAL) o micro-PFAL en Japón, Taiwán y China y algunos otros países asiáticos.

Además, los mini-PFAL se han creado para diversos fines en restaurantes, cafés, centros comerciales, escuelas, centros comunitarios, hospitales, etc. Tales micro y mini-PFAL y sus redes podrían ayudar a traer nuevos estilos de vida relacionados con la producción local para Consumo local, alimentos, salud, ecología, medio ambiente e Internet para personas que viven en zonas urbanas.

#### 4.1.4.1.6 Rooftop Sistema de producción de plantas en zonas urbanas

La popularidad de la agricultura urbana y los techos verdes está aumentando en ciudades de todo el mundo que reconocen los beneficios multifacéticos para la



comunidad local. Los sistemas de producción de plantas en la azotea (RPP, por sus siglas en inglés) se pueden usar para cultivar plantas ornamentales o cultivos alimentarios utilizando lechos elevados, cultivos en hileras o invernaderos hidropónicos. Los sistemas RPP maximizan el área de cultivo de la fábrica de plantas con iluminación artificial (PFAL).

El RPP se puede usar para cultivar cultivos que requieren mayores intensidades de luz y alturas mayores que las plantas que tradicionalmente se cultivan en PFAL. Además, las plántulas iniciadas en un PFAL pueden transferirse al techo y cultivarse con RPP.

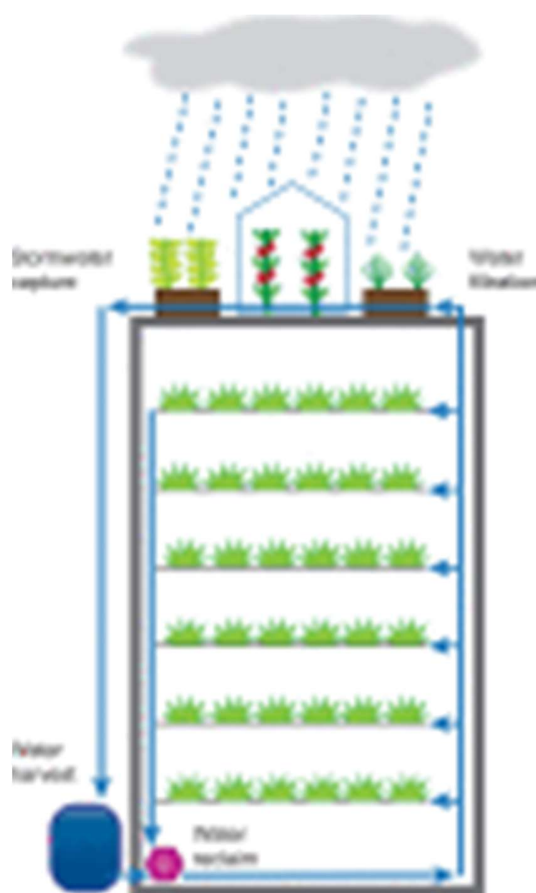


Figura 4.49 Bases conceptuales para el aprovechamiento de recursos en el sistema i-RTG

Los beneficios ambientales de RPP pueden ser un gran activo para la sostenibilidad y la eficiencia en el uso de recursos (RUE) de la PFAL, al tiempo que proporcionan mejoras netas positivas a la comunidad local y el paisaje urbano al aumentar la conciencia agrícola, impulsar la economía local y mitigar las aguas pluviales, y reduciendo el efecto isla de calor.

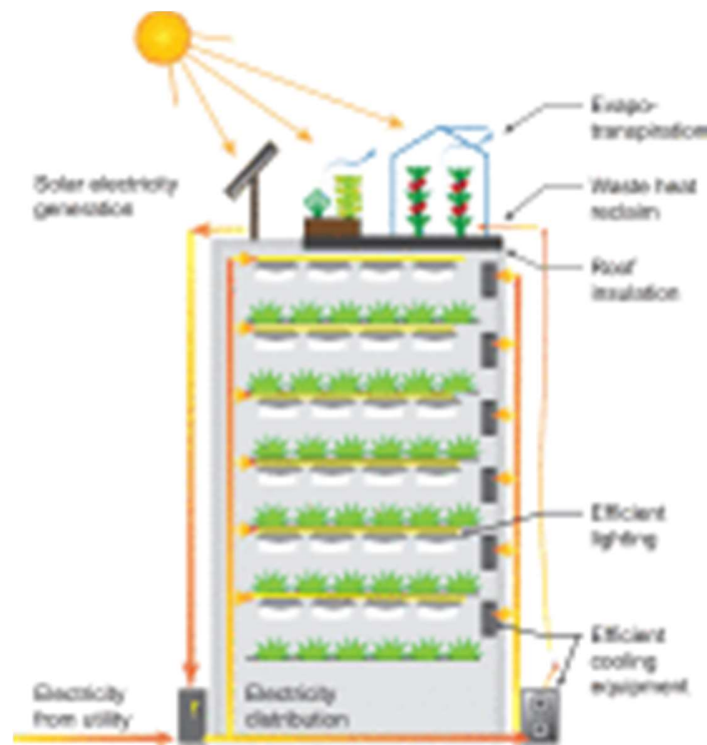


Figura 4.50 Instalaciones para Fábrica de plantas

#### 4.1.4.2 Base Fisiológicas: Medio ambiente y su efecto

##### 4.1.4.2.1 Luz

La luz es uno de los factores ambientales más importantes que influyen en el crecimiento y desarrollo de las plantas. La selección de fuentes de luz puede tener una influencia significativa en los costos iniciales y en los costos de producción de una fábrica de plantas de interior para el cultivo de plantas, además de los efectos sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas.

Es necesario conocer las propiedades físicas de la luz y su medida. Luego, las fuentes de luz comúnmente utilizadas en una fábrica de plantas con iluminación artificial, así como poder explicar de manera simple sus fundamentos, con el fin de diferenciar y elegir las fuentes de luz.

Desde el punto de vista de las PFAL, se hace especial hincapié en los diodos emisores de luz (LED), que han recibido una atención notable recientemente, y en las lámparas fluorescentes, que todavía se utilizan ampliamente en fábricas de plantas de interior para el cultivo de plantas. Los beneficios menos conocidos del uso de LED y efectos de iluminación pulsada con LED se describen brevemente junto con las referencias relevantes.

#### 4.1.4.2.2 Factores físicos ambientales y sus propiedades

La comprensión adecuada de la naturaleza y las relaciones entre los factores ambientales en una fábrica de plantas con iluminación artificial (PFAL) es esencial para controlar y mantener los niveles óptimos de los factores ambientales para lograr el máximo potencial de producción de la planta.

Es conveniente describir las propiedades físicas y químicas de los factores ambientales y su medición, tales como: temperatura, humedad, concentración de CO<sub>2</sub>, velocidad de la corriente de aire y tasa de ventilación (número de intercambios de aire por hora) con respecto al PFAL.

Además, se requiere entender los conceptos básicos de balance de energía, radiación, conducción de calor y convección. Además, el concepto y el uso del cuadro psicrométrico se presentan y discuten por sus importantes funciones en la comprensión del control ambiental de los PFAL.

#### 4.1.4.2.3 Fotosíntesis y respiración

El rendimiento de los cultivos está determinado por el crecimiento de la planta y más del 90% de la biomasa de los cultivos se deriva de productos fotosintéticos. Por lo tanto, la fotosíntesis es el proceso básico que subyace al crecimiento de las plantas y la producción de alimentos.

La respiración es también una vía metabólica que produce energía química para satisfacer las demandas de energía y crecimiento de la célula. Por lo tanto, el crecimiento de las plantas está estrechamente relacionado con la fotosíntesis y la respiración.

No hay crecimiento sin fotosíntesis y respiración. Por lo tanto, una comprensión de los procesos fisiológicos de la fotosíntesis y la respiración es necesaria para una comprensión básica de maximizar el rendimiento del cultivo.

Además, las tasas de crecimiento de las plantas no se determinan simplemente por las tasas de fotosíntesis y respiración en el nivel de una sola hoja, sino que están determinadas por las tasas de fotosíntesis y la respiración a nivel del dosel.

Ciclo de Krebs y de calvin son parte de las reacciones básicas de la fotosíntesis y la respiración en el nivel de una sola hoja, así como el nivel de dosel.

#### 4.1.4.2.4 Crecimiento, Desarrollo, Transpiración y translocación; como son afectados por factores ambientales abióticos

La comprensión de los factores ambientales que afectan a diversos aspectos del crecimiento y desarrollo de la planta es crucial en el diseño y operación de las plantas.

Punto básico es definir el crecimiento vegetativo (brotes y crecimiento de la raíz) y luego analizar los factores ambientales abióticos típicos (temperatura, intensidad de la luz, calidad de la luz, fotoperíodo, humedad, concentración de dióxido de carbono, velocidad de la corriente de aire y el ambiente de la zona de raíces y nutrientes) Crecimiento y desarrollo de las plantas.

Luego se describe brevemente la transpiración y la translocación de azúcar utilizando la comprensión fisiológica general del potencial hídrico y la relación fuente-sumidero.

#### 4.1.4.2.5 Nutrición y nutrientes como consumo en sistema de cultivos sin suelos

En un cultivo sin suelo, todos los nutrientes se suministran a las plantas mediante una solución nutritiva suficiente para satisfacer las demandas de las plantas. La composición de la solución significa la concentración de cada ion nutriente en la solución. Se han diseñado muchos tipos de composición; la composición debe elegirse según el tipo de planta, la etapa de crecimiento, la calidad objetivo del producto, etc.

Sin embargo, la única diferencia es la proporción de cada ion y la concentración. En un cultivo sin suelo, un ligero cambio en el manejo de nutrientes puede influir enormemente en el crecimiento de las plantas y en la calidad del producto. Por lo tanto, una comprensión adecuada de la solución nutritiva es esencial para el cultivo exitoso de plantas incluso en ambientes artificiales.

Además, se describe un nuevo concepto de gestión de nutrientes, a saber, la gestión cuantitativa.

#### 4.1.4.2.6 Tipburn

Tipburn es una necrosis en el ápice de la hoja de las hojas jóvenes en desarrollo y la causa principal a menudo se considera una deficiencia de  $\text{Ca}^{2+}$ . Sin embargo, tipburn es causado no solo por la deficiencia de  $\text{Ca}^{2+}$  en la planta, sino también por la interacción de varios factores.

La inhibición de la absorción de  $\text{Ca}^{2+}$  se ve afectada por el pH, la temperatura de la raíz y el estrés hídrico. El flujo de transpiración transfiere el  $\text{Ca}^{2+}$  de la raíz al disparo, por lo que un entorno en el que se suprime la transpiración evita esta transferencia.

Además, hay competencia por la distribución de  $\text{Ca}^{2+}$  entre diferentes tejidos de las plantas. Por lo tanto, para prevenir las quemaduras, es importante comprender los diversos factores que lo causan.

#### 4.1.4.3 *Diseño del sistema: construcción cultivo y manejo*

##### 4.1.4.3.1 Proceso de producción de plantas, Floor Plant and Layout of PFAL

El plano de planta de una fábrica de plantas con iluminación artificial (PFAL) y diseños de equipos y camas de cultivo (o cultivo) están diseñados para lograr operaciones eficientes por parte de los trabajadores y flujos fluidos de materiales como las plantas y suministros en el sistema de producción de plantas. Además, es esencial que el PFAL esté diseñado y operado para mantener un alto nivel de saneamiento para la seguridad de los alimentos.

Sin embargo, los PFAL son sistemas de producción relativamente nuevos, por lo que aún no se han establecido las tecnologías de producción óptimas y hay mucho margen de mejora en el proceso de producción de la planta.

En este sentido se requiere describir el estado de la técnica en relación con el proceso de producción de la planta, así como el plano de planta y los diseños de los equipos y los lechos de cultivo de un PFAL, y también analiza el saneamiento.



**Figura 4.51 Sistema de producción en capas con hidroponía**

##### 4.1.4.3.2 Sistema hidropónico

Los sistemas hidropónicos, como la técnica de flujo profundo, la técnica de película de nutrientes o los sistemas aeropónicos, son herramientas esenciales en las fábricas de plantas. Para el manejo adecuado del agua y los nutrientes en el sistema hidropónico, se debe medir la conductividad eléctrica (EC), el pH, el oxígeno disuelto y la temperatura.



Debido a que las concentraciones de iones en las soluciones de nutrientes cambian con el tiempo, lo que resulta en un desequilibrio de nutrientes en los sistemas hidropónicos cerrados, se requieren mediciones en tiempo real de todos los nutrientes, pero estas mediciones no están disponibles debido a problemas técnicos.

El análisis periódico de las soluciones de nutrientes y el ajuste de las proporciones de nutrientes pueden mejorar el balance de nutrientes. Como método avanzado, los electrodos selectivos de iones y las redes neuronales artificiales pueden ser herramientas eficientes para estimar la concentración de cada ion.

Para la producción estable de cultivos, se requieren sistemas de desinfección con filtros, calor, ozono y radiación ultravioleta en los sistemas hidropónicos.

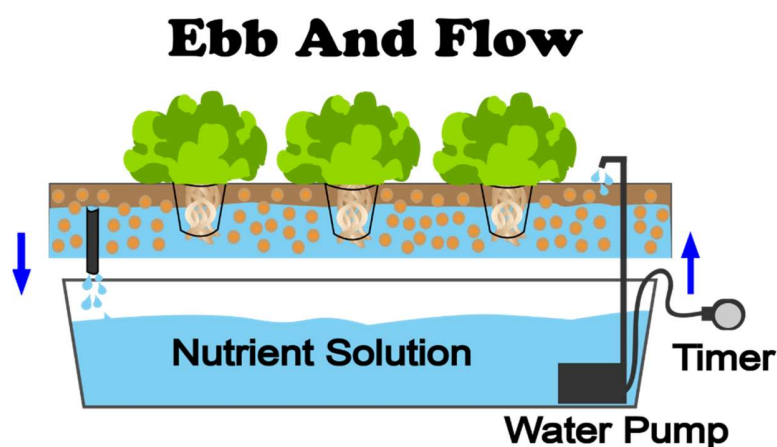


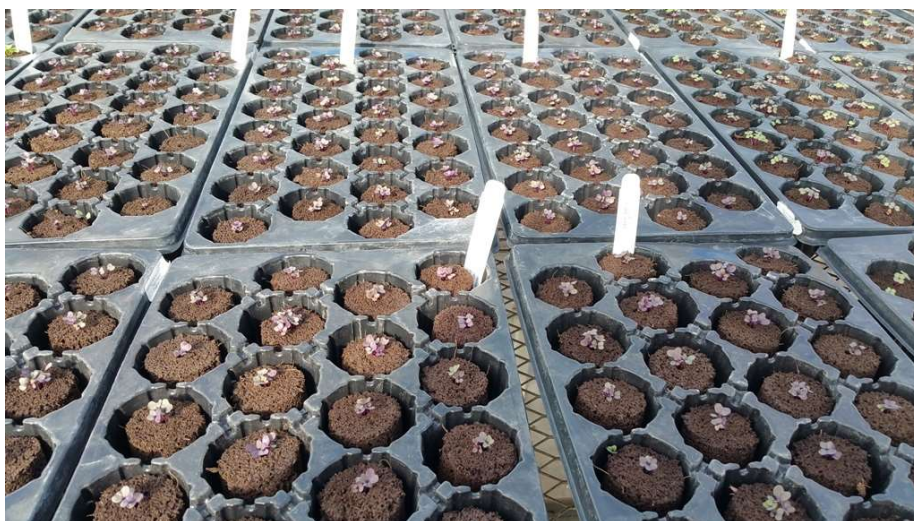
Figura 4.52 Sistema hidropónico tipo balsa

#### 4.1.4.3.3 Semillas, siembra en almacigo y trasplante

Un procedimiento estándar para producir plántulas en una fábrica de plantas con iluminación artificial, que consiste en la preparación, siembra, producción de plántulas y trasplante, se describe paso a paso, utilizando lechuga de hoja (*Lactuca sativa* L. vari. Crispa) como material vegetal.

El objetivo es proporcionar el procedimiento estándar en detalle para lograr un porcentaje de germinación de semillas de 98% o más, y un porcentaje de plántulas trasplantables de semillas germinadas que excedan el 98%. En consecuencia, el porcentaje de plántulas trasplantables de semillas sembradas supera el 96% ( $= 98 \times 98/100$ ) o superior.

El porcentaje de cosechas vendibles de semillas sembradas y de plántulas trasplantadas debe exceder, respectivamente, 95% o más y 99%



**Figura 4.53 Propagación de especies**

#### 4.1.4.3.4 Producción de trasplantes en sistemas cerrados

El sistema de producción de trasplantes cerrados (CTPS), un tipo de sistema de producción de plantas cerradas (CPPS), es útil para:

1. La producción de trasplantes sin insectos y pesticidas,
2. Acortar el período de producción de trasplantes en 30–40 % comparado con el uso de un invernadero por medio de un control ambiental óptimo que incluye el enriquecimiento de CO<sub>2</sub>,
3. Incrementando la productividad anual del trasplante por unidad de superficie terrestre, y
4. Mejorando la trazabilidad del proceso de producción del trasplante.

En sistemas cerrados el trasplante de especies es necesario conocer los principales componentes y funciones del CTPS, así como la productividad anual y el costo de la electricidad por trasplante. Además, la parte central de la propagación que tiene relación con la ecofisiología de la producción de trasplantes. En tercer lugar, se describen los esquemas de producción de varios trasplantes medicinales y hortícolas.

Un ejemplo básico que puede ser adoptado fácilmente es la propagación y producción de trasplantes de arándanos y fresas.



Figura 4.54 Sistema de balsa. Hidroponía

#### 4.1.4.3.5 Manejo de factores biológicos

La gestión del factor biológico es crucial en una fábrica de plantas. La primera sección se enfoca en controlar el crecimiento de algas, que es una tarea de mantenimiento crítica en una fábrica de plantas con producción de cultivos de iluminación artificial.

Las superficies húmedas en contacto con nutrientes y luz pueden desarrollar algas rápidamente. La mejor práctica es cubrir esas superficies con un material opaco para excluir la luz, pero hay algunas opciones para controlar las algas químicamente. La segunda sección se refiere al control de microorganismos, centrándose en pruebas microbiológicas de alimentos e informes sobre la gestión de la higiene en Japón.

