



GRADO EN COMERCIO

TRABAJO FIN DE GRADO

“Fábricas de plantas con iluminación artificial”

D. JORGE VÁZQUEZ DE PRADA HEREDERO

FACULTAD DE COMERCIO

VALLADOLID,



UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

GRADO EN COMERCIO

CURSO ACADÉMICO 2021/2022

TRABAJO FIN DE GRADO

**“FABRICAS DE PLANTAS CON ILUMINACION
ARTIFICAL”**

Trabajo presentado por: D. Jorge Vázquez de Prada Heredero

Firma:

Tutor: M.^a Justina Casado Fuente

Firma:

FACULTAD DE COMERCIO

Contenido

1. Pongámonos la capa	2
2. Situación Alimentaria	6
3. Resumen	9
4. Historia de la Agricultura	10
4.1 La Agricultura en la Prehistoria	11
4.2 Civilización temprana (Egipto, Grecia y Roma)	13
4.3 Civilización temprana a moderna	14
4.4 Las Américas	14
4.5 Edad Moderna	15
4.6 Era Ecológica	16
4.7 El futuro (La agricultura Vertical)	17
5. ¿Qué es la agricultura Vertical?	18
5.1 Elementos de la Agricultura vertical	19
6. ¿Pero todo esto es nuevo?	20
7. Análisis de las perspectivas y retos de la agricultura vertical	27
8. La iluminación y las plantas	30
9. Crecimiento y desarrollo de las plantas	30
9.1 Etapas de crecimiento de las plantas	31
9.2 La fotosíntesis	33
10. Iluminación Artificial (LEDS)	34
11. Luz visible para las plantas	35
11.1 Región PAR	35
12. Colores y espectros en las plantas	36
12.1 Fuera de la Región PAR	37
12.2 En la región PAR	38
13. FPIA (Fabrica de plantas con iluminación artificial)	39
14. Claves del Éxito	42
15. Análisis DAFO	44
15.1 Fortalezas	44
15.2 Debilidades	47
15.3 Oportunidades	48
15.4 Amenazas	51
16. Conclusiones:	55
17. Bibliografía	58

1. Pongámonos la capa

Durante toda nuestra historia, todos sin excepción, hemos soñado alguna vez, estar involucrados en una trama de película. Puede que esta sea policiaca, de héroes, de espías, de amor o del tema que más te interese, pero sería mentira decir que ninguno de nosotros hemos querido ser relevantes llegado un momento concreto. En mi caso desde pequeño, siempre me han llamado la atención las historias de super héroes, puesto que casi siempre, para que el lector o el telespectador se sienta identificado con la historia, se les describe como personas normales y corrientes, incluso antes de que se desarrolle la historia, a priori pueden parecer un poco fracasados. Es realmente gracioso que, en el transcurso de la historia, a mucha gente se le haya tildado de héroes, pero es muy curioso, como uno de los grandes héroes (bajo mi humilde opinión) escribió un libro ridiculizándolos y básicamente diciendo que los héroes no existen y no pueden existir, ese hombre es Miguel de Cervantes.

Miguel de Cervantes sostenía que era imposible que los héroes existieran, debido a que era muy remota la probabilidad de que te sucedieran tantas “particularidades” en tu vida como para verte en la situación de salvar a tu amada, a una persona, una ciudad o el mundo. Hay que destacar que el concepto de héroe, está ligado a dos cuestiones realmente interesantes. La primera, es que ha de ser algo romántico, perfectamente descrito y narrado con un hilo conductor de lo más original e interesante, puesto que sea real o no, la historia ha de estar bien contada. Me sabe mal decirlo, pero si hablamos de héroes (reales), nunca se me vendría a la cabeza un policía, un abogado un bombero, etc. Pero muchos de nosotros sí identificamos como héroes a deportistas, astronautas, exploradores etc.

La segunda cuestión, quizás la más importante de estos párrafos y de nuestra existencia, es que un héroe, indudablemente y de la manera que sea, debe dejar el mundo mejor de lo que se lo ha encontrado. Siguiendo con este hilo argumental y la canción Heros de David Bowie, “todos podemos ser héroes solo por un día”. Puesto que no hay mayor proeza que salvar la tierra, el planeta que nos sustenta a todos.

Que el ser humano no tiene límites es algo de lo cual todos estamos seguros; nuestra habilidad para adaptarnos y evolucionar no tiene precedentes en nuestro planeta, la capacidad para estar constantemente mejorando lo que

ya tenemos es algo innato y, en la mayoría de casos, admirable. Pero como se cita en un famoso discurso: << La buena tierra es rica y puede alimentar a todos los seres, el camino de la vida puede ser libre y hermoso, pero hace tiempo que abandonamos ese camino. La codicia ha envenenado nuestras almas, el maquinismo que nos generaba abundancia nos deja en la necesidad; el conocimiento nos ha hecho cínicos, nuestra inteligencia duros y secos, insensibles ante las desigualdades y ante los que consideramos inferiores, nuestras relaciones se basan en el interés y no en nuestra condición humana, las sociedades ya no se nutren, sino que se imponen o se absorben >>.

La frase: “El desarrollo de las biotecnologías, las nanotecnologías, etc., y los entusiasmos y los terrores que esto suscita, muestran que estamos atrapados entre la fascinación de nuestro poder humano para transformar el mundo y nuestra impotencia para vivir en el mundo que creamos”¹; me ha llamado últimamente la atención, nuestros esfuerzos por vivir cada vez mejor nos conducen y motivan a realizar avances asombrosos que, lamentablemente, a veces son incompatibles con la prosperidad del planeta. Una de las grandes máximas de la ecología es hacer conciencia sobre qué le vamos a dejar a las generaciones futuras, y últimamente la respuesta más sonada es: ¡nada!

Hace 300 años viajábamos andando y ahora soñamos con viajar a otros planetas, establecernos en ellos, vivir en ellos (abandonar el nuestro), debido a que pronto la tierra no podrá sustentarnos. ¿Mientras tanto? Extraemos todo lo posible de la tierra para poder seguir avanzando, más petróleo, más agua, más nutrientes, más tierras de labranza, más tierras raras², más bosques, más, más y más y mucho más de lo que nos imaginamos.

Cada día más gente deja de buscar a su alrededor la solución y empieza a mirar hacia arriba. Debido a que se puede buscar la prosperidad del planeta tierra en su conjunto, en el cual, dentro nos encontraríamos nosotros: la raza humana; o se puede buscar la prosperidad de la raza humana, en la cual el planeta tierra carecería de valor significativo (sería un mero

¹ Porcher, J. (noviembre 2021). Vivir con los animales. Contra la ganadería industrial y la <<liberación animal>> (1ª Edición). La Découverte, París. (Página 51)

² Las tierras raras son un grupo de elementos químicos utilizados para fabricar productos tecnológicos y armamento. Generalmente esta caracterizados por ser muy buenos conductores de electricidad y sus propiedades magnéticas. (Papel fundamental en las energías fotovoltaicas)

continente). Lamentablemente, en pleno siglo XXI, estamos más pro de la prosperidad de la raza humana.

Desde el punto de vista religioso, la existencia del ser humano, como obra perfecta de la creación, no podría desligarse de la propia creación. Y puesto que la mayor parte de la población mundial es religiosa³, deberíamos hacer un especial hincapié en las cuestiones de cuidar al planeta tierra. Pero ya no se trata de cuidar al planeta, sino de salvarlo. Muchos de los científicos y expertos concuerdan en que ya hemos llegado a la fase últimamente anterior del: ¡ya es demasiado tarde!

El aumento desmedido de la población dificulta las cosas, la lógica y la sensatez nos dicen que las prácticas intensivas del hombre para extraer recursos y obtenerlos de la tierra son cruciales para nuestra supervivencia. El sueño utópico de las pequeñas producciones para satisfacer nuestras necesidades no se puede dar o, al menos, tal y como se está planteado. El camino está por poder educar al mercado, generar un cambio en las necesidades y explorar nuevos modos de satisfacer las necesidades de este mercado.

La agricultura y la ganadería son las actividades que más recursos necesitan para su consecución y, a su vez, las más contaminantes y lesivas para el medio ambiente⁴. La realidad es que la agricultura demanda cantidades obscenas de agua, de superficie, de combustible, de químicos y de energía, entre otras cosas. La creciente demanda de productos agrícolas y ganaderos en las ciudades, nos avisa de la necesidad de un cambio; antes de perder las pocas reservas naturales que nos quedan. Uno de los grandes objetivos de nuestro siglo es poner el primer pie en Marte, pero mientras avanzamos para conseguir ese objetivo interplanetario seguimos utilizando técnicas agrícolas arcaicas. Entre los mayores retos del envío de los hombres al espacio es encontrar la manera adecuada de alimentarlos, de una forma nutritiva. La forma típica de alimentación en los programas espaciales es la de almacenar

³ Según una encuesta de *Pew Research Center* llamada <<[Composición religiosa por país 2010-2050](http://www.pewforum.org)>> en www.pewforum.org ; se cita que los cuatro grandes grupos religiosos siendo: el cristianismo, islamismo, budismo e hinduismo corresponde a 5466 millones de personas, conformando el 71,1 % de la población mundial, en el año 2020.

⁴ El sector agrícola es ya responsable del 24% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero y las estimaciones indican que seguirán aumentando. De éstas, el 14,5% del total son provocadas por la ganadería, tantas como las de todo el transporte mundial junto. Datos extraídos del artículo: La ganadería industrial está destruyendo el planeta, de la campaña [#PlanetaEnCarneViva](https://www.greenpeace.org/es/campañas/planeta-en-carne-viva/) de Greenpeace el 19/06/2019

tanta comida como se necesita para la duración de la misión. Sin embargo, esto no es viable para las misiones que reclamen demasiado tiempo, como un posible viaje a Marte. Debido a esto, la NASA ha estado durante mucho tiempo interesada en el estudio del cultivo de vegetales a través de los sistemas hidropónicos y aeropónicos con iluminación artificial⁵. El desarrollo de los cultivos hidropónicos y aeropónicos verticales, según las últimas investigaciones; implicaría entre otras cosas un ahorro del agua de hasta el 95%⁶; utilizándose de manera muy eficiente ayudando a que no se desperdicie y a que incluso se pueda recircular. En el caso de la agricultura tradicional, el agua que se usa para el riego de las plantas no se utiliza al cien por ciento.

También destaca que es una técnica perfecta para utilizar en zonas poco aptas para el cultivo, como desiertos y zonas con escasez de agua. Se eliminan los químicos de los cultivos, ni pesticidas ni herbicidas ni fungicidas. También al ser vertical, podríamos aumentar los rendimientos sin necesidad de aumentar la superficie destinada para la obtención de los mismos. Por lo tanto, se proporcionaría unos alimentos más naturales, más limpios y más eficientes, lo que supondría un efecto más que positivo en el medio que nos rodea.

Está muy bien, realizar grandes avances para forjar un futuro prometedor para los seres humanos, pero para mí, lo que realmente debería ocupar nuestro preciado tiempo, es el objetivo de mejorar no solo nuestra estancia en el planeta tierra, sino mejorar, al planeta con nuestra estancia. Por qué no aplicar la tecnología que nos posibilitaría vivir en otros planetas, a nuestras ciudades, a nuestros entornos urbanos; aplicarlo hasta la saciedad, donde se infiltre en los tejidos más profundos de nuestras sociedades y podamos crear un sentimiento de generosidad y respeto por el planeta y al mismo tiempo desarrollar nuevos sistemas de obtención de alimentos más respetuosos con el mismo. Dejemos de mirar hacia arriba, miremos a nuestro alrededor, pongámonos la capa e intentemos salvar a nuestro planeta.

⁵ La NASA ha estado desarrollando un sistema de producción vegetal, basado en el cultivo de plantas a bajo costo con mayor rendimiento y con un alto valor nutricional en el espacio exterior. El Proyecto llamado "Veggie" esta desarrollado por Orbital Technologies Corporation (ORBITEC) durante 2013 en Madison, Wisconsin. Artículo de *Promuevehidroponia* escrito el 17 de noviembre de 2014 "NASA: Cultivos hidropónicos en el espacio"

⁶ Ahorro del agua de un 95% en comparación con los sistemas tradicionales, en campo abierto de regadío. (el 95% correspondería a la utilización de cultivos aeropónicos)

2. Situación Alimentaria

Los desafíos relacionados con la urbanización y los cambios demográficos se reconocen cada vez más como componentes clave del desarrollo resiliente y sostenible y plantean desafíos sin precedentes en términos de hambre, inseguridad alimentaria y malnutrición⁷; con importantes implicaciones para la salud de la población. Se espera que la población mundial crezca a 10 mil millones de personas para 2050. Además, hoy en día la mitad de la población mundial vive en zonas urbanas y se espera que alcance el 60% para 2030 y el 68% en 2050⁸. El rápido crecimiento de las ciudades en un mundo en constante crecimiento y desarrollo, junto con la culminación del proceso del éxodo rural y el aumento del hambre y la malnutrición, afecta no sólo a la dimensión urbana, sino también a diferentes aspectos del sistema alimentario. Esto nos llevará a enfrentar al reto más grande: producir alimentos para todos. El problema es que la tierra cultivable no se puede aumentar al ritmo que aumenta la población. Y si se hiciera tendríamos que olvidarnos de bosques, selvas y otros ecosistemas, de los que dependemos no solo nosotros sino el resto de los seres vivos que nos rodean.

La solución no radicará en un solo sistema de producción, y el aumento de los rendimientos será vital. Pero si esto no llegara a ser suficiente, y al ritmo que vamos parece que no lo será, entonces tenemos que plantearnos seriamente una completa eficiencia en el uso de recursos. De estos el único que se sigue desaprovechado es el espacio hacia arriba, donde hay lugar para producir alimentos.

Por tanto, una buena opción para aprovechar el recurso del espacio sería la aplicación de la agricultura vertical cuyo objetivo principal está relacionado con el aprovechamiento agrícola de todo ese espacio vertical que actualmente recibe un uso poco eficiente. Durante la próxima década el reto de la agricultura vertical es demostrar su viabilidad obteniendo excelentes rendimientos utilizando el mínimo de recursos posibles además de conseguir

⁷ Artículo de Assem Abu Hatab *"Expansión Urbana, seguridad alimentaria y sistemas agrícolas en países en desarrollo: una revisión sistemática de la literatura"* sacado de la revista *Cities*, volumen 94, noviembre 2019, pagina 129-142.

⁸ Dato sacado de la ONU (Organización de Naciones Unidas) <https://www.un.org/es/global-issues/population>. Datos relativos a la FAO (Organización de naciones unidas para la agricultura y la alimentación), sacados de su cumbre en 2017.

proporcionar alimentos económicamente viables para ser adquiridos por personas de todos los estratos económicos.

Los sistemas alimentarios han experimentado una rápida transformación en los últimos 25 años y han pasado de ser un sistema tradicional a una mezcla de transición y modernidad. Los impulsores posteriores de la transformación del sistema alimentario son la urbanización, el crecimiento de los ingresos, el cambio de dieta, la infraestructura, las inversiones y las políticas⁹.

En este sentido, la Política de Investigación e Innovación para la Seguridad Alimentaria y Nutricional de la UE para Alimentos 2030 estableció cuatro claves para la prioridad de seguridad alimentaria y nutricional: sistemas alimentarios inteligentes y ambientalmente sostenibles (Clima), dieta sostenible y saludable (Nutrición), eficiencia de los recursos de los sistemas alimentarios (Circularidad) y empoderamiento de las comunidades (Innovación). Estas cuatro prioridades de investigación e innovación sientan las bases para explorar lo que se necesita para transformar nuestros sistemas alimentarios para que sean sostenibles, resilientes y competitivos en su provisión de alimentos y dietas saludables, sostenibles y accesibles.

El Pacto de Política Alimentaria Urbana de Milán (MUFPP) firmado por representantes de 209 ciudades fue la primera declaración para poner los alimentos en el centro del desarrollo de la ciudad. En este pacto, se invita a las autoridades a adoptar una serie de medidas con el fin de impulsar la seguridad alimentaria de sus ciudadanos¹⁰. En este contexto de evolución de la alimentación en las ciudades se sitúan las granjas de plantas verticales con iluminación artificial o PFAL (Plant Factory with artificial Lighting). Los requisitos anticipados en el suministro de alimentos para una población mundial en crecimiento, más las nuevas tendencias dietéticas, han llevado a una variedad de propuestas para sistemas innovadores de cultivo en interiores destinados a acercar la producción hortícola a los consumidores, fomentando una economía local y circular.

