

**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE LAS AMÉRICAS  
CARRERA DE LAS RELACIONES INTERNACIONALES**

**ANÁLISIS DE CASO DE ESTUDIO DE LA REPÚBLICA DE SINGAPUR Y  
LA AGRICULTURA VERTICAL SOSTENIBLE Y SU VIABILIDAD PARA  
LA IMPLEMENTACIÓN EN LA REPÚBLICA DE COSTA RICA:  
CASO SKY GREENS 2019- 2024.**

**MODALIDAD DE TESIS PARA OPTAR POR EL GRADO ACADÉMICO  
DE LICENCIATURA EN COMERCIO EXTERIOR**

**SUSTENTANTE:  
GABRIEL DELGADO SOLANO**

**TUTOR:  
LIC. OSCAR LOPEZ POWAN**

**SEDE ARANJUEZ, SAN JOSÉ, AGOSTO, 2025**

## Tabla de contenido

<i>Resumen Ejecutivo</i> .....	7
<b>Capítulo I: Introducción</b> .....	<b>10</b>
<b>1.1 Planteamiento del problema.</b> .....	<b>13</b>
<b>1.2 Objetivos</b> .....	<b>16</b>
<b>1.2.1 Objetivo general.</b> .....	<b>16</b>
<b>1.2.2 Objetivos específicos</b> .....	<b>16</b>
<b>1.3 Justificación.</b> .....	<b>16</b>
<b>1.4 Antecedentes.</b> .....	<b>19</b>
<b>1.5. Proyecciones</b> .....	<b>34</b>
<b>CAPITULO II. MARCO TEORICO</b> .....	<b>36</b>
<b>2.1. Modelo de agricultura vertical sostenible.</b> .....	<b>36</b>
2.1.1. Concepto del modelo de agricultura vertical sostenible. ....	37
2.1.2. Implementación del modelo en Singapur. ....	45
2.1.3 Características del modelo. ....	47
<b>2.2 Modelo de agricultura vertical desarrollado por SKY GREENS</b> .....	<b>49</b>
2.2.1. Historia y evolución de Sky Greens.....	49
2.2.2. Estrategias tecnológicas implementadas por la empresa .....	51
2.2.3. Estrategias del modelo económico y negociación .....	53
2.2.4. Estrategias sostenibilidad y ambientales.....	56
<b>2.3 Viabilidad de la implantación de agricultura vertical en Costa Rica.</b> .....	<b>57</b>
2.3.1. Contexto actual de la agrícola en la República de Costa Rica.....	57
2.3.2. Elementos económicos: costos y rentabilidad de la implementación. ....	59
2.3.3. Consecuencias ambientales y sostenibilidad del modelo.....	61
2.3.5. Desarrollo de Políticas públicas y apoyo gubernamental. ....	64
<b>CAPITULO III: MARCO METODOLOGICO</b> .....	<b>67</b>
<b>3.1 Enfoque de la investigación.</b> .....	<b>67</b>

<b>3.2. Diseño de investigación.....</b>	<b>69</b>
<b>3.3. Fuentes de investigación .....</b>	<b>70</b>
<b>3.4 Unidad de análisis .....</b>	<b>71</b>
<b>3.5 Instrumentos.....</b>	<b>72</b>
3.5.1 Revisión bibliográfica.....	73
3.5.2 Entrevista .....	74
<b><i>CAPITULO IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</i></b>	<b>77</b>
<b>4.1. Modelo de agricultura vertical sostenible. ....</b>	<b>77</b>
<b>4.2 Modelo de agricultura vertical desarrollado por SKY GREENS.....</b>	<b>85</b>
<b>4.3 Viabilidad de la implantación de agricultura vertical en Costa Rica. ....</b>	<b>94</b>
<b><i>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....</i></b>	<b>110</b>

*INDICE DE TABLAS Y GRÁFICOS.*

<i>Tabla 1 Eficiencia en el uso del suelo. ....</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 2 Consumo de agua y eficiencia hídrica en cultivo hidropónico y convencional.....</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 3. Requerimientos y eficiencia energéticos del cultivo hidropónico y convencional .....</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 4 Crecimiento proyectado del mercado de agricultura vertical a nivel mundial .....</i>	<i>92</i>

### **Dedicatoria**

Dedico este trabajo a esas personas marcaron una gran diferencia en mi vida, a los profesores de mi infancia y adolescencia que, con su apoyo y ayuda, me inspiraron a seguir adelante. Gracias a ustedes encontré en el estudio una forma de crecer, enfocarme y avanzar con determinación. Este logro también es suyo ya que todos me impulsaron a continuar.

## **Agradecimientos**

Agradezco profundamente a Johnson Andrés Gutiérrez Arias, cuya motivación fue clave para mantenerme firme en momentos difíciles, aun sin saberlo. También al profesor de ajedrez Stanley Gómez Huertas, quien me enseñó más que ajedrez en la vida siendo una figura importante y me ayudo confiar en mi capacidad para crear nuevas posibilidades. Gracias al profesor Juan, por su constante disposición a aconsejarme y apoyarme de forma clave y objetiva. Y a Héctor Rubio, por su amistad sincera y sus consejos en una etapa clave de mi vida.

## Resumen Ejecutivo

La agricultura vertical es una forma de crear cultivos y cosecharlos con ayuda de tecnologías aplicadas. Esto quiere decir que se cultivan dentro de centros o granjas que cuentan con una estructura adecuada a las necesidades de las plantas. Estas granjas se destacan por el aprovechamiento del espacio, ya que las huertas están apiladas unas sobre otras, lo cual permite optimizar el uso del terreno. Esta modalidad también beneficia el uso eficiente del agua, que se administra de forma controlada y sostenible.

En relación con el agua, se puede observar que en este tipo de agricultura se utiliza de manera responsable, al no requerir tantos galones para producir cosechas agrícolas. Este dato es uno de los más llamativos, ya que la innovación sostenible es importante tanto para los ciudadanos como para incentivar su implementación por parte de empresas y gobiernos. Además, el ahorro energético en estos centros de cultivo es considerablemente mayor en comparación con las granjas tradicionales.

La República de Singapur ha sido un gran exponente de la agricultura vertical gracias a la empresa Sky Greens. Con el respaldo de la inversión estatal, este país ha logrado impulsar el desarrollo de granjas verticales, convirtiéndose en un modelo a seguir para otras naciones interesadas en replicar sus estrategias. Ahora bien, sus acciones han transformado la manera en que se percibe la agricultura moderna, dándole un enfoque más orientado a la sostenibilidad y a la conservación de los recursos naturales. De igual forma, este proyecto busca reducir el impacto ambiental generado por el uso intensivo del agua en las granjas tradicionales, ya que gracias a la tecnología empleada por Sky Greens, se observa un mayor rendimiento hídrico.

Por esta razón, esta investigación aborda temas clave como la sostenibilidad, la seguridad alimentaria y la reducción del impacto ambiental sobre los cultivos, aspectos esenciales ante el crecimiento poblacional que se experimenta a nivel global. Es importante comprender que la

seguridad alimentaria de las grandes ciudades del mundo se verá cada vez más comprometida, por lo que sostener la alimentación de millones de personas será un desafío para todos los países.

Además, lograr reducir la cantidad de agua y espacio necesarios para cosechar alimentos implica un ahorro considerable de recursos. Esto convierte a la agricultura vertical en un mecanismo que debe ser estudiado con profundidad y aplicado con urgencia para disminuir el impacto negativo de las prácticas agrícolas tradicionales.

Por otro lado, el método de cultivo vertical también actúa como un escudo frente a condiciones climáticas extremas, ya que las cosechas no se ven afectadas por factores externos. Esto es especialmente importante en países donde se pierden toneladas de alimentos debido a fenómenos naturales. En consecuencia, la estabilidad en la producción agrícola podría garantizar precios más accesibles para los consumidores, al no depender de factores como la escasez provocada por eventos climáticos.

Continuando con lo anterior, el fortalecimiento y la adaptación de nuestros sistemas agrícolas ante el crecimiento poblacional es fundamental para mantener el equilibrio entre lo que se produce y lo que se necesita. El uso excesivo de agua y la creciente escasez de suelos cultivables requieren soluciones urgentes.

Esto va de la mano con la innovación tecnológica aplicada a este modelo de negocio. Sky Greens ha sido reconocida por diversos países que han observado sus avances en la reducción del gasto económico asociado a las exportaciones, la disminución de la dependencia alimentaria y el aprovechamiento del espacio en zonas densamente pobladas. Por lo tanto, la agricultura vertical representa una solución viable y sostenible para las ciudades del presente y del futuro.

De esta manera, la agricultura vertical no solo representa una alternativa innovadora y eficiente, sino una necesidad estratégica ante los desafíos actuales y futuros de las sociedades urbanizadas. En países como Costa Rica, donde la vocación agrícola y el compromiso ambiental son pilares fundamentales, este modelo puede integrarse como una política pública clave para

garantizar la sostenibilidad alimentaria, reducir la presión sobre los recursos naturales y diversificar la producción de alimentos.

Implementar estos sistemas en zonas urbanas o periurbanas permitiría reducir los costos logísticos, mejorar la calidad y frescura de los productos, y generar nuevas oportunidades de empleo en sectores tecnológicos y agrícolas.

En resumen, la agricultura vertical se perfila como un pilar esencial para construir ciudades más resilientes y sostenibles, capaces de adaptarse al cambio climático y responder al crecimiento poblacional. Para lograrlo, se requiere promover la inversión pública y privada, fomentar la capacitación técnica y establecer marcos normativos que impulsen su desarrollo. Así, se podrá avanzar hacia un modelo agroalimentario moderno, eficiente, respetuoso con el ambiente y alineado con los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

## Capítulo I: Introducción

En la actualidad podemos ver que en las ciudades están concentrándose una gran cantidad de población en busca de trabajo o una mejor vida ya que al desarrollarse dentro de las grandes ciudades obtienen una vida más cómoda y esto ha generado un crecimiento constante de la población centralizada en capitales o cerca de las industrias y fábricas. Esto genera un reto ya que a estas personas que viven en el sector rural, se trasladan a las ciudades genera un desbalance de trabajo en las zonas agrícolas al no haber mano de obra en los campos. Y tener una alta demanda de productos en las ciudades genera que los países incurran en mano de obra extranjera o directamente que estos productos de importen de otros países generando un gasto mayor.