Los métodos de prueba incluyen la prueba ambiental y la prueba de calidad, y el número total de bacterias y hongos se mide en cada prueba.



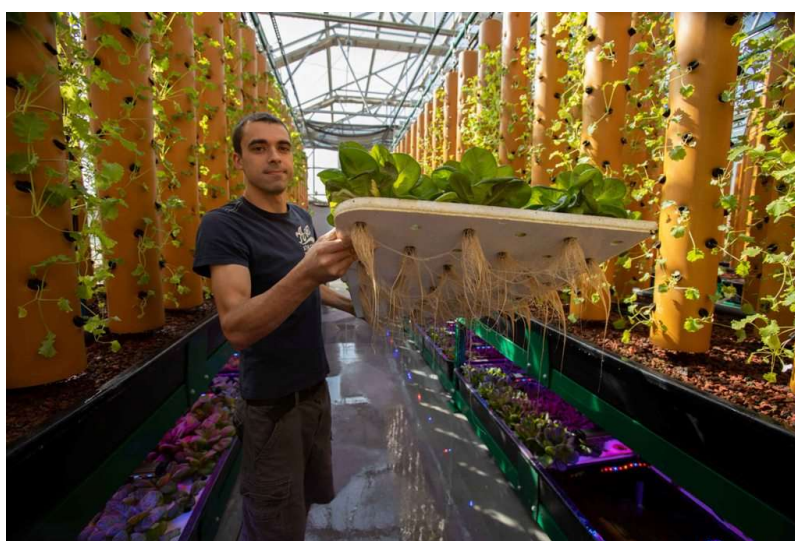


**Figura 4.55 Sistema de producción comercial, Utah**

#### 4.1.4.3.6 Diseño y manejo de PFAL

Se presentan las características, la estructura, las funciones y la utilidad del sistema de diseño y gestión (D&M) para fábricas de plantas con iluminación artificial (PFAL) que están desarrollando los autores.

Luego, se presentan algunas salidas típicas para los consumos de electricidad por hora y por mes, el coeficiente de rendimiento de los acondicionadores de aire, las distribuciones de luz y temperatura, las mediciones del crecimiento de la planta y el análisis de PFAL-D & M.



**Figura 4.56 Desarrollo de Raíces en hidroponía**

#### 4.1.4.3.7 Tecnología para la automatización en PFAL

En la producción de hortalizas en una fábrica de plantas con iluminación artificial (PFAL), casi no hay trabajo hasta la recolección después del trasplante. Por lo tanto, el trabajo a automatizar es la siembra, la selección de buenas plántulas, el trasplante, el movimiento de paneles de cultivo, la cosecha, el control de peso, el empaque, la inspección de metales y la limpieza de paneles.

Mover los paneles de cultivo implica trabajar en lugares altos en un PFAL con un sistema de cultivo multicapa, por lo que esta tarea debe automatizarse para reducir el riesgo de dicho trabajo. Este capítulo presenta un PFAL de Green Clocks Corporation (Osaka, Japón), que se completó en septiembre de 2014 y contiene la última tecnología de automatización para PFAL, como un caso de estudio.

Esta instalación moderna de PFAL puede producir 5200 cabezas de lechuga de hoja por día, con tecnologías de vanguardia para la selección automática de plántulas utilizando información genética y el movimiento del panel de cultivo con un robot de transferencia de tipo lanzadera recientemente desarrollado.

#### 4.1.4.3.8 Educación, entrenamiento, y un intensivo foro de negocios de Plant Factories

El Centro para el Medio Ambiente, la Salud y las Ciencias de Campo, la Universidad de Chiba y la Asociación de Fábricas de Plantas de Japón están utilizando cinco invernaderos (sistema semicerrado) con un sistema de control ambiental y tres fábricas de plantas con iluminación artificial (un total de 10,845 m<sup>2</sup>) en el campus de Universidad de Chiba para la investigación, la educación y la formación. Anualmente, más de 5000 personas visitan las instalaciones para conocer y comprender las fábricas de plantas.

Este programa de educación en fábricas de plantas se ha llevado a cabo desde 2011 para los estudiantes de posgrado de la Universidad de Chiba y los estudiantes de corta estancia (de 70 a 90 días) de universidades hermanas. Desde 2010 se han llevado a cabo foros comerciales intensivos sobre fábricas de plantas, que cubren la información, la ciencia, los negocios y el funcionamiento de fábricas de plantas.

Desde 2009, se han llevado a cabo talleres intensivos de negocios en fábricas de plantas sobre una amplia gama de temas para personas de negocios mediante la planificación de talleres, excursiones y despachos de instructores.



#### 4.1.4.4 PFAL: OPERACIÓN Y PERSPECTIVAS

##### 4.1.4.4.1 Aspectos relevantes de PFALs in Japón and Taiwan

Existe un importante desarrollo de fábricas de plantas con iluminación artificial (PFAL) para la producción comercial en Japón y Taiwán. Se desarrollan sus antecedentes comerciales, ubicación, modelo comercial, mercado, costo, cultivos objetivo, capacidad de producción y sistemas de cultivo. A partir de 2013, hay cerca de 165 PFAL comerciales en Japón y 45 en Taiwán, y las cifras han aumentado año tras año. La PFAL más grande de Japón produce 23,000 cabezas de lechuga de hoja diariamente.

Tanto las empresas taiwanesas como las japonesas de PFAL exportan PFAL a China, Mongolia, Singapur y Rusia, y planean exportar a Oriente Medio y otros países asiáticos. La capacidad de producción diaria por PFAL llegará a 30,000 cabezas de lechuga de hoja pronto, y más y más operaciones manuales se automatizarán en los próximos años. En los Países Bajos, el negocio de PFAL ha comenzado a crecer recientemente.



Figura 4.57 Uso de luces LED

##### 4.1.4.4.2 Desafíos para la siguiente generación de PFAL

Gran parte de la tecnología utilizada en fábricas de plantas con iluminación artificial (PFAL) difiere de la utilizada en horticultura y agricultura, aunque la ciencia y la tecnología básicas son las mismas. Por lo tanto, se necesitan nuevas ideas para las tecnologías PFAL.

Los ejemplos incluyen: sistemas de iluminación ascendente, uso de LED verdes, reproducción de vegetales y plantas medicinales adecuadas para PFAL, propagación de semillas, un sistema de cultivo hidropónico con masa de raíces restringida, producción de bayas de floración todo el año y uso de energía natural en PFAL. Es de la mayor

importancia analizar las oportunidades potenciales para la PFAL de la próxima generación.

#### 4.1.4.4.3 Componentes medicinales

Otra alternativa y con ella los problemas asociados con el cultivo de plantas medicinales para la producción de fitofármacos. Para garantizar la eficacia y seguridad de estos productos fitofarmacéuticos o componentes medicinales, es necesario cultivar plantas medicinales en ambientes controlados.

El sistema PFAL también puede garantizar el ambiente óptimo y la composición de nutrientes para maximizar la producción de biomasa, así como los componentes medicinales. Cuando las plantas están bajo estrés, la producción de componentes medicinales puede aumentar porque el crecimiento de las plantas a menudo se inhibe más que la fotosíntesis, por lo que el carbono que se fija, pero no se asigna al crecimiento se asigna a la producción de componentes medicinales. La temperatura y el estrés hídrico se describen en este capítulo.

Se sabe que el estrés hídrico aumenta las concentraciones de metabolitos secundarios en los tejidos de las plantas y una condición de estrés hídrico grave puede causar estrés oxidativo debido a la formación de especies reactivas de oxígeno y daño fotoinhibitorio. Un estudio detallado fue realizado por Zobayed et al. (2007) para evaluar los cambios en el estado fisiológico, especialmente la eficiencia fotosintética y el perfil de los componentes medicinales de los tejidos de las hojas de las plantas de *H. perforatum* expuestas al estrés hídrico.

En los tejidos foliares de plantas cultivadas en condiciones de estrés hídrico, tanto las concentraciones de hipericina como de pseudohipericina se redujeron con el tiempo y la concentración fue significativamente menor que la del control; En contraste, la concentración de hiperforina aumentó significativamente. Las tasas netas fotosintéticas de las hojas de las plantas cultivadas en condiciones de estrés hídrico fueron significativamente más bajas que las del control.

En otro estudio, Abreu y Mazzafera (2005) mostraron que el estrés hídrico aumentaba los niveles de compuestos medicinales como el ácido betulínico, la quercetina, la rutina, el 1,5-dihidroxixantona y la isouliginosina B en *Hypericum brasiliense*, una planta medicinal importante. Llegaron a la conclusión de que hay una reasignación de carbono, con plantas estresadas por el agua que muestran una reducción en el crecimiento mientras aumentan los niveles de los compuestos.

También se discute el impacto de la calidad espectral de la luz y la radiación ultravioleta en plantas bajo ambientes controlados en la producción de metabolitos medicinales.

El estrés hídrico es una importante restricción ambiental en la productividad de los cultivos, tanto cuantitativa como cualitativa (Boyer, 1982). El estrés hídrico también puede influir fuertemente en las respuestas inducidas por UV-B (Teramura, 1986; Tevini y Teramura, 1989; Balakumar et al., 1993). Como en muchos efectos inducidos por UV-B, la respuesta de las plantas a la interacción del agua y la radiación UV-B depende de la especie. Por ejemplo, en el pepino, la resistencia de la difusión de la hoja adaxial a la pérdida de agua se triplicó en los primeros días del tratamiento con UV-B y luego se perdió la función estomática, ya que la resistencia de la hoja disminuyó rápidamente.

Sullivan y Teramura (1990) estudiaron la combinación de UV-B y el estrés hídrico en la fotosíntesis en la soja. En condiciones de buen riego, el aumento de la radiación UV-B redujo la capacidad fotosintética, el peso seco de la planta, el área de la hoja y el número de vainas. La combinación de UV-B y estrés hídrico no aumentó las respuestas en comparación con ninguno de los dos estresantes. Tanto el estrés UV-B como el estrés hídrico afectaron el crecimiento de las plantas y el intercambio de gas fotosintético.

Además, el estrés hídrico puede retrasar la división celular y, por lo tanto, reducir el crecimiento. Como la radiación UV-B es particularmente dañina durante la división celular, el crecimiento reducido se reconoce como un medio de protección UV-B. En consecuencia, el crecimiento reducido o el contenido de fósforo resultante del estrés hídrico pueden anular el daño UV-B (Sullivan y Teramura, 1990). Estos resultados sugieren que la influencia del aumento de la radiación UV-B en la productividad del cultivo puede ser más inhibitoria cuando no hay escasez de agua. La considerable influencia del estado del agua también se ha demostrado en un estudio de campo de 6 años (Teramura et al., 1990a).

#### *4.1.4.5 Conclusión: Características de ahorro y consumo de recursos de las PFALs*

Las características de ahorro de recursos y de consumo de recursos de las fábricas de plantas con iluminación artificial (PFAL) se resumen en este capítulo, ya que los usos eficientes de los recursos son el factor más importante que determina las oportunidades y los desafíos de los PFAL que consisten en un aislamiento térmico adecuado.

Estructura altamente hermética que contiene múltiples niveles con unidades de iluminación e hidropónicas, unidad de suministro de CO<sub>2</sub>, acondicionadores de aire (o bombas de calor) y unidad de control. También se describen problemas desafiantes relacionados con la eficiencia del uso de recursos en un PFAL.

#### 4.1.4.6 Proyecto Ejecutivo: Agricultura Urbana y Biosistemas

##### 4.1.4.6.1 Antecedentes

La agricultura urbana se refiere a las prácticas agrícolas en áreas urbanas y sus regiones circundantes (periurbanas), y es una operación centralizada que involucra horticultura, ganadería, acuicultura y otras prácticas para producir alimentos frescos u otros productos agrícolas.

Hay muchos enfoques diferentes para la agricultura urbana, incluida la agricultura a nivel del suelo, la agricultura en la azotea, la hidroponía, los invernaderos y otras tecnologías nuevas. La agricultura urbana tiene el potencial de producir alimentos para el consumo local, especialmente productos perecederos y cultivos hortícolas de alto valor. Además, hay un interés creciente en el cultivo a escala comercial de cultivos no alimentarios en áreas urbanas, como flores, paredes verdes y similares.

Agricultura urbana juega un papel clave en la seguridad alimentaria y se encuentra en las ciudades inteligentes, que son un fenómeno estrechamente relacionado con las economías urbanas, la cultura, la ciencia y la tecnología; La agricultura urbana indica que el desarrollo económico de una ciudad ha alcanzado un nivel más alto. En comparación con otras prácticas agrícolas, la agricultura urbana hace un uso intensivo del capital, las instalaciones, la tecnología y la mano de obra.

También es una agricultura industrializada, orientada hacia el mercado, y puede aprovechar los mercados desarrollados, las redes de información y transporte de las ciudades internacionales para impulsar la producción agrícola y el comercio interregional.

Los invernaderos se introdujeron hace varias décadas para proteger las plantas de las condiciones climáticas. Inicialmente, los agricultores de las zonas agrícolas los utilizaban como formas alternativas de proteger la producción. Más recientemente, se han construido invernaderos que incluyen fábricas de plantas y jardines en los tejados de las ciudades.

Un número creciente de empresas e investigadores se han involucrado en la agricultura urbana, produciendo con éxito alimentos frescos y otros productos de manera sostenible. La agricultura urbana está siendo vista como una oportunidad de negocio emergente en áreas urbanas.

En el año 2050 la población mundial superará los 9.000 millones de personas. Según advierte la FAO (1) habrá agua suficiente para producir los alimentos necesarios para dar de comer, pero tendremos que poner medidas para frenar el consumo excesivo, la degradación de los recursos, el impacto del cambio climático y lo que esto acarreará en

muchas regiones, principalmente en los países en vías de desarrollo. En el presente documento pretendo provocar una reflexión sobre el futuro de la producción agrícola sostenible; más responsable, con un menor consumo de recursos, con una producción más acorde a la demanda, y que a su vez haga un uso más racional de los recursos hídricos. Todo ello mezclado con la digitalización, el internet de las cosas, el uso de los datos y la puesta en valor de la inteligencia artificial a la hora de unir oferta, demanda, y racionalidad.

#### 4.1.4.7 Plan de desarrollo Muro Verde vertical

##### 4.1.4.7.1 Introducción

El tema sobre agricultura vertical, sigue cobrando impulso en el mundo siendo cada vez más común observar este tipo de biosistemas, en espacios públicos, oficinas o viviendas, pero a pesar de los perjuicios y que muchos creen que la agricultura es un sector poco innovador, se están dando pasos para trasladar todo lo aprendido en jardinería y a su vez todo lo que la digitalización puede aportar a la agricultura vertical.

El concepto granja vertical fue desarrollado por el biólogo Dickson Despommier en 1999, y ha evolucionado hacia *Plant Factory*, que representa mejor el concepto de desarrollo e innovación en el que se trabaja dentro del marco estratégico IMTA-AgUrban 2020.

##### 4.1.4.7.2 Problemas relacionados con el agua en zonas urbanas

Durante las próximas décadas, los crecimientos de las poblaciones mundiales junto con cambios radicales en las dietas ejercerán una gran presión sobre la agricultura y los sistemas alimentarios del planeta, tales como:

- Sobreexplotación de los recursos.
- Superpoblación
- Cambio climático.
- Reducción del volumen de agua disponible debido a la competencia de las ciudades y la industria<sup>3</sup>.
- Contaminación de los acuíferos, debido en parte al uso intensivo de la agricultura, el desarrollo industrial y el crecimiento de las ciudades.

Los expertos señalan que para alimentar a los nueve mil millones de personas que habitarán el planeta en 2050, la producción alimentaria mundial tendrá que aumentar en un 60% y hasta al menos un 12% más de superficie cultivable, gran parte de la cual es probable que sea marginal o ambientalmente sensible.

Es factible que la producción agrícola total para satisfacer las necesidades de alimento, combustible y de la industria, tenga que duplicarse en comparación con los actuales niveles de producción.



Más aún, esto se debe lograr al tiempo que los agricultores afrontan los efectos del cambio climático —lo cual, según los científicos, traerá mayores desafíos para la producción en muchos lugares— junto con la degradación de la base de los recursos naturales y la creciente competencia por tierra y agua.

Actualmente en el mundo, más de la mitad de las personas habitan en centros urbanos y su ritmo de crecimiento es exponencial, motivo por el cual se requiere desarrollar fórmulas innovadoras para gestionar el acceso y disponibilidad de alimentos de forma compatible con el crecimiento sostenible, promoviendo la economía de circuito corto<sup>6</sup>. La producción en el mismo lugar donde se consume, constituye una oportunidad de generar empleo local y de calidad.

#### 4.1.4.7.3 Soluciones que puede ofrecer la agricultura vertical

- Producción todo el año.
- Mayor frescor y cercanía con el consumidor, reducción de la huella ecológica<sup>7</sup>.
- Disminuir la sobreexplotación. Al utilizar recursos productivos alternativos evitaríamos esquilmar los existentes, con el consiguiente descanso-rotación de estos.
- Frenar el cambio climático. Al no utilizar «terrenos cultivables» para producir alimentos frenaríamos la deforestación. Por un lado, no se tendrían que destruir zonas forestales para reconvertirlas en zonas de producción de alimentos; segundo, la masa arbórea es una gran barrera para la destrucción del suelo, no impacta igual la lluvia-escorrentía sobre un suelo desnudo que sobre uno con cubierta; tercero, la masa arbórea capta parte del CO<sup>2</sup> (gases de efecto invernadero) que estamos vertiendo a la atmósfera y lo convierte en oxígeno.
- Al utilizar como recurso hídrico las aguas grises que producen los mismos edificios donde tenemos las *Plant Factory*, por un lado estaríamos dando salida a las mencionadas aguas, lo que conlleva un doble ahorro, no haríamos vertidos a la red de saneamiento público; segundo no haríamos uso de agua potable, o de acuíferos (debido a la saturación de captaciones, existen municipios e incluso comarcas enteras donde está prohibido desde hace años hacer nuevas perforaciones).