⁹ Artículo de Thomas Reardon *"Rápida transformación de los sistemas alimentarios en las regiones en desarrollo: destacando el papel de la investigación y las innovaciones agrícolas"* sacado de la revista *Sistemas Agrícolas*, volumen 172, junio 2019, página 47-59

¹⁰ A este pacto se adhirieron las ciudades españolas: Barcelona, Bilbao, Córdoba, Madrid, Málaga, Las Palmas de Gran Canaria y Zaragoza entre otras. Algunos lo describen como *"el primer protocolo internacional que anima a las ciudades a desarrollar sistemas alimentarios sostenibles que garanticen alimentos saludables y accesibles a toda su población, proteger la biodiversidad y reducir el desperdicio de alimentos"*

Además, las preocupaciones sobre los problemas de seguridad alimentaria debido a las principales interrupciones causadas en todo el mundo por la pandemia del virus SARS-COVID-19, han provocado el aumento del interés general en tales modelos de crecimiento. Conocidas como granjas verticales, horti-fábricas, fábricas de plantas, granjas de la ciudad, etc., su característica más significativa es que su superficie de cultivo se expande sustancialmente apilando módulos de cultivo verticalmente, ya sea en bandejas o en columnas, que se colocan dentro de estructuras térmicamente aisladas y herméticas. Pueden alcanzar más de diez veces el rendimiento del cultivo que sería posible con los métodos agrícolas tradicionales, con energía fotosintética proporcionada, por la luz artificial (Fábricas de Plantas con Luz Artificial – PFAL) o combinación de esta, con la luz natural.

Las opciones comunes de estructuras para albergar sistemas agrícolas verticales incluyen desde invernaderos transparentes o semitransparentes, colocados en el suelo o en los techos de los edificios, plantas industriales o almacenes no utilizados, contenedores de envío, túneles e incluso refugios antiaéreos. Algunos pensadores de nuestro tiempo soportan la idea que la solución del desarrollo de un futuro más respetuoso con el medio ambiente y sostenible; pasa por fomentar la consecución de estos objetivos a través de cuestiones tan dispares como la arquitectura y la estructuración de las ciudades como por la educación¹¹. Proporcionar alimentos saludables para la creciente población urbana del mundo es un desafío global reconocido y es probable que los modos actuales de agricultura convencional a gran escala se complementen con el tiempo cada vez más con prácticas agrícolas urbanas locales. El cultivo sin suelo en interiores en áreas urbanas se presenta como una solución particularmente sostenible.

Para la consecución de este objetivo el ser humano ha de adaptar, “*arquitecturizar*”, los posibles espacios óptimos para el desarrollo de la agricultura urbana; hemos de convertir simples espacios como: antiguos túneles, azoteas, estadios, fabricas, locales etc., en lugares donde se puede desarrollar una agricultura óptima de proximidad a las ciudades.

¹¹Sacado del artículo basado en la Tesis doctoral de Benis y Ferrao por el MIT (Massachusetts Institute of Technology) “Desarrollo de un flujo de trabajo de soporte de decisiones basado en simulación para la implementación de agricultura integrada en edificios (BIA) en contextos urbanos”, de la revista: *Journal of Cleaner Production*; volumen 147, de enero de 2017.

3. Resumen

Si algo es cierto en estos tiempos tan relativistas es que el ser humano siempre ha tenido la máxima de asegurar sus necesidades básicas para que, una vez cubiertas, sirvan como cimientos de su progreso y evolución. Lógicamente sus máximas necesidades a lo largo de la historia han sido la salud y la alimentación; y una depende directamente de la otra (*cuanto mejor alimentación mejor salud*)¹²

Podemos asegurar, que el ser humano ha cimentado su progreso, evolución incluso sus civilizaciones en primer lugar en los sistemas agrícolas y más adelante en los sistemas productivos de alimentos. Una historia condensada de la agricultura puede resumirse en varias revoluciones agrícolas. La primera fue la Revolución Neolítica (alrededor de 10.000 a.C.), en la que las culturas humanas pasaron del estilo de vida cazador-recolector a los asentamientos y la agricultura. Después vinieron la revolución agrícola árabe (700-1100), la Revolución Agrícola Británica (1750-1800), la Revolución Agrícola Escocesa (1700-1800) y la Revolución Verde (1930-1960).

Estas revoluciones transformaron y dieron forma a la migración humana y a los procesos agrícolas. Se perfeccionaron siglos de conocimientos y prácticas para sembrar, cultivar y cosechar. Los agricultores cualificados fueron la columna vertebral de las civilizaciones y permitieron a estas, prosperar y evolucionar en otras direcciones; puesto que las necesidades alimenticias estaban cubiertas. En el siglo XXI, nos enfrentamos a un rápido crecimiento de la población en paralelo a la disminución de las tierras cultivables y el aumento de la dificultad de la producción de alimentos nutritivos. Este problema mundial ha impulsado el movimiento AgTech y ha dado lugar a un nuevo tipo de agricultor: un agricultor urbano, un agricultor vertical. Como hemos mencionado anteriormente se prevé que, para 2050, la población mundial superará los nueve mil millones personas y más del 70 % vivirán en zonas urbanas de alta población. La seguridad alimentaria, en el contexto de la disponibilidad, accesibilidad, utilización y estabilidad se espera que sea un auténtico desafío desalentador, especialmente para el suministro

¹² Según nuestra dieta, podemos prevenir la aparición de enfermedades y problemas de salud como cardiopatías, diabetes o incluso cáncer. Además de mejorar nuestra calidad de vida como el sueño, energía durante el día, fertilidad y lívido sexual, he incluso la concentración.

<https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/healthy-diet> sacado de un artículo llamado: *Alimentación sana*

constante de verduras frescas y alimentos provenientes de la agricultura. La seguridad energética y la seguridad hídrica están fuertemente vinculadas con la seguridad alimentaria. Deben abordarse de manera integrada. Por lo tanto, el nexo entre alimentos, energía y agua desempeña un papel muy importante en los sistemas alimentarios urbanos. Todo esto unido a la deterioración de los suelos (cada vez menos fértiles), junto con la climatología cada vez más adversa y el despilfarro de los recursos naturales de importancia capital para nuestras vidas hacen que nos planteemos un cambio en el mundo de la agricultura y como obtenemos nuestros recursos del medio que nos rodea.

La práctica de la CEA (Agricultura en entornos controlados), especialmente en forma de fábricas de plantas (también conocida como agricultura vertical), está bien posicionada para formar parte de los sistemas alimentarios urbanos y merece ser sistemáticamente analizada dentro de ese contexto. La CEA, se basa en la aplicación de 3 principios, la iluminación artificial, los cultivos verticales y los entornos controlados (temperatura, humedad, O₂, CO₂ etc.)

En este trabajo trataremos de ver la combinación de los principios fundamentales de la iluminación de las plantas junto con las técnicas de agricultura vertical. Trataremos de ver los beneficios que podrían darse fruto de esta sinergia y explicar por qué este nuevo método agrícola ha venido para quedarse.

4. Historia de la Agricultura



Ilustración 4.1 Agricultura. Fuente Google Imágenes

“La agricultura se define como el cultivo y la explotación de animales, plantas (incluidos los hongos) y otras formas de vida orgánica para uso humano, incluidos alimentos, fibras, medicinas, combustible y cualquier otra cosa.”

La agricultura es y ha sido una de las actividades más empleadoras de personas (en términos de mano de obra) de la historia de la humanidad. Antes de que la agricultura siguiese cualquier sistema de organización, se creía que el suministro de alimentos podía proporcionar alimentos solo a un porcentaje

muy pequeño que podía abarcar una cifra de 4 millones de personas en todo el mundo. Hoy en día la agricultura consigue satisfacer la demanda, pero cada vez, es más difícil; puesto que cada día crecen las demandas para fines no alimenticios (cosméticos, medicinas, textiles, combustibles, etc.) lo cual hace más complicado satisfacer con precisión de cara al futuro no solo la alimentaria sino todas las demandas del mercado.

La agricultura en una época antigua era generadora de tecnología, hoy en día se ha visto obligada poco a poco a adaptarse a los nuevos avances, lo cual deja entrever que la agricultura nunca puede estar obsoleta. Las técnicas pueden ser arcaicas, pero las herramientas para aplicar esas técnicas son cada vez más novedosas. La agricultura está obligada a reinventarse no solo en herramientas sino en las técnicas, como ya hemos comentado antes, siempre vamos a necesitar aumentar los esfuerzos en términos de trabajo, herramientas, innovación y cómo no; cultivos de alimentos, fibras textiles vegetales, tintes y aceites y desarrollo de semillas para hacer frente a las crecientes necesidades de la población mundial.

4.1 La Agricultura en la Prehistoria

El origen de la agricultura se estima en la etapa del Neolítico, hace unos 10.000 años, hoy en día la comunidad científica sostiene que la agricultura es un movimiento más que un invento, puesto que un estudio sugiere que el inicio y extensión de las prácticas agrícolas no fueron obra de una única sociedad o comunidad, sino que se produjo en múltiples poblaciones geográficamente cercanas, pero genéticamente diferenciadas. Lo cual hace que la agricultura sea fascinante.



Ilustración 4.2 Región del Valle del Indo, lo que sería hoy Afganistán, Pakistán y el noroeste de la India. Fuente Google

Imágenes

Es una gran verdad que el dominio de la agricultura por los seres humanos supuso la posibilidad de la aparición de la ganadería y que el desarrollo de las dos actividades en conjunto fue clave para la explotación óptima de la agricultura y la ganadería (puesto que están íntimamente ligadas) y tuvo un papel importantísimo en el desarrollo del comercio; puesto que se sabe de sobra que el origen del comercio está en la perfección de la agricultura (paso de subsistencia a la explotación)¹³. El comercio se debió en parte por las grandes cosechas y porque ya no era necesario que toda la comunidad se dedicara a la agricultura, por lo tanto parte de la población empezó a especializarse en otros asuntos, como la alfarería o la siderurgia. Este comercio primitivo, no solo supuso un intercambio local de bienes y alimentos, sino también un intercambio global de innovaciones científicas y tecnológicas, entre otros, el trabajo en hierro, el trabajo en bronce, la rueda, el torno, la navegación, la escritura, nuevas formas de urbanismo, y un largo etcétera



Ilustración 4.3 Origen del comercio. Fuente Google Imágenes

La mayor parte de nuestra existencia hemos sido cazadores-recolectores. Ser cazadores-recolectores significa que la gente seguía un comportamiento nómada es decir que se trasladaba de un lugar a otro, moviéndose con las estaciones para seguir el suministro de alimentos, los nómadas sabían perfectamente cuales eran los mejores cultivos para explotar

¹³ Los orígenes del comercio se remontan a finales del Neolítico, cuando se descubrió la agricultura. Al principio, la agricultura que se practicaba era una agricultura de subsistencia, donde las justas eran para la población dedicada a los asuntos agrícolas. Sin embargo, a medida que iban incorporándose nuevos desarrollos tecnológicos al día a día de los agricultores, como por ejemplo la fuerza animal, o el uso de diferentes herramientas, las cosechas obtenidas eran cada vez mayores. Gracias a esto, apareció el trueque, después los primeros medios de pago y más tarde se acuñaron las primeras monedas.

en cada estación. Las necesidades de moverse con tanta frecuencia se volvieron poco a poco menos importantes a medida que los glaciares desaparecieron y los patrones de vida de las plantas y las áreas de crecimiento cambiaron. Es curioso como aún con la aparición de la agricultura y las primeras domesticaciones de algunos cultivos, las prácticas nómadas se siguieron practicando con el objetivo de maximizar los recursos durante miles de años.

Es altamente probable que en la transición entre nómada y sedentario hubiese durante un par de miles de años un estadio que se desarrollara cierto grado de estilo de vida seminómada en el que las poblaciones establecían campamentos durante varios años seguidos, acordonando áreas de cultivos silvestres que tenían los recursos más abundantes

4.2 Civilización temprana (Egipto, Grecia y Roma)

Alrededor del año 5500 AC, las civilizaciones tempranas dieron con la clave de entender la necesidad de una mano de obra agrícola especializada y tecnificada que dio lugar a una época de auge en la ciencia y la tecnología agrícola para que no solo la agricultura prosperase sino también sus propias sociedades. De este periodo datan inventos como el del riego. Todo esto explicado anteriormente permitió al conjunto de las sociedades organizarse y desarrollar sus vidas en las primeras ciudades. Estos cambios en la sociedad pueden ser la explicación de las primeras leyes escritas y el desarrollo de las primeras sociedades complejas. La agricultura de alguna manera impulsó el desarrollo de las civilizaciones: incluidas las prácticas religiosas, las actitudes sociales y los códigos legales.

Destacan el papel de tres grandes civilizaciones de la época:

El antiguo Egipto. Gracias a su sistema agrícola se forjó una de las sociedades antiguas más complejas e importantes de nuestro tiempo. Su civilización se construyó en torno a la naturaleza generadora del río Nilo.

Los griegos y los romanos. Estas dos grandes sociedades se nutrieron de otras civilizaciones con las que tuvieron "contacto" para desarrollar su tecnología agrícola, destacan el "contacto" (Mesopotamia, sumeria y Egipto)

¹⁴Esto supuso el nacimiento de la civilización moderna que conocemos, además pudimos presenciar los primeros esbozos de una agricultura y ganadería a gran escala que pudo sustentar la demanda de las grandes ciudades del imperio.

4.3 Civilización temprana a moderna

El Medio Oriente continuó viendo mucha innovación en las industrias agrícolas, algo a lo que los historiadores se refieren como La Revolución Agrícola Árabe. En Europa las sociedades conocedoras de los avances agrícolas en el Valle del Indo y el Medio Oriente, codiciaron no solo el control de las zonas sino también el conocimiento, después trataron y consiguieron ser el puente entre Europa y el Lejano Oriente. La máxima de los sistemas agrícolas y ganaderos era la de buscar mejorar los rendimientos debido a un continuo crecimiento de la población. Naturalmente, también vimos avances tecnológicos significativos en este período. Se practicó el mestizaje selectivo masivo (Cruce de razas para mejorar los rendimientos), particularmente en la ganadería y los sistemas de organización.

Las prácticas agrícolas modernas vieron su desarrollo moderno final en el siglo XVI cuando los agricultores idearon la rotación de cultivos: la idea de que se podía aumentar el rendimiento cambiando el uso de la tierra cada año para no agotar el suelo. Un año el campo tendría cultivos sembrados, al año siguiente se utilizaría para la ganadería y al tercero se dejaría en barbecho. Aunque las sociedades anteriores lo habían utilizado hasta cierto punto, solo en el siglo XVI se perfeccionó el método.

4.4 Las Américas

Es probable que la aparición de la agricultura llegara relativamente tarde a América del norte, la comunidad científica baraja las fechas de entre el 2500 y 2000 ac que se ve ampliamente con civilizaciones como los Hohokam, las Anasazi y los antiguos pueblos. Se piensa que llegaron a domesticar el

¹⁴ “La cultura de la Antigua Roma fue el resultado de un importante intercambio entre civilizaciones diferentes: la cultura griega y las culturas desarrolladas en Oriente (Mesopotamia y Egipto), que contribuyeron a formar la cultura y el arte de los romanos. Uno de los factores que más contribuyó a la universalización de la cultura romana, que de pronto fue la de todo el imperio, fue el uso del latín como lengua común de todos los pueblos sometidos a Roma.” [Origen de las sociedades National Geographic](#)

maíz en el año 6000 ac. Hasta la llegada de los colonos europeos las prácticas agrícolas masivas no estuvieron especialmente presentes en América del Norte. Esto no quiere decir que los nativos americanos no practicaran la agricultura, de hecho, sí hay ciertas evidencias de que la agricultura se practicaba, pero de manera muy reducida y limitada, es decir se podría decir que la agricultura precolombina de las tribus de América del norte estaba menos desarrollada. Las tribus prácticamente eran nómadas, es cierto que existían tribus que la mayor parte de su tiempo eran estáticos (semisedentarios). Existían ciertos cultivos domesticados como el maíz y la papa y zonas “desarrolladas” agriculturamente hablando como era Arizona y Nuevo México.