Por lo tanto, al mantener una alta demanda de alimentos agrícolas, para una gran cantidad de la población genera que se haya un problema de abastecimiento en el país, esto genera un aumento en los precios del o los productos que se consuman dentro del país, ya que el haber más demanda de un producto sube su precio. En países como la República de Singapur mantienen problemas lo cuales son bastante conflictivos en cuanto a materia de espacio y alimentación de su población.

El factor del espacio para producir sus productos de forma adecuada ha sido un reto bastante importante. Esto genera un desafío no solo en la República de Singapur que mantiene estas condiciones demográficas, sino que afecta a varios países en el mundo, llevándolos a tomar medidas con altos costos que puede tomar importar toda esta alimentación de la población, además tener una dependencia hacia los demás países para solventar la necesidad alimentaria de su población.

Según lo mencionado anteriormente países como la República de Singapur con poca tierra para la agricultura han innovado en cuanto a la forma de producir sus alimentos, al usar poco espacio y utilizarlo de forma estructurada apilando sus granjas hacia arriba con construcciones.

Con este tipo de estructuración han innovado en cuanto a tecnología para crear maneras más eficaces de cultivar sus alimentos agrícolas, esto llevado a cabo con una gran estructura que ocupa muy poco espacio y energía al reciclar el agua.

Con el avance de la implementación de la tecnología han logrado optimizar el uso de recursos como el agua, ya que estas granjas tienen un sistema de riego continuo de agua que ahorra y optimiza la cantidad suministrada en las granjas, esto lo hace de forma controlada en un sistema cerrado el cual le permite regular el suministro necesario para cada cultivo evitando así pérdidas de productos por falta de agua como pasa en las granjas comunes con situaciones como las sequías.

Continuando con el texto anterior podemos mencionar que la optimización de la tierra que se utiliza para el cultivo también es un recurso que se está usando de forma muy innovadora, ya que la forma en la que está estructurada este tipo de granjas es de forma vertical apiladas una encima de otra de forma que permite optimizar un recurso tan importante como el suelo y sustituirlo por estas plataformas de cultivo. En este contexto, resulta relevante destacar el caso de la empresa SKY Greens, pionera en la implementación y desarrollo de la agricultura vertical sostenible. Este innovador sistema no solo incrementa la producción de alimentos, sino que también requiere significativamente menos espacio, lo que permite su instalación en zonas urbanas densamente pobladas. Gracias a ello, es posible ofrecer productos frescos y de alta calidad, comparables a los obtenidos en zonas rurales.

Un ejemplo destacado de esta innovación se encuentra en la República de Singapur, donde se cultivan alimentos agrícolas de manera eficiente, independientemente de las condiciones climáticas. Este modelo permite reducir la dependencia de las importaciones, utilizando menos suelo cultivable y consumiendo poca energía, lo que se traduce en una producción local más sostenible y de bajo costo.

El objetivo de estos alimentos al estar en un ambiente controlado y eficiente, es poder brindar una rápida respuesta a las necesidades de las alto índice poblacional y la escases del producto agrícola, de manera rápida y sin tener que recurrir a los altos costes, con este mecanismo se puede cultivar lo necesario para solventar las necesidades alimentarias de su población de la

República de Singapur que busca llevar una buena alimentación a sus ciudadanos y así ayudar a su economía, ya que se evitan pagar exportaciones con costes elevados.

Por otro lado, el presente estudio tiene como objetivo analizar el modelo de la empresa Sky Greens en la República de Singapur, así como identificar sus factores de éxito y explorar su aplicabilidad en la República de Costa Rica, valorando aspectos ambientales, económicos y comerciales. Con este análisis, se busca brindar un aporte de información relevante para la toma de decisiones en materia de política agrícola, comercio exterior y cooperación internacional en el sector agroindustrial de países con una gran demanda poblacional. De igual forma este tipo de proyectos se podría adaptar a la República de Costa Rica, aun sabiendo que tenemos condiciones muy diferentes a las del país de origen, como el las grandes sequias y pérdidas de producto. Otra condición relevante es que los grandes costos que tiene el país al importar de otros países por escases generada por el cambio climático.

Continuando con la adaptación del proyecto, requiere un enfoque específico ya que nuestras necesidades son muy diferentes, en cuanto a el territorio que destinamos para la agricultura siendo la República de Costa Rica un país con mayor territorio, pero no obstante con condiciones climáticas más críticas, por esto el objetivo de este proyecto tendría un enfoque diferente ya que las necesidades de la aplicación de este modelo son similares, pero no las mismas.

La importancia de implementar este tipo de proyecto entre los dos países se da en la apertura tecnológica y el beneficio a futuro de la República de Costa Rica, al tener que adaptar nuevas formas de producir los alimentos y mitigar el daño ambiental que genera los métodos tradicionales de agricultura, por otro lado, también es necesario ver el factor de los daños climáticos que se dan durante el año y como estos afectan grandes extensiones de cosechas en el país.

En referencia a la coordinación de ambos países al estar involucrados en la creación de este proyecto, y sus beneficios en nuestro territorio generaría una gran inversión tecnológica por parte de la República de Singapur al crear sus granjas dentro del territorio y adaptarlas de forma que sea provechoso para el país y sus habitantes y por parte de la República de Costa Rica tendríamos una

inversión a largo plazo para afrontar los problemas climáticos que el país tiene a lo largo del año y la escases de productos durante el año.

Por lo tanto, podemos decir que es importante a aplicar modelos de negocio que ayuden a el progreso del país y nos eduquen en materia de tecnología agrícola la cual pondríamos en práctica en nuestro territorio con el fin de tener una estructura y producción agrícola que cumpla con los estándares internacionales de sostenibilidad y producción limpia, ayudando con la exportación a mercados más estrictos con estas normativas.

### **1.1 Planteamiento del problema.**

Uno de los principales desafíos que enfrenta la producción agrícola a nivel global es el impacto del cambio climático y las sequías, los cuales han provocado una reducción significativa en la producción de alimentos. Esto genera un desabastecimiento tanto en mercados locales como internacionales, afectando la estabilidad económica de los países y obligándolos a depender de importaciones para suplir sus necesidades.

Además, otro reto actual que se tienen son las afectaciones del cambio climático que afectan los cultivos y llevan las granjas agrícolas a pérdidas, esto producido por sequias o lluvias torrenciales que en consecuencia de estas las producciones mundiales caen en pérdidas, y a su vez se ve afectada la alimentación de la población y el precio de los consumidores finales que optan por no comprar alimentos o reducir su consumo.

En este contexto, el aumento en los costos de los alimentos agrícolas repercute directamente en la accesibilidad de estos productos, especialmente para las poblaciones más vulnerables. La pérdida de cosechas debido a condiciones climáticas extremas representa un reto constante para los países productores, quienes deben encontrar soluciones innovadoras para garantizar la seguridad alimentaria y reducir su dependencia de importaciones.

La República de Costa Rica, al igual que muchas otras naciones, enfrenta este problema. Aunque cuenta con una superficie agrícola considerable, no está exenta de los efectos del cambio climático ni de las afectaciones del mercado internacional. Un caso ejemplar que puede servir como referencia para nuestro país es el de la República de Singapur, que, a pesar de su limitada

extensión territorial, ha implementado soluciones innovadoras como la agricultura vertical para reducir su dependencia de productos importados y de la cual podemos obtener provecho.

La agricultura en grandes ciudades presenta desafíos debido a la falta de espacios adecuados para el cultivo. En países con alta densidad poblacional y desarrollo urbano, la implementación de modelos agrícolas verticales ha demostrado ser una alternativa eficiente. Según el Ministry of Trade and Industry de Singapur, “Con solo el 1 % de su superficie destinada a la producción de alimentos, la COVID-19 ha dejado claro que el país debe reducir su dependencia de productos importados. Para paliar esta vulnerabilidad, emprendedores y autoridades han llegado a la misma conclusión: apostar por la agricultura urbana vertical” (TATUM, 2020).

Siguiendo este ejemplo, Singapur ha adoptado estrategias tecnológicas para fortalecer su producción agrícola y reducir la vulnerabilidad de su población ante crisis alimentarias. La implementación de la agricultura vertical ha permitido mejorar la oferta de alimentos a un costo más accesible, garantizando así la seguridad alimentaria de sus habitantes.

En este sentido, la República de Costa Rica podría beneficiarse de la adopción de este modelo, no solo para diversificar su producción agrícola, sino también para fortalecer su resiliencia ante fenómenos climáticos adversos y fluctuaciones del mercado internacional. A pesar de contar con tierras agrícolas, el país sigue dependiendo de importaciones para abastecer su mercado, lo que lo expone a costos elevados y riesgos de desabastecimiento.

Además, eventos como sequías, tormentas y conflictos bélicos han incrementado los costos de importación de productos agrícolas, lo que afecta la economía de muchas ciudades que no pueden asumir estos precios elevados. En este contexto, la experiencia de Singapur con la agricultura vertical representa una oportunidad para que la República de Costa Rica explore nuevas estrategias de producción sostenible que optimicen los recursos disponibles.

La relevancia de este tema radica en su potencial para mejorar la seguridad alimentaria y reducir la dependencia de importaciones. Como menciona el Banco Mundial, “Para garantizar un suministro de alimentos estable y resiliente, los países deben adoptar prácticas agrícolas

sostenibles que reduzcan el uso de recursos naturales y aumenten la producción eficiente en entornos urbanos” (World Bank, 2022).