Un ejemplo palpable en España, Desde hace quince años la comunidad de regantes Cuatro Vegas lleva regando del orden de 3000 Has. de invernaderos en el bajo Andarax con aguas grises depuradas procedentes de Almería.

- Menor uso de fertilizantes principalmente nitrogenados que tantos problemas de contaminación están causando. Las aguas grises contienen gran cantidad de nutrientes que pueden ser absorbidos por las plantas.
- Al estar en una atmósfera controlada conseguiríamos minimizar el uso de productos fitosanitarios, con todo lo que ello conlleva.
- Convertir los m<sup>2</sup> productivos en m<sup>3</sup>, pasar de usar la hectárea como unidad de medida agronómica a utilizar el m<sup>3</sup> como unidad de medida productiva, lo que conlleva una mayor productividad.

#### 4.1.4.7.4 Continuidad del proyecto muro verde

Las grandes urbes son un sistema intensivo de consumo de recursos, agua, suelo, ambiente, energía, etc. Si bien es cierto la producción de cultivos en paredes y edificios en México es un proyecto ambicioso, existen otros beneficios que permiten ir transitando hacia esa alternativa.

El proyecto muro verde construido en el IMTA, está constituido de estructuras metálicas para la portación de plantas CAM (Crasulaceas acidic metabolism). Son plantas con requerimientos reducidos de manejo y consumo, pero además cuentan con mecanismos para fijar dióxido de carbono y convertirlo en ácido málico que luego utilizan en el proceso de fotosíntesis.



**Figura 4.58** Materiales utilizados en el biosistema muro verde

En resumen, son plantas con una fisiología para consumir dióxido de carbono y producir oxígeno. Además, se estima que por cada 100 moléculas de agua transpirada son capaces de fijar 1 molécula de CO<sub>2</sub>. Estas condiciones son ideales en ciudades con altos índices de contaminación como la ciudad de México, pero sobre todo, contemplar alternativas estructurales en las ciudades con esa tendencia como San Luis Potosí, Torreón o Mérida



Figura 4.59 Muro vivo a instrumentar

La continuidad del proyecto muro verde del IMTA, considera generar información en tres áreas:

1. Cosecha de lluvia
2. Energía alternativa
3. Cosecha de CO<sub>2</sub>

Para llevar a cabo esta investigación es necesario instrumentar el biosistema, entre lo cual se debe contemplar.

1. Cosecha de lluvia
  - a. Instalación de sistema de cosecha de lluvia (Tuberías, depósitos, filtros, etc.)
  - b. Instrumentación, sensores y actuadores (ambientales, EM, pp, HR, T, Rad, etc.)
2. Energía alternativa
  - a. Complemento al sistema de captación de lluvia (uso de paneles solares para recircular el agua, sistema eléctrico, etc.)
  - b. Instrumentación, sensores y actuadores para medir consumos energéticos
3. Cosecha de CO<sub>2</sub>
  - a. Instrumentación y puesta a punto, sensores y actuadores para cuantificar el dióxido consumido y el oxígeno generado.
4. Automatización
  - a. Es conveniente la programación para la adquisición y almacenamiento de datos, para luego el análisis de los mismos





Figura 4.60 Alternativas para la cosecha de lluvia



Figura 4.61 Fachada original para instrumentar

#### 4.1.4.8 Planeación para la producción de cultivos en zonas urbanas

Hoy en día, aproximadamente 3.6 billones de personas en todo el mundo viven en áreas urbanas. Para 2030, se prevé que la población en las áreas agrícolas disminuirá a 3 mil millones debido al envejecimiento de los agricultores, mientras que la población en las áreas urbanas superará los 5 mil millones. Por lo tanto, el sistema actual de producir casi todos los alimentos, incluidos los alimentos frescos en áreas agrícolas y transportarlos a áreas urbanas, debe cambiarse en las próximas décadas (Despommier, 2010).

Para aumentar la producción local para el consumo local de vegetales frescos y limpios, la agricultura urbana, especialmente las fábricas de plantas con iluminación artificial (PFAL), se han vuelto cada vez más importantes en Japón y otros países que tienen áreas urbanas densamente pobladas.

Paralelamente a la producción comercial de hortalizas de hoja que utilizan PFAL, algunos residentes que viven en áreas urbanas con pocas posibilidades de cultivar plantas en el exterior recientemente han comenzado a disfrutar de la agricultura en interiores utilizando una PFAL o micro-PFAL doméstica en Japón, Taiwán y China y algunas otras Países asiáticos (Takagaki et al., 2014). Además, los mini-PFAL se han creado



recientemente para diversos fines en restaurantes, cafés, centros comerciales, escuelas, centros comunitarios, hospitales, etc. Estos micro y mini-PFAL se denominan "m-PFAL", los cuales podrían brindar nuevos estilos de vida a las personas que viven en áreas urbanas.

#### 4.1.4.8.1 Puntos de mejora en Agricultura Urbana

El siguiente paso en el aprendizaje de la aportación para la implantación de tecnologías de producción de cultivos en zonas urbanas, sería evaluar alternativas y definir un biosistema experimental, con el objetivo de definir viabilidad en el consumo de recursos y la aportación en cosechas. Para poder hacer rentables y sostenibles las *plant factory*, se deberían de trabajar en minimizar sus puntos débiles. Tales como:

- Abaratar los costes de construcción, adaptación de un edificio a los requerimientos de luz, ventilación, agua, atmósfera controlada que necesitan este tipo de *plant factories*.
- Elevados costes de funcionamiento.
- Trabajar en la búsqueda de fuentes lumínicas más sostenibles. A día de hoy la iluminación se hace con luces led, que aunque son de bajo consumo, al necesitar gran cantidad de horas de luz, acaban resultado muy costosas. Lo ideal es que el edificio donde instalemos la *plant factory* sea autosuficiente, y al igual que genera su propia agua de riego «a través de la depuración de las aguas grises», sea capaz de hacer lo propio con la energía eléctrica.
- Este tipo de factorías solo integra plantas de mata baja, como pueden ser lechugas, escarolas, espinacas, judías verdes redondas, guisantes, etc. que por un lado nos permiten ciclos de producción muy intensivos, pero por el otro los hacen tener un surtido de productos limitados. La recomendación es ir experimentando con plantas de tallo medio y que a su vez permitan ciclos de producción no excesivamente largos.
- Integración de este tipo de factorías con los supermercados locales, las grandes cadenas de distribución o incluso los nuevos actores como son Amazon french. Por un lado la distribución cerraría el ciclo de abastecimiento de producto fresco, harían más sostenible su propuesta valor «cerca, producto fresco, alimentos de kilómetro 0, entre otros», por el otro la factoría tendería a estar siempre produciendo al cien por cien de su capacidad productiva.

##### 4.1.4.8.1.1 Biosistema vertical (Plenty)

A diferencia de otras granjas verticales que usan filas apiladas horizontalmente, los sistemas de Plenty se basan en postes altos que forman paredes densamente cubiertas de lechugas y hierbas en crecimiento.



Figura 4.62 Muro verde, producción de especies con luces LED y solución nutritiva. Photo courtesy of Plenty

Plenty cultiva sus plantas en torres de 20 pies de altura (6 M) dentro de una instalación climatizada con luces LED

#### 4.1.4.8.2 Biosistema de producción en capas



Figura 4.63 Manejo del cultivo en capas



Figura 4.64 Características de producción. (Fuente: zimbio.com)

#### 4.1.4.8.3 Biosistema hidroponía modular

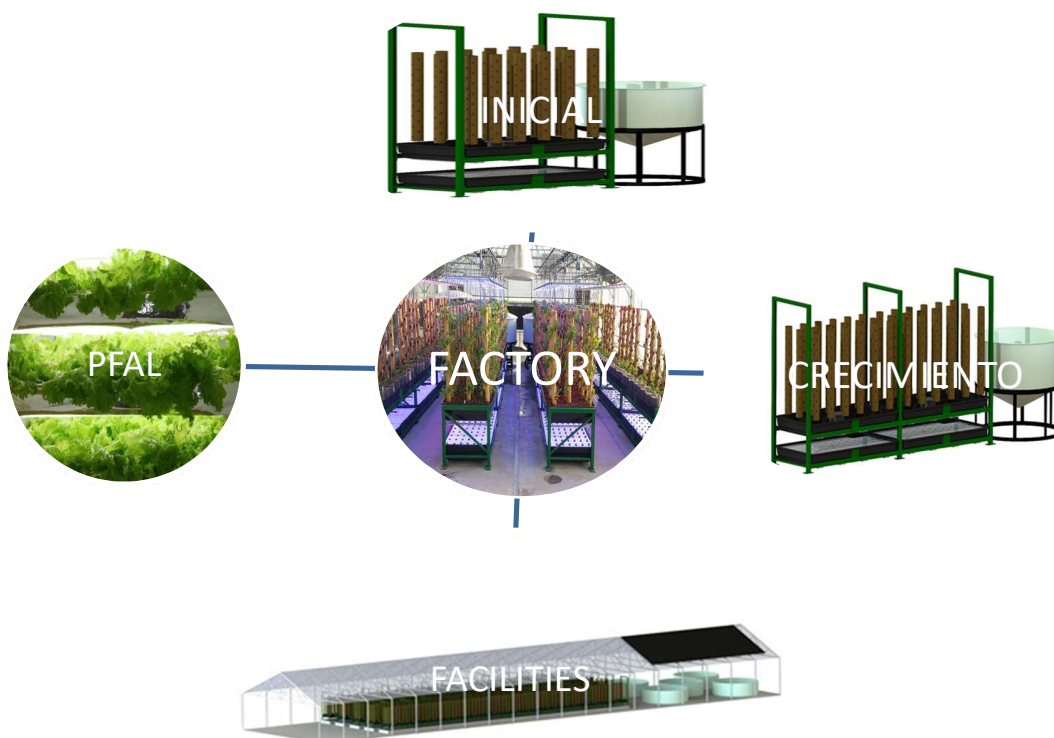


Figura 4.65 Proceso de Implantación de una fábrica de plantas

#### 4.1.4.8.4 Propuesta IMTA-PF

En esta etapa, se plantea la construcción de un módulo prototipo como el que se muestra en la Figura 4.66, el cual consta de un sistema combinado de módulos verticales y dos módulos horizontales. Este es un sistema hidropónico con recirculación de solución nutritiva donde se mantiene un sustrato en el sistema vertical y tipo balsa en los horizontales.

El sistema es susceptible de automatizarse en función de presupuesto. Así mismo, de penderá del espacio donde sea implementado, lo que definirá el nivel de automatización y sistemas auxiliares por evaluar, tales como HVCA, PFLA, etc.

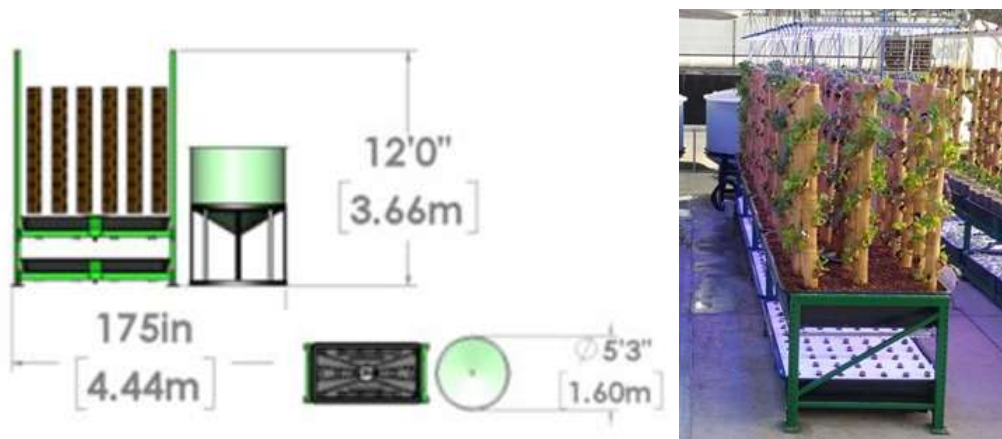


Figura 4.66 Prototipo inicial IMTA-PF

El prototipo de la figura 26, podrá ser implementado en función del presupuesto, entre lo que se contempla componentes operáticos y de monitoreo. En términos prácticos se requiere la colaboración para usar la malla sombra ubicada al sur del IMTA, en la cual se puede establecer un módulo para su adaptación y evaluación como alternativa a implantarse en zonas urbanas.

En este prototipo los principales requerimientos serán:

- Tanque de 1100 lts
- Cama tipo balsa con medio de cultivo
- 18 torres verticales de crecimiento con 48 contenedores
- 4 balsas de lechuga con 72 horadaciones
- Sistema de luces de cultivo LED de espectro completo
- Sistema de recirculación de solución, incluye bomba, válvulas, etc.
- Sensores y actuadores para control y monitoreo
- Fertilizantes
- Semillas
- Automatización



Cabe señalar que el sistema en si está establecido, la idea de su implantación en el IMTA es medir impactos y evaluar la viabilidad de su establecimiento en zonas urbanas emergentes en México. A pesar de que existen experiencias reales como las que se muestra en las figuras subsecuentes, en este caso es desarrollar un prototipo que sea rentable atendiendo aspectos ambientales, energéticos y económicos desde luego.

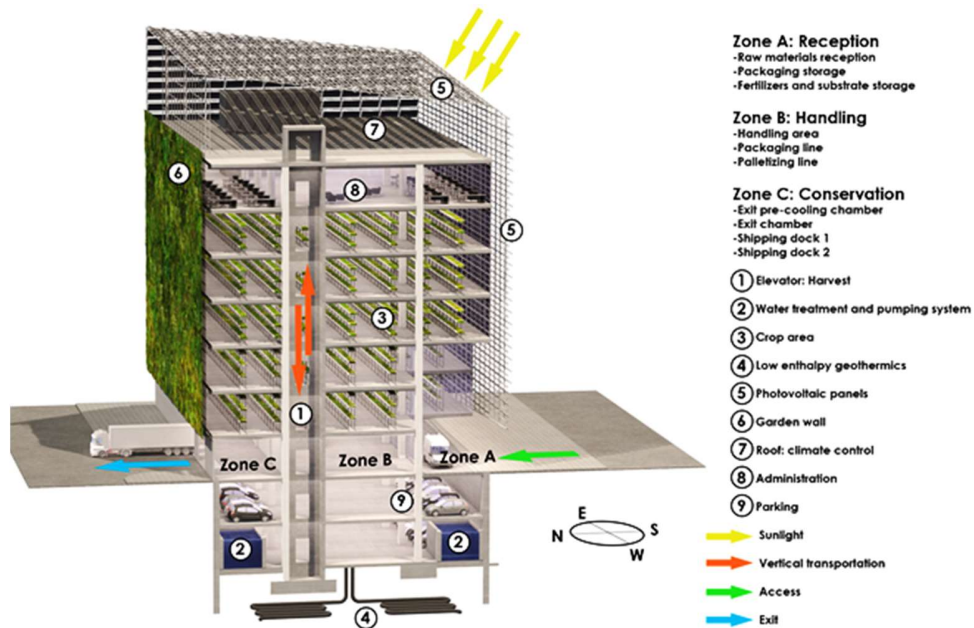


Figura 4.67 Vista en sección de una plant Factory (Fuente: Agrikubic)

Las alternativas son diversas, tecnologías disruptivas comienzan a ser tendencia y marcan otra forma de ver la agricultura. Es oportuno estar enterado de esta revolución y ser capaces de adaptar a las condiciones propias.





Figura 4.68 Vista fachada trasera de una *plant Factory* (Fuente: Agrikubic)

Sin duda la tecnología es disruptiva debido al alto costo que aun implica este sistema; la idea es genera información y estar preparado para su implantación en cuanto se convierta en una tarea convencional

#### 4.1.4.9 Conclusiones

Los próximos 10 años nos serán una importante ventana de oportunidad para avanzar en nuevas formas de agricultura productiva y ambientalmente sostenible en el interior de las ciudades. Las tecnologías de vanguardia (generación de energías renovables, plantas recicladoras de agua, luz artificial, diseños modulares) juegan un papel importante en este contexto mediante la integración y desarrollo de las *Smart Plant Factory* en núcleos urbanos.

El diseño ideal sería que los nuevos edificios que se fuesen proyectando en las ciudades estuviesen diseñados incluyendo parámetros de agrosostenibilidad, sumados a especificaciones de *Smart Citys*, pudiesen soportar redes capaces de gestionar ingentes cantidades de datos y la gestión de las *Plant Factory* se hiciese bajo algoritmos de inteligencia artificial, con la consecuente optimización de la producción y consumo.

Quizá sea venturado afirmar que en un horizonte de entre diez y veinte años el futuro de la agricultura pasara por las *Plant Factory* u otras soluciones igualmente innovadoras, pero sí es necesario, como bien afirman los expertos de la FAO, que para tener estabilidad y minimizar posibles amenazas en el entorno de la seguridad alimentaria, es imperativo proveer de alimentos de forma sostenible a la población.

## 4.2 Instalación de las estructuras para el muro verde

A continuación, se describe el muro verde instalado en una de las paredes laterales del edificio de Riego y Drenaje y que fue el principal producto del proyecto.

### 4.2.1 Implementación del biosistema muro verde

#### 4.2.1.1 Jardín vertical

Existen una serie de actividades básicas que es recomendable seguir para implementar un muro verde dentro de una zona urbana:

Identificar alcances y localizar las actuaciones que se desean realizar en función de la infraestructura física disponible.

El muro por naturalizar, se localiza en el edificio dos, de la Coordinación de Riego y Drenaje dentro de las instalaciones del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Aun cuando existe la posibilidad de colocar plantas de luz o de sombra, se considera que esta pared se encuentra visible a la llegada del IMTA, propicia para difundir a la comunidad fija y la itinerante este tipo de muros verdes con medios auxiliares aunada a que es la mayor área disponible para la colocación de dicho muro verde. Con esta elección, se eligen las plantas de luz debido a la cantidad de luz que recibe durante la mayor parte del día.



Figura 4.69 Selección del muro en el IMTA para el diseño del muro verde vertical

Ya seleccionado el muro, el siguiente paso es seleccionar y diseñar los prototipos de jardines verticales y muros verdes.