Los Incas, los Mayas, los Olmecas y los Aztecas se extendieron a lo largo y ancho de Centro América y Sudamérica y desarrollaron una agricultura extensa y eficiente de manera muy temprana. La construcción de enormes ciudades y civilizaciones; que tenían una economía basada en la agricultura que se encontraba al mismo nivel de la encontrada en Europa impresionó a los colonos europeos.

En Centro América se desarrolló el maíz y en América del Sur la papa, destacaron también el cultivo de la coca (más adelante) y la domesticación de la Llama y la Alpaca, considerados los animales del imperio.

4.5 Edad Moderna

El principal acontecimiento de la era moderna de la agricultura es la Revolución Agrícola británica, que fue el catalizador de la Revolución Industrial, que condujo a una mayor concentración en las zonas urbanas (más cultivos para menos trabajadores, mejores métodos para mantener y reponer los nutrientes en el suelo hicieron que más personas pudieran trabajar en la industria, lo que provocó un desplazamiento de la población del campo a la ciudad).

La Revolución Agrícola británica supuso múltiples avances en la agricultura en un corto periodo de tiempo, gracias a una rotación de cultivos más eficiente y a los cercados, que permitieron avances masivos en la eficiencia de los procesos y en los rendimientos. Pero no sólo fueron los cercados entre tierras ajenas, sino también en las tierras de los terratenientes

o agricultores exitosos, los que promovieron un nuevo método de rotación, continua en lugar de trienal (que dejaba descansar un campo para recuperar sus nutrientes). En el método continuo, los cultivos de cereales se alternaban con las leguminosas y, en el tercer año de cultivo, se plantaban cultivos forrajeros, que se utilizaban para la alimentación de los animales y tenían la doble finalidad de aportar al suelo concentraciones de nitrógeno y, al mismo tiempo, los productos de desecho de los animales que pastaban en la tierra.

También hay que destacar la derogación de las Leyes del Maíz. A principios del siglo XIX, durante las guerras napoleónicas, Gran Bretaña sufría una escasez de maíz debido a varios factores, como un bloqueo naval, una serie de malas cosechas y una población creciente. Para proteger los intereses agrícolas del país, el Parlamento británico promulgó en 1815 las Leyes del Maíz, que impedían la importación de maíz extranjero hasta que el precio del maíz nacional alcanzara un precio determinado. Las Leyes del Maíz (basadas en el precio del maíz) al principio beneficiaron económicamente al 90% más pobre de la población del Reino Unido, mientras que causaron pérdidas de ingresos al 10% más rico. Las Leyes del Maíz se promulgaron con la esperanza de aumentar el precio del grano para los agricultores nacionales. Como resultado, los que ya eran ricos agricultores y terratenientes se enriquecieron aún más a costa de la clase trabajadora. La clase obrera comenzó a luchar para comprar este producto básico, dejándoles poco o nada para comprar otros productos manufacturados.

Los siguientes cambios sólo llegarían en los años de guerra (Guerras mundiales), cuando las potencias militares desarrollaron (y exigieron con el racionamiento) una agricultura intensiva; esto fue una "bendición" y desde 1970 la producción mundial de cereales se ha cuadruplicado. Los nuevos plásticos y el desarrollo de los nitratos han vuelto a aumentar los rendimientos y, gracias a este sistema, que lleva casi un siglo funcionando, se ha facilitado el acceso a alimentos mucho más baratos. Sin embargo, para algunos, el medio ambiente ha pagado un precio que algunos agrónomos han intentado corregir.

4.6 Era Ecológica

La sostenibilidad es la palabra de moda hoy en día, ya que tratamos de equilibrar varias necesidades contrapuestas: proteger el medio ambiente y

establecer prácticas que lo protejan al tiempo que se satisfacen las crecientes necesidades de la población futura. En la actualidad, nuestra oferta de alimentos satisface las necesidades de 7.000 millones de personas y todavía hay suficientes excedentes para producir más en el futuro

Sin embargo, sabemos que algunas de estas prácticas han tenido un efecto negativo en la tierra. Se talan demasiados árboles para dejar paso a las tierras agrícolas (ganado y cultivos), y los suelos se agotan rápidamente mientras se destruyen los ecosistemas. El uso de algunos herbicidas y pesticidas ha suscitado dudas y en las últimas décadas se han prohibido muchas sustancias nocivas en Norteamérica y la UE. Todavía estamos en proceso de acordar normas globales y de intentar redefinir los parámetros de lo que es agrícola y ecológicamente correcto, satisfaciendo las necesidades de nuestros cultivos sin perjudicarlos para las generaciones futuras. La tecnología agrícola puede estar al borde de una nueva revolución, ya que la biotecnología está a la vanguardia de la ciencia agrícola.

4.7 El futuro (La agricultura Vertical)

Con las tierras agrícolas cada vez más escasas, los agricultores comerciales se han pasado la mayor parte del tiempo buscando formas de maximizar la producción en un espacio de cultivo limitado. Aquí es donde comenzó la agricultura vertical y a donde podría llevarnos la tecnología en el futuro, ahora es posible producir grandes cantidades de alimentos y de calidad constante gracias a los revolucionarios métodos de la agricultura vertical, permitiendo una producción fiable de cultivos durante todo el año sin que dependa de las condiciones meteorológicas, cultivando en un entorno controlado, proporcionando una producción programable y repetible donde no existen los cultivos de temporada. También se reduce con éxito los tiempos de cosecha y se mejora el volumen de producción sin comprometer el sabor o la calidad de los productos.

Los cultivos verticales implican un aprovechamiento más eficiente del espacio (mayor productividad en una superficie reducida), pudiendo transformar 1 hectárea de cultivos verticales en 10 hectáreas de cultivos tradicionales. Está claro que dependerá del tipo de cultivo. También implican una disminución del uso del agua, pudiendo llegar a ser de hasta el 95 % de la misma. Es la opción agrícola más respetuosa con el medio ambiente, ya que

necesita menos combustibles fósiles y ayuda a mejorar la biodiversidad (una agricultura menos invasiva), sin necesidad de uso de productos químicos ni pesticidas.

El uso inexistente de productos químicos es una de las ventajas más importantes de la agricultura vertical, dando como resultado final un producto mejor, más sano, más seguro y con hojas secas, limpias y listas para comer.



Ilustración 4.4 Ejemplo de Agricultura Vertical (horizontalmente apilada). Fuente Google Imágenes

5. ¿Qué es la agricultura Vertical?

La definición básica de la agricultura vertical es: la práctica de producir alimentos en superficies inclinadas verticalmente, o apiladas horizontalmente. En lugar de cultivar hortalizas y otros alimentos en un solo nivel, como en un campo o un invernadero, este método produce alimentos en capas apiladas verticalmente, comúnmente integradas en otras estructuras como un rascacielos, un contenedor de transporte o un almacén reutilizado.

Básicamente podemos definirla como un cambio de perspectiva: “la agricultura que está creciendo dentro de un volumen de espacio en lugar de en un solo plano horizontal”. Las conversaciones actuales sobre la agricultura vertical se refieren casi exclusivamente a la producción de alimentos. Al fin y al cabo, las principales ventajas de la agricultura vertical consisten en cultivar durante todo el año cosechas sanas y sin pesticidas, con un rendimiento muy elevado y previsible.

Según esa definición, la agricultura vertical tiene como objetivo maximizar la producción dentro de un espacio de cultivo determinado. Históricamente, los agricultores que se han desenvuelto dentro de un espacio pequeño (pocas tierras destinadas a la labor) han utilizado cultivos altos, que naturalmente usan el espacio vertical de manera más eficiente que los cultivos grandes y de baja estatura. Estos primeros agricultores verticales incluyen a

los agricultores de arroz que aterrazan los arrozales en el sudeste asiático y los arquitectos de la antigua Babilonia, que construyeron una de las siete maravillas del mundo antiguo, las Los Jardines Colgantes de Babilonia. Todo este conjunto de datos, nos lleva a realizarnos una pregunta, ¿todo esto es reciente o es algo histórico?



Ilustración 5.1 Ejemplo de agricultura vertical (verticalmente inclinada). Fuente Google

5.1 Elementos de la Agricultura vertical

La agricultura vertical tiene algunos elementos característicos como:

Uso de una fuente artificial de luz¹⁵: Los trabajos más avanzados en el campo de la luz artificial y su interacción con la fisiología de las plantas han sido realizados por los sistemas de soporte vital de la NASA).

Uso eficiente del agua: el uso de sistemas hidropónicos basados en el máximo ahorro del agua, suministrando a la planta lo mínimo necesario ha proporcionado buenos resultados en verduras de hoja verde y micro verdes, consiguiendo ahorra casi el 95% del agua.

Automatización: Hasta el día de hoy, la gran mayoría de las granjas verticales exhiben un bajo nivel de automatización. Los pocos sistemas de manejo de agricultura vertical mecanizados y automatizados disponibles no han tenido mucho éxito debido a su alto costo y volumen. Cualquier agricultura protegida de interior, incluidas las granjas verticales, es una actividad sustancialmente intensiva en mano de obra. Esta fuerza de trabajo es cada vez más difícil y costosa de reclutar en sociedades avanzadas, especialmente cerca de áreas metropolitanas, no rurales, densamente pobladas y de mayores

¹⁵ "En las operaciones típicas de agricultura vertical, la fuente de luz artificial es una de las mayores inversiones y, por el momento, el componente de costo operativo más importante y limitante" *Kozai et al., 2019*

ingresos. La automatización en su justa medida es imprescindible, para el éxito de las granjas verticales.

Control y ajuste de los parámetros: En la agricultura tradicional, el parámetro principal, la disponibilidad de luz natural del sitio, es fijo, y los otros se ajustan para optimizar los resultados. Los diferentes trabajos de investigación sobre la agricultura vertical tienen como único objetivo un sistema cerrado eficiente en el uso de los recursos, relacionados con la fotosíntesis, la transpiración y la eficiencia de absorción de agua y nutrientes.

6. ¿Pero todo esto es nuevo?¹⁶

Los Jardines Colgantes de Babilonia

En el 600 a.C. el rey Nabucodonosor II hace más de 2.500 años construyó la primera “granja vertical”: los legendarios Jardines Colgantes de Babilonia. Una de las 7 maravillas del mundo antiguo, es probablemente la obra de ingeniería más grande de la era antigua del hombre, y en cierto modo, para algunos, en los cuales me incluyo, la mayor construcción de nuestra historia debido a su complejidad, su innovación, su técnica y cómo no su belleza. Durante su etapa de esplendor se llegó a considerar la “Joya de la corona” y se consideraba un privilegio haberla podido observar y conocer.

Los jardines colgantes de Babilonia consistían en una serie de terrazas abovedadas, apiladas unas sobre otras, y plantadas con muchos tipos diferentes de árboles y flores. Los jardines, que alcanzaban una altura de 20 metros, se regaban probablemente con una innovación de ingeniería temprana conocida como bomba de cadena, que habría utilizado un sistema de cubos y poleas para llevar el agua desde el río Éufrates, al pie de los jardines, hasta un estanque en la parte superior.

Cabe destacar que actualmente, los científicos e ingenieros y arquitectos se muestran incapaces de descifrar los entresijos de esta obra maestra.

¹⁶ Índice cronológico, sacado de múltiples artículos de la historia de la *Agricultura Vertical*, sacados de la bibliografía de la Asociación de la Agricultura Vertical (<https://vertical-farming.net>), Nasa (https://www.nasa.gov/directorates/spacetech/spinoff/NASA_Research_Launches_a_New_Generation_of_Indoor_Farming), Antecedentes de la agricultura vertical por (ryse.org/es-la-agricultura-vertical-el-futuro-para-la-produccion-urbana-de-alimentos/#:~:text=La%20frase%20«agricultura%20vertical»%20fue,por%20el%20arquitecto%20Ken%20Yeang.)

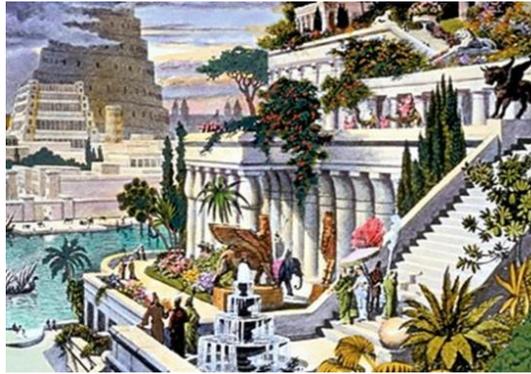


Ilustración 6.1 Jardines Colgantes de Babilonia. Fuente Google Imágenes

Chinampas (Aztecas)

1150 d.C. – El pueblo Azteca hace casi mil años, desarrolló una forma de agricultura hidropónica¹⁷ conocida como "chinampas" para cultivar en zonas pantanosas cerca de los lagos. Dado que el suelo pantanoso de estas zonas no era apto para la agricultura, los aztecas construían balsas con cañas, tallos y raíces; las cubrían con barro y tierra del fondo del lago y luego las llevaban a la deriva al lago. Gracias al soporte estructural que proporcionaban las balsas, los cultivos podían crecer hacia arriba mientras sus raíces crecían hacia abajo a través de las balsas y hacia el agua. A menudo, muchas de estas balsas individuales se unían para formar amplios "campos flotantes".

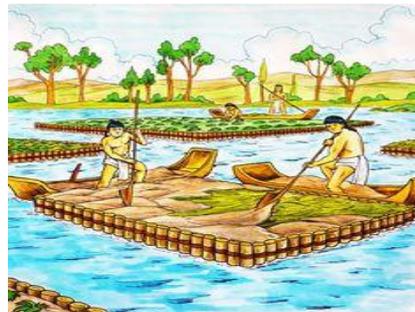


Ilustración 6.2 Las Chinampas del imperio Azteca (Método de la hidroponía). Fuente Google

Sylva Sylvarum

En 1627 se publicó la primera teoría sobre los métodos de cultivo hidropónicos, esta teoría viene recogida en el libro Sylva Sylvarum, del científico y estadista inglés Sir Francis Bacon. En este libro, Bacon establece y explora la posibilidad de cultivar plantas terrestres sin tierra.

¹⁷ Método de cultivo industrial de plantas que en lugar de tierra utiliza únicamente soluciones acuosas con nutrientes químicos disueltos, o con sustratos estériles (arena, grava, vidrio molido...) como soporte de la raíz de las plantas. "la hidroponía resulta rentable por la escasa cantidad de nutrientes que se necesitan, y es muy útil en zonas especialmente áridas". Real Academia Española

John Woodward

En 1699 el científico inglés John Woodward perfecciona la idea de la jardinería hidropónica con una serie de experimentos de cultivo en agua realizados con menta verde. Woodward descubre que las plantas crecen mejor en agua con impurezas que en agua destilada, lo que le lleva a concluir que las plantas obtienen importantes nutrientes de la tierra y otros aditivos mezclados en las soluciones de agua.

Granja Vertical Moderna- Revista Life

En 1909 la revista Life publica el primer dibujo de una granja vertical "moderna". El boceto muestra capas al aire libre de explotaciones apiladas verticalmente en un paisaje agrícola, todas ellas cultivando alimentos para el consumo. Fue la primera referencia que hubo sobre agricultura vertical. Dicha imagen muestra una construcción denominada Globe Tower. A partir de dicha imagen se formuló su denominado Teorema 1909, que indica que el rascacielos es una utopía que permitirá la producción ilimitada de alimentos en las ciudades. La idea de la producción ilimitada deriva del pensamiento de construir más y más pisos hacia arriba. En dicha imagen se pueden observar granjas apiladas verticalmente.

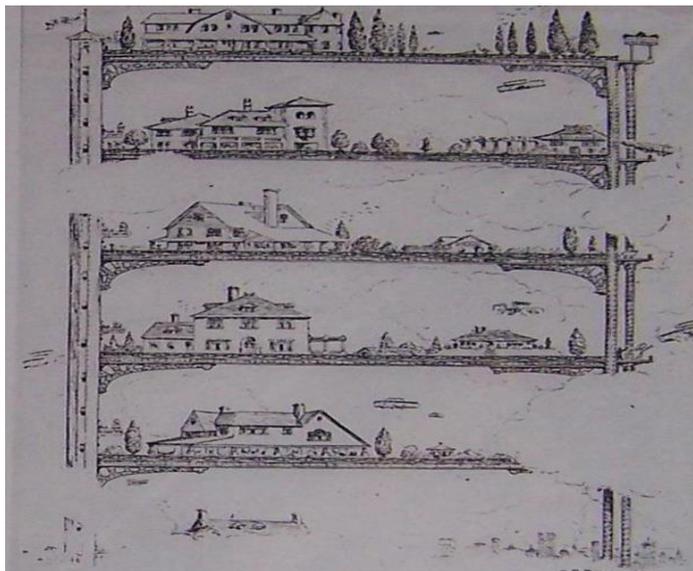


Ilustración 6.3 Foto de la revista Life publicada en 1909 "La granja vertical moderna. "Pilas de granja verticales" de Rem Koolhaas, Delirious New York. Fuente Google Imágenes

Gilbert Ellis Bailey

En 1915 se acuña por primera vez el término "agricultura vertical"; es acuñado por el geólogo estadounidense Gilbert Ellis Bailey en su libro del mismo nombre. Bailey se centra principalmente en la agricultura "hacia abajo" explorando un tipo de agricultura subterránea en la que los agricultores intentan cultivar a mayor profundidad, aumentando así la superficie total disponible y permitiendo la obtención de mayores cosechas.