Desde una perspectiva económica, la agricultura vertical no solo puede contribuir a la autosuficiencia alimentaria, sino también representar una oportunidad de inversión. Según Grand View Research (2024), “Se espera que el mercado de la agricultura vertical en Singapur alcance un valor de 702 millones de dólares estadounidenses para el año 2030, con una tasa compuesta anual de crecimiento del 20,4% entre 2024 y 2030”. Dicha inversión se puede llevar a cabo de la ayuda de la República de Singapur con sus inversores.

Este tipo de agricultura también permite maximizar el uso de espacio en zonas urbanas densamente pobladas, lo cual resulta especialmente relevante para países como Costa Rica, donde el crecimiento urbano ha reducido las zonas disponibles para cultivos tradicionales. Asimismo, la integración de tecnologías limpias y el uso eficiente del agua hacen de este modelo una alternativa viable para promover una agricultura urbana sostenible que respete el entorno ecológico del país.

Esto demuestra que la implementación de este modelo en la República Costa Rica podría atraer inversión y generar ingresos, sustentando su viabilidad en experiencias exitosas de otras regiones del mundo. Como factor adicional a la importancia del desarrollo de este tema sería el aumento en la capacidad que tendríamos en cuanto a exportaciones, generando más capacidad en mercados como el europeo. A partir de estas consideraciones, es fundamental analizar si la aplicación de la agricultura vertical en la República Costa Rica podría replicar el éxito de Singapur y convertirse en una estrategia efectiva para mejorar la producción agrícola nacional.

Es importante mencionar que, al lograr desarrollar estos centros agrícolas dentro de las ciudades, va a incrementar la demanda laboral dentro de las ciudades al necesitar personas para el personal de mano de obra agrícola, logística, choferes, entre otros. Este crecimiento del empleo urbano vinculado al sector agrícola contribuiría también a una redistribución de oportunidades económicas, incentivando a nuevos perfiles profesionales y técnicos que deseen integrarse a una agricultura más moderna y tecnificada.

Finalmente, se puede concluir que la pregunta de investigación es ¿Qué lecciones ofrece el modelo de agricultura vertical sostenible implementado por Sky Greens en Singapur entre 2019 y 2024 para evaluar su viabilidad de adaptación e implementación en la República de Costa Rica?.

## **1.2 Objetivos.**

### **1.2.1 Objetivo general.**

Analizar la viabilidad de implementar la agricultura vertical como alternativa sostenible para optimizar la producción agrícola en la República Costa Rica, tomando de referencia el caso de Singapur.

### **1.2.2 Objetivos específicos.**

1. Identificar las principales características del modelo de agricultura vertical sostenible y su implementación en la República de Singapur.
2. Estudiar el modelo de agricultura vertical desarrollado por SKY GREEN en Singapur partiendo de sus estrategias tecnológicas, económicas y ambientales.
3. Explicar la viabilidad de la implementación de este tipo de producción agrícola en la República Costa Rica partiendo del caso en estudio.

## **1.3 Justificación.**

La agricultura vertical es una solución innovadora con beneficios tanto sociales como económicos, aplicable a distintos contextos nacionales. En este estudio, se va a realizar el análisis sobre la viabilidad para la República de Costa Rica, con el objetivo de desarrollar un modelo sostenible y duradero a largo plazo, así mismo, se intenta mitigar las consecuencias de la sobrepoblación en las ciudades y el desabastecimiento de productos agrícolas, ya que estos productos cubren necesidades básicas de la población y las personas necesitan dichos productos agrícolas para mantener una alimentación saludable.

Parte del aporte que la agricultura vertical permite, es optimizar el uso del espacio y los recursos que normalmente se usarían la agricultura convencional, por esto es un proyecto clave para su implementación dentro de nuestro territorio al poder generar impactos positivos en diversos sectores del país, ya que el agua es un recurso limitado que se utiliza para lograr obtener nuestros

cultivos, este proyecto ayuda dicho recurso tanto en el corto como en el largo plazo, al optimizar espacio, agua y otros recursos. Como parte del interés nacional se resalta que, es importante mencionar y destacar la relevancia de elevar las exportaciones de los productos que otros países no tengan disponibles, como sucede con las grandes ciudades de países, que no han adoptado este modelo y que necesitan estos alimentos.

El interés por este tema surge debido a su estrecha relación con los avances tecnológicos recientes en cuanto a la agricultura vertical, los cuales pueden aplicarse en la República Costa Rica para mejorar la producción agrícola y reducir la dependencia de importaciones. Un ejemplo relevante es el caso de Singapur, donde empresas como Sky Greens han logrado desarrollar con éxito sistemas de agricultura vertical en un entorno urbano altamente poblado.

Gracias a la optimización del espacio y al uso eficiente de los recursos, Singapur ha reducido costos de producción, minimizado desperdicios y fortalecido su seguridad alimentaria la cual es crucial para los habitantes. Este enfoque es particularmente atractivo para la República Costa Rica, un país con amplia experiencia en agricultura y que siempre ha estado a disposición de adoptar nuevas tecnologías, por lo cual se puede realizar dicho proyecto de forma más fácil al tener todas las herramientas que necesitamos. El proyecto se puede adaptar y a su vez mejorar su capacidad productiva.

La agricultura vertical, al integrarse en entornos urbanos, ofrece un cambio viable para mitigar los retos del cambio climático y la falta de tierras cultivables. A diferencia de los métodos tradicionales, este sistema permite una mayor producción en menor espacio y con menor impacto ambiental. Como señala Despommier (2010): *"La agricultura vertical puede ser una solución eficiente para la producción de alimentos en áreas urbanas densamente pobladas, permitiendo una mayor producción en menor espacio y reduciendo el impacto ambiental"*.

Además, la cooperación internacional y la inversión extranjera directa (IED) pueden jugar un papel clave en la implementación de la agricultura vertical en la República Costa Rica. El desarrollo de alianzas estratégicas con actores internacionales permitiría la transferencia de

tecnología y conocimientos para optimizar este modelo agrícola. Asimismo, fortalecer la autosuficiencia agrícola mediante estas prácticas contribuiría a la resiliencia económica del país frente a futuras crisis, como pandemias, conflictos geopolíticos o desastres climáticos.

Es relevante mencionar, la adaptación de la agricultura vertical en la República Costa Rica no solo minimizaría la dependencia de importaciones y los costos asociados (aranceles, transporte e intermediarios), sino que también potenciaría el mercado de exportación al incrementar la oferta de productos agrícolas con estándares internacionales. Según Grand View Research (2024), *"se espera que el mercado de la agricultura vertical en Singapur alcance un valor de 702 millones de dólares estadounidenses para el año 2030, con una tasa compuesta anual de crecimiento del 20,4% entre 2024 y 2030"*. Estos datos reflejan el potencial de este sector como motor de crecimiento económico.

Parte del desarrollo de este proyecto, generaría trabajo a una gran parte de la población al adaptar trabajos de campos agrícolas a las grandes ciudades las cuales, van a necesitar mano de obra para cumplir sus objetivos de producción y así como otros puestos de trabajo como choferes inspectores etc.

Otro aspecto clave de la justificación es el potencial educativo y formativo que ofrece la agricultura vertical. Su implementación impulsaría la creación de programas técnicos y académicos especializados en tecnologías agrícolas, fortaleciendo las capacidades locales y generando una nueva generación de profesionales enfocados en la sostenibilidad y la innovación. Este proceso educativo contribuiría a consolidar un ecosistema de conocimiento que respalde a largo plazo el desarrollo del modelo.

Asimismo, adoptar la agricultura vertical sería coherente con los compromisos internacionales adquiridos por Costa Rica en materia ambiental y de sostenibilidad, como los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Este modelo productivo contribuye directamente a metas como el ODS 2 (hambre cero), el ODS 9 (industria, innovación e infraestructura) y el ODS 12 (producción y consumo responsables), alineando el desarrollo interno del país con la agenda global.

Desde la perspectiva de ordenamiento urbano, la implementación de granjas verticales en zonas estratégicas podría revitalizar espacios subutilizados o abandonados en centros urbanos. Esto permitiría no solo incrementar la producción local de alimentos, sino también mejorar el entorno urbano, fomentar la economía circular y reducir la huella de carbono derivada del transporte de alimentos desde zonas lejanas.

Por último, es necesario destacar que la agricultura vertical permitiría a Costa Rica prepararse para futuros escenarios de crisis, como interrupciones en las cadenas de suministro o eventos climáticos extremos. Tener una fuente de producción alimentaria controlada y ubicada en el corazón de las ciudades garantiza mayor estabilidad y soberanía alimentaria en momentos de incertidumbre.

#### **1.4 Antecedentes.**

En esta sección se presentarán la documentación de antecedentes que servirán de base para esta investigación, los cuales se han mencionados por su relevancia y aporte al estudio. Estos antecedentes se dividen en dos categorías: internacionales y nacionales, permitiendo un análisis comparativo y contextualizado de ambos campos al estar entre países que ya han aplicado estas teorías y la información y estudios realizados en el territorio nacional. La documentación revisada resulta fundamental, ya que contiene investigaciones previas que proporcionan información clave y estudios relevantes para el desarrollo de este trabajo de investigación

##### **1.4.1. Antecedentes nacionales.**

Como primer antecedente nacional se encuentra la tesis *Diseño de un sistema hidropónico orbital como alternativa de producción de alimento de alta intensidad en zonas urbanas*. Esta tesis fue realizada para la *Universidad de Costa Rica, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería de Biosistemas* de Rojas Montero, S. J. (2019). El objetivo general de esta investigación fue el desarrollo de una estructura con un sistema hidropónico orbital automatizado, buscando reducir los tiempos de producción mediante la comparación del crecimiento de plantas bajo luz solar

convencional y en un sistema controlado, con el fin de ahorrar tiempo, dinero, espacio y aumentar los rendimientos.