- Estructura metálica galvanizada.
- Sustrato de fibra vegetal reciclada.
- Sistema de riego automatizado y eficiente.
- Vegetación adaptada a la zona de instalación.
- Bajo mantenimiento.
- Lógica de desarrollo sustentable.



Figura 4.70 Pared frontal del edificio de Riego y Drenaje

#### 4.2.1.2 ¿Por qué muros verdes?

Mientras las ciudades crecen con el fin de albergar más personas, la naturaleza empieza a ocultarse debajo y en medio de las grandes edificaciones. Este fenómeno ha producido que la ciudad empiece a carecer de oxígeno y que el aire limpio sea cada vez más escaso produciendo un aumento de temperatura en la ciudad.

Los primeros techos verdes que se conocen en la historia son los jardines colgantes de Babilonia, considerados una de las siete maravillas del Mundo Antiguo, construidos en el siglo VI a. C. durante el reinado de Nabucodonosor II en la ciudad de Babilonia a orillas del río Éufrates (*Issuu/guía, techos-techos verdes/jardines verticales*).





**Figura 4.71 Jardines colgantes de Babilonia** (<https://www.nationalgeographic.com.es/historia/grandes-reportajes/>)

En el año 1986 el biólogo francés Patrick Blanc realizó el primer muro vegetado en la cité des Sciences et de l'Industrie en París, el cual patentó en la misma ciudad en 1988, en 1994 empezó a revestir las fachadas y culatas de los edificios de Europa con vegetación; poco a poco se empezó dar a conocer la tecnología de los jardines verticales, también conocidos como muros verdes, muros vivos, fachadas vegetales entre otros (*Issuu/guía, techos-techos verdes/jardines verticales*).



**Figura 4.72 Muro verde (L'oasis d'Aboukir, París) creado por Patrick Blanc**

#### 4.2.1.3 Beneficios

Los muros verdes ofrecen múltiples beneficios para la ciudad y sus habitantes, a continuación, encontraran algunos de sus beneficios Sociales, económicos y ambientales.

Se debe tener en cuenta que por la ubicación vertical u horizontal de la superficie vegetal los beneficios pueden ser diferentes entre techos verdes y jardines verticales (*Issuu/guía, techos-techos verdes/jardines verticales*).

##### I. SOCIALES

- Mejora el paisaje urbano.
- Brinda sensación de bienestar.
- Mejora la calidad de vida.
- Aumenta el área verde de la ciudad.
- Es un sistema urbano de drenaje sostenible.

##### II. ECONÓMICOS

- Mantiene la comodidad térmica al interior de las edificaciones evitando la implementación de calefactores.
- Aumenta la valorización del predio.
- Optimiza espacios para la agricultura urbana.
- Permite integrarse con sistemas de aprovechamiento de agua de lluvia generando un ahorro en el consumo de agua.

##### III. AMBIENTALES

- Retienen el agua de lluvia.
- Permiten aprovechar residuos orgánicos.
- Absorben el ruido.
- Aumenta el área verde de la ciudad.
- Captura carbono durante el día.
- Mitigan el efecto isla de calor.

#### 4.2.1.4 Componentes de un muro verde

Todo sistema de jardines verticales está compuesto por tres tipos de componentes, independientemente de la tecnología empleada, los componentes activos, componentes estables y elementos auxiliares.



#### 4.2.1.5 Componentes activos

Son aquellos que están expuestos a un cambio constante fisicoquímico para cumplir sus funciones durante la vida útil del sistema. Los componentes activos son elementos biológicos o elementos que soportan la vida en el sistema: cobertura vegetal y medio de crecimiento (*Issuu/guía, techos-techos verdes/jardines verticales*).

#### 4.2.1.6 Componentes estables

Componentes inertes del jardín vertical que debe mantener estabilidad química y física para cumplir sus funciones durante la vida útil del sistema. Son aquellos elementos fabricados que cumplen determinadas funciones en el sistema. Membranas de impermeabilización, barreras anti-raíces, barreras filtrantes, medios de drenaje, elementos del sistema de irrigación etc. La durabilidad de los componentes estables depende de la capacidad de los mismos para resistir con éxito a las condiciones ambientales, la humedad y los agentes orgánicos tales como microorganismos y hongos (*Issuu/guía, techos-techos verdes/jardines verticales*).

#### 4.2.1.7 Elementos auxiliares

Elementos inertes estables que cumplen funciones específicas para adaptar correctamente una sección típica de sistema de jardín vertical a la estructura de un inmueble, tales como: separación, confinamiento, protección, evacuación de agua, riego, iluminación etc. (*Issuu/guía, techos-techos verdes/jardines verticales*).

#### 4.2.1.8 Requerimientos mínimos

Un sistema de jardín vertical deberá cumplir con las siguientes funciones:

1. Estanqueidad.
2. Drenaje.
3. Capacidad de retención de agua.
4. Consistencia.
5. Nutrición.
6. Filtración.

#### 4.2.1.9 Elaboración del jardín vertical

Diseñar y seleccionar plantas en un biosistema vertical para la consolidación de Muro Verde del IMTA con fines paisajísticos.

#### 4.2.1.10 Inicio

En cuanto al diseño de vegetación se consideró trabajar en base al logotipo original del IMTA, es decir, crear una coherencia formal entre las líneas de la variedad de especies y la forma del logo, esto con el propósito de que entre ambas haya formas orgánicas (curvas) para ser agradable a la vista.

Se realizó una selección de plantas con bajos requerimientos; para ellos se eligieron de los viveros, las plantas que mejor se adaptan a las condiciones de Jiutepec.

En la selección de plantas se tomaron en cuenta criterios ecológicos, paisajísticos y de adaptación a una condición vertical, tendiendo como prioridad los siguientes aspectos.

- Especies nativas y/o con fácil adaptación.
- Especies tolerantes a la radiación y luminosidad presentes en el muro en cuestión.
- Requerimientos de luz, sustratos y humedad similares, con la finalidad de homogenizar el sistema de plantación, determinación del sustrato, manejo y mantenimiento.
- Bajos requerimientos hídricos y de mantenimiento en general en las especies.
- Especies contrastantes entre sí en texturas y color, con la finalidad de establecer un diseño paisajístico adecuado.

De las plantas encontradas en los viveros, se detectó que las más adecuadas para la zona donde se colocaría, serían plantas cactáceas o crasuláceas, principalmente del tipo sedum spp, como se muestra en la Figura 4.73.



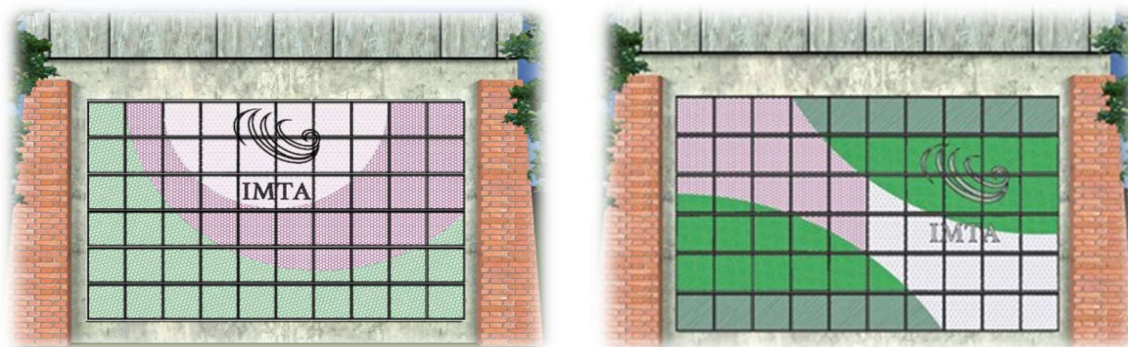


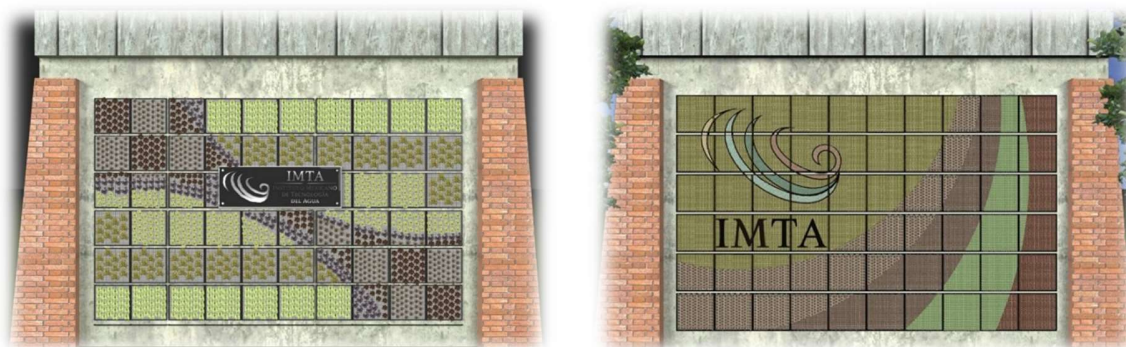
**Figura 4.73** Diversidad de plantas de especies de la familia crasulácea

#### 4.2.1.11 Planeación

El reto consistió en la elección de formas, tamaños y características de plantas y estructuras, de tal forma que se mimetice con el entorno mismo; existe ya una serie de características naturales representativas del instituto, tales como el acueducto y edificio principal. Con este biosistema, se complementa una visión que integra la forma tradicional del sector agrícola con el propósito de innovación y tecnologías actuales.

Una vez seleccionada la paleta vegetal a emplear, se propusieron varios diseños, con diferentes distribuciones de planta y proporciones del logotipo.





**Figura 4.74 Alternativas en el diseño del muro verde con el logotipo institucional**

De manera complementaria, se realizaron propuestas para la integración de las plantas en el biosistema verde vertical; a pesar del diseño concreto, la elección de las plantas a integrar el muro verde, mantuvo un grado de complicación, debido a la gran variedad de especies susceptibles de ser colocadas. Pero, sobre todo, por las tonalidades requeridas que den representatividad a la imagen institucional que se pretende.

Para la realización del diseño y fabricación de la estructura que soportaría el muro verde, se optó por emplear un sistema modular de acero, construido en taller a partir de lámina galvanizada, sostenida por tiras de carga fijadas al muro existente, a manera de refuerzo.

Se optó por este sistema, debido a su portabilidad, practicidad y eficiencia en la instalación y principalmente para poder establecer la vegetación desde vivero y de esta manera llevar arraigada la planta a los módulos y acondicionada a una condición vertical. De acuerdo con lo anterior, el sistema modular se compone de acuerdo a la Figura 4.75.

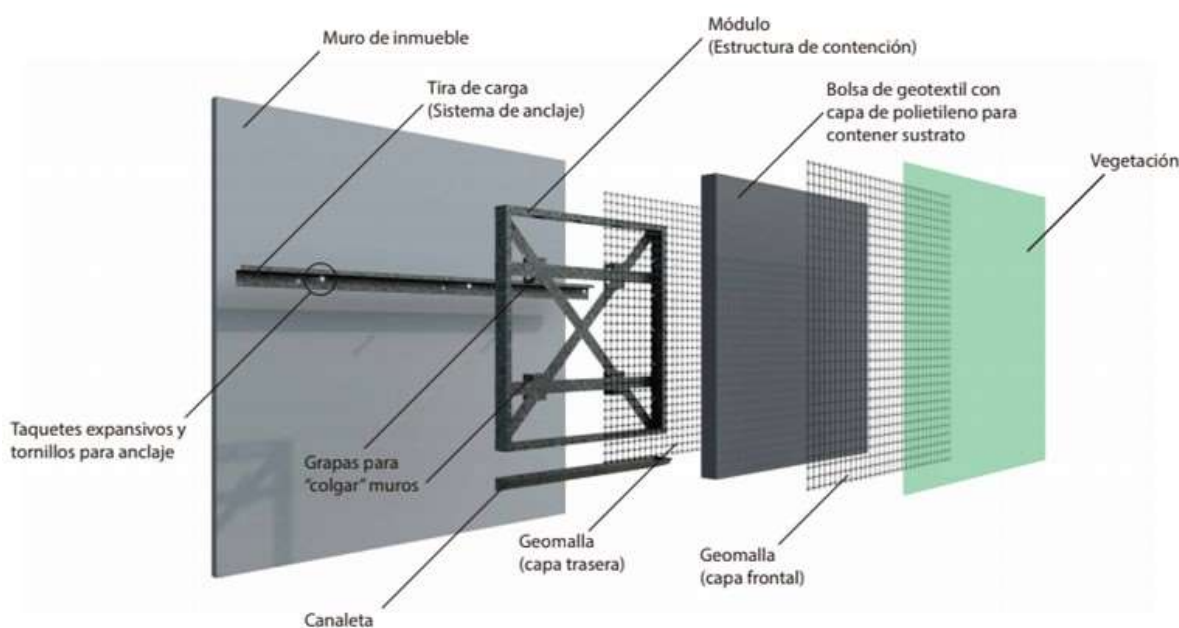


Figura 4.75 Composición del sistema modular para muros verdes

#### 4.2.1.12 Ejecución del Proyecto

Una vez elegido de manera gradual, tipos de plantas, dimensiones y características estructurales, toca el turno para la complementación de las mismas. La figura muestra un diseño integrador, que conjunta la idea de la estructura, el logotipo institucional, con el entorno vivo que arroja el uso de especies vegetales.

La idea de contemplar el uso de sistemas modulares es para poder establecer un mayor control al diseño de muros vertical; en este sentido para este proyecto en específico se contempla usar estas estructuras para formar el diseño que se presenta en la siguiente figura.



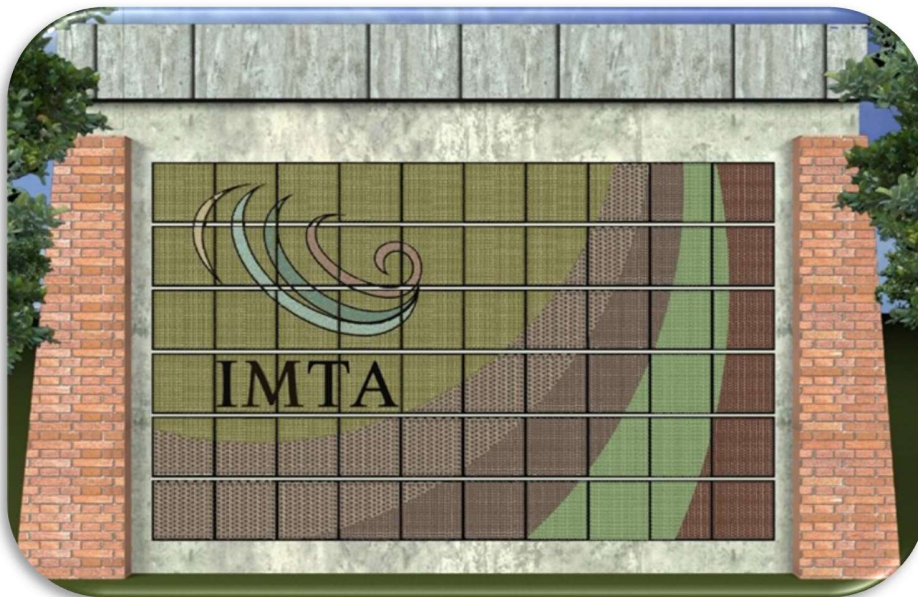


Figura 4.76 Diseño final del logotipo y vegetación del muro verde

A pesar de las complicaciones para dar las tonalidades de manera exacta, la idea es considerar una estructura capaz de albergar diferentes especies de plantas de tal suerte que pueda darse el efecto deseado; en concordancia con los requerimientos se solicita un sistema modular para adaptar la pared al diseño que se propuso contemplando las especies que se mencionan en la Figura 4.77.

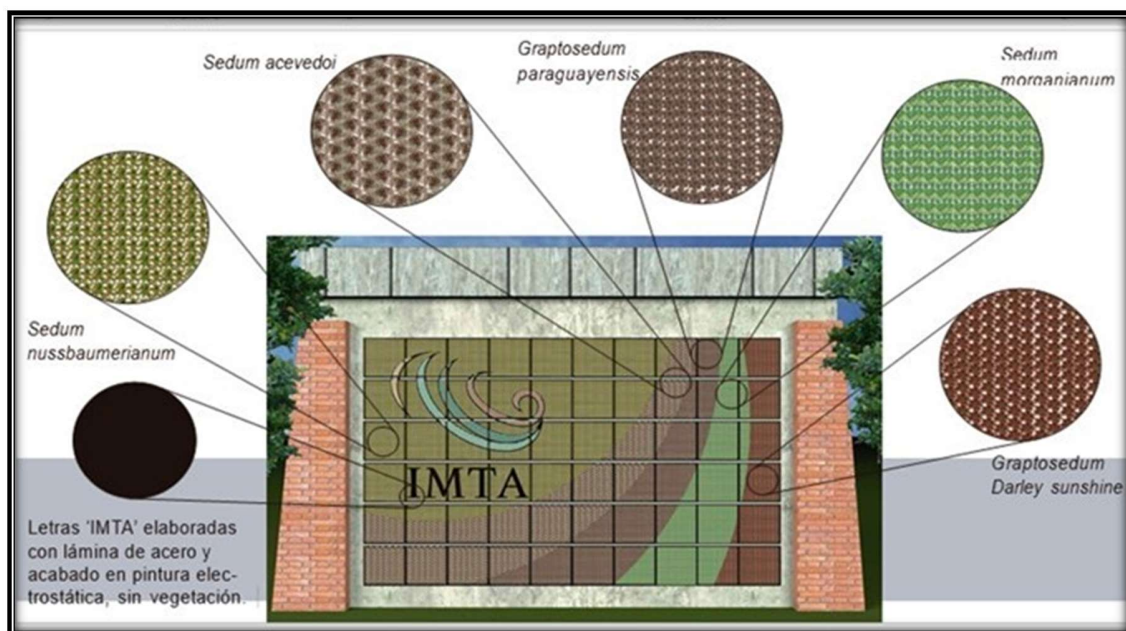


Figura 4.77 Componentes y paleta vegetal (especies seleccionadas)

#### 4.2.1.13 Adecuación del muro

Luego del análisis del muro se adecuó la superficie con un impermeabilizante acrílico fibratado y la distribución de la instalación para poder instalar las tiras de carga. Si bien, ni el sistema de riego y el muro como tal no tienen contacto directo con el muro, se hace la aplicación con fines. Asimismo, tanto las perforaciones como en la parte posterior de la tira de carga se aplicó un sellador para prevenir filtraciones al interior.