Hidroponía término y desarrollo

En 1929 el ingeniero agrónomo de la UCA (Universidad de California en Berkeley) William F. Guericke desarrolló la hidroponía moderna¹⁸. Era una época en que nuestra sociedad estaba mutando con muchos descubrimientos científicos. Algunos reporteros fueron tan lejos como para decir que la tierra cultivable era algo del pasado. En su artículo "Acuicultura: A means of Crop-production", publicado en diciembre de 1929, Guericke describe el proceso de cultivo de plantas en arena, grava o líquido, utilizando nutrientes añadidos, pero sin tierra. Posteriormente en 1937 el término "hidroponía" es acuñado en un artículo publicado en la revista Science. Derivado de las palabras griegas "hydro", o agua, y "ponos", trabajo, el término fue sugerido a Guericke como una alternativa a la "acuicultura" (que ya se utilizaba para describir las técnicas de cría de peces) por su asociado de la Universidad de California, el botánico William Albert Setchell.

Guerra Mundial

En la Segunda Guerra Mundial entorno al 1940 se utilizaron por primera vez en la historia moderna sistemas de cultivo hidropónico a gran escala. Se produjeron más de 8.000 toneladas de vegetales por vía hidropónica en las islas del Pacífico Sur para alimentar a las fuerzas aliadas

¹⁸ El Dr. William F. Guericke es considerado como el fundador de la hidroponía moderna. Él tiene en su haber dos importantes avances. Fue el primero en llevar el cultivo de agua fuera del laboratorio y convertirlo en una operación a escala comercial. Su libro [The Complete Guide to Soilless Gardening](#) (Guía completa de jardinería sin tierra) aún está disponible, la última reimpresión es reciente, de 2008.

estacionadas allí, donde la tierra estaba a menudo saturada de sal y el agua dulce era escasa. Ellos recurrieron a los cultivos hidropónicos.

Torre Ruthner

Durante la Exposición Internacional de Horticultura de Viena en el 1964, se exhibió una granja vertical en forma de alta torre de cristal. La prensa de la época informó de un gran interés por el tema, que se tradujo en la construcción de más de una docena de torres similares en 1965, incluidas cuatro en la República Federal de Alemania y una sólo en Berlín Occidental. La torre era de unos 14 m de altura, destinada a 480 estantes o 9500 macetas.

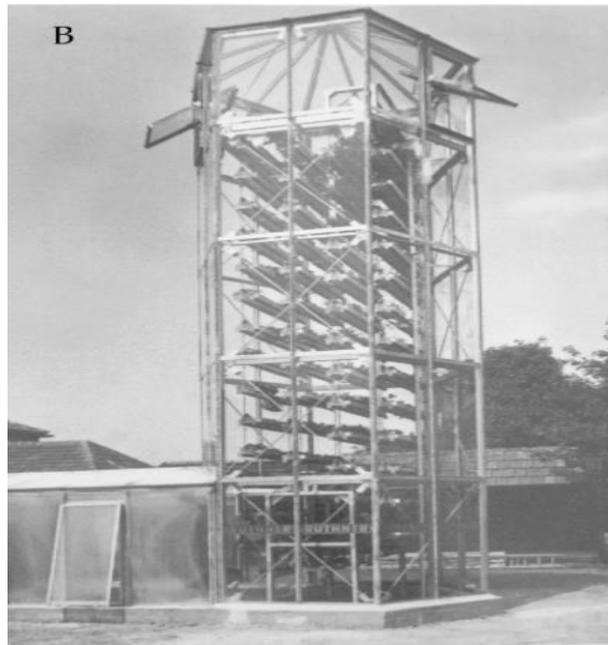


Ilustración 6.4 Torre Ruthner, Feria Internacional Hortícola de Viena. Fuente Google Imágenes

El optimismo que acompañaba a la posibilidad de intensificar el cultivo limitando la superficie necesaria permitía a Ruthner afirmar que en un futuro próximo la forma tradicional de agricultura basada en el suelo sería prácticamente abandonada en detrimento de las soluciones multinivel

Kenneth Yeang

El arquitecto y ecologista Kenneth Yeang durante los años 80, crea una visión de los edificios de uso mixto que se integran a la perfección con los espacios verdes, lo que permite cultivar la vida vegetal en los edificios al aire libre. Yeang lo describió como "arquitectura vegetada". Esta visión se basa en el uso personal y comunitario más que en la producción y distribución a gran

escala. Kenneth Yeang, es considerado un visionario, y puede ser uno de los primeros baluartes de lo que hoy conocemos como las ciudades verdes.

Las Ciudades Verdes son aquellas que tienen abundantes espacios naturales para disfrute de sus ciudadanos con bajas emisiones de gases efecto invernadero y bajos niveles de contaminación acústica. La arquitectura y la agricultura se fusionan creando unas ciudades caracterizadas por una edificación bioclimática y sostenible donde sus propios habitantes han sido educados en el respeto medioambiental. También las ciudades verdes están asociadas al término ciudades autosuficientes, donde la agricultura vertical como método de producción a gran escala tendría un papel fundamental.



Ilustración 6.5 Visión ecologista Kenneth Yeang. Fuente Google Imágenes

Granja Vertical - Dr. Dickson Despommier

El Dr. Dickson Despommier en 1999 desarrolla el concepto de la granja vertical; en un esfuerzo por encontrar una forma eficaz de alimentar a la población de Nueva York utilizando únicamente la agricultura urbana en las azoteas. Despommier y sus estudiantes desarrollaron la idea de un edificio de varios pisos en el que se pudieran cultivar capas de productos en cada planta. (Despommier es considerado para muchos como el padre de la agricultura vertical).

Luz Artificial

El año 2006 trajo consigo un cambio abismal en la agricultura vertical; el desarrollo de nuevas fuentes de iluminación más estables, menos costosas y que consumen menos energía fomentaron la introducción de la luz artificial

en las granjas verticales (introducción de los LEDS). La empresa japonesa Nuvege desarrolla uno de los ingredientes esenciales para las granjas verticales de interior: una red de luz propia que equilibra las emisiones de luz para aumentar la tasa de rendimiento de las verduras.

Construcción de la 1ª granja vertical moderna

En 2009 la empresa Sky Green Farms construye la primera granja vertical moderna. Las instalaciones de Sky Green Farms en Singapur están formadas por más de 100 torres de 9 metros de altura cada una, que cultivan verduras utilizando la luz solar y el agua de lluvia capturada.

Boom de las granjas verticales

En el 2015 los promotores de proyectos de agricultura vertical empiezan a buscar almacenes vacíos, edificios y rascacielos, para producir cultivos en grandes volúmenes en relación con los metros del área de cultivo. Casi todos estos agricultores utilizaban sistemas hidropónicos (cultivos directamente en el agua, eliminando el factor tierra). Estas granjas eran increíblemente intensivas, alcanzando producciones significativas.

Algunas granjas también utilizaban el método de la aeroponía¹⁹ (aunque por aquel entonces era una técnica, poco utilizada y altamente costosa). Los avances que vimos en esta época eran la especialización y tecnificación de los métodos de cultivo sin el factor tierra, que no dejan de ser en resumidas cuentas diluir los nutrientes que necesitan las plantas en el agua, y meter esa disolución de nutrientes en los sistemas de riego hidropónicos o aeropónicos.



Ilustración 6.6 Sistema de riego Hidropónico actual Fuente Google Imágenes

¹⁹ La Aeroponía es un sistema de cultivo en el que las plantas se encuentran con sus raíces suspendidas en el aire dentro de una cámara de cultivo, sin medio, en un sistema de bucle cerrado. Las raíces de las plantas cuelgan en el aire y son rociadas con agua rica en nutrientes. Artículo [Guía de la Aeroponía para principiantes](https://elholandespicante.com/guia-de-aeroponia-para-principiantes/) <https://elholandespicante.com/guia-de-aeroponia-para-principiantes/>

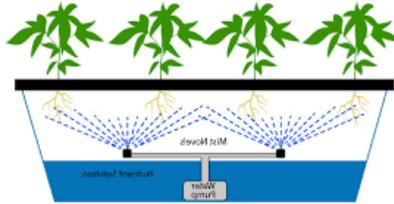


Ilustración 6.7 Sistema de riego Aeropónico

El principio básico de la Aeroponía es hacer crecer las plantas en un entorno cerrado o semicerrado, pulverizando las raíces colgantes y el bajo tallo con una disolución acuosa rica en nutrientes.

El futuro de la agricultura vertical

Las granjas verticales apiladas horizontalmente han existido durante más tiempo que las granjas verticalmente inclinadas y, como resultado, suelen estar mejor capitalizadas y son más aceptadas en los círculos agrícolas verticales tradicionales. Sin embargo, la producción de planos verticales se está poniendo al día rápidamente. Esto es especialmente cierto en el caso de un gran número de nuevas empresas agrícolas más pequeñas, que deben ser más flexibles. De hecho, el mayor crecimiento en la industria de la agricultura vertical está ocurriendo a una escala relativamente pequeña, en operaciones con menos de 200 m² de producción. Lo que la gente pensaba es que el crecimiento de esta tecnología iba encaminado a conseguir grandes producciones a escala, por el contrario, el crecimiento se está obteniendo en las pequeñas superficies.

Es probable que, en el futuro, estas granjas sean más pequeñas, más ampliamente distribuidas y mejor conectadas. Equipados con los conocimientos y herramientas adecuados, los agricultores verticales de hoy en día tienen mucho a su favor, para emprender y dar el salto a este tipo de agricultura. Los nuevos desarrollos en las prácticas agrícolas modernas, incluidas las innovaciones en iluminación LED (iluminación artificial en los cultivos) y controles ambientales, hacen que se espere un futuro prometedor.

7. Análisis de las perspectivas y retos de la agricultura vertical

Vivimos en un planeta donde los recursos son limitados, entre ellos la tierra cultivable. Mientras que la población va en aumento la cantidad de tierras agrícolas está disminuyendo. Además, para obtener terrenos cultivables estamos deforestando ecosistemas de forma desmedida y alarmante. Es por ello que la agricultura vertical cuya idea básica de

aprovechar el espacio hacia arriba se está volviendo bastante atractiva representando una alternativa interesante para producir alimentos en un futuro, pues hacia arriba nos sobra mucho espacio. Las ciudades actuales son completas junglas de acero y hormigón, donde las plantas no tienen lugar, pero gracias al desarrollo de la agricultura vertical se pondrían matar dos pájaros de un tiro, debido a que podríamos desarrollar producciones locales y crear ciudades más verdes donde las plantas vuelvan a tener cabida en nuestras comunidades.

Un problema que deberá solventar la agricultura vertical es como las plantas pueden aprovechar al máximo la energía solar, para maximizar la fotosíntesis. Además, con sistemas de iluminación adecuados las plantas no requieren estar expuestas a luz solar natural, sin que esto implique una disminución en la productividad y la calidad de las mismas. Los mayores avances de la agricultura vertical se están dando en Japón, Taiwán, Corea del Sur, Estados Unidos, China, Singapur y Holanda, con una mención especial a los países de oriente medio, como Israel.

Llegados a este punto del trabajo, salvo los dos gigantes mundiales China y EEUU, no nos debería sorprender la presencia de ninguno de estos países, porque todos estos que hemos citado tienen un contexto común, en el cual las capacidades agrícolas de los países no son las apropiadas, debido a la falta de tierra cultivable (Japón, Corea, Taiwán, Holanda), también responde a las necesidades de estos países de ser autosuficientes.

Actualmente, la superficie de agricultura que a nivel mundial es trabajada bajo algún sistema vertical no se conoce con exactitud, pero se sabe que cada vez hay más granjas verticales de pequeña y mediana escala.

La primera granja vertical del mundo comenzó operaciones en Singapur en 2012 y se le conoce como Sky Greens²⁰. Un año después en 2013 se inició en el mundo de la agricultura vertical la empresa Farmed Here²¹, a las afueras de la ciudad de Chicago, en Estados Unidos. Actualmente la granja vertical más grande del mundo se encuentra en Japón en una ciudad llamada Mirai.

²⁰ Los cultivos verticales de Sky Greens consisten en una serie de canaletas rotativas que se colocan en torres de hasta 9 metros de alto. En dichas torres se cultivan lechugas, espinacas y repollos chinos. Cada torre contiene 38 niveles de canaletas, además de ser un sistema que realiza un uso eficiente del agua y la energía.

²¹ La empresa Farm Here proporciona a unos 400 almacenes cercanos rúcula, col rizada, menta y albahaca. Destacando el hecho de que reutilizan el 97 por ciento del agua que la producción requiere.

Lo más reseñable de esta gigantesca granja vertical es que produce 100 veces más vegetales por metro cuadrado que una hectárea tradicional, utilizando 99 por ciento menos agua. En ella se producen lechugas de varios tipos y otros vegetales menor tamaño. Desde el 2013 muchísimas granjas verticales se han abierto, de entre todas ellas destaca: Aerofarms en EEUU, capaces de producir lechugas cada 16 días, teniendo una producción de 22 cosechas al año.

La agricultura vertical funciona, pero hay varias cuestiones a solucionar antes de convertirla es un sistema de producción mundial. Se tienen que abaratar las tecnologías requeridas en una granja vertical, también hay que romper ciertos paradigmas de los consumidores, y encontrar la manera de producir cualquier cultivo bajo un sistema vertical. Otro detalle es que muchos consumidores tendrían cierta oposición a consumir productos cultivados en granjas verticales, por el simple hecho de que una granja vertical es más parecida a un laboratorio que a un campo agrícola. Superar este reto será cuestión de tiempo. Poco a poco los consumidores se darán cuenta que la producción en granjas verticales implicará mayor seguridad alimentaria.

Un reto más que tienen las granjas verticales es la producción de cualquier tipo de cultivo, inclusive frutales. En este tema muchos investigadores consideran que conforme las tecnologías utilizadas en las granjas verticales se abaraten, la diversificación de cultivos irá ocurriendo. La solución inicial podría radicar en cultivar árboles a nivel del suelo y en niveles superiores meter cultivos de porte pequeño. Los proyectos de las granjas verticales en su mayoría están un poco lejos de ser realidad, pero tarde o temprano algún proyecto de este tipo se tiene que convertir en algo tangible. Por ahora hablamos de conceptos, pero con las primeras granjas verticales demostrando sus ventajas, pronto estaremos hablando de proyectos de mayor magnitud.

Este apartado debería terminar con un análisis DAFO, y análisis de las ventajas y desventajas, pero para su correcta lectura y comprensión daremos un salto al tema de la iluminación artificial para poder tener una idea más general del tema en cuestión.

8. La iluminación y las plantas

Durante gran parte de nuestra historia, nuestros avances en la iluminación han sido desarrollados de manera conjunta con la máxima de mejorar nuestra calidad de vida, es decir; pasaba por iluminar los lugares por los cuales nosotros transitábamos: ciudades, parques, carreteras, casas, campos de fútbol etc. Siempre era pensando en nuestro bienestar. Hoy en día, debido a los grandes avances; hemos descubierto que no somos los únicos que necesitamos la luz; sino también como canalizar la luz necesaria para poder mejorar los efectos de la misma en los diferentes seres que la necesitan. Uno de esos seres vivos son las plantas.

Las plantas necesitan luz para crecer, desarrollarse e incluso reproducirse en algunos casos. Las plantas reciben la luz del Sol, pero no toda la luz solar que llega a la superficie de la Tierra es vital para el crecimiento de las plantas. De hecho, la luz necesaria para el crecimiento saludable de las plantas solo constituye una pequeña parte del espectro electromagnético proporcionado por el sol, la cual nosotros conocemos como luz visible.