Bajo estos resultados bastante óptimos se toma con relevancia el mencionar dicho trabajo de investigación y usarlo como referencia ya que las estructuras y bases de esta investigación se pueden aplicar a el carácter de esta investigación y usar temas de relevancia e interés nacional. Además, se profundiza en temas bastantes importantes como la comparación de los sistemas convencionales y controlados en la producción de alimentos los cuales han revolucionado la forma tradicional de cultivar en la agricultura siendo esto relevante para el desarrollo de tecnologías dentro de nuestro territorio y brindando un gran aporte a la nueva forma de cultivar alimentos dentro del país.

Además, en la investigación se destacan nuevas estrategias tecnológicas para la producción intensiva en zonas urbanas brindándole un enfoque relacionado a nuestra investigación, ya que aunque es un tema diferente al expuesto en este trabajo de investigación se puede relacionar al llevar a cabo dichas tecnologías a lo aplicable en nuestras ciudades con sistemas de granjas verticales. También al tener que usar dichos proyectos se tiene que analizar factores de la viabilidad por lo cual los recursos sobre la automatización y su impacto en la optimización de los recursos para la agricultura urbana tiene que tomarse en cuenta. Por otro lado, en la investigación se abarca que el abastecimiento mundial de la producción agrícola es un tema de importancia mundial:

“Para el año 2050, el sector agropecuario debe aumentar su producción cerca de un 60% con respecto al periodo 2005-2007 para satisfacer la demanda mundial de alimento. Esto implica un reto para el sector agropecuario, debido a que la adquisición de tierras para la agricultura ha comenzado a mermar lentamente, aunque los rendimientos por hectárea continúan mejorando” (Rojas Montero, 2019, s. p.).

Entre las conclusiones principales del escrito, se destaca la necesidad global de incrementar la producción alimentaria para 2050, lo cual presenta una oportunidad económica para aquellos países que puedan satisfacer la demanda, especialmente mediante la adopción de tecnologías agrícolas avanzadas. Ya que dicha problemática es un tema que desde ya se puede ir logrando

minimizar su impacto, por medio de la adopción de las prácticas de las granjas verticales que en ciudades como en la República de Costa Rica puede ir implementando para lograr un mayor nivel de influencia en el mercado internacional.

Es por ello, que se recomienda fomentar la investigación y adopción de sistemas hidropónicos y tecnologías de agricultura urbana, lo que permitirá optimizar los recursos y satisfacer la creciente demanda alimentaria de manera más eficiente y su aplicabilidad en la República de Costa Rica, lo cual es una opción viable que puede mejorar la calidad de vida de los ciudadanos.

Como segundo antecedente nacional consultado se encuentra la tesis titulada “Análisis de la economía verde y el Plan de Desarrollo Sostenible de la República de Singapur y su influencia en el Sistema Internacional como un líder en comercio verde durante el período 2017–2023”, publicada por Castro Fallas, M. (2024). El objetivo general de esta investigación fue analizar el impacto de la economía verde en el crecimiento económico de Singapur y cómo su Plan de Desarrollo Sostenible ha posicionado al país como un líder en el comercio verde en el sistema internacional.

Esto evidencia la importancia de mantener la responsabilidad ambiental, incluso cuando se alcanzan altos niveles de eficiencia productiva, como ocurre en el caso de la República de Costa Rica, que posee grandes extensiones destinadas a la agricultura. Dichas extensiones podrían optimizarse para obtener mejores rendimientos, replicando el modelo aplicado en la República de Singapur, y así mantener una mejor relación con el medio ambiente al reducir los espacios usados para la agricultura tradicional y dejando de afectar los suelos con químicos y siembra excesiva.

Además, esta tesis enfatiza que las políticas económicas sostenibles implementadas por Singapur entre 2017 y 2023 ayudaron al país a solventar la necesidad alimentaria de su población y a mantener la seguridad alimentaria de sus ciudadanos, lo cual constituye un factor fundamental a nivel poblacional al ayudar a sus ciudadanos a mantener una cultura más sana en cuanto a alimentación y al hacer que estos productos sean más accesibles dentro del territorio nacional.

El legado político de Lee Kuan Yew y su impacto en la transparencia y sostenibilidad fue otro de los temas destacados en esta tesis, ya que resulta determinante para obtener una visión más amplia de las consecuencias positivas que podrían generarse al replicar este enfoque en otros países como un caso de éxito. También se analiza la posición de Singapur en el comercio internacional, a partir de la adopción de prácticas ambientales efectivas. En el marco teórico se abordan diversos temas relevantes, entre ellos:

“Gracias a estas políticas, Singapur logró un rápido crecimiento económico y se convirtió en uno de los países más ricos del mundo. No obstante, estas no fueron las únicas que lograron hacer el cambio en este Estado, ya que, asimismo, el legado de Lee Kuan Yew fue dejar un país donde la corrupción es casi inexistente” (Castro Fallas, 2024, s. p.).

Entre las principales conclusiones se destaca que el modelo de economía verde adoptado por la República de Singapur ha sido un motor clave para su desarrollo económico y para su posicionamiento como líder en el comercio verde a nivel mundial. Se recomienda promover la adopción de políticas de economía verde en otros países en vías de desarrollo, con el fin de mejorar el desarrollo sostenible y la competitividad en el comercio internacional.

Según el texto anterior es importante compartir este tipo de prácticas que ayuden a mejorar la capacidad productiva agrícola de un país de forma que no afecte o genere una cantidad menor de daño ambiental, por eso busca que otros países generen una implementación de este modelo y generen una inversión a la hora de cosechar sus productos agrícolas.

Además, la aceptación de un modelo de economía verde permite no solo cuidar el medio ambiente, sino también ayudar en la calidad de vida de la población. Al aplicar prácticas agrícolas más sostenibles, se pueden reducir los daños generados al suelo y al agua, lo que a largo plazo beneficia tanto a los productores como a los consumidores.

Esto proceso también favorece a que los alimentos sean más saludables y accesibles para la comunidad, fomentando un estilo de vida más consciente y responsable con el entorno al crearse sobre un entorno controlado estos alimentos reciben menos exposición a insectos y pesticidas que generen que los productos sean nocivos o perjudiquen al consumidor final, ya que los productos no tienen fertilizantes o químicos.

Por otra parte, para que Costa Rica pueda implementar este modelo con éxito, es necesario fortalecer las instituciones y promover la educación ambiental. Además, se requiere incentivar la inversión en tecnologías limpias y en métodos agrícolas innovadores que aumenten la productividad sin perjudicar el ecosistema. De esta manera, el país podrá avanzar hacia un desarrollo más sostenible y competitivo en el mercado internacional, cumpliendo con los objetivos globales de protección ambiental y bienestar social.

Como tercer antecedente nacional se presenta la tesis titulada *“Eficiencia hídrica y productiva de tres sistemas de producción vertical con distintos grados de tecnificación, y su influencia en el crecimiento y rendimiento de lechuga (Lactuca sativa)”*, elaborada por Rodríguez Soto, Adriana Vanessa (2023). Este proyecto tuvo como objetivo analizar la eficiencia hídrica y productiva de tres sistemas de producción vertical como alternativa para la producción de lechuga hidropónica. Aunque el estudio posee un enfoque técnico vinculado a la agronomía, ofrece una base sólida para comprender y analizar los sistemas hidropónicos verticales adaptados al las necesidades costarricense.

Uno de sus objetivos específicos fue “caracterizar el crecimiento del cultivo de lechuga hidropónica var. Bg en tres sistemas de producción vertical, para la cuantificación del potencial productivo en términos de rendimiento fresco por área”. A lo largo del documento, se analiza detalladamente las diferencias en el crecimiento de las plantas bajo condiciones controladas mediante sistemas hidropónicos verticales.

Es importante aclarar que en esta tesis no se utilizaron sistemas verticales costosos como los de la empresa Sky Greens. Por el contrario, se emplearon soluciones locales como mangas de polietileno o bolsas, las cuales actúan como recipientes de los cultivos y fueron dispuestas de forma vertical. Estos sistemas, aunque simples y económicos, representan una alternativa accesible y viable para las condiciones agrícolas de Costa Rica y demuestran que hay alternativas a las habituales para lograr cultivar nuestros alimentos.

El estudio evidencia ventajas significativas en la eficiencia del uso de recursos, particularmente en el ahorro de agua, uno de los factores clave de la investigación. Asimismo, se evidencia un aprovechamiento más eficiente del suelo mediante el uso de las mangas de polietileno, las cuales, además de resultar más rentables, ofrecen un rendimiento adecuado para cultivos como la lechuga, un producto de alta demanda en Costa Rica.

Finalmente, con las estructuras implementadas y un sistema de riego diseñado para este contexto, la investigación logró demostrar la viabilidad de la agricultura vertical aplicada a pequeña escala en Costa Rica, resaltando el ahorro de recursos como el suelo y el agua, siempre bajo condiciones controladas por los responsables del proyecto y de manera que demostraron de manera práctica la aplicación de sistemas alternativos de riego.

Aunque este proyecto mantiene un enfoque técnico, ofrece una opción económicamente viable para implementar sistemas de agricultura vertical en Costa Rica, sin requerir las grandes inversiones observadas en modelos como los de Singapur. De este modo, se contribuye al objetivo de la sostenibilidad y la seguridad alimentaria, manteniendo bajos los costos de implementación mantener el objetivo de la sostenibilidad y la seguridad alimentaria, sin elevar tanto los costes de inversión. Ya que es más rentable usar alternativas como las demostradas en este documento de referencia.

La adaptabilidad climática de esta forma de agricultura resulta bastante llamativa, ya que las temperaturas de la República de Costa Rica ya que las capas de manga son resistentes a las condiciones climáticas del país. Por esto es importante realizar el análisis a este antecedente ya que cumple con varias características que ayudan mejor el entendimiento de la agricultura vertical aplicada a pequeña escala en condiciones diferentes a las demostradas por países como Singapur.