Para la aplicación de impermeabilizante se revisó la superficie ya que debería de estar limpia o sin elementos que perjudicaran para la aplicación. El primer paso fue aplicar el “primario” con un periodo de tiempo para secar y posteriormente para la aplicación de las dos capas del impermeabilizante.





**Figura 4.78** Proceso y aplicación de la doble capa de impermeabilizante

#### *4.2.1.14 Sistema de anclaje*

Previo a la definición del sistema de anclaje, se verificó la estructura del edificio y en especial del muro portante. En este sentido se atendieron las recomendaciones realizadas por el personal que evaluó dichas instalaciones. En estas recomendaciones se propone la instalación de “tiras de carga” con el fin de distribuir el peso total en toda la pared portante.

En los anexos se muestran los resultados de la revisión del muro, en ello se da cuenta de los factores tomados en cuenta para delimitar la viabilidad de la construcción de esta pared viva en la pared seleccionada; así mismo, las adecuaciones pertinentes para dar mayor certeza de funcionamiento.

Para realizar el anclaje de las tiras de carga, se propusieron inicialmente dos tipos de soporte, uno a base de taquetes expansivos o bien mediante taquetes de arpón, sin embargo, al realizar las pruebas con esfuerzos aplicados al muro y medir la densidad de los ladrillos, se determinó por una tercera opción que consistió en establecer espárragos roscados, de material metálico, soldados a una placa metálica.



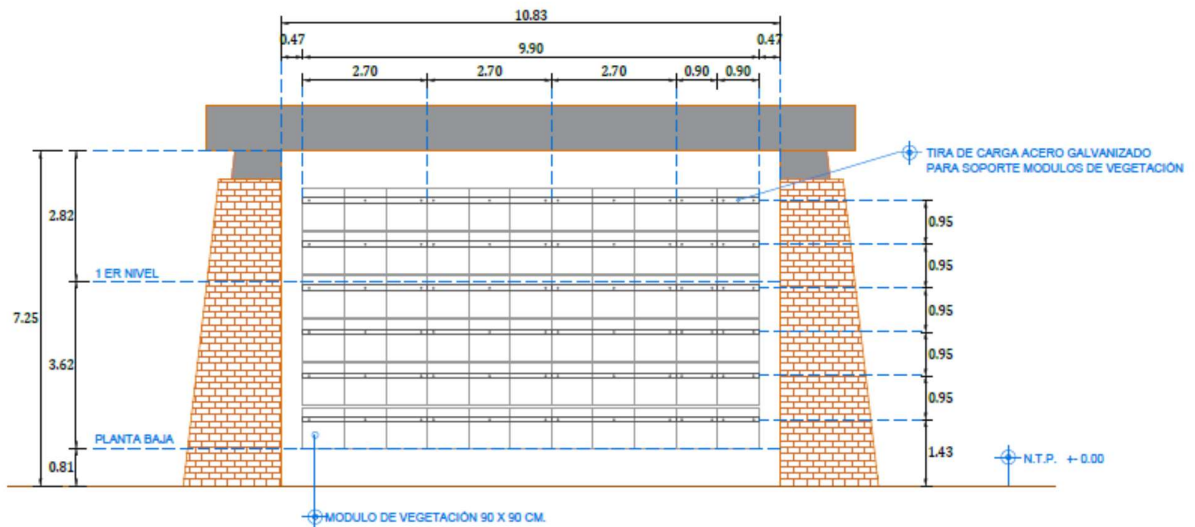


Figura 4.79 Detalle de la instalación de tiras de carga

Este diseño fue el que se sigue para la instalación de las tiras de carga, quedando como se ilustra en las subsecuentes imágenes.



Figura 4.80 Definición de distribución de cargas en el muro

Fue necesario el diseño de la posición de las tiras de carga con el fin de hacer una distribución espacial en el muro portante, dos aspectos fueron tomados en cuenta la parte estética, pero sobre todo la distribución de cargas. De esta manera se hicieron perforaciones de lado a lado del muro y sosteniendo las tiras de carga con los espárragos. Este tipo de instalación refuerza las tiras de carga a tal grado que es necesario disminuir el número de perforaciones por el peso total que soporta, como se muestra en las siguientes figuras.



**Figura 4.81** Tiras de cargas a nivel sostenidas con varilla roscada



**Figura 4.82** Distribución de las tiras de cargas en el muro



**Figura 4.83** Instalación final de las tiras de cargas en el muro



Por último, se afinaron detalles de la instalación del sistema de carga, tales como: pintura en placas al interior del inmueble, comprobación de niveles de instalación, corte de varillas roscadas para no lastimar cada módulo y aplicación de sellador en las perforaciones para evitar el paso de agua al interior del edificio.

#### 4.2.1.15 Sistema modular

Los módulos se componen de acuerdo con lo siguiente:

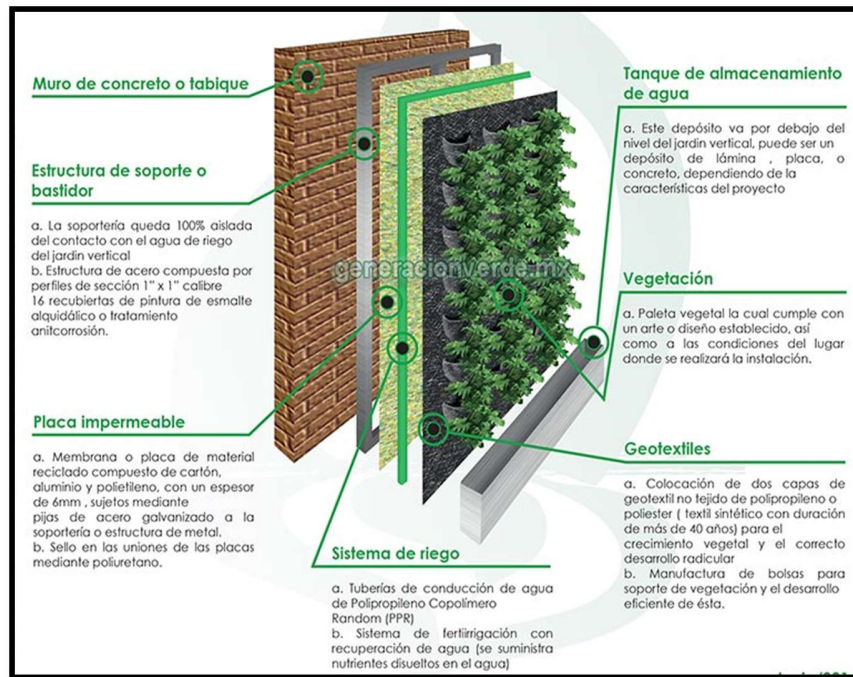
- *Marco de contención de bolsa con sustrato*: el marco está fabricado con lámina galvanizada y con recubrimiento de pintura electrostática.
- *Capas de geomalla*: elaboradas con polietileno y poliéster funcionan para tensar la bolsa contenedora de sustrato y evitar abultamientos en la misma.
- *Bolsa para sustrato*: elaborada con geotextil y una capa de polietileno que permite mantener la humedad solo donde se ubica el sustrato.

### I. Sistema modular con estructura de acero

El sistema para muros verdes modulares se compone de un panel de un metro cuadrado el cual está elaborado a partir de una estructura metálica que tiene como ventaja su fácil instalación y el acoplamiento de más piezas de acuerdo al espacio donde se va a instalar. Está pensado para espacios al aire libre, enfocado principalmente en la utilización de plantas de bajos requerimientos.

### II. Características de los módulos

*Estructura de lámina galvanizada calibre 16*: se compone el marco del módulo a partir de un desarrollo en plano de la lámina con dobleces y soldadura para generar la estructura deseada.



**Figura 4.84** Proceso de instalación basado en módulos y capas (Generación Verde, 2018)



**Figura 4.85** Sistema modular (detalle)

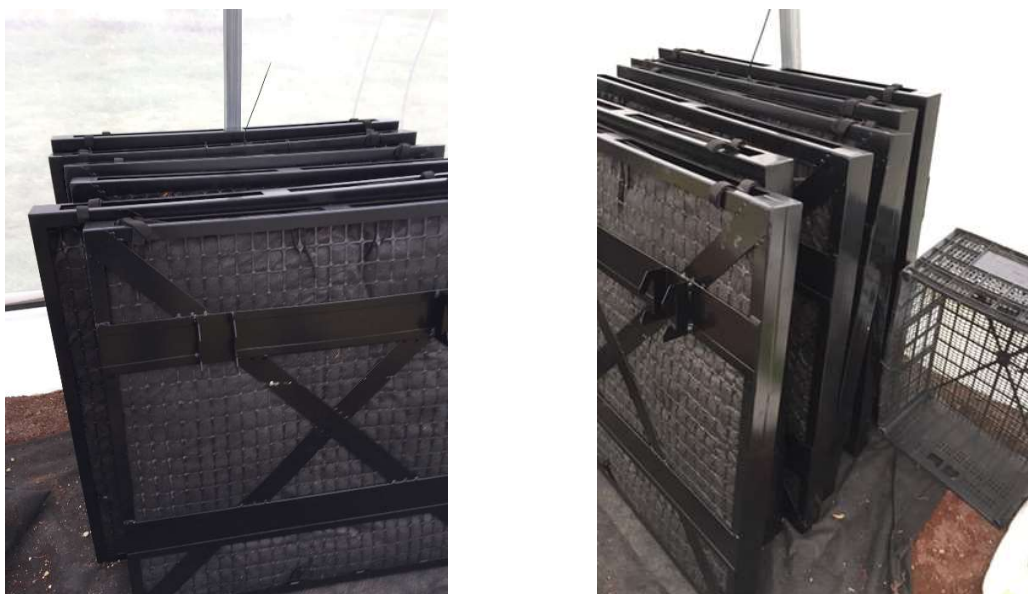


Figura 4.86 Módulos terminados

**Recubrimiento de pintura electrostática** (color de acuerdo a requerimientos del cliente): Se da un recubrimiento de pintura en polvo el cual brinda mayor estética al producto y añade más resistencia al material que lo compone tomando en cuenta el espacio donde se ubicará.

**Dos caras de geomalla:** Esta estructura elaborada de diferentes polímeros funciona para darle un refuerzo al módulo complementando la resistencia de la tensión que genera la bolsa con el sustrato de las plantas.



Figura 4.87 Composición del módulo portante

**Bolsa de geotextil y polietileno:** La bolsa para el sustrato está elaborada de geotextil que es un material flexible y que sirve para drenar el agua del riego de cada módulo. Incluye también una capa de polietileno la cual hace que la bolsa solo sea permeable en ciertos puntos para enfocar y distribuir mejor el riego.



**Figura 4.88** Bolsa contenedora del sustrato

#### 4.2.1.16 Colocación de especies vegetales

Los módulos terminados fueron transportados al vivero con el fin de llevar a cabo el proceso de trasplante. Debe cuidarse siempre el número de módulos o la clasificación de los mismos, debido a que existe un diseño preestablecido para darle identidad y razón de ser a la institución que lo solicita.

En estos paneles fueron incorporados los esquejes una vez tratados en el vivero. Cabe señalar que, después del trasplante, ocurre un periodo de adaptación y enraizamiento. Lo anterior a pesar que se utilizaron hormonas naturales para favorecer el enraizamiento, lo cual está supeditado a las condiciones ambientales y de manejo.





Figura 4.89 Preparación de esquejes y módulos



### Selección de plantas

Los géneros de planta empleados en el muro del IMTA crassulaceae, en específico del género Sedum, Graptosedum y Graptopetalum. Especies empleadas.



Figura 4.90 Plantas empleadas e instaladas en el muro verde en el IMTA

- **Graptosedum paraguayensis**  
*Diámetro:* hasta 10 cm.  
*Color de la flor:* Blanco.  
*Distribución:* Tamaulipas.  
*Riego y exposición:* riego a saturación cada 10 días. Soleado a media sombra.



Figura 4.91 Graptosedum paraguayensis

- **Sedum acevedoi**  
*Diámetro:* hasta 7 cm.  
*Distribución:* Jalisco.  
*Riego y exposición:* riego a saturación cada 10 días. Soleado a media sombra.



Figura 4.92 Sedum acevedoi

- **Sedum morganianum "burrito"**  
*Diámetro:* hasta 5 cm. Con tallos hasta de 30 cm.  
*Distribución:* Veracruz.  
*Riego y exposición:* riego a saturación cada 10 días. Soleado a media sombra.



Figura 4.93 Sedum morganianum "burrito"

- **Sedum nussbaumerianum**  
*Diámetro:* hasta 12 cm.  
*Distribución:* Veracruz.  
*Riego y exposición:* riego a saturación cada 10 días. Soleado a media sombra.



Figura 4.94 Sedum nussbaumerianum

- **Sedum clavatum**  
*Diámetro:* hasta 9 cm.  
*Distribución:* Estado de México.  
*Riego y exposición:* riego a saturación cada 10 días. Soleado a media sombra.



Figura 4.95 Sedum clavatum

- **Graptosedum Darley Sunshine**  
*Diámetro:* hasta 8 cm.  
*Distribución:* "Híbrido".  
*Riego y exposición:* riego a saturación cada 10 días. Soleado a media sombra.



Figura 4.96 Graptosedum Darley Sunshine

#### 4.2.1.17 Traslado e instalación de los módulos

El traslado puede considerarse un fenómeno crítico en este proceso, debido al desgaste y deshidratación que sufren las plantas. Es conveniente hacer un riego antes y después del traslado con el fin de proporcionar a las plantas vigor para los daños mecánicos que puedan sufrir durante la colocación y adaptación.

Comparativamente entre el vivero y el traslado, las plantas están expuestas a condiciones climáticas diferentes y por lo tanto a estrés diferente, no solo hídrico sino climático en general. En este sentido es conveniente establecer un tiempo adecuado antes del traslado.

La idea es que al final del traslado las plantas mantengan su turgencia y capacidad de respuesta ante condiciones adversas.

La Figura 4.97 presenta la forma y distribución de especies que fueron colocadas en el vivero, y llegada al sitio de instalación, notando una turgencia y vigor aun adecuado.



Figura 4.97 Manejo y traslado de módulos

Finalmente, la puesta en planta para la organización de la colocación también debe contemplarse, pues como se menciona, existe un orden de módulos en el diseño.

Para la instalación de los módulos pre-plantados se planeó una organización la cual nos permitiera disponer de ellos fácilmente para colgarlos en el orden correcto. Después de descargar los módulos hicimos la distribución en el suelo para poder tomarlos correctamente.





**Figura 4.98 Acomodo de módulos en el suelo para ordenar la instalación**

Además, se instaló en sitio el último componente que era la “grapa de nivel”, la cual tiene la función de nivelar cada módulo y dejarlo paralelo al muro para dar una mejor apariencia.



**Figura 4.99 Colocación de grapas de nivel**

Después de tener listos los módulos con todos los componentes se armó el cuerpo de andamios para lograr llegar a la parte superior de la instalación. Para facilitar la carga y acomodo de los paneles se adecuó una polea la cual nos ayudaría a subir los módulos a la tira de carga más alta (aproximadamente siete metros de altura).

El proceso de instalación se realizó de abajo hacia arriba con el propósito de no maltratar la planta de los módulos de arriba. De esta manera se instaló por hileras verticales para avanzar conforme al diseño del muro verde en forma de “rompecabezas”.

A continuación, se adjuntan fotos de distintos ángulos donde se puede observar la maniobra de manipulación de cada módulo para facilitar la instalación; la cual es importante señalar que se realizó en un día, resaltando la importancia de tener componentes prefabricados para acelerar todo el proceso.



Figura 4.100 Maniobras de instalación





Figura 4.101 Avance en la instalación de módulos



Figura 4.102 Instalación terminada del muro verde

#### 4.2.1.18 *Diseño y colocación de sistemas auxiliares*

Los sistemas auxiliares consistieron en la instalación del sistema de riego y sistema de iluminación. Así mismo, la automatización de los mismos. Para la automatización se recurrió al internet de las cosas (Iot) para tener la posibilidad de manipular encendido y apagado de los dispositivos automatizados y operarlos a distancia, desde luego y como su nombre lo indica, cuando exista internet.

La colocación y tipos de sistema se describen:

##### **A. Sistema de riego**

La investigación sobre las necesidades y restricciones del agua en jardinería es escasa, probablemente debido a la gran diversidad de especies y de las diferentes condiciones agroclimáticas que pueden afectar. Cuando menos, algunos autores, como Sachs y Davis (1991), realizaron un experimento en que regaban diferentes especies de jardín (Xylosma, Nerium, Cotoneaster, Carpobrotus, Hedera y Juniperus) a diferentes intervalos en California, observando que los riegos menos frecuentes mantienen en un aspecto aceptable a las plantas y contribuyen al ahorro de agua.

Aunque el aspecto de las plantas puede presentar deficiencias en cuanto a la estructura de las mismas, en referencia con plantas bien regadas, en un experimento de Thayer (1982), cuando se aplicaban restricciones hídricas en este tipo de plantas, la aceptación del público era más alta que, por ejemplo, en céspedes mal regados.

En un estudio de Cotter y Chávez (1979) se muestra que el consumo de agua en jardinería privada excede las cantidades necesarias por desconocimiento de las necesidades de riego de las plantas. Determinar las cantidades de agua a aplicar en jardinería es complejo. Levitt et. al. (1995), determinaron el uso real de agua de dos especies de árboles ornamentales de Arizona en contenedor y comprobaron que el Prosopis alba consumía más agua que el Quercus virginiana, cuando estaban sometidos a condiciones de riego no limitadas.

Las listas de necesidades de agua de las especies se basan muchas veces en estimaciones sobre su hábitat natural, por carencia de datos reales sobre el uso del agua (Levitt et. al., 1995). Estos autores indican que muchas especies tolerantes a la sequía, en condiciones de agua no limitadas pueden convertirse en grandes consumidoras de agua.