La energía para realizar o provocar las reacciones metabólicas asociadas al crecimiento, desarrollo y reproducción de las plantas es la clave más importante. No obstante, las plantas no pueden utilizar la energía de la luz solar directamente para sus necesidades metabólicas, necesita una transformación, es decir, esta primero debe ser recogida o captada por el organismo y después ha de ser transformada para convertirla en energía química a través del proceso de la fotosíntesis. Por lo tanto, para una iluminación artificial óptima y eficiente nos tenemos que centrar en el crecimiento (desarrollo y reproducción) de las plantas y en el proceso de la fotosíntesis, que son los dos factores íntimamente relacionados con la luz.

9. Crecimiento y desarrollo de las plantas

Las plantas como todos los seres vivos, tienen los mismos patrones de comportamiento, nacen, crecen se reproducen y mueren. Esto es común a todos los organismos de la Tierra, pero no todos los seres vivos tienen los mismos modos de desarrollarse (crecimiento).

9.1 Etapas de crecimiento de las plantas

Al igual que los humanos, las plantas en función de donde se encuentren y el tipo de planta que sean van a necesitar diferentes tipos de no solo iluminación, sino de riego, nutrientes, humedad etc. Aquí surge el concepto de receta de cultivo²². La forma más sencilla de describir el crecimiento de las plantas es en 3 etapas:

Germinación de la semilla

El ciclo de vida de las plantas comienza con una semilla. Cada semilla contiene un embrión. El exterior duro de la semilla se llama cubierta y protege al embrión. La cubierta de la semilla se derrite con la humedad y permite que el proceso de germinación continúe hasta la etapa de plántula. Las tres condiciones básicas para un buen comienzo de la germinación son la luz, el agua y el calor, pero siempre en cantidades muy pequeñas ya que en esta todavía son vulnerables.

Fase vegetativa (crecimiento)

Esta etapa comienza cuando el sistema radicular puede soportar el crecimiento de la misma. Su duración varía en función del tipo de planta, pero la comunidad científica estima entre 3 y 16 semanas. Durante este periodo, las plantas están ocupadas llevando a cabo un proceso llamado fotosíntesis (que ahora comentaremos detenidamente). En esta fase acumulan recursos que serán necesarios para la floración y la reproducción. El crecimiento durante esta etapa es llamado crecimiento vegetativo debido a que se da principalmente en las áreas del tallo, las ramas y las hojas.



Ilustración 9.1 Fase crecimiento Vegetativo en las lechugas (Lactuca Sativa). Fuente Google Imágenes. El nitrógeno es importantísimo para producir clorofila (el pigmento verde de una hoja) para cuando surjan las hojas iniciales de la semilla. El nitrógeno se encuentra de forma natural en los suelos sanos Nutrientes necesarios para el cultivo de las plantas

²² El termino receta de cultivo se refiere al conjunto de parámetros necesarios para el óptimo crecimiento de la planta , donde se juega con los distintos valores de humedad, riego , iluminación , temperatura y nutrientes para cada tipo de planta , en cada fase del proceso de crecimiento.

Etapa de reproducción, floración y fructificación

Esta es la etapa final del crecimiento de la planta y ocurre cuando una flor o planta madura está lista para reproducirse. Como el objetivo ahora es hacer nuevas plantas, todos los nutrientes absorbidos se dirigen a la producción de flores, frutos, polen y semillas.



Ilustración 9.2 Fase de floración del Melón (Cucumis Melo). Fuente Google imágenes

Para completar esta etapa de crecimiento, es necesario producir más alimentos y energía. Ahora hay que aportar otros nutrientes a la planta, como el fósforo y el potasio (P-K), ya que el nitrógeno ya no es el principal nutriente que necesita.

Las plantas siguen comportamientos completamente ligados a las estaciones; a medida que el verano llega a su fin, la cantidad relativa de luz roja recibida en la Tierra tiende a aumentar. Muchas plantas han evolucionado para utilizar este fenómeno como una señal para pasar del modo de crecimiento vegetativo al modo de reproducción (floración, fructificación). Las horas de luz en el día, van cambiando en función de si estamos en verano (más luz más intensa) o en invierno (menos luz menos intensa), también pasa lo mismo con la temperatura y la humedad. Todos estos cambios son indicadores para las plantas que las envían estímulos que conllevan una acción que afecta a la fase de crecimiento de la misma.²³

Por tanto, la iluminación artificial, pasa por suministrar un tipo específico de la luz apto para que cada planta en cada etapa de su crecimiento de manera óptima. Es decir, partiendo de las distintas etapas de crecimiento de las plantas se crean recetas lumínicas que estimulan las distintas etapas desde la germinación hasta la floración.

²³ Los seres humanos son los únicos seres vivos, que han eliminado el componente estacional de sus vidas (el caso más recurrente es la reproducción).

9,2 La fotosíntesis

La mayor parte de la vida en la Tierra depende de la fotosíntesis. El proceso es llevado a cabo por las plantas, las algas y algunos tipos de bacterias, que captan la energía de la luz solar para producir oxígeno (O₂) y energía química almacenada en la glucosa (azúcar) durante la fotosíntesis, las plantas toman dióxido de carbono (CO₂) y agua (H₂O) del aire y del suelo.

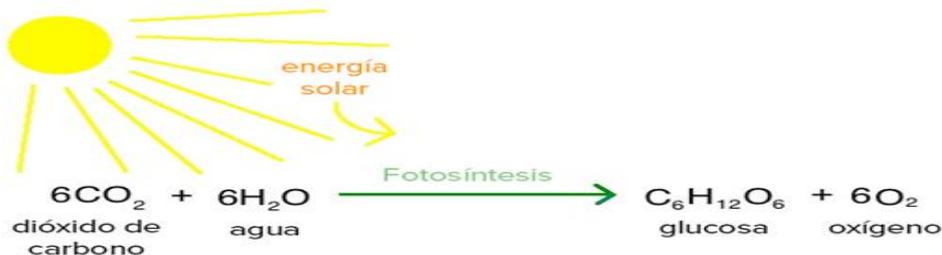


Ilustración 9.3 Proceso químico de la Fotosíntesis. Fuente Google Imágenes

La fotosíntesis es “el proceso en el cual la energía de la luz se convierte en energía química en forma de azúcares”. En un proceso impulsado por la energía de la luz, se crean moléculas de glucosa (y otros azúcares) a partir de agua y dióxido de carbono, mientras que se libera oxígeno como subproducto”

La luz del sol es captada por las plantas a través de los fotorreceptores, dentro de los mismos distinguimos varios tipos como:

- Fototropinas; son receptores de luz azul que controlan una serie de respuestas que sirven para optimizar la eficiencia fotosintética de las plantas.
- Fitocromos, son más sensibles a la región roja e infrarroja del espectro de luz.
- Criptocromos, son fotorreceptores que regulan la sincronización con la luz de los ritmos circadianos en plantas y animales²⁴.
- Los carotenoides son pigmentos que se distribuyen en las plantas (pero también en las bacterias fotosintéticas, algunas especies de arqueas y hongos, algas, y animales
- Clorofila. En el interior de la célula vegetal hay unos pequeños orgánulos llamados cloroplastos, dentro de los mismos hay un pigmento que absorbe la luz, llamado clorofila, que es el

²⁴ Los ritmos circadianos son cambios físicos, mentales y conductuales que siguen un ciclo de 24 horas. Estos procesos naturales responden, principalmente, a la luz y la oscuridad, y afectan a la mayoría de seres vivos, incluidos los animales, las plantas y los microbios

responsable de dar a la planta su color verde. Transforma la energía de la luz solar en energía química.

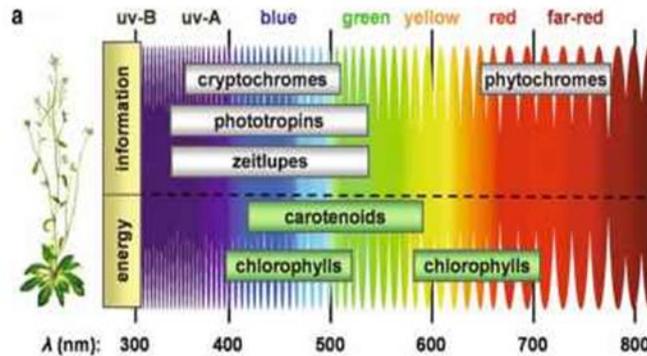


Ilustración 9.4 Los Fotorreceptores Fuente Google Imágenes

Los fotorreceptores son moléculas o complejos moleculares capaces de: activarse por fotones de determinadas longitudes de onda

10. iluminación Artificial (LEDS)

Un led²⁵ es un diodo semiconductor que, cuando recibe tensión, genera luz. Un diodo, a su vez, es una válvula de dos electrodos que permite el paso de la corriente eléctrica en un único sentido. Es una fuente lumínica que cuando se le aplica tensión a alguna de sus dos terminales, la recombinación de sus electrones provoca la liberación de energía en forma de fotones. Hace solo 10 años, los LED aún no habían encontrado un lugar en el mercado de la horticultura. El alto precio, combinado con resultados decepcionantes, hizo que los agricultores más serios evitaran los LED en cualquiera de sus proyectos hortícolas. Hoy en día, las cosas son muy diferentes.

Ahora los leds son tan útiles debido a que son capaces de reproducir ondas de luz particulares y estas son absorbidas más fácilmente por las plantas durante la fotosíntesis y son utilizadas con más frecuencia por las plantas que otros espectros; también ofrecen la capacidad de experimentar con la forma en que las plantas responden a proporciones particulares de longitudes de onda de luz (Básicamente esto es personalizar la iluminación para cada tipo de planta)

²⁵ Definición de led , y principales características, consultado en la prestigiosa pagina de iluminación Barcelona Led . <https://www.barcelona-led.com/blog/informacion-led/caracteristicas-y-ventajas-de-los-diodos-led/>

Las ventajas más destacables del uso de los leds son:

- Geometría: Las luces LED se pueden colocar más cerca de las plantas porque los LED funcionan más fríos, este no es esencial en iluminación, pero es un beneficio muy importante a la hora de aplicar a los cultivos verticales, puesto que permite reducir el espacio y aumentar la producción.
- Eficiencia: La eficiencia eléctrica de los LED es mucho mayor que otras luces de cultivo.
- Durabilidad: La vida útil de un LED se define como el tiempo que tarda en caer al 70% de su valor original, es decir unas 50000 horas.
- Calidad espectral²⁶: La calidad espectral de una fuente de iluminación LED cuidadosamente elegida puede tener efectos positivos en la anatomía de las plantas, la morfología y el desarrollo de patógenos.

11. luz visible para las plantas

Los humanos solo pueden detectar longitudes de onda del espectro de luz visible (380-740nm). Las plantas, por otro lado, detectan longitudes de onda, incluida nuestra luz visible y más allá, para incluir los espectros ultravioletas y rojos lejanos (infrarrojos).

11.1 Región PAR

Radiación fotosintéticamente activa (PAR) es la cantidad de luz disponible para la fotosíntesis, designa el rango espectral (banda de ondas) de la radiación solar de 400 a 700 nanómetros que los organismos fotosintéticos son capaces de utilizar en el proceso de fotosíntesis; cambia estacionalmente y varía según la latitud y la hora del día. (Los niveles son mayores durante el verano, al mediodía). La PAR es una región que alberga todas las longitudes de onda de la luz que afectan / estimulan positivamente a la fotosíntesis, que es el proceso que regula el crecimiento, desarrollo y reproducción de las plantas. Al encontrarse este rango entre las 400nm y los 700nm, no tiene sentido centrarse en espectros que se encuentren fuera de esta región puesto que no va a afectar a la fotosíntesis y por tanto no va a estimular el crecimiento,

²⁶ La calidad espectral, es la capacidad que posee el led , de " moverse " por todas las regiones del espectro de la luz visible suministrada por el sol , para poder iluminar con una longitud de onda y objetivo determinados.

desarrollo o reproducción de las mismas.²⁷ Uno de los requisitos para que las tierras de cultivo sean productivas es una PAR adecuada, por lo que la PAR se utiliza para evaluar el potencial de inversión agrícola. Esto se mide, debido a que el sol no tiene los mismos niveles de irradiación a lo largo y ancho del planeta tierra, y las condiciones climáticas afectan a los distintos niveles de irradiación mermándola.

En un país como China la calidad de la luz puede verse afectada por la mala calidad del aire fruto de la contaminación, haciendo que se origine una neblina perjudicial para la irradiación solar. En una zona como por ejemplo la de Inglaterra, cuyo clima es predominantemente nublado, la intensidad de la luz va a ser diferente que un lugar como Marruecos, con un clima de cielos predominantemente despejados. Pero como ya hemos visto anteriormente no es importante un factor sino la combinación de los mismos, sorprendentemente el mejor lugar del mundo en irradiación solar está en la campiña francesa, muy cerca de la ciudad de Limognnes, los suelos más ricos y fértiles se encuentran en Ucrania y como es bien sabido la mejor climatología se encuentra en España.

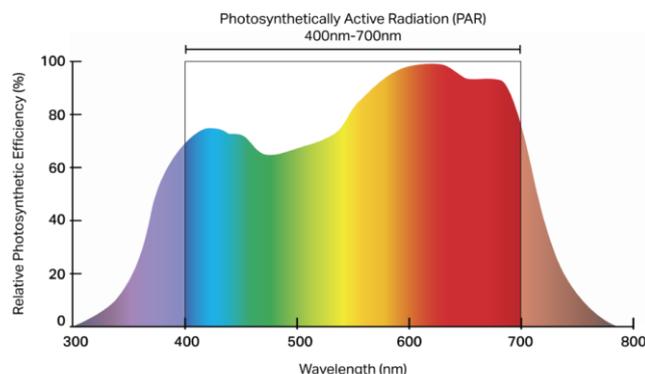


Ilustración 11.1 Región PAR. Fuente Google Imágenes

Radiación fotosintéticamente activa PAR es el espectro de luz (específicamente 400-700 nm, que son las principales longitudes de onda de la luz utilizadas para impulsar la fotosíntesis).

12 colores y espectros en las plantas

La luz afecta el crecimiento de las plantas de varias maneras vitales. En particular, hay tres tipos principales de energía que ayudan a una planta a alcanzar una salud óptima: luz visible (PAR), luz ultravioleta y radiación infrarroja. El espectro

²⁷ Cabe destacar que los últimos estudios reflejan que hay determinados espectros fuera de la región PAR, que tienen un efecto positivo en las plantas como es el caso de aplicar espectros de luz ultravioleta y espectros infrarrojos.

de luz de cultivo ideal para las plantas depende de varios factores. En estos factores se incluyen cómo las plantas específicas usan la luz del espectro PAR para la fotosíntesis, pero también las longitudes de onda fuera del rango de 400-700nm. (Esta luz puede ayudar a acelerar la floración, aumentar la nutrición, acelerar la tasa de crecimiento, etc.)

12.1 Fuera de la Región PAR

Espectro de la luz ultravioleta (100-400nm): Se divide en : radiación UV-A que va de 315 a 400 nm y puede ayudar a las plantas a producir un crecimiento robusto de las mismas, radiación UV-B que va de 280 a 315 nm y evita que las infecciones por hongos se propaguen entre los cultivos.²⁸ y la radiación UV-C que va de 100 a 280nm y es perjudicial para los seres vivos.

Radiación infrarroja (IR): También conocido como espectro de luz roja lejana (700–850 nm), no es necesaria para la fotosíntesis, pero produce calor que es utilizado por las plantas de dos maneras diferentes:

Promueve la floración y en ciertas plantas aumenta el rendimiento de la fruta: La radiación infrarroja estimula el desarrollo de la planta: la distribución de las hojas, el crecimiento del tallo y el crecimiento reproductivo.

Aumenta el crecimiento de las plantas(Conocida como respuesta de evitación de la sombra²⁹): A partir de 730 nm y más allá, es decir, una mayor proporción de luz roja lejana, una planta detectará la "sombra" clara de otra planta u hojas más arriba del dosel, por lo que se produce el estiramiento de tallos y hojas, aumentando así su crecimiento

²⁸ Se ha demostrado que la aplicación de pequeñas cantidades de UV-A y UV-B puede llevar consigo efectos beneficiosos sobre el color, aspecto, valor nutricional, sabor y el aroma de las plantas. Si bien los beneficios del uso de la luz ultravioleta en la horticultura aún se están investigando, la luz UV a menudo se asocia con una coloración púrpura más oscura. La investigación muestra que los hongos y las plagas pueden reducir o eliminar el estrés ambiental utilizando cantidades controladas de UV.