Como cuarto antecedente nacional se presenta la tesis titulada “Vivienda agro-resiliente: una iniciativa de autosuficiencia urbana a través de huertas verticales habitables” elaborada por Lorenzen Baltodano, Gerardo (2021). Este proyecto tuvo como objetivo proponer una alternativa arquitectónica de vivienda vertical desde la perspectiva de entendimiento de una sinergia entre la vivienda y la producción de alimentos por medio de la agricultura urbana vertical, y recrear la

primera granja vertical habitable por humanos del país. Este objetivo planteado demuestra el estudio a nivel de infraestructura de este modelo.

Continuando con lo anterior este sistema demuestra los avances y las necesidades vistas por la investigación, al establecer una relación entre la vivienda y los alimentos algo que no es común en nuestra cultura, por lo que es importante destacar que este modelo y nueva forma de ver la agricultura vertical es relacionado a el objetivo de ver la viabilidad de aplicar el modelo de Sky Greens de la República de Singapur, pero de una manera más individual por parte de cada ciudadano.

En el trabajo de investigación se abarcan temas importante para entender la necesidad de replicar el caso de éxito de Sky Green, ya que demuestra con cifras los cultivos que son fácilmente cultivables y la gran cantidad de recursos como lo son el agua que se usan para llevar a cabo la producción de estos alimentos , este documento se usa como herramienta de forma que se vincula con ciertos parámetros y objetivos de esta investigación, a pesar de que no tienen el mismo fin tiene comparaciones importantes.

Esta investigación hace énfasis a las controversias causadas por los métodos tradicionales de cultivo los cuales son poco efectivos en cuanto a rendimientos del uso de agua y tierra que ocupan para crear estos alimentos, siendo estos últimos un factor bastante cuestionado y del cual la agricultura vertical les saca ventaja objetiva en cuanto rendimientos y cantidad producida como también una gran reducción de desperdicios.

Parte del análisis que se realiza dentro de la realidad poblacional del país y del mundo es que al igual que se crean edificios con el fin de servir como vivienda, se adhiera a estos espacios estructuras de forma que no afecten a los habitantes y que sirvan para crear alimentos de forma eficaz, lo que busca es dejar de lado la monocultural donde se ve un aumento de la población y una disminución de la biodiversidad del país.

En esta misma línea podemos entender que “el resultado de este proyecto final de graduación representa uno de muchos posibles nuevos cambios que genera el hecho de que nuestra ciudad también pueda producir en lugar de solo consumir recursos como pauta de diseño”

(Lorenzen Baltodano, 2021) el interés de este documento es demostrar la viabilidad de incorporar nuevos sistemas o métodos que ayuden a la población a sobrellevar una alimentación mejor, un entorno más saludable visualmente y acondicionado de manera que ayude a resguardar recursos tan importante como lo son el agua.

Uno de los aspectos que este documento nos indica es la rentabilidad de llevar acabo estos sistemas de cultivo de forma que sirvan como un valor agregado para las compañías que crean edificios de vivienda y lo venda como una oportunidad de generar un cambio urbano, además de brindar un ambiente fresco y natural a sus habitantes de forma que se vuelva una nueva forma de cosechar nuestros productos.

Como quinto antecedente nacional se presenta la tesis titulada: Lineamientos para la creación de capacidades en Agricultura Urbana y Periurbana: Estudio de caso Turrialba, Costa Rica elaborada por Claudia María Ocampo González (Turrialba, Costa Rica, 2012)

La cual tiene como objetivo general la de desarrollar de forma teórica la creación de capacidades en agricultura urbana y periurbana en Turrialba de Costa Rica, esto quiere decir que buscan crear sistemas de agrícolas dentro de ciudades y zonas aisladas o rurales, de forma que estas personas pueden crear sus propios alimentos de forma eficiente.

En el documento se analizan temas como los son la hidroponía y la relación de estos sistemas con la creación eficiente de alimento con pocos recursos, esto debido a los escasos o la poca fuente de agua que puedan tener las zonas donde se quieren establecer y se proyectan estos proyectos, además como esto está pensado para complementar la alimentación de familias busca como objetivo la mecanización de crear estas cosechas.

La presente tesis es importante ya que describe varias problemáticas relacionadas a países con una gran carencia de acceso monetario por lo cual es indispensable no relacionarlo con la alimentación de los ciudadanos, por esto en el documento se analiza el impacto que tienen la agricultura urbana y periurbana como una fuente de alimento para muchas personas en estados de emergencia.

Un punto importante sobre el documento es la relación que tiene la seguridad alimentaria de la población con la pobreza de ciertas zonas del país en las cuales de manera objetiva se pueden instalar proyectos piloto para ciertos lugares que requieran una intervención en cuanto a la alimentación de forma que la implementación de granjas con sistemas hidropónicos y en plataformas adaptadas a el presupuesto puede considerarse una fuente viable para estas familias. Ayudando a combatir aspectos como la pobreza y seguridad alimentaria.

Para finalizar este documento es importante debido a el enfoque que le dan a estos sistemas de granjas y que generan resultados en la zona de Turrialba lo cual generan un gran aporte a este trabajo de tesis ya que demuestra el alcance y la eficacia de estos sistemas en la seguridad alimentaria de los pobladores y demuestra que un plan piloto con una gran inversión puede generar mayores resultados.

#### **1.4.2. Antecedentes Internacionales.**

Seguidamente, se van a desarrollar los antecedentes internacionales que proporcionan un marco de referencia clave para esta investigación y que a la vez permiten analizar desde otro enfoque cómo otros países han abordado la culminación de la agricultura vertical. En esta sección, se revisarán estudios, proyectos y modelos exitosos que han sido aplicados en distintas partes del mundo.

Estos antecedentes ayudarán tener una mejor comprensión de las mejores prácticas y avances de la agricultura vertical, además se analizan los desafíos enfrentados y la consecuencia tecnológicas, económicos y ambientales de esta área agrícola en contextos internacionales, sirviendo como una gran base comparativa para evaluar su viabilidad y aplicación en la República de Costa Rica.

Cómo primer antecedente internacional se encuentra el libro titulado *The Vertical Farm* de Despommier, D. (2010). Este libro fue publicado por el reconocido profesor de la Universidad de Columbia y se ha convertido en una referencia clave para la agricultura moderna al popularizar el concepto de las granjas verticales. La importancia de este libro es debido a ser de los primeros pioneros en hacer estudios sobre proyectos del tema de agricultura vertical de forma teórica, este

libro se encuentra como un gran exponente del tema al tener en su libro grandes bases e información sobre lo que son las granjas verticales dándole un enfoque diferente a la agricultura.

En esta obra se plantea el siguiente objetivo general: “Popularizar el concepto de granjas verticales como una solución para minimizar el consumo de recursos y reducir el daño ambiental causado por la agricultura tradicional” (Despommier, 2010, s. p.), con esto podemos entender que el enfoque principal de este tipo de proyecto es minimizar el uso de recursos que destinamos para la agricultura. En este libro se puede analizar temas en los cuales se estudian aspectos específicos como el consumo de recursos de las granjas comunes y todo el impacto ambiental que dejan estas granjas convencionales en el suelo y las cantidades de recursos que necesitan para poder llevar a cabo sus operaciones, también otro aspecto a mencionar es la afectación al terreno en el cual se cultiven los alimentos dejándolo inutilizado por los químicos usados durante las cosechas.

Es importante destacar que en el libro se analiza el desempeño de las tecnologías como la aeronomía, acuaponía e hidroponía y su papel en el desarrollo de sistemas agrícolas eficientes, y buscando que estas tecnologías tenga un uso en la agricultura vertical, esto con el fin de ayudar a crear de forma más eficiente los alimentos, entre otro de los puntos que se habla es la seguridad alimentaria global en zonas altamente pobladas con limitaciones de acceso a alimentos asequibles, buscando usar este sistema como una solución viable ante el problema de la alimentación poblacional. Entre los hallazgos clave el autor menciona

“Una granja vertical de 30 pisos en una manzana urbana podría producir tanto alimento como 2.400 acres de cultivos al aire libre, con menos desperdicio” (Despommier, 2010, s. p.). Además, señala: “La agricultura está dañando el medio ambiente y no hay suficiente tierra cultivable para alimentar a 9,5 mil millones de personas en 2050” (Despommier, 2010, s. p.).

Se entiende que el concepto de granjas verticales puede ser una solución clave para satisfacer las necesidades alimentarias de las grandes poblaciones urbanas en la actualidad y en tiempos futuros, viendo este sistema como una respuesta ante aspectos como la falta de tierra cultivable y la necesidad de alimentar a más personas en 2050, además buscando minimizar el daño ambiental y maximizando la eficiencia del uso del espacio.

Por otro lado, se recomienda fomentar la investigación y desarrollo en el campo de la agricultura vertical, así como la creación de políticas públicas que promuevan su adopción en zonas urbanas densamente pobladas con el fin de que sea una respuesta ante los desafíos poblacionales en las zonas urbanas o densamente pobladas con pocos recursos energéticos.

También podemos ver que la eficiencia demostrada por este tipo de granjas controladas es mayor que el de las granjas habituales por el tipo de sistema que utilizan y la cantidad de pérdidas es menor por afectaciones climáticas e insectos, así como su producción es mayor en cuanto al rendimiento habitual de una granja normal como:

“Una hectárea de cultivo en interiores produce la misma cantidad que al menos de cuatro a seis hectáreas al aire libre. Algunos cultivos, como las fresas, ofrecen rendimientos notables mas altos en granjas interiores que exteriores” **Despommier, D. (2010), *The Vertical Farm*.**

Con el texto anterior podemos entender, la eficiencia que obtiene del uso de estos sistemas controlados de agricultura moderna siendo una forma más productiva y rentable ambientalmente de producir los alimentos. Ya que se optimiza el espacio en el que se cultivan los vegetales al apilar las estructuras en forma vertical y se reutilizan recursos como el agua la cual es reciclada al estar en un sistema cerrado, además al estar en espacios cerrados podemos controlar el progreso de forma mas humana el crecimiento y la rentabilidad de los cultivos agrícolas.