Otros autores han incidido en el estudio de los coeficientes de cultivo para especies ornamentales en contenedor (Schuch y Burger, 1997; Lownds y Berghage, 1991). Staats y Klett (1995) hicieron un estudio en el que comparaban plantas tapizantes con césped (*Poa pratensis*).

Los tratamientos de riego se basaron en aplicar porcentajes de la evapotranspiración, encontrando que las plantas entapizaste, igual que los céspedes necesitaban solo una fracción



de la  $ET$  que bajaba a medida que la planta crecía en alguna especie. Con esto, parece que la aplicación de dosis inferiores a las consideradas óptimas (riego deficitario), que se ha ido aplicando con éxito en cultivos de producción en el campo, podrían ser utilizadas para el riego de plantas ornamentales.

Existen varios métodos para calcular las necesidades hídricas de los cultivos. El agua de riego necesaria depende de la evapotranspiración ( $ET$ ). Los métodos de estimación de la  $ET$  se han desarrollado para varios cultivos y también para céspedes, en los cuales la determinación de la  $ET$  de cultivo ( $ET_c$ ) se basa en coeficientes de cultivo específicos. Al contrario de lo que ocurre en la mayoría de cultivos agrícolas, los jardines consisten en mezclas de muchas especies diferentes, en diversos estados vegetativos y con diferentes grados de cobertura del terreno, así como hábitos de crecimiento. Costello et al. (2000) desarrolló un método denominado del coeficiente de jardín (Tabla 4.23), con tal de estimar este valor ( $K_L$ ) a partir de tres factores: el factor especie ( $k_s$ ), el factor densidad ( $k_d$ ) y el factor microclima ( $k_{mc}$ ), de forma que:

$$K_L = k_s \times k_d \times k_{mc} \quad \text{y} \quad ET_L = K_L \times ET_0$$

Siendo  $ET_L$  las pérdidas por evapotranspiración de un jardín. A estos trabajos hace falta añadir otros que desarrollan aspectos tecnológicos como pueden ser el uso de sensores de humedad, tensiómetros y TDRs (Testezlaf et. al., 1999), con tal de aumentar la eficiencia del riego, así como el desarrollo de sistemas de riego (goteo, micro aspersión, etc.) que optimizan el uso del agua.

**Tabla 4.23** Valores de los factores del coeficiente del jardín utilizados por Costello et al. (2000) para calcular las necesidades de agua en jardinería

Factor	Elevado	Moderado	Bajo	Muy bajo
Factor especie	0.7-0.9	0.4-0.6	0.1-0.3	<0.1
Factor densidad	1.1-1.3	1.0	0.5-0.9	-
Factor microclima	1.1-1.4	1.0	0.5-0.9	-

El sistema de riego está basado en una línea de conducción a base de PVC hidráulico de 1" de diámetro, la cual es alimentada a partir de un hidroneumático. El suministro de agua al interior del muro se regula por una válvula de paso y una válvula solenoide, la distribución se realiza en líneas horizontales con poliducto de manguera de 0.5" goteros, difusores y piquetas con caudal de seis litros por minuto. El encendido y apagado de dicho sistema se realiza con la válvula solenoide controlada por una tarjeta electrónica.



Figura 4.103 Características del sistema de riego

La determinación de la programación de riego se realiza en función de los valores obtenidos de evapotranspiración del jardín y drenaje; en un ajuste continuo adaptando cada vez con mayor precisión la dosis de riego a las necesidades hídricas del jardín vertical.

En una primera instancia, se decide realizar una programación de riego en abundancia tratando de sobrepasar las necesidades del jardín, para asegurar que se cumplen los requerimientos hídricos del jardín, evitando provocar estrés hídrico en los primeros estadios.

Tras el transcurso de un periodo de tiempo de alrededor de dos semanas se recogen y tratan los datos, obteniendo los valores de consumo hídrico del jardín vertical, así como de la cantidad de agua sobrante.

### **Instalación del sistema de riego**

El sistema de riego está basado en una serie de tuberías y conductos para hacer circular el agua de manera homogénea; los componentes del mismo pueden englobarse en sistemas de potencia, o bombeo, sistemas de control que son las válvulas y sistema de conducción. Finalmente, los emisores colocados sobre el módulo para proporcionar un riego lo más uniforme posible.



Figura 4.104 Instalación de medios auxiliares para el sistema de riego

## B. Sistema de iluminación

Consiste en la colocación de tiras LED en el contorno del logotipo del IMTA, así como un par de reflectores con sistema LED de 1000 watts. Para las conexiones se usó un sistema vulcanizado y cable de uso rudo. Cada una de ellas con circuito independiente, los cuales se controlan con una tarjeta.



Figura 4.105 Sistema de iluminación en tierra

Así mismo se colocó un sistema de luces en el logotipo del instituto para darle mayor realce a las formas; pero, además, proporcionar la posibilidad de vista nocturna. El sistema de iluminación consiste de una serie de LEDs blancos de mínimo consumo de energía.





**Figura 4.106** Conducción de los sistemas auxiliares, riego e iluminación



**Figura 4.107** Toma eléctrica para el sistema de iluminación en tierra

#### 4.2.1.19 Automatización de la operación de riego e iluminación usando internet de las cosas (IoT)

##### A. Justificación

El proyecto tiene el objetivo de incursionar en el uso de tecnologías disruptivas que favorezcan el uso eficiente de los recursos en zonas urbanas. En concordancia con este proyecto, se estableció una colaboración entre el IMTA e Infotec, uno de los Centros Públicos de Investigación de CONACYT dedicado a los servicios relacionados con las Tecnologías de la Información, para la aplicación de tecnología de punta durante la automatización y recopilación de información del biosistema en tiempo real, propiciando así, el uso eficiente de todos los recursos.

##### B. Requerimientos iniciales

IMTA solicitó a Infotec considerar las siguientes condiciones durante el diseño y desarrollo del sistema:

1. La herramienta deberá estar basada en Tecnologías open source que cumplan con estándares internacionales, buscando la sostenibilidad del proyecto a lo largo del tiempo.
2. El sistema deberá permitir la integración de los dispositivos físicos contemplados durante el diseño inicial del muro.
3. A través del sistema será posible monitorear y controlar los sistemas de riego e iluminación.
4. La herramienta estará al servicio de las autoridades de IMTA y utilizará su propia infraestructura.

##### C. Tecnología *open source*

Sistema inteligente del muro verde: herramienta tecnológica para monitoreo y control en tiempo real de los sistemas de riego e iluminación del muro verde, aplicando la tecnología de internet de las cosas (IoT).

El sistema utiliza como base las plataformas *open source* y *open hardware*: CLOUDINO, creada por el Centro Público de Investigación Infotec.

A través de sensores y actuadores conectados tanto a los equipos físicos, como a internet es posible enviar y recibir mensajes para visualizar gráficamente los controles y dispositivos que permiten gestionar el riego y la iluminación desde cualquier lugar, así como reprogramar sus funciones remotamente desde un dispositivo móvil vía internet, definiendo reglas específicas,

por ejemplo, encendido y apagado automático de acuerdo a un horario, encendido de luces a través de secuencias.

El sistema está integrado por tres módulos:

- 1) Riego automatizado
- 2) Control de la iluminación.
- 3) Gestión de indicadores y variables

### 1. Módulo de riego automatizado

El sistema de riego se controla por medio de un relevador conectado a un microprocesador que establece una comunicación vía internet llamado Cloudino Wifi Cloud Connector. El relevador puede ser administrado, configurado y re programado en tiempo real, a través de este microprocesador.

El relevador se alimenta de un transformador de 24 volts de corriente alterna, el transformador permite el funcionamiento de la válvula de riego que, a su vez, está conectada a través de una tubería, que llega a 6 canaletas de goteros autocompensables que suministran de agua a todo el muro.

Componentes:

- a. Relevadores de estado sólido con control de 3 a 24 volts de entrada y de 127 volts de salida de corriente alterna.
- b. Transformador de 24 volts.
- c. Válvula selenoide de 24 volts de corriente alterna.
- d. Bomba de riego.
- e. Seis canaletas de goteros por cada módulo y un cople en la manguera de riego cada tres metros para sustituir piezas del sistema en caso de ser necesario.

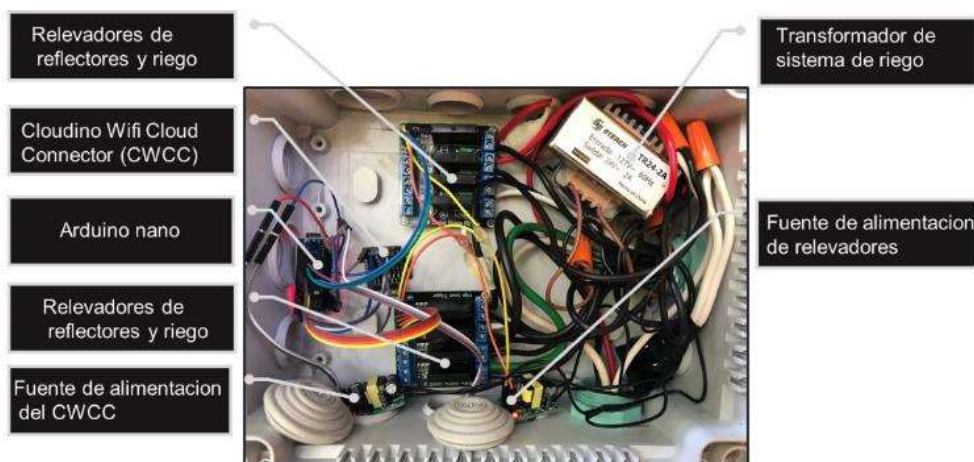


Figura 4.108 Componentes de la caja controladora con el Cloudino

## **2. Módulo de control de la iluminación**

El sistema de luces está integrado por 4 tiras de luces led colocadas en el logo de IMTA además de 2 reflectores.

El sistema de luces es controlado a través de relevadores de estado sólido conectados a un microprocesador que establece una comunicación vía internet llamado Cloudino Wifi Cloud Connector. Los relevadores pueden ser administrados, configurados y re programados en tiempo real, a través de este microprocesador.

Componentes:

- a. Relevadores de estado sólido con control de 3 a 24 volts de entrada y de 127 volts de salida de corriente alterna.
- b. tiras de luces led.
- c. reflectores.

Todo el sistema (iluminación y riego) pueden ser controlado (encendido y apagado) local y manualmente a través de un interruptor físico.

## **3. Módulo de gestión de indicadores y variables**

Módulo dedicado a la integración y visualización de los datos recopilados a través de sensores. Durante la primera fase del proyecto, será integrado un sensor de temperatura y humedad que estará enviando datos de forma automática y permanente vía internet.

Los datos recopilados crearán una base de datos e historial para análisis y reportes que estará a disposición del IMTA.

## **4. Dashboard Cloudino**

El software de la plataforma Cloudino podrá ser visualizado desde cualquier dispositivo (computadora, tablet, smartphone) que se encuentre conectado a internet.

Los pasos a seguir para el uso y visualización de la plataforma son:



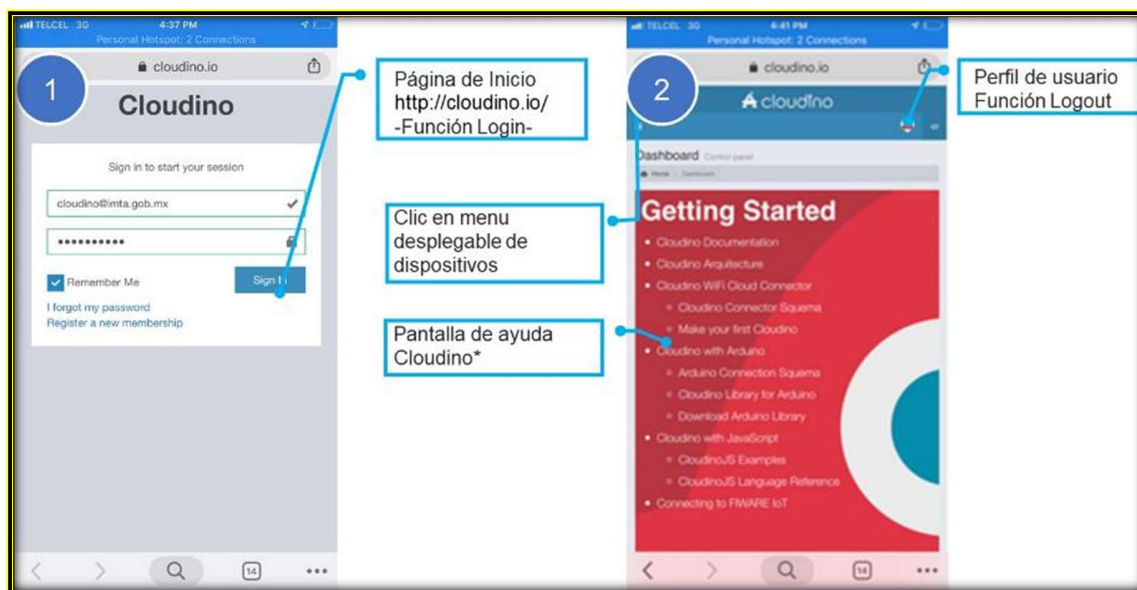


Figura 4.109 Acceso a la programación Cloudino

#### 4.2.1.20 Catálogo de Especies para muros verdes

##### 4.2.1.20.1 Conchita de Hidalgo

Planta suculenta acaule (sin tallo) que emerge en forma de roseta globosa, y puede ser cespitosa o solitaria. Puede formar densas alfombras con los estolones. Sus hojas son de color verde blanquecino, tienen de 3-6 cm de longitud y son ovaladas.

Tabla 4.24 Características de conchita de Hidalgo

Floración y Riego	Plagas y enfermedades
Inflorescencias con 6 a 10 pequeñas flores rosadas, rojas o naranjas. Florece en primavera. Riego moderado en primavera y bajo en invierno.	Pulgones, babosas, caracoles y minadores.  Pudrición del tallo por exceso de riego, secado de hojas.



Figura 4.110 Conchita de Hidalgo

##### 4.2.1.20.2 Echeveria affinis Walther

Tallo muy corto; roseta densas. Hojas numerosas, con la parte más ancha cerca del ápice, algo puntiagudas, casi planas en la cara superior Echeverría affinior, hasta 5 cm de largo,

2 cm de ancho y de color aceitunado. Tallos florales de 2 a 3 de 15 cm de alto con pocas hojas oblongas de hasta 2 cm de largo; inflorescencias encima con el ápice más o menos aplanado con ramas de 5 a 7 flores cada una.

**Tabla 4.25 Características de Echeveria affinis Walther**

Floración y Riego	Plagas y enfermedades
Flores: corola de 10 mm de largo y 6 mm de diámetro basal; color rojo escarlata, nectarios amarillo paja. Floración en marzo. Riego cada 10 días.	Susceptible a la pudrición del tallo causada por hongos debido a la humedad excesiva. Susceptible a cochinilla algodonosa y pulgones si se le cultiva en condiciones de poca luz y ventilación.
Familia: crassulaceae. Nombre común: Echeverría. Nombre científico: Echeverría affinis Walther. Origen: Durango y Sinaloa. Altura: 15 cm. Diámetro: 6 mm.	



**Figura 4.111 Echeveria affinis Walther**

#### 4.2.1.20.3 Uñas de gato

Esta especie se caracteriza por formar tallos erectos que no logran superar los 15 cm de altura, Los tallos son delgados, presentan una coloración verde clara y desarrollan numerosas. Las hojas se disponen formando rosetas poco compactas en donde se observan claramente separaciones entre una hoja y la siguiente.

**Tabla 4.26 Características de Uñas de gato**

Riego	Plagas y enfermedades
Riego cada 4 días.	Atacada frecuentemente por cochinillas, pulgones, ácaros, hormigas, nematodos del sustrato, aves y moluscos (caracoles y babosas). También puede ser afectada por numerosos hongos patógenos que provocan la caída del follaje y pudrición de los tallos.
Familia: crassulaceae. Nombre común: Uñas de gato. Nombre científico: Sedum rupestre. Origen: zona occidental de Europa. Altura: 25 cm. Diámetro: 15 cm.	



**Figura 4.112 Uñas de gato**

#### 4.2.1.20.4 Cola de burro

Tiene grandes tallos que alcanzan los 30 cm de longitud y hojas carnosas de color azul-verdosas. Las flores, terminales, son de color rosa o rojas. Tiene un hábito compacto y erguido que se convierte en llorón a medida que se alargan los tallos. Estos alcanzan 30 cm y se componen de rollizas hojas verde azulado, lanceoladas y entrelazadas.

**Tabla 4.27 Características de Cola de burro**

Riego	Plagas y enfermedades
Riego cada 8 días.	Cochinillas y pudrición del tallo.
Familia: crassulaceae. Nombre común: Cola de burro. Nombre científico: Sedum morganianum. Origen: México. Altura: 20 cm. Diámetro: 4 mm.	



**Figura 4.113 Cola de burro**

#### 4.2.1.20.5 Echeverría Glauca

Las hojas se disponen en torno a una roseta y le confieren una imagen ordenada, equilibrada y muy escultural. De la mata central pueden aparecer nuevos hijuelos, por lo que la Echeverría tiende a extenderse creando matas de varias rosetas compactas de un color verde azulado muy característico.

**Tabla 4.28 Características de Echeverría Glauca**

Floración y riego	Plagas y enfermedades
Floración de marzo a abril. Riego cada 8 días.	Cochinillas, pulgones y babosas.
Familia: crassulaceae. Nombre común: Echeveria "Glauc". Nombre científico: Echeveria secunda "Glauc". Origen: México. Altura: 15 cm. Diámetro: 15 cm.	



**Figura 4.114 Echeverría Glauca**

#### 4.2.1.20.6 Graptopétalo, Madreperla

Es una planta glabra, de tallos ramificados desde la base, escamosos, suberectos a semidecumbentes de 20 cm o más de largo. Hojas de 4 a 6 cm de largo y 2 a 2.5 cm de ancho, de color rosa a gris-violeta.