²⁹ Las plantas que compiten por la luz solar se cubren entre sí, ya que su carrera hacia el sol hace que crezcan más altas y se extiendan más. Después las plantas cubiertas recibirán una luz filtrada que contiene altos niveles de luz infrarroja; indicándole a la planta que necesita crecer a un ritmo más rápido y reposicionarse en un lugar donde una vez más está recibiendo cantidades óptimas de luz solar, un fenómeno que resulta en un rápido crecimiento.

12.2 En la región PAR

Espectro de luz azul (400–500 nm)

El espectro de luz azul³⁰: es esencial para las plantas jóvenes durante las etapas vegetativas, ya que establecen una estructura saludable de la raíz y el tallo, y es especialmente importante cuando se debe reducir el estiramiento del tallo.

Espectro de luz verde (500–600 nm)

Las longitudes de onda verdes se han catalogado como menos importantes para la fotosíntesis de las plantas dada su “incapacidad” para absorber fácilmente la clorofila en comparación con los espectros de luz roja o azul; pero cobra importancia en los cultivos verticales, puesto que además de ser necesaria para ciertos aspectos de la planta, permite identificar cualquier problema, en los cultivos, ya que la ausencia de esta hace que la luz que se ve al ojo humano sea un violeta oscuro.

Espectro de luz roja (600–700 nm)

Se sabe que la luz roja³¹ es el espectro de luz más efectivo para estimular la fotosíntesis. La luz roja fomenta el crecimiento del tallo, la hoja y el crecimiento vegetativo en general, pero más comúnmente, el estiramiento de las hojas y las flores³²

Iluminación combinada rojo-azul

Si bien no hay un espectro de luz de crecimiento LED específico para las plantas en particular, la proporción de luz roja y azul es muy importante para maximizar el crecimiento y la tasa de fotosíntesis. Llegando algunos a

³⁰ Las plantas absorben la luz azul en el rango de aproximadamente 400 a 450 nm. Un tipo de LED en particular que es perfecto para cumplir con estos requisitos de longitud de onda: el ultra azul (430 nm), que consiste en un sustrato hecho de los materiales semiconductores carburo de silicio y nitruro de galio.

³¹ Hay dos en particular que son muy adecuados para aplicaciones de luz de crecimiento. Estos son ultra rojos (660 nm), que están fabricados a partir de arseniuro de galio y aluminio, y rojo de alta eficiencia (635 nm), que utilizan fosfuro de arseniuro de galio y fosfuro de galio

³² Un emparejamiento equilibrado con luz azul es necesario para contrarrestar cualquier estiramiento excesivo, como el alargamiento del tallo desfigurado. Es importante tener en cuenta que, si bien el rojo es el espectro de luz más sensible para las plantas, su eficacia realmente interviene cuando se combina con otras longitudes de onda PAR

afirmar que solo la combinación de rojo y azul es suficiente para un crecimiento saludable de la planta.

Fotoperiodo

¿Cuántas horas de luz necesitan las plantas? Las plantas pueden clasificarse en tres grupos según sus características de fotoperíodo plantas de día corto, largo y neutro. Las plantas de día corto requieren un largo período oscuro (12 horas o más) para inducir la floración. Las plantas de día largo, en cambio, florecen cuando la duración del día es mayor que la del periodo nocturno, a menudo se utiliza un fotoperiodo de 16-18 horas para inducir la floración. Las plantas de día neutro florecen independientemente del fotoperiodo y a menudo la inducción de la floración está relacionada con el tamaño de la planta más que con un fotoperiodo fijo.

13. FPIA (Fabrica de plantas con iluminación artificial)

La combinación de los cultivos verticales, junto con la implementación de la iluminación artificial en un área de cultivo donde las condiciones ambientales están controladas se denomina entre la comunidad científica PFAL, en español FPIA. Dentro de las grandes ventajas y características de las PFALS encontramos las siguientes:

Uso altamente eficiente de los recursos³³:

Los recursos se entienden como aquellos que generan las condiciones óptimas para el desarrollo de la vida de las plantas, estas condiciones se alteran en función de los objetivos empresariales, rentabilidades, especies y variedades de las plantas y nivel de producción a conseguir. Los recursos óptimos para la vida de las plantas en una PFAL son la energía lumínica (iluminación led), el CO₂, climatización, el agua, los fertilizantes (nutrientes), las semillas/trasplantes y la mano de obra.

Dentro del uso eficiente de los recursos esenciales, el más importante no porque afecte notablemente a la rentabilidad del proyecto, sino por su importancia sustancial para nuestra vida y su futuro incierto; es el uso eficiente

³³ El uso eficiente de los recursos se entiende como el resultado de dividir los recursos que realmente son usados por las plantas entre los recursos que se suministran a las mismas

del agua³⁴. El uso eficiente del agua es entendido como el cociente entre, la cantidad de agua retenida por las plantas dividida por la cantidad de agua suministrada a las mismas y que es retenida por las raíces³⁵. Uno de los grandes objetivos y avances de las PFAL es que son herméticas, lo que implica que todo el agua transpirada o no absorbida por las plantas se condensa y es recogida y puesta de vuelta en los tanques de los sistemas de irrigación. Debido a un altísimo porcentaje de uso eficiente del agua se consigue un 95% de ahorro de agua lo que supondría una gran ventaja para la aplicación de este tipo de instalaciones en las regiones áridas y otras zonas con escasez de agua del mundo.

Las eficiencias de CO₂ y de fertilizantes del PFAL también son relativamente altas. Con los nutrientes pasa algo parecido al agua, van disueltos en el agua y el agua se suministra con el sistema de irrigación, por lo que al igual que pasa con el agua, los nutrientes no se absorberán al 100%, por tanto, lo que no se absorba retornara a los tanques de los sistemas irrigación³⁶.

Altísima productividad por m²:

La productividad anual obtenida por unidad de superficie en metros cuadrados puede llegar a multiplicar por 100 a la obtenida en sistemas tradicionales. Esta alta productividad está sustentada principalmente debido al uso de multicapas (diez niveles de media), a la reducción del periodo de cultivo (a menudo a la mitad) mediante un control ambiental óptimo, a la alta eficiencia en el uso de la superficie (no hay espacio de cultivo vacante durante todo el año), a la alta densidad de plantación y a la ausencia casi total de daños causados por el clima y los insectos plaga³⁷

Alto porcentaje de peso fresco comercializable:

El porcentaje de partes comercializables se aumenta mediante el método de control ambiental, la selección de la variedad y la aplicación de

³⁴ El consumo de agua de las plantas en las PFAL se mide por la cantidad en litros de agua destinados al sistema de irrigación de las plantas menos la cantidad de litros de agua que vuelven a los sistemas de irrigación (los tanques).

³⁵ Aproximadamente el 5% del agua absorbida por las plantas se fija y el 95% restante es transpirado por las hojas o drenada en algún lugar sin ser absorbida por las raíces.

³⁶ Los nutrientes solo se verterán al desagüe en los casos de acumulación de iones (Cl, Na+,.), que no son bien absorbidos por las plantas

³⁷ "La productividad anual del PFAL con 15 niveles se estima aproximadamente en 200 kg m² (peso fresco de los productos comercializables)" Aerofarms

espectros personalizados de iluminación. Actualmente, los porcentajes de peso fresco de las partes frondosas es de un 77-80%.

Producción de plantas de altísima calidad y de gran valor añadido:

También se realiza mediante un control ambiental adecuado, la selección de cultivos y el sistema de cultivo. La forma/apariencia, el sabor y la sensación en boca, así como la composición nutricional, como las vitaminas, los polifenoles y los minerales, pueden controlarse, gracias a entre otras cosas la iluminación led. La mayoría de estos factores se siguen controlando por ensayo y error, hasta dar con la configuración adecuada.

Alta capacidad de control del entorno:

Los factores ambientales controlados incluyen la temperatura, la concentración de CO₂, la calidad de la luz (distribución espectral), el ciclo de iluminación (fotoperiodo/periodo de oscuridad) y la velocidad de la corriente de aire. Los factores del control del riego incluyen el pH del agua, la concentración de O₂ disuelto y el caudal de la solución nutritiva, así como la forma y fuera del suministro de la misma.

Alta previsibilidad del rendimiento y la calidad:

Gracias a la gran capacidad de control del entorno durante todo el año, es posible la producción de plantas programada y/o a la carta, independientemente de las condiciones meteorológicas.

Alta trazabilidad de los productos y adaptabilidad³⁸ para la ubicación (cerca o en tiendas de comida/reparto, etc.):

Son adecuados para las zonas urbanas en las que el lugar de producción está cerca del lugar de consumo (producción local para el consumo local). Esto ahorra combustible, tiempo y mano de obra para el transporte de productos frescos y crea oportunidades de trabajo para discapacitados, ancianos y jóvenes en su zona de residencia o cerca de ella.

Alto control de las condiciones sanitarias:

Se producen plantas libres de pesticidas y otros contaminantes. Las BPA (Buenas Prácticas Agrícolas) y/o el APPCC (Análisis de Peligros y Puntos

³⁸ El PFAL puede construirse sin problemas en zonas de sombra, en suelos contaminados o infértiles, y en habitaciones/edificios/terrenos vacíos en zonas urbanas. El PFAL también puede construirse en zonas muy frías, áridas o calurosas.

Críticos de Control) pueden introducirse con relativa facilidad, por lo que puede alcanzarse un alto nivel de gestión de riesgos.

Larga vida útil³⁹:

Debido a las bajas UFC (unidades formadoras de colonias de microorganismos), lo que disminuye la cantidad de basura vegetal o la pérdida en casa y en tiendas. No es necesario lavar ni cocinar antes de servir, si se envasa en un paquete sellado después de la cosecha en la sala de cultivo⁴⁰.

Trabajo ligero y seguro:

Bajo una temperatura de aire agradable y un movimiento de aire moderado, se podrá trabajar en un entorno estable los 365 días del año, lo cual supondrá un importante beneficio en las condiciones de vida de los trabajadores. Todavía se puede mejorar aún más el entorno de trabajo, tanto en las grandes plantas de producción de alimentos automatizadas como en las pequeñas.

14. Claves del Éxito

La agricultura vertical es un espacio confuso. Hay cientos de granjas que se dedican a la agricultura, docenas de métodos que se utilizan y un sinnúmero de opiniones que cuestionan y critican. Con tal variedad de granjas verticales es difícil determinar las mejores prácticas. Los agricultores deben implementar un sistema de cultivo que reduzca los costos de mano de obra y no requiera una costosa tecnología de automatización para ser económicamente viable; y para ello nos tenemos que enfocar en:

Centrarse en una sola cosa⁴¹

Los nuevos agricultores deben entender que su único objetivo es vender buena comida para deleitar a sus clientes con alimentos frescos y locales. La gran consigna de este sector es que hay que desarrollar el producto, no la industria (ya que esta se suele desarrollar de forma natural).

³⁹ Se calcula que la vida útil de las lechugas es aproximadamente dos veces mayor cultivadas en el PFAL que las cultivadas en el campo

⁴⁰ Esto reduce el consumo de agua para el lavado, de electricidad/gas para hervir, sofreír o cocer, y de mano de obra para lavar.

⁴¹ Una trampa común de muchas granjas verticales es intentar cultivar alimentos para el mercado mientras producen y venden la tecnología que están utilizando para cultivar sus alimentos

La mano de obra es siempre el mayor costo.

No se deben pasar por alto los costes laborales⁴². No se puede ignorar la ergonomía y diseñar la granja para un trabajo manual eficiente que facilite la siembra, inspecciones, mantenimiento y cosecha. La mano de obra representa gran parte del costo de producción, racionalizar y simplificar el proceso tendrá un tremendo impacto en los costos de mano de obra, especialmente en instalaciones más grandes.

Accesibilidad.

Las granjas verticales deben ser vistas y tocadas fácilmente. Puedes encontrar este tipo de accesibilidad en planos verticales, que son de fácil acceso visual, y sistemas modulares, que son de fácil acceso físico.

Automatización

Los equipos de automatización requieren inversiones masivas de capital para construir y mano de obra altamente calificada para operar. La clave diseñar un sistema que no necesite una automatización para funcionar económicamente. Una vez más, todo vuelve a la accesibilidad.

Agricultura como proceso (Si Maoma no va a la montaña)

¿Qué pasaría si empezáramos a tratar las verduras y otros productos como un producto manufacturado? Si lo hiciéramos, el producto se movería hacia y a través de procesos como la siembra, el recorte, el control y mantenimiento de plagas, la cosecha, etc., en lugar de permanecer estacionado y que los trabajadores trajeran esos procesos al producto. En un proceso de fabricación, el producto se mueve de un proceso a otro hasta que se realiza (ya no es el trabajador quien se mueve). Cultivar en ambientes controlados y con una nutrición vegetal adecuada permite a los agricultores modernos producir cultivos con una consistencia y calidad asombrosas, el verdadero problema es cómo ejecutar las operaciones de cultivo de manera eficiente al tiempo que se minimiza los costos. Al tratar la agricultura como un proceso, nos centramos en destinar menos recursos económicos para la consecución de un producto de igual calidad y cantidad.

⁴² Si bien los salarios son relativamente bajos, el salario medio de una persona oscila entre 8 y 15 euros la hora.

15. Análisis DAFO

En este capítulo analizaremos las fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas para el desarrollo de la industria de los cultivos verticales, en concreto las PFALS.

15.1 Fortalezas⁴³

Dentro de las fortalezas destacan:

Eficiencia superior: (se analiza sobre 3 recursos principales)

El primer recurso será el uso del agua⁴⁴. Los usos de agua de una granja vertical han disminuido, debido a sistemas hidropónicos y aeropónicos que entregan agua con nutrientes directamente a las raíces de los cultivos, a un 95% menos de lo que se usa en una granja convencional (AeroFarms, 2018). Utilizando un sistema hidropónico cerrado, el agua con nutrientes se recicla. El circuito cerrado garantiza que el agua que no es absorbida por los cultivos volverá al embalse para ser utilizada nuevamente. Según AlShrouf (2017) un sistema aeropónico utiliza un 98% menos de agua que una granja convencional.

El segundo recurso será el tiempo de crecimiento de los cultivos⁴⁵. Se ha demostrado que el tiempo de crecimiento de los cultivos en las granjas verticales es mucho más corto que para una granja o invernadero convencional. AeroFarms afirma que en promedio están cultivando sus cultivos en dieciséis días, lo que de otra manera toma treinta días en una granja convencional. AeroFarms declaró en la revista especializada en alimentos

⁴³ Cuando se busca una ventaja competitiva de la granja vertical, se debe buscar "eficiencia superior, calidad superior, innovación superior y capacidad superior "

⁴⁴ La AAV (2015) declaró que el 70% del agua dulce que está disponible para uso humano se utiliza para cultivar alimentos y criar animales. Al cultivar en una granja vertical, el uso de agua será menor que el utilizado en la agricultura convencional o en un invernadero, lo que significa que habrá más agua disponible para el uso humano.

⁴⁵ Freight Farms (2017) descubrió que los rendimientos anuales comercializables de lechuga en una granja vertical son más del doble que los rendimientos comercializables para una granja convencional. Esto se debe en gran parte al corto tiempo de crecimiento de los cultivos de una granja vertical.

(Chang, 2017) que su productividad por pie cuadrado es 130 veces mayor que una granja convencional y 10 veces mayor que un invernadero.⁴⁶

El tercer recurso será la pérdida de rendimiento^{47 48}. La temperatura supone el 39% de las pérdidas de cosechas. Un agricultor no tiene influencia en la temperatura, por lo que cuando esta resulta desfavorable (poco óptima) causa malas cosechas. Las precipitaciones son responsables del 20% de las pérdidas de las cosechas. Cuando hay suficiente precipitación durante toda la temporada de crecimiento, esto reduce la tasa de fracaso de los cultivos, pero cuando hay temporadas enteras sin precipitaciones o con demasiadas, la tasa de fracaso de los cultivos es alta. Un ejemplo claro es el periodo de sequía que hemos padecido en la península ibérica. El suelo es el responsable del 5% de la pérdida de las cosechas, debido al agotamiento, la contaminación o la falta de nutrientes.⁴⁹ Estos tres factores, la temperatura, la precipitación y los suelos, que causan la pérdida de cosechas probablemente no ocurrirían en situaciones de cultivos verticales debido a que los agricultores pueden regular la temperatura, el uso del agua y los cultivos también se cultivan sin suelo. Los cultivos de una granja al aire libre están sujetos a varios niveles de ataques de virus, bacterias y plagas de plantas, lo que a menudo resulta en pérdidas de alto rendimiento debido a la pérdida de cultivos. La probabilidad de fracaso de los cultivos debido a bacterias, plagas y virus será muy pequeña cuando se cultivan cultivos en una granja vertical.