Como segundo antecedente internacional se menciona el trabajo de investigación titulado, *La agricultura vertical: una opción sustentable para producir alimentos en México*. Anda Sánchez, J. (2016), dicho trabajo aborda la problemática del uso de tierras agrícolas y la creciente necesidad de implementar prácticas agrícolas más sostenibles para satisfacer la demanda alimentaria. En esta investigación se plantea el siguiente objetivo general: “Analizar la viabilidad de la agricultura vertical como una alternativa sustentable para reducir el uso de tierras agrícolas y mejorar la seguridad alimentaria en México” (Anda Sánchez, 2016, s. p.)

El análisis de la viabilidad de la agricultura vertical como alternativa sustentable resulta clave para esta tesis, ya que aporta un enfoque comparativo con gran similitud temática y permite fundamentar el desarrollo del proyecto desde un modelo validado. Asimismo, se abordan los siguientes temas específicos la proyección de tierras necesarias si las prácticas agrícolas tradicionales continúan sin cambios dando a entender el uso de suelo poco óptimo que tiene los países para usarse en dicho trabajo agrícola, la relevancia de la agricultura vertical como solución sustentable para mitigar el uso excesivo de tierras y las implicaciones del crecimiento poblacional y la inmigración en la demanda alimentaria.

En el acontecer de los Estados Unidos Mexicanos, es mantener grandes extensiones de cultivos de forma ineficiente en cuanto al uso del suelo esto sumado a la condición de aumento poblacional y la falta de atención ambiental, ha generado que haya una dependencia de importaciones sobre productos alimenticios y esto debido a que las zonas altamente pobladas requieren una gran cantidad de alimentos y su producción no da abasto para concretar esta tarea.

El autor menciona que “Si las prácticas agrícolas tradicionales siguen como hasta ahora, se estima que se requerirán aproximadamente 109 millones de hectáreas de tierras adicionales a las ya existentes para cultivo (alrededor de 56% del territorio de la república mexicana)” (Anda Sánchez, 2016, s. p.). según el texto anterior podemos entender que el autor indica que la agricultura vertical no solo puede reducir la gran carga que tienen las tierras de cultivos con su producción, sino que también ofrecen una alternativa para cultivar en espacios urbanos no convencionales como en las ciudades.

Según lo mencionado determina que, bajo la realidad actual del aumento poblacional y la demanda creciente de alimentos, la agricultura vertical representa una oportunidad clave para mitigar el uso de recursos y mejorar la seguridad alimentaria en México y otros países con desafíos agrícolas similares. Se recomienda adoptar políticas públicas y estrategias educativas que fomenten el uso de la agricultura vertical para satisfacer las crecientes necesidades alimentarias de manera sostenible y eficiente. Adicional, este documento de referencia es importante por la implementación del tema en un país como la República de México que ostenta una mayor población que la República de Costa Rica, y se puede obtener un punto de vista al estructurar la

viabilidad de dicho proyecto con investigaciones previas en países con una problemática mayor a la nuestra. Lo más relevante de este antecedente, es la comparación y el contraste que podemos ver en cuando a la República de Costa Rica, ya que permite proyectar la viabilidad del proyecto de la agricultura vertical en el país, ya que mantenemos una situación similar en cuanto a aumento población en las grandes ciudades.

Como tercer antecedente internacional se encuentra la tesis titulado *Agricultura vertical para aumentar la producción de alimentos en áreas urbanas*. Castro Canales, D. S. (2023). Este documento se centra en los beneficios y el impacto de la agricultura vertical en el mercado nacional e internacional, haciendo énfasis en su crecimiento y potencial económico. En esta investigación se plantea el siguiente objetivo general: “Analizar los beneficios y el impacto económico de la agricultura vertical para el mercado nacional e internacional, especialmente en áreas urbanas” (Castro Canales, 2023, s. p.) Por lo tanto, la agricultura vertical se encuentra en pleno incremento como una estrategia que algunos países han optado por aplicar ante las crecientes necesidades de la sociedad. Su avance a sido impulsado por la innovación tecnológica y el respaldo del gobierno y de inversión de capital por parte del sector agroindustrial, ya que es una gran inversión que se proyecta tenga una retribución en años futuros.

Esta tesis está relacionada en cuanto el alcance de las económico que puede llegar a tener un proyecto de esta magnitud, al poder desenlazar un impacto económico en las zonas urbanas de nuestro país, incrementando los ingresos del país y de sus ciudadanos, además el alcance internacional que podemos tener por la apertura comercial a otros países en desabastecimiento. Asimismo, se abordan los otros temas específicos como la proyección de crecimiento del mercado global de la agricultura vertical y el valor económico que está obteniendo por parte de la bolsa de valores. También factores ambientales en cuanto a la agricultura y sus beneficios y por ultimo las implicaciones del alto costo inicial y las oportunidades de financiamiento para este modelo agrícola, por estos temas es importante relacionar dicho trabajo con el nuestro.

El autor señala que, “Para el año 2023, se espera que el mercado global de la agricultura vertical alcance un valor total cercano a los \$6,400 millones, en contraste con los \$403 millones registrados en 2013” (Castro Canales, 2023, s. p.). Se concluye que, a pesar de los altos costos iniciales, la agricultura vertical se está consolidando como una tendencia global con grandes beneficios para el mercado alimentario, especialmente en áreas urbanas densamente pobladas.

Finalmente, se recomienda fomentar el financiamiento y la inversión en agricultura vertical, tanto a nivel nacional como internacional, para maximizar sus beneficios económicos y mejorar la seguridad alimentaria global. En cuanto a los costarricense, este análisis resulta útil para poder identificar las oportunidades de inversión y exportación en el ámbito agrícola urbano. Ya que, en el dinamismo comercial del país y su vocación por la sostenibilidad, replicar un modelo como el analizado podría generar encadenamientos productivos y beneficios estatales que refuercen la seguridad alimentaria y la industria agrícola.

Como cuarto antecedente nacional se encuentra la tesis de La agricultura vertical como estrategia para garantizar la seguridad alimentaria en términos de abastecimiento y calidad de productos en el municipio de Gachetá, Cundinamarca Publicado por Mogollón Pérez y Quimbay Díaz (2019). En esta investigación se aborda el siguiente objetivo general: “Plasmar sustentos teóricos sobre estudios e investigaciones que han llevado a cabo sobre la agricultura vertical y dar a conocer cómo, a través del tiempo, se ha implementado en países subdesarrollados como alternativa para combatir la escasez de alimentos, garantizar la seguridad alimentaria de la población, mitigar el cambio climático y conservar el ecosistema” (Mogollón Pérez & Quimbay Díaz, 2019, s. p.).

Como se mencionó anteriormente, lo que se busca es realizar un análisis sobre dicha documentación para poder replicarla en este documento ya que la República de Costa Rica, aunque no sea un país altamente poblado si es en su mayoría bastante urbano generando que los productos no se cosechen en las capitales, si no que se realice el proceso en sus lejanías, esto es importante recalcarlo ya que muchas de estas zonas rurales son afectadas por las tormentas, sequías y otros factores climáticos que afectan el país, afectando las cosechas del año y afectando y alterando el precio de los productos. Por esto es importante el desarrollar prácticas de agricultura vertical en

la zonas urbanas o grandes ciudades para poder obtener un mayor control de estos productos y que tengan una fácil distribución, por esto es relevante este antecedente.

Además, se profundiza en temas relacionados con la evolución de la implementación de la agricultura vertical en países subdesarrollados y Estrategias para combatir la escasez de alimentos mediante esta práctica otro punto importante es Su impacto en la mitigación del cambio climático y conservación del ecosistema. La metodología empleada es de enfoque cualitativo, basándose en la recopilación de estudios e investigaciones previas relacionadas con la agricultura vertical en diferentes países, con el fin de ofrecer un marco teórico sólido para la investigación y lograr un mejor entendimiento sobre la agricultura e investigaciones. Entre las principales conclusiones de indica: “La agricultura vertical representa una herramienta clave para garantizar la seguridad alimentaria, especialmente en contextos vulnerables, al mejorar el acceso a alimentos de calidad y minimizar el impacto ambiental” (Mogollón Pérez & Quimbay Díaz, 2019, p. 70).

Por lo anterior, en la investigación citada se recomienda: “Fomentar la adopción de políticas públicas y estrategias educativas para promover el desarrollo y la implementación de la agricultura vertical en zonas rurales y urbanas con el fin de garantizar el abastecimiento alimentario y la sostenibilidad ambiental” (p. 71). Nuestro país al ser un país con un alto índice de exportación de alimentos a otros países se tiene que mantener dicha producción agrícola al mercado, casi como una forma de mantener una buena relación comercial con los países que consumen nuestros productos, por lo tanto para mantener estas condiciones y no perder compradores internacionales tenemos que mantener un flujo de exportaciones.

Además, sustentar la población local con los productos locales, lo cual requiere una gran capacidad de producción que se puede mejorar con la implementación avances tecnológicos en las granjas. Por otro lado, es importante mantener una seguridad alimentaria para nuestra población por lo cual tenemos factores importantes que relacionen el trabajo de Mogollón Pérez & Quimbay Díaz y el redactado en este trabajo de investigación.

Como quinto antecedente internacional se menciona la tesis de Sustainable Intensification: insights from vertical farming on the links between Diffusion of Innovation and the Business Model [Tesis doctoral, University of Leeds]. Escrita por Briggs, H. R. (2022).