**Tabla 4.29 Características de Graptopétalo, Madreperla**

Floración y riego	Plagas y enfermedades
Floración en abril. Riego cada 8 días.	Pulgón y cochinilla.
Familia: crassulaceae. Nombre común: Graptopétalo, Madreperla. Nombre científico: Graptopetalum Superbum. Origen: México. Altura: 15-20 cm. Diámetro: 16 cm.	



**Figura 4.115 Graptopétalo Madreperla**

#### 4.2.1.20.7 Hawortia

Son plantas suculentas, perennes de escaso porte, 2–10 cm, de diámetro y menos de 20 cm de alto. Sus hojas forman rosetas. Las hojas por lo general lanceoladas, a veces presentan rugosidades y pequeños tubérculos blancos bien salteados o formando listas transversales en el envés. Otras veces, presentan marcas longitudinales en el haz, a modo de ventanas translúcidas.

**Tabla 4.30 Características de Hawortia**

Floración y riego	Plagas y enfermedades
Floración en marzo. Riego cada 10 días.	Cochinillas.
Familia: Liliaceae. Nombre común: Hawortia. Nombre científico: Haworthia fasciata. Origen: Sudáfrica. Altura: 20 cm. Diámetro: 10 cm.	



**Figura 4.116 Hawortia**



#### 4.2.1.20.8 Helecho

Hojas de crecimiento ascendente. La raíz es usada, desde hace poco, como antihelmíntico. Puede alcanzar 10 metros de espesor y 20 a 30 cm de largo. Follaje atractivo de color verde intenso.

**Tabla 4.31 Características de Helecho**

Riego	Plagas y enfermedades
Debe regarse con regularidad. Debe mantenerse el suelo húmedo.	Cochinillas y pulgones.
Familia: Polipodiáceas. Nombre común: Helecho. Nombre científico: Nephrolepis Exaltata. Origen: Regiones tropicales. Altura: 50 cm. Diámetro: 15 cm.	



**Figura 4.117 Helecho**

#### 4.2.1.20.9 Madre perla

Plantas crasas de porte casi rastrero (postrado) con hojas gruesas que forman rosetas; suelen ser de color gris o verde grisáceo.

**Tabla 4.32 Características de Madre perla**

Floración y riego	Plagas y enfermedades
Floración en marzo. Riego cada 8 días.	Cochinillas y pudrición del tallo.
Familia: Crassulaceae. Nombre común: Madre perla. Nombre científico: Graptopetalum paraguayense. Origen: México. Altura: 10-15 cm. Diámetro: 6 cm.	



**Figura 4.118 Madre perla**

#### 4.2.1.20.10 Uña de gato

El acre de Sedum es una hierba perenne de penacho que forma soportes de hasta 5 pulgadas (12.5 cm) de altura. Gran parte del año los tallos son cortos, semi postrados y densamente revestidos de hojas.

**Tabla 4.33 Características de Uña de gato**

Floración y riego	Plagas y enfermedades
Floración de junio-julio. Riego cada 8 días.	Cochinillas y pudrición del tallo.
Familia: Crassulaceae. Nombre común: Uña de gato. Nombre científico: Sedum acre. Origen: Europa. Altura: 12.5 cm. Diámetro: 10-12 mm.	



**Figura 4.119 Uña de gato**

#### 4.2.1.20.11 Fitonia

La Fitonia (*Fittonia verschoffeltii*) es una planta de interior de tipo rastrero. Se caracteriza por su pequeño tamaño, perfecto como tapiz para realizar composiciones con plantas de mayor tamaño.

**Tabla 4.34 Características de Fitonia**

Floración y riego	Plagas y enfermedades
Floración en primavera. Riego cada 8 días.	Pudrición del tallo y pulgón.
Familia: Acanthaceae. Nombre común: Fitonia. Nombre científico: <i>Fittonia verschoffeltii</i> . Origen: Latinoamérica (Perú, Brasil y Ecuador). Altura: 15 cm. Diámetro: 10-12 mm.	



**Figura 4.120 Fitonia**

#### 4.2.1.21 Otras especies

##### 4.2.1.21.1 Perejil

Planta herbácea bienal, aunque puede cultivarse también como anual. Forma una roseta empenachada de hojas muy divididas, alcanza los 15 cm de altura y posee tallos floríferos que pueden llegar a rebasar los 60 cm con pequeñas flores verde amarillentas.

**Tabla 4.35 Características del perejil**

Riego	Plagas y enfermedades
Riego cada 10 días.	Pulgones septoriosis y cercosporiosis.
Familia: Apiaceae. Nombre común: Perejil. Nombre científico: <i>Petroselinum crispum</i> . Origen: Mediterráneo oriental europeo. Altura: 15 cm. Diámetro: 3-4 m.	



**Figura 4.121 Perejil**

##### 4.2.1.21.2 Hierbabuena

La hierbabuena es una planta aromática y condimentaria, perfecta para aderezar ciertos platos gastronómicos y realizar agradables infusiones ya sea como planta individual o en acompañamiento con otras especies.

**Tabla 4.36 Características de la hierbabuena**

Riego	Plagas y enfermedades
Riego cada 10 días.	Mosca blanca, pulgones y roya.
Familia: Lamiaceae. Nombre común: Hierbabuena. Nombre científico: <i>Mentha sativa</i> L. Origen: Europa. Altura: 30 cm. Diámetro: 10.5 cm.	



**Figura 4.122 Hierbabuena**

#### 4.2.1.21.3 Tomillo

El tomillo es una de las plantas más comunes en la cocina, fácil de adquirir en tiendas y supermercados en muchas partes del mundo, si es que no se tiene una planta de esta especie en el jardín. No es ningún secreto que el tomillo se puede usar como un efectivo condimento para darle un gran sabor a las comidas, especialmente a las sopas y las carnes. Curiosamente, su uso como una planta medicinal es menos conocido.

**Tabla 4.37 Características de la hierbabuena**

Riego	Plagas y enfermedades
Riego cada 10 días.	Cochinilla.
Familia: Lamiaceae. Nombre común: Tomillo. Nombre científico: Thymus. Origen: Europa y Asia. Altura: 15 y 30 cm. Diámetro: 11 a 13 cm.	



**Figura 4.123 Tomillo**

#### 4.2.1.21.4 Lechuga Vulcan var. Vulcan

Lechuga Vulcan var. Vulcan (de hojas crespas o rizadas). Poseen tintes rojizos, debido al contenido de antocianinas de sus hojas, estas son muy onduladas, tiernas y de gran sabor.

**Tabla 4.38 Características de la lechuga vulcan var. vulcan**

Características	Tipo de siembra
Color rojo brillante sobre fondo verde pálido. Planta grande y vigorosa, ofrece mejor color que otras variedades de tipo de hojas rojas.	Indirecta.



**Figura 4.124 Lechuga**



#### 4.2.1.21.5 Lechuga Orejona var. Parris Island

También conocida como lechuga romana, es sin duda, uno de los vegetales más amigables debido a su fresco sabor, facilidad para combinar con toda clase de verduras y su fácil acomodo con distintos sabores.

**Tabla 4.39 Características de la lechuga orejona var. Parris Island**

Características	Tipo de siembra
Hojas muy largas, de color verde oscuro, con la superficie un poco rugosa y el nervio central muy pronunciado. Textura crujiente. Forma cogollos largos, de buen tamaño.	Indirecta.



**Figura 4.125 Lechuga orejona**

#### 4.2.1.21.6 Lechuga Italiana Var. Tropicana

Utilizada para dar un toque original a tus ensaladas y platillos. Es una lechuga en forma de cono, que posee hojas rizadas, robustas y alargadas, las cuales se unen libremente en un tallo. Es una lechuga muy atractiva gracias a su forma y color característicos.

**Tabla 4.40 Características de la lechuga italiana var. tropicana**

Características	Tipo de siembra
Ofrece una textura crujiente y un sabor intenso. Es uniforme y tiene amplia adaptación de climas, constantemente produce plantas pesadas con hojas de color verde medio oscuro y márgenes rizados, sus costillas son blandas y ayudan a minimizar el daño causado por el manejo de cosecha, de esta manera ayudan a mejorar la calidad; tienen buena tolerancia a Tip-burn (enfermedad común en lechugas) y a floración, no es recomendable para etapas de calor extremo.	Directa/Indirecta.



**Figura 4.126 Lechuga italiana**

## **4.2.2 Manual de operación del biosistema**

### *4.2.2.1 Elaboración del jardín vertical*

Para la instalación de un muro verde deberá tener entre otras consideraciones. El tiempo de luz día, la orientación de la fachada, velocidad del viento y altura a la que se instalara.

Un jardín vertical es un sistema que permite mantener de manera sostenible un paisaje vegetal sobre una superficie interior o exterior de un inmueble mediante una adecuada integración entre:

- a. El inmueble a intervenir
- b. La vegetación escogida
- c. El medio de crecimiento
- d. Los factores climáticos y ambientales

Para lograr esta integración, el sistema debe desempeñar seis funciones básicas:

1. Estanqueidad
2. Drenaje
3. Capacidad de retención de agua
4. Consistencia
5. Nutrición
6. Filtración

### *4.2.2.2 Mantenimiento de jardines verticales*

Una vez instalado el jardín vertical serán necesarias, como en toda área verde, algunas labores de mantenimiento con el fin de que nuestro jardín esté sano y presente un estado saludable.

El mantenimiento de un jardín vertical es similar al de un jardín común. En otoño e invierno, puede afearse por la caída o amurallamiento de hojas. El sol es un factor importante que se debe considerar, cuantas horas de sol tiene cada sector de la pared a cubrir en cada estación. Esta labor sencilla nos facilita y nos asegura que el proyecto sea a largo plazo. De lo contrario nos vamos a encontrar con jardines que se van descontrolando o que van quedando pelados por falta de mantenimiento ([jardinurbano.pe/mantenimiento](http://jardinurbano.pe/mantenimiento)).

Dentro de las labores de mantenimiento se realizan las siguientes labores:



Figura 4.127 Labores de mantenimiento de un jardín vertical

#### 4.2.2.2.1 Poda de follaje

Se recomienda realizar esta acción cada 1–3 meses dependiendo del crecimiento de dicha especie. El exceso de follaje atrae la aparición de plagas, y a su vez disminuye el aspecto estético de nuestro jardín. Para evitar esto, es necesario remover las hojas dañadas y mantener los tallos de la planta del tamaño deseado, evitando que quiten espacio (jardinurbano.pe/mantenimiento).

La poda de follaje o porte superior de la planta es importante por las siguientes razones:

- **Permite que el jardín conserve la forma del diseño:** una vez alcanzado el tamaño deseado las plantas no detendrán su crecimiento, por lo que es necesario el podarlas regularmente para que conserven el tamaño deseado.
- **Evita la aparición de plagas o enfermedades:** muchas de las plagas o enfermedades se desarrollan mejor en ambientes húmedos, el exceso de follaje contribuye a que la humedad se conserve cerca a las hojas y tallos por lo que sería un ambiente más propenso a desarrollar plagas o enfermedades. El realizar las podas permitirá una mejor circulación del aire y así no retener tanta humedad en el follaje.
- **Permite renovar las estructuras de la planta:** las ramas y tallos con el paso del tiempo se van debilitando y dejan de emitir flores, una poda contribuye a la emisión de nuevos tallos jóvenes y con mayor vigor que emitirán nuevas flores.

- **Para remover partes enfermas:** las podas también pueden ser sanitarias, es decir retirar las hojas o tallos enfermos o con ataques de plagas para que estas no se propaguen a las plantas sanas. (*jardinurbano.pe/mantenimiento*).

#### 4.2.2.2.2 Poda de raíces

También es necesario el realizar una poda de raíces en los jardines verticales, esto porque a diferencia de las plantas instaladas en el suelo, el espacio para las raíces de la planta es limitado y estas continúan creciendo en el paso del tiempo, por lo que es necesario podarlas 1–2 veces al año y así evitar que ocupen todo el espacio destinado al sustrato de la planta (*jardinurbano.pe/mantenimiento*).

#### 4.2.2.2.3 Fertilización

La fertilización puede ser directa cada 15 días agregando gránulos de fertilizantes a los bolsillos de las plantas o puede ser mediante fertilizantes solubles aplicados tanto al sustrato como a las hojas. Los nutrientes deben ser administrados de acuerdo al tipo de planta y a sus requerimientos (crecimiento de follaje, floración, etc.) (*Jardinurbano.pe/mantenimiento*).

#### 4.2.2.2.4 Control de plagas y enfermedades

Recomendaciones para que los jardines verticales sean tratados de manera especial, pues éstos se encuentran en espacios de gran tránsito de personas, lugares cercanos a nosotros, por lo cual hay que evitar el uso excesivo de plaguicidas ya que podrían afectarnos en la salud y también a nuestro ambiente.

Las plantas están expuestas al medio ambiente, a las plagas y enfermedades que habitan en él. Mientras más rápido se detecte la infección, más sencillo será el control y erradicación.

- Realizar podas de limpieza, eliminando el exceso de follaje y las partes enfermas de las plantas. El follaje en exceso sirve de refugio para plagas.
- Evitar un exceso en la fertilización de nitrógeno (N), pues induce a un exceso de follaje que favorece presencia de plagas y enfermedades.
- Retirar las plantas enfermas y reemplazarlas por plantas sanas.
- Realizar evaluaciones del estado del jardín, en busca de plagas y enfermedades, de manera continua. Si la plaga es detectada en su inicio es más fácil de controlar (*jardinurbano.pe/mantenimiento*).

Solo aplicar plaguicida si el problema es grande y sea necesaria su aplicación.



#### 4.2.2.2.5 Reposición de plantas muertas

Es posible que por algún motivo una planta dentro de nuestro jardín vertical muera, dejando un espacio vacío en el diseño, por lo cual se tiene que reemplazar por una nueva planta que irá acompañada con su respectivo cambio del sustrato.

### **4.2.3 Ahorro de agua en la jardinería**

#### *4.2.3.1 El ahorro de agua en la jardinería*

Durante los últimos años, el ahorro de agua ha sido tratado en varios ámbitos. La jardinería no ha sido ajena a la necesidad de limitar el uso de agua, incluso de evitar su uso cuando no sea necesario, que es más a menudo de lo que se piensa restringir de una manera no planificada el uso del agua repercute de manera negativa en el establecimiento y posterior mantenimiento de jardines y por lo tanto, se convierte en un factor limitado a la hora de diseñar y desarrollar tanto la jardinería pública como privada. La solución de ajardinar y a la vez racionalizar el consumo de agua, se basa en describir y aplicar una serie de técnicas agronómicas en caminadas al ahorro de agua (Burés, 2010).

Es evidente que la mejor en la calidad de vida favorece la extensión social de la segunda residencia y la expansión en el territorio de la vivienda habitual. Además, de manera natural, el equipamiento verde de las ciudades juega un papel muy importante en la calidad ambiental contribuyendo al confort y beneficio de la salud de los ciudadanos y ciudadanas (Ballester-Olmos, 1991; Marti y Marcia, 1988). Como consecuencia inmediata, un incremento de la superficie ajardinada repercute directamente en un incremento del consumo de agua. Un jardín sostenible es aquel donde las plantas autóctonas e introducidas se adaptan a la luz existente, humedad, condiciones del suelo, y requieren pocos inputs de mano de obra, fertilizantes, herbicidas, insecticidas y funguicida para desarrollarse, conservando y protegiendo el balance de la naturaleza y ofreciendo a la vez un placer estético. Esta definición proporcionada por Krischik y Bevacqua (1998) deja indudablemente un espacio muy amplio para la concepción y diseño de jardines de diferentes tipos.

En jardinería, al contrario de las prácticas agrícolas, no es prioritario el aspecto productivo, sino el estético. Cuando menos, la adaptación de la jardinería actual a un menor consumo de agua representa un cambio fundamental en los jardines, en cuanto a la selección de especies y técnicas de implementación y mantenimiento. Con tal de sustituir las técnicas convencionales de una manera rápida y eficiente se cuenta con nuevas tecnologías provenientes de numerosos ámbitos de la ingeniería y la biología que habrán de permitir a corto plazo un cambio conceptual en la jardinería, más acorde con la conservación de los recursos naturales. Así, una jardinería, más acorde con la conservación de los recursos naturales, de bajo consumo de agua habrá de establecer una selección adecuada de especies, una gestión agronómica apropiada, optimizar el manejo de las instalaciones de riego, etc. (Rice, 1988; Mifflin, 1992). Con tal de conseguir este cambio, pues, hace falta equilibrar las necesidades de las plantas con el ambiente que las rodea, en cuanto a la gestión agronómica (suelo-riego) y al conocimiento de la planta además de tener en cuenta la gestión de la actuación humana sobre el jardín, que se pone de manifiesto en un programa de diseño y otro de mantenimiento sostenible.

#### 4.2.3.2 *Gestión agronómica del agua: el suelo*

Con el fin de gestionar el suelo de una manera eficiente, hace falta reconocer sus propiedades y adecuar la vegetación a las características edáficas del lugar. Algunos de los parámetros a tener en cuenta son: reacción (ácido, alcalino); textura (arcilloso, arenoso); fertilidad (contenido de nitrógeno, fósforo, potasio y de otros elementos químicos); contenido de sales (conductividad eléctrica); contenido en materia orgánica; profundidad del suelo restringen el número de especies que se adaptan a las condiciones de textura, márgenes de pH o salinidad del suelo, que siempre ha de ir atada a una gestión adecuada del riego y al establecimiento de sistemas de drenaje. Por ello es necesario un conocimiento muy detallado de las propiedades fisicoquímicas del suelo. Por ejemplo, la arcilla y la materia orgánica contribuyen de una manera efectiva a la adsorción de elementos fertilizantes y permite una aplicación de abonos menos agresivos desde el punto de vista medioambiental.