De los cultivos cosechados, alrededor del 30% se pierde durante el almacenamiento y el transporte. En una granja vertical, ese porcentaje se reduce porque la distancia de transporte es mucho más corta, debido a que las granjas verticales se colocarán en las ciudades; asegurando que los cultivos

⁴⁶ Se realizó una investigación donde compararon el rendimiento de lechuga por unidad de área de una granja vertical contra una invernadero. Se utilizó iluminación artificial tanto para el invernadero con un sistema hidropónico como para la granja vertical, todos los cultivos recibieron la misma solución nutritiva y la misma cantidad diaria de agua. El resultado de esta investigación muestra que una granja vertical produce 13,8 veces más cultivos en el mismo espacio de cultivo que un invernadero utilizando un sistema hidropónico (Touliatos et al., 2016).

⁴⁷ Según AAV (2015) el 50% de los cultivos plantados no se cosechan en la agricultura tradicional frente al 10% con la agricultura vertical

⁴⁸ Mendelsohn (2007) encontró que el 59% de la pérdida de cosechas se debe a la temperatura, la precipitación y los suelos.

⁴⁹ En este porcentaje se dejan al margen los barbechos, que son tierras que se dejan sin sembrar durante uno o varios ciclos vegetativos para que descanse y recupere riqueza. Esto lógicamente supone una pérdida de productividad, puesto que el agricultor nunca va a operar en términos de maximización de la producción

no estarán en un camión por mucho tiempo. Respecto al almacenamiento, también se reduce porque los cultivos de una granja vertical se venderán casi de inmediato.

Calidad

La calidad se analizará por el factor calidad del producto, por lo que en este caso esta será la calidad de los cultivos. Los cultivos de una granja vertical tienen un alto nivel de seguridad alimentaria, porque no se utilizan pesticidas.⁵⁰ Las granjas verticales pueden asegurar la más alta calidad de los cultivos, ya que pueden dar la cantidad perfecta de agua con los mejores nutrientes e influir en el sabor y la textura, creando las circunstancias perfectas para hacer crecer los cultivos.⁵¹ Al crear la circunstancia perfecta para cultivar un cultivo, una granja vertical puede garantizar que su calidad sea mayor que los cultivos de una granja convencional o invernadero.

Innovación

Las granjas verticales utilizan computadoras climáticas inteligentes con las que pueden regular la iluminación, la temperatura, el riego y la humedad del aire, todo mientras son energéticamente eficientes, además de estar continuamente recogiendo datos. Esto provocaría la existencia de un Know-how integrado en la empresa que se culminaría con la consecución de una capacidad de respuesta de problemas y previsión de los rendimientos. (Asegurar una producción homogénea).

Por último, en relación con el cliente, se ha demostrado que la calidad del producto es el impulsor más importante para la satisfacción del cliente. Si la calidad de un cultivo de una granja vertical es mayor que la de un cultivo de una granja convencional, la satisfacción del cliente será mayor que con los cultivos de una granja vertical⁵².

⁵⁰ Esto no significa que los cultivos de invernaderos no sean seguros, porque según la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria el riesgo de usar pesticidas en los cultivos para los consumidores es bajo (Carvalho, 2017).

⁵¹ Según Philips (2015) sus luces LED pueden garantizar un cultivo de mayor calidad donde se puede regular el color, el sabor, la textura, el crecimiento e incluso el contenido de vitaminas de un cultivo mediante el uso de las mismas.

⁵² Productos que se cultivan localmente, con semillas no transgénicas, usando menos fertilizantes, cero pesticidas, herbicidas, fungicidas y, en general, cultivados de manera duradera; teniendo una vida útil más larga y los controles de seguridad alimentaria más altos posibles desde la semilla hasta el paquete.

Cuando se observa el uso de combustibles fósiles, una granja vertical utiliza mucho menos que una granja convencional al aire libre o invernadero. Una granja vertical utiliza pocos combustibles fósiles para cosechar y transportar sus cultivos debido a que los alimentos se cultivarán localmente en la ciudad y de esta manera los alimentos no tienen que recorrer grandes distancias. Tampoco en una granja vertical se utiliza maquinaria impulsada por combustibles fósiles.

15.2 Debilidades

Dentro de las debilidades destacan:

Poca gama de productos:

Al observar los cultivos que son los más adecuados para crecer en una granja vertical, debemos pensar en cultivos que no necesitan mucho espacio para crecer. Por ejemplo, la lechuga, las setas o las hierbas son cultivos perfectos para una granja vertical. También hay numerosos cultivos que no son posibles o serán difíciles de cultivar en una granja vertical. Por ejemplo, las frutas provenientes de árboles frutales. Se puede decir que el ancho de la mezcla de productos es estrecho, porque las granjas verticales cultivan principalmente lechuga y hierbas⁵³. Los costos totales de una granja vertical, al ser demasiado altos significan automáticamente que el margen de ganancia será alto, lo que concluirá en un alto precio de venta.

Costes elevados:

Según el director de Staay Food Group, el precio de costo de la lechuga cultivada será dos veces más alto que la lechuga normal. Este alto precio puede desanimar a las personas de comprar estos productos, debido a que una de las máximas no solo de los cultivos verticales, sino de toda la industria alimentaria es: poder producir alimentos a un precio asequible para todas las personas. Una de las grandes debilidades de las granjas verticales es que son demasiado costosas, debido a toda la tecnología que se necesita para funcionar de manera óptima. Las luces LED, el sistema de riego, el depósito de agua y nutrientes, todo el hardware (estanterías, tanques de agua; etc.), el sistema central de control de clima hacen que los costes de construcción de

⁵³ Valstar es una empresa especializada en el cultivo de hortalizas de invernadero, están cultivando 12 tipos diferentes de verduras y también una variedad de frutas. Por lo tanto, al observar el ancho de la gama de productos, un invernadero tiene en este momento una ventaja competitiva sobre una granja vertical.

una granja vertical sean costosos.⁵⁴ Además los precios de la tierra en una ciudad son mucho más altos que los precios de la tierra en las zonas agrícolas.⁵⁵ Al comparar los precios de la tierra agrícola con los precios de la tierra urbana, se puede afirmar que el precio de la tierra urbana es extremadamente caro. Los competidores de una granja vertical están cultivando sus cultivos en tierras agrícolas y, por lo tanto, tienen costos de tierra mucho más bajos que una granja vertical. Otro gran generador de costes es la gran cantidad de energía que se necesita para cultivar en una granja vertical⁵⁶. Cuando los costes son altos, estos serán compensados por un alto precio de venta para crear ganancias. Esto significa que los competidores tendrán una ventaja competitiva sobre la granja vertical, porque tienen un coste más bajo y, por lo tanto, tienen un precio de venta más bajo.

15.3 Oportunidades

Oportunidades

Tanto en el apartado de oportunidades como el apartado de amenazas, realizaremos un análisis PESTLE, donde estudiaremos con detenimiento las variables que afectan al entorno externo de la empresa ya sea el político, económico, social, tecnológico, legislativo y del medio ambiente.

Político

Se están dando políticas gubernamentales, e influencias que tendrán unos efectos favorables en las granjas verticales del futuro. En los Países Bajos existe una subvención que pueden conceder las regiones y el gobierno con el objetivo de estimular las innovaciones en las pequeñas y medianas

⁵⁴ Los costos de construcción de un invernadero en 2008 fueron de alrededor de 55 euros por metro cuadrado, por lo que para un invernadero de 3000 metros cuadrados el coste de construcción sería de alrededor de 165 mil euros. En comparación una empresa llamada Staay Vertical presupuesto en 8 millones de euros la construcción de una PFAL, siendo el coste por metro cuadrado de unos 2666 euros metro cuadrado, 48 veces mas.

⁵⁵ En EEUU, las tierras agrícolas tienen un precio promedio por hectárea de 6091 (AG-WEB, 2015). Comparando esta cifra con los precios de la tierra de una gran ciudad, tomemos, por ejemplo, Nueva York, los precios de la tierra son casi 1700 veces más altos (Florida, 2017). En los Países Bajos, el precio de las tierras agrícolas es en promedio de 50.000 euros por hectárea (Künzel, 2014). Comparando esto con Ámsterdam, el valor de la tierra por hectárea es en promedio de € 8.4 millones de euros (Gemeente Ámsterdam, 2014). Siendo 170 veces más alto que el de las tierras agrícolas.

⁵⁶ Las luces LED son responsables del 70%-80% de los costes totales de energía, por lo que esto asegura que las luces LED son uno de los aspectos más importantes cuando se observa el uso de energía de una granja vertical [Kozai et al. \(2016\)](#)

empresas de agricultura vertical⁵⁷. En Japón, Corea y en Taiwán se están fomentando las granjas verticales debido a la necesidad de ser autosuficientes. En EEUU, con la legalización de la Marihuana, se ha dado un pistoletazo de salida al desarrollo de agricultura vertical. En España, prácticamente no se le da protagonismo a esta actividad; pero empieza a haber muchas presiones por parte de la UE, para el desarrollo de prácticas agrícolas sostenibles y respetuosas con el medio ambiente. Una de las grandes presiones por parte del gobierno en el desarrollo de este tipo de agricultura se está dando en el medio oriente debido a la necesidad imperiosa de realizar un uso eficiente del agua, junto con sus grandes extensiones de tierra desértica, que supondrían un nulo impacto medioambiental, si se desarrollase una industria de agricultura vertical.

Económico

Dentro de los atributos de los productos derivados de la agricultura, los más importantes siguen siendo el sabor y la calidad justo después del precio. La calidad y el sabor de un cultivo de una granja vertical es mayor que la de un invernadero y una granja convencional, por eso se han encontrado personas que están dispuestas a pagar más por los alimentos de calidad superior que además están cultivados localmente⁵⁸.

Las luces LED utilizadas en una granja vertical pueden influir en la morfología y el sabor de las plantas, debido a esto se puede mejorar o potenciar sabores de las verduras gracias a la iluminación, en 2017 se realizó una investigación en la que examinaron el efecto de diferentes proporciones de luz en dos variaciones de lechuga, encontraron que la lechuga picante se puede cultivar utilizando luz azul. Esto hace que los productos de una granja vertical sean atractivos para los chefs, ya que pueden ajustar el sabor y la morfología a su gusto; incorporándose en el sector a través de la venta de productos de gama superior, conocidos como gourmets⁵⁹.

⁵⁷ Este subsidio se llama [Mkb-innovation stimulation Region and Top Sectors \(MIT\)](#)

⁵⁸ En una encuesta realizada en EEUU el 49% de las personas que fueron interrogadas están dispuestas a pagar 3 dólares por alimentos cultivados localmente. El 19% incluso está dispuesto a pagar más de 3 dólares por alimentos cultivados localmente. [Conner y Christy \(2004\)](#)

⁵⁹ El término gourmet hace referencia a productos que están relacionados con la gastronomía y, en general, con la alta cocina. Se trata de una palabra de origen francés, adaptada al español como gastrónomo, es decir, una persona con altos conocimientos en gastronomía y aficionada a las comidas exquisitas

Social

Está siendo tendencia "volverse vegano"⁶⁰ lo que significa que las personas están comiendo más verduras, y esto puede ser una oportunidad para que la granja vertical venda sus verduras a los veganos. Además, algunas granjas verticales ya tienen un certificado "vegano" en Estados Unidos cuando no están usando estiércol animal, o subproductos animales. Fuerte cambio de mentalidad para realizar Buenas Prácticas Agrícolas (BPA); puesta en valor del comercio local, de calidad, respetuoso, ecológico y que cree relaciones bilaterales entre el productor y la comunidad (donde el producto se encuentra en el medio).

Tecnológico

En el sector agrícola, el cambio tecnológico es un motor importante y, por lo tanto, los cambios tecnológicos pueden crear grandes oportunidades. A través de los desarrollos actuales tecnológicos, las granjas verticales podrían ser más eficientes y sostenibles optimizando la iluminación y los sistemas de control e implementando la famosa inteligencia artificial.

Legal

Se puede crear una tendencia positiva gracias a los marcos legales. Por el momento no hay leyes que mencionen especialmente a las granjas verticales, por lo que por ahora existe una gran posibilidad de que la granja vertical se vea legalmente igual que un invernadero⁶¹. El hecho de que las leyes no estén creando un límite para la granja vertical puede verse como una oportunidad, porque esto significa que no hay barrera para que la granja vertical crezca. (El marco legal no supone una barrera de entrada)

Ambiental

Dentro de la agricultura vertical, como se ha comentado en múltiples ocasiones, el papel fundamental, el motor de este incipiente sector es el

⁶⁰ Just Eat, un servicio de entrega de alimentos en 15 países, vio un aumento del 33 por ciento en la opción vegana de sus restaurantes asociados, lo que también significa que más personas están comiendo vegano (Rise Of The Vegan, 2018)

⁶¹ Existen leyes por las cuales se obliga a todos los invernaderos a purgar sus aguas residuales para deshacerse de los agentes de protección químicos. Los invernaderos necesitan purgar las aguas para cumplir con la ley, gastando millones de euros. Una granja vertical no utiliza agentes de protección, por lo que esta ley no afectará a la granja vertical. La alta eficiencia y la baja emisión de CO₂ de la granja vertical aseguran que las leyes relacionadas con las emisiones de CO₂ no tengan ningún efecto en la granja vertical. Esto significa que la granja vertical no tiene en este momento nada de qué preocuparse cuando se trata de la legislación relativa al cambio climático

respeto por el medio ambiente, ese respeto por el medio ambiente, más allá de lo explicado con anterioridad, puede y deberá resultar en una economía circular, que es un gran tema en este momento y puede ser una tendencia positiva para la granja vertical. Una granja vertical puede convertirse en una economía circular cuando reutiliza sus recursos de insumos y puede garantizar que estos recursos de insumos no se conviertan en residuos.

15.4 Amenazas

Como amenazas destacamos:

Político:

Un gran punto positivo de la granja vertical es que puede reducir la cadena de suministro y, por lo tanto, usar menos combustibles fósiles, mediante la construcción de granjas en el centro de la ciudad. Sin embargo, existe la posibilidad de que el gobierno no esté demasiado interesado con la idea de construir estas granjas verticales en la ciudad en un antiguo edificio, debido a que estos mismos pueden estar protegidos por planes urbanísticos, por ser de interés arquitectónico, porque el ayuntamiento no esté de acuerdo con las remodelaciones o afecte a los edificios que estén colindando. Si se diesen estas negativas, el desarrollo de las granjas verticales y su crecimiento futuro, se verá amenazado.

Otra amenaza para la granja vertical podría provenir del propio sector agrícola; influyendo en el gobierno, a través de las redes sociales, prensa o con movilizaciones para crear políticas, emprender acciones o tomar decisiones que estarán en contra de la granja vertical. Pueden ver la granja vertical como una amenaza para la agricultura tradicional y es por eso que querrían eliminar o limitar esta amenaza.

Económico:

Desde el punto de vista económico, hay infinidad de amenazas desde la entrada de nuevos competidores hasta dificultades para vender los productos. En los supermercados, hay mucha competencia. Los cultivos de la granja vertical tienen una mayor calidad, lo que es una ventaja competitiva, pero los cultivos de los invernaderos son más baratos y esto crea una ventaja competitiva para los invernaderos; pero cuando estos últimos utilicen la misma tecnología y creen el mismo cultivo de alta calidad, esto creará una gran

amenaza para la granja vertical, porque entonces no tendrán ninguna ventaja competitiva sobre los invernaderos, ni en precio ni en calidad.

El alto precio de venta se ve como una debilidad para la granja vertical. Cuando la gente no está dispuesta a pagar el alto precio, la granja vertical no será rentable, y esto será una amenaza económica.