El presente documento tiene como objetivo generar una mayor producción de alimentos sin perjudicar el ambiente de manera sostenible, esto por medio del uso de tecnologías y soporte agronómico en sistemas verticales de tres dimensiones. Este objetivo se relaciona con las dimensiones del trabajo de analizar el caso de estudio de la República de Singapur y su viabilidad de Costa Rica.

Este documento es importante ya que demuestra un **marco conceptual firme** sobre cómo escalar la agricultura vertical con sostenibilidad económica y tecnológica lo cual es una forma de usar como ejemplo piloto de la viabilidad de estos sistemas en este documento de investigación, ya que sirve como ejemplo de reestructuración tecnológica que beneficien este sistema de agricultura.

La manera en que genera este aporte es debido a sus análisis de Luces LED de bajo consumo, Automatización robótica, **Sensores** de nutrientes e iluminación y Software para control climático. Estos aportes son particularmente importantes ya demuestran que estos análisis y enfoque pueden aplicarse en la viabilidad que tienen estas granjas en la República de Costa Rica Además, aporta un análisis riguroso sobre cómo empresas tecnológicas agrícolas incorporan innovación para sostenerse económicamente y expandirse de forma eficaz generándoles ganancias económicas lo cual es muy relevante para entender el modelo de Sky Greens y su posible adaptación en la República de Costa Rica. Por lo que este documento es importante ya que nos brinda otro concepto de adaptabilidad tecnológica.

## **1.5. Proyecciones**

El objetivo de las proyecciones es determinar las respuestas a la pregunta de investigación por medio de una serie de metas establecidas, las mismas nos sirven para obtener una guía en la cual se basa el desarrollo de la investigación las cuales sirven como guía para el desarrollo de la investigación. Puntualmente, se pueden mencionar:

- Generar teoría sobre la implementación de la agricultura vertical en la República Costa Rica
- Nutrir el conocimiento sobre la sostenibilidad y eficiencia en la producción agrícola.
- Maximizar el conocimiento sobre el impacto económico de la agricultura vertical.
- Sustentar la comprobación de los factores que determinan la viabilidad de la agricultura vertical en la República Costa Rica.
- Aportar a otras disciplinas relacionadas con la agricultura sostenible.
- Verificar el valor agregado de la agricultura vertical como motor de crecimiento económico
- Comprobar las áreas clave de desarrollo para la agricultura vertical en la República Costa Rica.
- Promover la agricultura vertical como una solución a la inseguridad alimentaria y el cambio climático en la República Costa Rica

En conclusión, las proyecciones establecidas en esta investigación permiten orientar el trabajo hacia el cumplimiento del objetivo principal, proporcionando un marco de referencia claro para responder la pregunta de investigación. A través de metas específicas, se busca generar teoría, ampliar el conocimiento sobre sostenibilidad y eficiencia agrícola, y evaluar el impacto económico de la agricultura vertical en Costa Rica. Además, se pretende sustentar su viabilidad, identificar áreas clave de desarrollo, y promoverla como una solución viable ante desafíos como la inseguridad alimentaria y el cambio climático. De esta manera, el estudio no solo contribuye al ámbito agrícola, sino también a otras disciplinas comprometidas con el desarrollo sostenible del país.

## CAPITULO II. MARCO TEORICO

El siguiente capítulo tiene como objetivo establecer un marco conceptual técnico y contextual sobre la viabilidad de la agricultura vertical aplicada en Costa Rica y usando como caso de estudio la República de Singapur y su experiencia a la hora de aplicar este modelo a sus necesidades poblacionales. Para esto se analiza los fundamentos teóricos, antecedentes de la evolución del modelo, económicos y sus aportes a largo plazo y ambientales. Y este último lo ha consolidado como una gran alternativa al ser más amigable con el ambiente.

### **2.1. Modelo de agricultura vertical sostenible.**

En el siguiente apartado vamos a ayudar a entender el modelo de agricultura vertical sostenible, concepto el cual se ha desarrollado con el paso de los años y a sido sujeto de varios aportes por parte de Ingenieros, agrónomos y tecnólogos. En la actualidad este modelo se utiliza para poder ayudar a países con poca tierra fértil o con alguna deficiencia demográfica para cultivar alimentos y poder alimentar a sus habitantes.

Además, este modelo ha ido avanzando con el paso del tiempo y ha tomado un rumbo que involucra varios aspectos de interés internacional, como lo son ayudar combatir con la seguridad alimentaria de los países con una alta densidad poblacional y poco espacio de tierra fértil, por lo que la mezcla de soluciones que dan a un número alto de problemáticas resalta la importancia de este modelo de cultivar alimentos, y lo transforma en una alternativa viable para muchos países.

Este sistema mantiene un ahorro importante de agua y electricidad ya que usa la luz solar y mantiene condiciones en las tuberías que permite que el agua circule de manera eficiente, por lo que logra regar una cantidad de plantas mayor con poca agua, siendo este sistema de gran valor por los intereses de ahorro energético. Ya que estos sistemas de cultivo ayudan a mantener estos productos cerca de los consumidores y por lo tanto a un precio más considerable que exportarlos de los otros países a un costo más elevado.

Otra de las ventajas que tiene este modelo es que se pueden producir cultivos todo el año, sin importar si hay lluvia, sequía o mucho calor. Como todo está controlado, las plantas crecen en condiciones estables, lo que evita muchas de las pérdidas que se ven en las granjas tradicionales por el mal clima. También hay que mencionar que se puede usar en edificios, techos o espacios reducidos en las ciudades, lo cual es muy útil cuando no hay mucha tierra disponible. Esto ayuda a aprovechar lugares que normalmente no se usan y además se puede llevar comida fresca directamente a mercados locales o supermercados urbanos.

El impacto ambiental también es más bajo. Al tener las granjas en las ciudades se gasta menos gasolina en transporte, se produce menos contaminación y no se usan tantos químicos, porque los ambientes están más controlados y hay menos plagas. Esto hace que la producción sea más limpia y saludable. Un ejemplo claro de este tipo de agricultura es la empresa Sky Greens en Singapur. Ellos desarrollaron un sistema de torres giratorias donde las plantas se cultivan en bandejas apiladas, aprovechando la luz del sol y el agua que se recicla constantemente. Esto les ha permitido producir más alimentos en menos espacio y con menos recursos, siendo un modelo que muchos países están analizando para copiar.

Por todo esto, este tipo de agricultura se ha vuelto una opción muy interesante para países como Costa Rica, donde el crecimiento de las ciudades y el cambio climático ya están afectando la forma en que se cultiva. Si se logra adaptar bien este sistema a nuestra realidad, se podrían obtener muy buenos resultados tanto para los agricultores como para las personas consumidoras.

### **2.1.1. Concepto del modelo de agricultura vertical sostenible.**

La idea de la Agricultura Vertical Sostenible nace de varios aportes de diferentes campos los cuales son arquitectónicos, agrónomos y ahora tecnológicos, estos diferentes campos han contribuido con diferentes estudios la agricultura, al lograr estructuras agrícolas en lugares poco usuales y contribuyendo un problema social que es dado por el incremento poblacional alrededor del mundo.

La agricultura vertical sostenible es una forma de producción agrícola que cultiva alimentos en capas apiladas verticalmente, generalmente integradas en estructuras urbanas, utilizando tecnologías como la hidroponía, aeroponía e iluminación artificial eficiente, todo en un entorno controlado que optimiza el uso de recursos (FAO, 2021).

Como otro punto importante de mencionar tenemos que ver que las granjas verticales tienen una gran capacidad tecnológica, usando dispositivos bastante modernos y complejos de los cuales se destacan los sensores de humedad, temperatura y nutrientes automatizados de riego e iluminación LED, además mantienen el uso de inteligencia artificial para monitorear y concluir ajustes dentro de las granjas en tiempo real. Todas estas herramientas la gran diferencia que tiene esta modalidad de cultivo con la habitual.

Es importante destacar que la agricultura vertical es el resultado de muchos años de prácticas poco ortodoxas en la agricultura, en su mayoría fue la manera más eficaz de lograr cultivar alimentos en entornos complicados o poco usuales para cultivar alimentos, pero a pesar de estos desafíos se logra por medio de la adaptación de esta. Hay varios casos de estudio que podemos analizar para poder entender este proceso.

El concepto moderno como tal nace, de la forma controlada de producir alimentos agrícolas dentro de un entorno controlado y además proporcionándole los suministros necesarios para poder cosecharlo en el tiempo o ciclo correcto para optimizar las plataformas y usarlas para las nuevas cosechas, esto sucede para cada tipo de alimento.

Desde una perspectiva histórica, encontramos antecedentes de agricultura vertical en civilizaciones antiguas como los Incas, quienes son una demostración de cómo fue evolucionando la agricultura vertical abarca muchos años de la humanidad al demostrarse que los incas utilizaban sistemas de terrazas en sus casas para poder generar sus cultivos, Estos sistemas incorporaban drenaje interno que evitaba deslizamientos durante la temporada de lluvias.

A pesar de que es un dato bastante viejo, es un gran ejemplo de cómo existieron cambios importantes de adaptación humana en el área de la agricultura en el caso de los incas de la República de Perú que utilizaron sus terrazas aprovechando el poco espacio que tenían para la agricultura y creando un sistema de drenado funcional. Y logrando llevar a cabo la necesidad de su ciudad generando un adecuado sistema agrícola.

Un hecho que cumple con estas características mencionadas es el modelo agrícola desarrollado por el imperio Inca, específicamente en zonas como la Quebrada de Humahuaca en la zona noroeste argentino. Ya que esta zona se puede considerar una forma antigua de agricultura sostenible. El arcaico sistema que utilizaban se estructuraba en la formación de terrazas en laderas montañosas que permiten aprovechar al máximo los territorios en zonas verticales o limitantes geográficas. A este sistema se le puede nombrar pisos ecológicos con microclimas. Este tipo de estructuras es semejante con la agricultura vertical contemporánea, ya que cumplen con una de las funciones principales que es optimizar el espacio en entornos urbanos mediante estructuras verticales.