Los suelos pueden presentar características de retención y conducción de agua muy diferentes según su textura. Mientras que, en general, los suelos arenosos tienen poca retención de agua, los suelos arcillosos retienen una cantidad de agua más grande y suelen tener conductividades hidráulicas más bajas que los suelos arenosos. Estos parámetros determinarán una gestión del riego diferenciada, en cuanto a la dosis y la frecuencia de aplicación. Hay casos de jardines especiales, como las cubiertas ajardinadas extensivas o intensivas, o las terrazas y balcones, que llevan una preparación y un tratamiento diferente del suelo o del sustrato (Gonzales, 2000). Paralelamente, las técnicas de trasplante y el medio donde se ha desarrollado el cultivo en la fase de vivero también afectarán el establecimiento posterior de las plantas en el jardín (Pastor et al., 1999; Savé et al., 1995; van den Driessche, 1991) como actuaciones concretas que se pueden realizar sobre el uso se destacan dos: la aportación de agentes retenedores de agua y la protección del suelo mediante el uso de almohadillados.

#### 4.2.3.3 *Aportación de agentes retenedores de agua*

Los hidrogeles son productos que según las condiciones en que se utilizan pueden servir para aprovechar mejor el agua disponible. Hidrogeles, hidroretenedores o súper absorbentes son polímeros hidrofílicos que tienen capacidad de inflarse en presencia de agua y de encogerse en su ausencia, liberándola y poniendo a disposición de las plantas. Los hidrogeles se pueden clasificar en tres grandes grupos: polímeros derivados del poli(ácido acrílico), polímeros derivados de alcohol polivinílico y derivados del almidón. En la agricultura y la jardinería se utilizan numerosos tipos de hidrogeles. Los más utilizados, por sus propiedades, son los hielos de poli(acrilamida) (Kulicke y Nottelmann, 1989; Orzolek, 1993). Los hidrogeles se utilizan para aumentar la capacidad de retención de agua del suelo y para espaciar las frecuencias de riegos. El agua queda retenida en las redes del hidrogel a tensiones elevadas, lo que supone un gasto adicional de energía de la planta con tal de obtener el agua retenida por el hidrogel. Los hidrogeles no tienen

efectos sobre las características físicas del agua ni sobre la porosidad total del suelo y para espaciar las frecuencias de riegos. El agua queda retenida en las redes del hidrogel a tensiones elevadas, lo que supone un gasto adicional de energía de la planta con tal de obtener el agua retenida por el hidrogel. Los hidrogeles no tienen efectos sobre las características físicas del agua ni sobre la porosidad total del suelo, pero sí, sobre la retención del agua (aumentándola) a la capacidad de aireación (disminuyéndola). Los hidrogeles absorben agua durante el riego y la liberan a medida que el suelo se seca alrededor del polímero, constituyendo una reserva de agua que permite aprovechar mejor el agua de lluvia y disminuir las frecuencias de riego. Los diferentes polímeros se distinguen por su capacidad de absorción de agua (que puede llegar a 1,500 veces peso), medida y distribución de medida de partículas, respuesta a la salinidad y coste. Los polímeros hidrofílicos en general pierden entre un 19 y un 15 de su activación cada año. Las poliacrilamidas reticulables son las que tienen más duración (Blodgett et. al 1993; Boatright et. al., 1997).

#### 4.2.3.4 *Protección del suelo: uso de almohadillados*

Durante los últimos años, se ha aplicado las cubiertas de suelo (almohadillados) en jardinería como método para reducir la evaporación del agua y el mantenimiento. Esta práctica ha sido empleada tradicionalmente en la agricultura y la horticultura con esta finalidad. Como ventajas principales del uso de cubiertas en jardinería, además de los efectos estéticos, se pueden citar: evitar la evaporación del agua y mantenerla en la zona radical; reducir el calor o el frío; disminuir el efecto del viento; disminuir el reflejo de sol en las plantas; mantener el suelo en su lugar; limitar la formación de costras sobre el suelo y por lo tanto favorecer que el agua penetre, evitando que se pierda escurriéndose superficialmente (controlando, de esta manera, la erosión); evitar la emergencia de malezas y, en definitiva, reducir el mantenimiento. El uso de cubiertas en la jardinería constituye una de las prácticas más beneficiosas para el ahorro de agua. El grueso de la capa de almohadillando recomendado en la jardinería está en aproximadamente los 10 centímetros, variando según el material que se utilice. Los materiales más utilizados son los orgánicos como los restos de poda de jardinería a las cortezas de pino (Ellefson et. al., 1992; Burés, 1993; McReynolds et. al., 1994).

#### 4.2.3.5 *Gestión agronómica del agua: el riego*

La investigación sobre las necesidades y restricciones del agua en jardinería es escasa, probablemente debido a la gran diversidad de especies y de las diferentes condiciones agroclimáticas que pueden afectar. Cuando menos, algunos autores, como Sachs et al. (1975), realizaron un experimento en que regaban diferentes especies de jardín (Xylosma, Nerium, Cotoneaster, Carpobrotus, Hedera y Juniperus) a diferentes intervalos en California, observando que los riegos menos frecuentes mantienen en un aspecto aceptable a las plantas y contribuyen al ahorro de agua (ver subtema 5.6.6).



#### 4.2.3.6 *Conocimiento de la planta*

La elección de las plantas en condiciones limitadas de agua es fundamental y debe tener en cuenta los factores medioambientales de la zona donde se encuentra el jardín (Figura 4.128). Así, el conocimiento de la vegetación autóctona resulta imprescindible para poder escoger con más rigor las plantas que se utilicen en este tipo de jardinería (Fernández-Galiano, 2000). En los últimos años, la utilización ornamental de especies nativas está adquiriendo un gran interés, tanto por sus características estéticas como medioambientales, cosa que las hace potencialmente adecuadas para su utilización en una jardinería sostenible, dado que, teóricamente, se adaptarían a condiciones ambientales adversas, entre ellas, a la aplicación restringida de agua. Esta puede dar lugar a que las plantas sufran de estrés hídrico, que es un factor limitador fundamental en jardinería. Por eso es por lo que el estudio de la adaptación de las plantas al estrés hídrico es necesario para determinar su aplicación bajo técnicas de ahorro de agua. Además, la adaptación de las plantas a un menor consumo de agua implica también una serie de cambios de gestión hidráulica durante el cultivo y en el momento del trasplante (Pastor et al., 1999). Paralelamente, las técnicas de trasplante y el medio donde se ha desarrollado el cultivo en la fase de vivero afectan al establecimiento posterior de las plantas en el jardín. Sería conveniente que las plantas pasaran una fase de endurecimiento en el vivero.



**Figura 4.128** Muchas especies mediterráneas y muchas otras que no lo son de origen y que, en cambio, han sido utilizadas tradicionalmente en nuestra jardinería, se adaptan muy bien a condiciones restrictivas de agua.

El césped puede situar en el jardín tanto en áreas de elevado uso de agua como bajo, por ejemplo, permitiendo que en estado de la latencia durante periodos de pluviometría limitada y que se recuperen cuando llueva. Los niveles de agua que necesitan los céspedes varían con especies y variedades concretas y dependen de factores climáticos (radiación solar, longitud del día, viento, temperatura y humedad relativa, etc.).

#### 4.2.3.7 *Gestión de la actuación humana: el mantenimiento*

Muchas prácticas culturales pueden ayudar a ahorrar agua en el jardín, desarrollando plantas más endurecidas y con un sistema de raíces más eficaz en el aprovechamiento del agua. Para realizar un mantenimiento adecuado se debería tener en cuenta: el adecuado funcionamiento físico y químico de los suelos donde se ubican las plantaciones; la adecuada elección de las plantas (Figura 4.129), tanto desde el punto de vista de especie como de su formación; la correcta elección e instalación de un sistema de riego; el adecuado estado nutricional de las plantaciones; el control de estado fitosanitario de las plantaciones; el correcto uso de las instalaciones y del mobiliario que componen los jardines y parques; entre otras (de Vicente, 2000).

En la jardinería no hay suficiente con el establecimiento de la planta. El jardín es un elemento vivo, y como tal, debe mantenerse. Incluso en el caso de un jardín sostenible, que implica jardines de bajo mantenimiento, existe una serie de prácticas inevitables, como eliminar malezas, podar, adobar, controlar plagas y enfermedades y obviamente regar. El objetivo principal del mantenimiento de este jardín será evitar que derive hacia un jardín tradicional. Las prácticas inadecuadas pueden fomentar la demanda hídrica de las especies utilizadas. El jardín debe mantenerse en un estado óptimo y no se puede permitir una vegetación con oportunistas en cuanto al agua se refiere: si se añade más agua, crecen más, desarrollan sistemas radicales ineficientes y necesitarán más agua. Así, este tipo de jardinería requerirá un menor aporte de fertilizantes, una poda superficial y menos agua. Como ventaja podemos indicar que una menor cantidad de agua contribuirá a disminuir los problemas de malezas y enfermedades (Ellefson et. al., 1992).

Un buen mantenimiento se basará en la observación de los cambios que desarrolla la vegetación no solo a largo plazo, sino también diariamente: marchitamiento, cambios de color, hojas arrugadas, pueden ser síntomas de estrés debido a la falta de agua o bien síntomas de presencia de enfermedades o deficiencias nutritivas. Teniendo en cuenta el carácter y la gravedad se tomarán decisiones respecto a los tratamientos a efectuar o respecto a las necesidades de agua. El mejor tratamiento es el análisis periódico de la evolución en el tiempo, analizando los elementos con tal de actuar de forma radical (de Vicente, 2000).



**Figura 4.129** Cubiertas ecológicas o cubiertas extensivas, son un ejemplo de cómo instalar vegetación en condiciones extremas, con bajo mantenimiento y sin riego. A) cubierta extensiva experimental en Vilablareix (Girona), destaca *Saponaria ocymoides*; B) *Dorycnium pentaphyllum*; C) *Thymus vulgaris* ssp. *Palearensis* en primer plano, al fondo *Saponaria ocymoides*; D) *Sedum* sp

#### 4.2.3.8 Actividades de mantenimiento

Como ya se mencionó entre los trabajos de mantenimiento los más relevantes son: riego, poda, reposición de plantas muertas y limpieza, tratamientos fitosanitarios: control de plagas y enfermedades, abono y reciclaje de los restos vegetales.

## **5 CONCLUSIONES**

Se instalaron los componentes para la portación de plantas con fines de un muro verde vertical. Para el establecimiento y adecuaciones, fueron seleccionados los materiales suficientes que proporcionen estabilidad y seguridad al mismo.

Las estructuras conformadas para la portación de plantas en forma vertical, fueron diseñadas considerando las condiciones ambientales, técnicas y del edificio con el fin de aportar funcionalidad al mismo, sin deterioro de las instalaciones. Se usaron materiales de calidad estándar que aporta resistencia y flexibilidad al movimiento y traslado de los mismos.

Las ventajas del muro verde, tiene impacto en la estética del edificio, la regulación térmica, la captación hídrica, disminución del ruido y problemas de contaminantes.

La siguiente alternativa en un futuro inmediato es la producción hortícola, cuyo procedimiento es similar, excepto que la selección de planta es una hortaliza generalmente de porte bajo, tales como lechuga, col, kale (col verde). En general existe una gran variedad de especies susceptibles de ser cultivadas en paredes y techos, los cuales pueden ser a cielo abierto o protegidos, o combinados. Sumándole el beneficio de la cosecha del cultivo.



## 6 REFERENCIAS

Análisis de las aguas residuales para su uso en la agricultura, R.M. Ayres and D.D. Mara, 1996 [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/wastewater/labmanual/es/](http://www.who.int/water_sanitation_health/wastewater/labmanual/es/)

An Indoor Vertical Farming System for Efficient Quality Food Production. 2016, Pages 213-221. Japan Plant Factory Association, c/o Center for Environment, Health and Field Sciences, Chiba University, Kashiwa, Chiba, Japan.

Boyer, J.S. (1982) Plant Productivity and Environment. Science, 218, 443-448. <http://dx.doi.org/10.1126/science.218.4571.443>.

Burés, S. (2010). El ahorro de agua en la jardinería. <http://www.interempresas.net/Jardineria/Articulos/42085-El-ahorro-de-agua-en-la-jardineria.html>

Buzby, Jean. Jeffrey Hyman, Hayden Stewart, Hodan Wells. (2011). The Value of Retail- and Consumer-Level Fruit and Vegetable Losses in the United States, Journal of Consumer Affairs. Volume 45, Issue 3, pages 492–515, Fall 2011.

CELADE-ECLAC. 2012. World population and Latin America and the Caribbean population: Changes and new (im) balances. *Astrolabio*, no. 8. 29-58.

Circuitos cortos de comercialización para alimentos ecológicos, Daniel López García, 19/02/2015, <http://www.elsalmoncontracorriente.es/?Circuitos-cortos-de>

Conde E., A.; Vázquez, M., E. y Cantú, G., P. V. (2004). Implantación de un relevador digital de sobrecorriente adaptativo. Programa Doctoral en Ingeniería Eléctrica, FIME-UANL. file:///C:/Users/PGA-LBS/Downloads/25\_implementacion.pdf

Costello, L R. et al. (2000). A guide to estimating Irrigation water needs of landscape plantings in California. Part 1: The landscape coefficient method. Part 2: WUCOLS III. University of California Cooperative Extension.

Cotter, D. J. y F. Chavez (1979). Factors affecting water application rates on urban landscapes. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 104: 189-191.

Despommier, D. (2010). The Vertical Farm. Martin's Press. Nacif de Abreu, P. Mazzafera / Plant Physiology and Biochemistry 43 (2005) 241–248.

Ellefson, Connie L., Thomas L. Stephens, y Douglas F. Welsh (1992). Xeriscape Gardening: Water Conservation for the American Landscape. New York: Macmillan.

FAO, (2015). Fao.org. Hacia un futuro con seguridad hídrica y alimentaria (Towards a water and food secure future), <http://www.fao.org/documents/card/en/c/eb978434-dac0-4cd0-bcb3-f1f6f01773f9/>

FAO (2018). El futuro de la alimentación y la agricultura. Tendencias y desafíos. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <http://www.fao.org/3/a-i6881s.pdf>

FAO (2014). Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH). Decenio Internacional para la Acción 'El agua fuente de vida' 2005-2015. <http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/iwrm.shtml>

Fernández, M. M.; Aguilar, M. I.; Carrique J. R.; Tortosa, J.; García, C.; López, M.; Pérez, J. M. (1998). Suelo y medio ambiente invernaderos. Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía. Sevilla. Publicaciones Universidad de Almería, Almería.

Generación Verde (2018). Diseño y construcción de muros verdes. <https://generacionverde.com/>

IMTA (2012). Tecnología de agricultura urbana para la producción de alimentos (RD 1214.1). Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Coordinación de Riego y Drenaje. Subcoordinación de Ingeniería de Riego.

Infoagro Systems, S. L. Tipos de Sustratos de Cultivo. [http://www.infoagro.com/industria\\_auxiliar/tipo\\_sustratos.htm](http://www.infoagro.com/industria_auxiliar/tipo_sustratos.htm)

Issuu. Guía de techos verdes y jardines verticales. [https://issuu.com/sda2015/docs/gu\\_a\\_de\\_techos\\_verdes\\_y\\_jardines\\_v](https://issuu.com/sda2015/docs/gu_a_de_techos_verdes_y_jardines_v)

Jardines colgantes de Babilonia, Irak. [https://www.nationalgeographic.com.es/historia/grandes-reportajes/israel-en-el-exilio-el-destierro-de-babilonia\\_6819](https://www.nationalgeographic.com.es/historia/grandes-reportajes/israel-en-el-exilio-el-destierro-de-babilonia_6819)

La batalla de los supermercados llega a los productos frescos, María Sánchez, Madrid, 17/09/2016, Expansión <http://www.expansion.com/empresas/2016/09/17/57dd4a65268e3e806f8b4639.html>

La población mundial crecerá hasta los 9.600 millones de personas en 2.050, 15/06/2013, ABC. <http://www.abc.es/sociedad/20130614/abci-poblacion-mundial-crecera-201306141214.html>

Olivera Ramos, R. (2017). Internet of Things Programming with JavaScript. Mumbai: Packt.

ONU (2012). Naciones Unidas. Publicación del Departamento de Información Pública de las Naciones Unidas.  
[http://www.un.org/es/sustainablefuture/pdf/Rio+20\\_FS\\_Cities\\_SP.pdf](http://www.un.org/es/sustainablefuture/pdf/Rio+20_FS_Cities_SP.pdf)

Pastor, S. J. N. (2000). Utilización de sustratos en viveros. Terra 17: 213-235.

PFAL Business and R&D in the World: Current Status and Perspectives  
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801775-3.00003-2> Get rights and content

Patrick Blanc-Vertical Garden.  
<https://www.verticalgardenpatrickblanc.com/realisations/paris/loasis-daboukir-paris>

¿Por qué hay que mejorar la agricultura? Poblaciones en aumento, retos mayores, MONSANTO.  
<http://www.monsanto.com/global/lan/mejorar-la-agricultura/pages/poblaciones-en-aumento-retos-mayores.aspx>

Roiloa, R. S., S. Rodríguez-Echeverría, H. Freitas, R. Retuerto (2013). Developmentally-programmed division of labour in the clonal invader *Carpobrotus edulis*. Biological Invasions 15:1895-1905.

Sachs, R. y Davis, U. C. (1991). Stress-adapted landscapes save water, escape injury in drought. California Agriculture. Volume 45, Number 6.  
<http://calag.ucanr.edu/Archive/?article=ca.v045n06p19>

Sánchez R., Olga. (2015). Caracterización de ventilación nocturna en edificios mediante técnicas CFD. Dep. Ingeniería Energética. Escuela Técnica Superior de Ingeniería. Universidad de Sevilla. España.

Thayer, R. L. (1982). Public response to water-conserving landscapes. HortScience 17: 562-565.

Torrente Artero, Ó. (2013). ARDUINO: Curso Práctico de formación. RC Libros. Alfaomega Grupo Editor, S. A. de C. V., México. ISBN: 978-607-707-648-3. Primera edición. Pág. 588.

Van den Driessche, R. (1991). Relationship between container nursery regime and drought resistance of seedlings after planting –Project 2.20. Forestry Canada, Pacific Forestry Centre, Victoria, BC. FRDA Memo 179, Copublished by the BC Ministry of Forests.

Zobayed S.M.A., Afreen F., Kozai T. 2007. Phytochemical and physiological changes in the leaves of St. John's wort plants under a water stress condition. *Environ. Exp. Bot.* 59: 109-116.