Social:

Las granjas verticales crean dos fuertes barreros sociales debido a que muchos clientes podrían percibir el cultivo en una granja vertical como "alimentos hechos de productos químicos" y por tanto alimentos "artificiales", la segunda barrera es una barrera de necesidad de educación al cliente, sobre todo a los más mayores que seguramente no entiendan ni las mejoras en el producto ni en los procesos⁶². Los cultivos verticales, constituyen un proceso disruptivo, por lo tanto, si triunfa y su práctica se extiende, mucha gente del mundo agrícola (tierras de labranza, invernaderos, etc.) se verán afectados, y tratarán lo máximo posible de descalificar y mostrarse en contra de estas nuevas prácticas.

Tecnológico:

Con la nanotecnología, los agricultores podrían crear cultivos con diferentes sabores y texturas y garantizar una mayor eficiencia al crear cultivos que utilizarán pesticidas, fertilizantes y agua de manera más eficiente (Sekhon, 2014).

Cuando la nanotecnología se utilice más comúnmente, esto podría ser una enorme amenaza para la granja vertical, porque entonces la granja vertical podría perder varias ventajas competitivas frente a los invernaderos.

Legal:

Para el tema legal, se pueden observar legislaciones, tratados y acuerdos internacionales que pueden constituir una amenaza para la granja vertical. Al examinar la legislación que también se menciona en el capítulo 7.1.5. en este momento no hay leyes para la granja vertical, por lo que cuando se hagan e implementen leyes, negativas o positivas, esto tendrá un gran impacto en la granja vertical. Cuando el gobierno decide que la granja vertical

⁶² Muchas personas siguen con la idea, que el pico de calidad y de servicio se alcanza con los procesos más antiguos. Hoy en día, experimentamos una tendencia del mercado orientada a recuperar los antiguos procesos por una falsa idea de mejor calidad.

está amenazando a los agricultores convencionales y los invernaderos, pueden crear leyes que serán una amenaza para la granja vertical. Por ejemplo, cuando crean leyes que establecen que la tierra de la ciudad no se utiliza para la agricultura o cuando deciden que se necesita un permiso especial para construir una granja vertical y dificultar la obtención de este permiso. Todas las leyes y otras acciones legales pueden crear una amenaza para las granjas verticales.

Ambiental:

Para el tema ambiental, debe pensar en la contaminación de la granja vertical y también en la contaminación del paisaje visual⁶³. Una amenaza ambiental potencial para la granja vertical podría ser la contaminación visual. Cuando el número de granjas verticales en las ciudades comience a crecer, existe la posibilidad de que los edificios vacíos ya existentes ya no estén vacíos. Esto significa que habrá nuevos edificios de gran altura construidos para granjas verticales. Estas granjas verticales de gran altura están creando contaminación visual, lo que perjudica la vista de las personas que viven en la ciudad.

A continuación, a modo de esquema-resumen plasmaremos en un cuadro el análisis DAFO desarrollado en este apartado. Se resumirán las distintas fortalezas, amenazas, oportunidades y debilidades, más destacadas de la agricultura vertical. Nótese que se tratan parámetros relacionados con la agricultura vertical en su conjunto, se si realizase un DAFO con mayor minuciosidad, deberíamos tener en cuenta: la crisis energética, aspectos relacionados a las luminarias, riego, control y un larguísimo etcétera.

⁶³ Según el foro [Ecología Verde](#) la contaminación visual es cualquier alteración del paisaje natural o artificial cuya percepción afecta negativamente al observado. La contaminación visual o contaminación estética es un tipo de contaminación que hace parte de todo aquello que afecte o perturbe la visualización de algún sitio o paisaje, afectando su estética.

“Se refiere al abuso de ciertos elementos no arquitectónicos que alteran la estética del entorno, la imagen del paisaje tanto rural como urbano, y que generan, a menudo, una sobreestimulación visual agresiva, invasiva y simultánea. Dichos elementos pueden ser carteles, cables, chimeneas, antenas, postes, edificios y otros elementos, que no provocan contaminación de por sí; pero mediante la manipulación indiscriminada del hombre (tamaño, orden, distribución refleja) se convierten en agentes contaminantes.

La contaminación visual puede llegar a afectar a la salud de los individuos o zona donde se produzca el impacto ambiental, afectando psicológicamente al individuo”. [Ecología Verde](#)
Definición sacada del artículo Contaminación visual: Causas, consecuencias y soluciones del foro [Ecología Verde](#), <https://www.ecologiaverde.com/contaminacion-visual-causas-consecuencias-y-soluciones-32.html>.

AMENAZAS	FORTALEZAS
<p>Planes urbanísticos de las ciudades</p> <p>Presiones del sector agrícola</p> <p>Ausencia de barreras</p> <p>Dificultades para vender los productos</p> <p>Demasiada competencia</p> <p>Percepciones erróneas de los consumidores</p> <p>Necesidad de educar a los clientes</p> <p>Avances tecnológicos</p> <p>Contaminación visual del paisaje</p> <p>Precios cambiantes de las materias primas y de los combustibles</p>	<p>Menos uso del agua</p> <p>Menor tiempo de crecimiento</p> <p>Menos pérdida de rendimiento</p> <p>Mayor calidad</p> <p>Seguridad alimentaria</p> <p>Innovaciones tecnológicas</p> <p>Alta satisfacción del cliente</p> <p>Menos combustibles fósiles</p> <p>Alta capacidad de respuesta</p> <p>Sin pesticidas ni herbicidas ni fungicidas</p> <p>Uso eficiente de los recursos</p>
DEBILIDADES	OPORTUNIDADES
<p>Poca gama de productos</p> <p>Altos costes de implementación</p> <p>Costes de energía</p> <p>Costes led</p> <p>Mano de obra cualificada</p> <p>Problemas en la automatización</p>	<p>Iniciativa del comercio local</p> <p>Ausencia de barreras de entrada</p> <p>Grandes iniciativas en UE y resto del mundo (sostenible y respetuoso)</p> <p>Tendencia Vegana (alto consumo vegetales)</p> <p>Tecnología cambiante y en constante mejora</p> <p>Posibilidad de economía circular</p> <p>Idea de salvar al planeta</p> <p>Gobiernos cada vez más ecológicos</p> <p>Crisis alimentaria</p>

16. Conclusiones:

Para realizar las conclusiones debería explicar que es lo que me ha llevado a realizar este TFG y puestos a reflexionar, no sabría decir ningún motivo en concreto, sino un cúmulo de experiencias y pensamientos, que indirectamente me han conducido, no solo a este TFG, sino a averiguar la profesión que quiero desempeñar y el tipo de persona que quiero ser. Simplemente y como es normal tras la pandemia, todos tuvimos un tiempo de pausa extra para reflexionar sobre nuestras ajetreadas vidas, en mi caso la pandemia me alcanzó en Francia, en lo que es para mí el lugar más bonito en el que he estado nunca, la ciudad de Limognes. Yo vivía en un campus universitario, en el cual tenía una parcela enorme, de la cual mis amigos y yo disfrutábamos en los meses de confinamiento, al ser considerada recinto podíamos caminar durante horas sobre los bosques y prados de aquella gigantesca parcela. El caso es que, por las mañanas, el rocío, el frescor de la hierba, los árboles movidos por el viento, el canto de los pájaros y el ganado que veía en los alrededores, me evocaron a la época de mi infancia. Yo provengo de familia de agricultores y ganaderos, se podría decir que lo llevamos en la sangre, pero para ser honesto en mi juventud nunca me interesó, yo quería ser veterinario, tener mi propia granja con animales de todo tipo y vivir en el campo alejado de todo y de todos, pero nunca tuve la determinación para conseguirlo. En Francia siempre que salía al exterior, me preguntaba sobre si hice bien esto o lo otro, o que sería si hubiera o hubiese, los típicos remordimientos de aburrimiento e inactividad.

Poco a poco me fijaba en cada árbol, en cada pájaro, en cada colina o altillo del campo, en las flores y el ganado y cada día me preguntaba; ¿Te imaginas vivir sin arboles?, ¿Sin el frescor de la hierba?, ¿Te imaginas que el ser humano arrasa con todo?, ¿Qué solo quedaran charcos de asfalto?, hasta que llegué a una pregunta que cambió mi mente, ¿Y si somos la última generación que podrá disfrutar de la naturaleza tal y como la conocemos, como la conocieron mis padres y sus padres antes que ellos?, desde ese día, la agricultura y la ganadería, el vivir en el campo, rodearme de la naturaleza, no solo era un sueño, una pasión, sino que se convirtió en una obsesión una obligación para conmigo mismo. Mi objetivo, es dedicarme a la agricultura y ganadería, pero realizando estas prácticas de una manera distinta, atrevida,

revolucionaria y respetuosa con el medio ambiente y mi primer paso ha sido intentar implementar los cultivos verticales a mi actividad agrícola.

Se aprecia, a lo largo de este trabajo, la historia de la agricultura y su papel fundamental en el desarrollo del comercio y de las civilizaciones, que tras el paso de los años las consideramos como referentes. También se evalúa que el concepto de la agricultura vertical, no es nuevo, sino que se remonta tiempo atrás, donde las condiciones desfavorables agudizaban el ingenio de los agricultores pioneros en todo el mundo. Poco a poco, debido al extraño sumatorio de condiciones desfavorables, el ser humano ha ido desarrollando lo que para muchos es la revolución agrícola con mayúsculas. Los amplios beneficios y su imponente proyección permiten fantasear con la posibilidad de establecer por fin una solución real a ciertos problemas medioambientales ocasionados por nosotros mismos.

¿Pero que de concreto es esto?

Cuando uno lee sobre la agricultura vertical, ya sea este trabajo u otro cualquiera, ya sea un artículo, una tesis doctoral o cualquier otro formato con interés científico o empresarial, nos preguntamos ¿qué es esto?, parecen aglomeraciones de palabras técnicas y cultas sobre un papel, que sirven para todo menos para que una persona se haga una idea de lo que estamos hablando.

Bajo mi punto de vista, el verdadero conocimiento se encuentra en la experiencia. Esa experiencia, es la que, en abril de 2021, me llevó a involucrarme en un proyecto para la realización de una PFAL de escala pequeña. Para poder realizarlo colaboré con la Universidad de Valladolid en concreto con la facultad de Agrónomos de Palencia y una empresa de iluminación llamada Boos Thechnical Lighthing. Durante casi un año, trabajé y aprendí sobre morfología y fisiología de las plantas y como estas dependían directamente de la iluminación, a la vez que estudiaba como poder realizarlo con los menores recursos posibles. Debido a que España se vio sumergida en una crisis de abastecimiento, durante gran parte del tiempo solo, podíamos hacer pruebas en el plano teórico, pero tras pasar mucho tiempo y buscar alternativas a las soluciones comerciales, decidimos crear una PFAL desde cero nosotros mismos. Eso pasaba por realizar el sistema de riego hidropónico, buscar "cajas" para la suspensión de las plantas, diseñar unas luminarias desde 0, lo cual implicaba un diseño de óptica, un diseño de

espectro modular adecuado y aplicarles un sistema de control, entre otras muchas cosas.



Ilustración 15.1 Prototipo PFAL a pequeña escala. Fuente Jorge Vázquez de Prada Heredero

Estas imágenes que se ven arriba, son el resultado del proyecto de las PFALs a pequeña escala, realizado por mí de manera conjunta con la UVA y la empresa Boos Thechnical lighting, esto es una pequeña muestra de que esta tecnología no está tan alejada como nosotros creemos y como todo en esta vida, solo hay que saber utilizarla, ya sea en el modo o en el fin. Aunque esta PFAL fue diseñada para el cultivo de lechugas, esto para mí, ha sido más bien un proceso de aprendizaje. Ese aprendizaje, me ha llevado a intentar realizarlo en vez de producir lechugas, para producir forraje, los principios son

los mismos, solo hay que realizar unos ajustes. El forraje, es una semilla germinada de tan solo 12 días, puede ser de cebada, soja, sorgo trigo, maíz y avena entre otras y sirve para alimentar al ganado. La realidad, es que nadie puede determinar el éxito o no de la agricultura vertical, pero es indudable que funciona, yo he podido realizar un prototipo y pronto lo implementaré a mis explotaciones agrícolas para producciones de forraje para el ganado. Lo bueno de la agricultura vertical, es que todos la podemos aplicar, ya sea en un huerto, unas flores, una pequeña explotación o una gran nave industrial, se puede aplicar a la gran variedad de frutos rojos, pequeñas verduras y hortalizas; siendo los beneficios muy altos y aún más altos son las capacidades de mejora de esta tecnología, como dije al principio lo único que tenemos que hacer es ponernos la capa, da igual a la hora de comprar o producir, lo importante es ponérsola.

16. Bibliografía

A History of World Agriculture: From the Neolithic Age to the Current Crisis, New York: Monthly Review Press, 2006.

Adolf Erman, Hermann Ranke. (1994) La Civilisation égyptienne. Payot. 2ª Edición.

Altieri, M.A. 1987. Agroecology: the scientific basis of alternative agriculture. Boulder: Westview Press.

Burford, Alison. Land and Labor In the Greek World. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 1993.

Buck, Robert J. Agriculture and Agricultural Practice In Roman Law. Wiesbaden: F. Steiner, 1983.

Despommier D (2010) The vertical farm: feeding the world in the 21st century. St Martin's Press, New York.

Despommier, Dickson Dr. "The Vertical Farm Project - Agriculture for the 21st Century and Beyond." The Vertical Farm Project. N.p., n.d. Web. 21 Mar. 2014. <<http://www.verticalfarm.com/more>>.

Guía de la agricultura ecológica en la Comunidad valenciana. CERAI 1999.

Graamans L, Baeza E, van den Dobbelsteen A, Tsafaras I, Stanghellini C (2018) Plant factories versus greenhouses: comparison of resource use efficiency.

Guía de la agricultura ecológica en la Comunidad valenciana. CERAI 1999.

IROULEGUY, Victoria. De agrarische geschiedenis van West-Europa, Utrecht-Amberes 1964

International Renewable Energy Agency (2015) Renewable power generation costs in 2014.

Kozai T, Niu G, Takagaki M (eds) (2015) Plant factory: an indoor vertical farming system for efficient quality food production. Academic.

Kozai T, Fujiwara K, Runkle E (eds) (2016) LED lighting for urban agriculture. Springer, Singapore.

Kozai, Toyoki. (2017). Smart Plant Factory: The Next Generation Indoor Vertical Farms , Editorial Springer.

Kozai, Toyoki. (2018). Plant Factory: An Indoor Vertical Farming System for Efficient Quality Food Production, Toyoki Kozai Editorial Springer.

Kozai , Toyoki.(2019).Led Lighting for Urban Agriculture, Toyoki Kozai Editorial Springer.

Kozai Toyoki (2013) Resource use efficiency of closed plant production system with artificial light:concept, estimation and application to plant factory. Proc Jpn Acad Ser

Lopez RG, Runkle ES (2016) Managing light in controlled-environment agriculture. Meister. Media Worldwide, Ohio, USA, (in press)

LUELMO, Julio. Historia de la agricultura en Europa y América. Madrid: Ediciones Istmo, 1975.

Mark B. Taoyer. (2010) Agriculture in World History (Themes in World History). Routledge.2ªEdicion

Marcel Mazoyer, Laurence Roudart: Histoire des agricultures du monde: Du néolithique à la crise contemporaine, París: Seuil, 2002.

Massa G, Norrie J (2015) LEDs electrifying horticultural science: proceedings from the 2014 Colloquium and Workshop. HortSci 50(9):1272–1273.

Richard E. W. Adams (2000): Las antiguas civilizaciones del Nuevo Mundo, ed. Crítica Arqueología, Barcelona

Spurr, M. S. "Arable cultivation in Roman Italy: c. 200 B.C.–c. A.D. 100." Journal of Roman Studies Monographs 3. London: Society for the Promotion of Roman Studies, 1986.

Takakura T, Son JE (2004) Simulation of biological and environmental processes. Kyushu University Press, Fukuoka.

United Nations (2018) Sustainable development goals. <https://sustainabledevelopment.un.org/sdgs>

"Vertical Farming." Wikipedia. Wikimedia Foundation, n.d. Web. 22 Mar. 2014. <http://en.wikipedia.org/wiki/Vertical_farming>.

"Vertical Farm Systems." Vertical Farm Systems. N.p., n.d. Web. 22 Mar. 2014. <<http://www.verticalfarms.com.au/>>.

Wetterstrand K (2011) DNA sequencing costs: data from the NHGRI (Human Genome Research Institute) large-scale genome sequencing program. <http://www.genome.gov/sequencingcosts>

Yabuki K (2004) Photosynthetic rate and dynamic environment. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.