Otra de las grandes similitudes es el riego de las plantas que lo hacían por medio de acequias, que son un tipo de canal artificial que optimiza el agua, estos sistemas eran bastante eficientes y además óptimos para la población local ya que no era una forma de lucro si no de supervivencia. La agricultura inca viene siendo una forma muy antigua de agricultura vertical con un antecedente técnico, social y ecológico.

Además de los Andes, otras regiones del mundo también desarrollaron sistemas agrícolas similares. Un ejemplo destacado es el de las terrazas de arroz de Ifugao, en Filipinas, ya que es otro gran ejemplo del concepto de agricultura vertical es las terrazas de arroz de Ifugao en Filipinas, ya que mantienen una gran estructura que ha perdurado a lo largo de los años y que fue creada ante la adversidad de los terrenos montañosos de la zona, también se sabe que fue de mucha ayuda contra el clima tropical. Por esto podemos ver que la adaptación es un tema de condiciones que afectan el desempeño y supervivencia de un pueblo como es el caso de:

“Las terrazas de arroz de Ifugao no son solamente estructuras agrícolas; son el resultado de una compleja estrategia de resistencia cultural, donde la agricultura se convierte en un acto político y de afirmación identitaria.” Acabado (2015, p. 56).

Con estas estructura podemos resaltar que la adaptación humana a condiciones climáticas, geográficas, políticas y en el caso de poblaciones grandes sociales, que la alimentación es bastante importante en cuanto a la sociedad ya que mantiene las grandes ciudades funcionando al brindar alimentación, a pesar que la agricultura ha perdido prestigio como algo relevante en la sociedad sigue siendo un factor que altera las grandes compañías y el mercado global por esto hemos tenido que adaptarla a los cambios actuales.

La conexión entre agricultura y espacio urbano también fue explorada desde el campo de la arquitectura ecológica. En este sentido, el arquitecto malasio Ken Yeang propuso

“El diseño ecológico no consiste únicamente en reducir el impacto ambiental de los edificios, sino en transformarlos en sistemas vivos que imiten los principios de la ecología natural. Esto implica la integración de vegetación funcional, la reutilización de recursos, y la creación de estructuras que no solo alojen personas, sino que contribuyan activamente a la restauración ambiental. La arquitectura del futuro debe ser regenerativa: producir aire limpio, reciclar agua, y cultivar alimento en sus propios espacios.”Yeang (2006, p. 24).

Un cambio que le dio significado al concepto es la importante transición del ambiente natural que encontramos en los lugares habitualmente rurales y lo urbano que con normalidad es bastante normal no encontrar lugares con plantas o agricultura por lo difícil que es obtener espacios adaptados a la naturaleza es un tema que el señor Ken Yeang logro unificar en un entorno poco ortodoxo ya que une dos estos dos ambientes muy diferentes entre sí y los hace uno generando que el espacio sea cohabitadle entre estos dos diferentes especies.

Con esto podemos entender que reestructurar la idea de grandes ciudades se puede hacer mediante la adaptación de espacios con doble usos en el caso de Ken Yeang fue con edificios altamente adaptados a una sustentable estancia de lo natural y lo urbano, con esto genero un avance al utilizar y mezclar dos campos como lo es la vivienda y el entorno de la agricultura en uno mismo. Por otro lado, mientras que Yeang desarrollo una visión arquitectónica al integrar dos ambientes bastante diferentes, el microbiólogo Dickson Despommier desarrolla el científico practico.

El aporte que genera Dickson Despommier es bastante relevante para el concepto de agricultura vertical Sostenible, ya que gracias a sus desarrollos creo un modelo teórico en los años 2000, modelo en el cual se propone un cultivo de alimentos dentro de un edificio de varios pisos en áreas urbanas densamente pobladas, esta propuesta pudo resolver varios problemas a la vez ya que estaba concluyendo varias desafíos actuales, estos son la escases de tierra cultivable, la degradación ambiental la inseguridad alimentaria urbana y la contaminación del trasporte agrícola.

Por consiguiente, tenemos que analizar que a diferencia de la agricultura tradicional que depende en su totalidad de grandes extensiones de terreno, condiciones climáticas y agroquímicos, la agricultura vertical permite cultivar en espacio reducidos sin tierra y sin depender de las estaciones del año o verse afectado por condiciones climáticas al estar en un lugar cerrado. Por esto esta independencia de factores como la tierra y el clima externo demuestran la capacidad de superar las barreras ambientales.

Con este modelo de agricultura moderna se dieron las bases que hoy utilizan empresas como Sky Greens en La República de Singapur, ya que han usado este modelo de agricultura para solventar sus escases de tierra cultivable para la agricultura y la deficiencia alimentaria de su población uniendo dos entornos como lo es lo urbano con los entornos agrícolas, bajo estos factores podemos entender como se ha desarrollado el concepto de Agricultura vertical en la sociedad de una forma novedosa que han aplicado tecnología para poder mantener una centro de producción viable.

La agricultura vertical sostenible se visualiza como una forma de solucionar el crecimiento poblacional acelerado, cambio climático y la reducción de los suelos agrícolas. Según Grand View Research (2024), el mercado global de agricultura vertical podría alcanzar los 24.8 mil millones de dólares para 2030, impulsado por la necesidad de garantizar la seguridad alimentaria en zonas densamente pobladas.

En cuanto a la productividad por hectárea y el uso del suelo de este modelo por lo que importante demostrar un análisis integral de los requisitos de recursos como agua, tierra y energía para los sistemas y el funcionamiento de sistemas hidropónicos en comparación con el método convencional esta información es relevante para poder determinar la magnitud de diferencias que hay entre este modelo moderno y sostenible y sistemas tradicionales.

Por eso se tiene que demostrar que los sistemas hidropónicos mostraron una mayor eficiencia significativa mayor en comparación de los cultivos tradicionales, ya que el apilamiento vertical y la alta productividad intensa en ambientes controlados permiten un mayor rendimiento por unidad de superficie. Además el cultivo hidropónico demostró una mayor eficiencia superior en el uso de agua ya que los sistemas de recirculación reducen el consumo un 90% en comparación a los métodos tradicionales. En relación con la eficiencia del uso de suelo podemos ver observar la tabla a continuación.

**Tabla 1 Eficiencia en el uso del suelo.**

<b>Cultivo</b>	<b>Rendimiento Hidropónico (kg/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Rendimiento Convencional (kg/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Incremento de Rendimiento (%)</b>
Lechuga	25.6	8.2	212%
Tomate	45.3	15.7	188%
Fresa	12.8	5.4	137%
Albahaca	18.2	6.9	164%
Espinaca	21.4	7.6	182%

Fuente: Singh, A., Ashoka, P., Nasima, V. T., Panotra, N., Kalpana, K., Mubeen, y Pandey, S. K. (2024). A comparative analysis of land, water and energy requirements for hydroponic and conventional cultivation of horticultural crops. *Journal of Scientific Research and Reports*, 30(9), 771–784. <https://doi.org/10.9734/jsrr/2024/v30i92404>

Los datos anteriormente expuestos nos demuestran que el cultivo hidropónico logra mayores rendimientos significativos en comparación con la agricultura tradicional, esto lo podemos notar en la columna de incremento de rendimiento la cual se muestra los porcentajes. El mayor rendimiento lo tuvo **lechuga (212%)**, seguido por el **tomate (188%)** y la **espinaca (182%)**. Entonces con esta tabla podemos entender el impacto que tiene en los cultivos el usar la agricultura vertical y demostrando su importancia a nivel internacional ante una problemática como lo es el aumento de la población mundial y la seguridad alimentaria de los ciudadanos.

Continuando con el consumo de agua y eficiencia hídrica que son factores críticos en la evaluación de aspectos como lo son la sostenibilidad encontramos que

**Tabla 2 Consumo de agua y eficiencia hídrica en cultivo hidropónico y convencional**

<b>Cultivo</b>	<b>Uso de Agua Hidropónico (L/kg)</b>	<b>Uso de Agua Convencional (L/kg)</b>	<b>Ahorro de Agua (%)</b>
Lechuga	12.5	85.6	85%
Tomate	18.3	120.4	85%
Fresa	22.7	150.8	85%
Albahaca	15.2	100.3	85%
Espinaca	13.8	92.1	85%

Fuente: Singh, A., Ashoka, P., Nasima, V. T., Panotra, N., Kalpana, K., Mubeen, y Pandey, S. K. (2024). A comparative analysis of land, water and energy requirements for hydroponic and conventional cultivation of horticultural crops. *Journal of Scientific Research and Reports*, 30(9), 771–784. <https://doi.org/10.9734/jsrr/2024/v30i92404>

Estos resultados demuestran la gran capacidad de ahorro de agua que genera usar estos sistemas de cultivos en comparación con los métodos tradicionales dejando muy por debajo en la escala porcentual, este factor es de suma importancia ya que enfatiza el punto de la sostenibilidad de estos sistemas. Ya que el cultivo hidropónico ahorra un promedio de 85% de agua por unidad de rendimiento comparado con la agricultura tradicional. Estos factores se deben a el control preciso de riego automatizado, a la recirculación de la solución nutritiva y la reducción de pérdidas por evaporación.

Continuación se habla sobre el consumo energético el cual es crucial y es en el que la agricultura vertical se ve más afectado ya que estos sistemas al estar en sistemas de 24 horas usan luz LED que necesitan de corriente eléctrica para funcionar de forma adecuada.

**Tabla 3. Requerimientos y eficiencia energéticos del cultivo hidropónico y convencional**

Cultivo	Energía Hidropónica (kWh/kg)	Energía Convencional (kWh/kg)	Aumento Energético (%)
Lechuga	3.2	1.8	78%
Tomate	4.5	2.6	73%
Fresa	5.8	3.4	71%
Albahaca	4.1	2.3	78%
Espinaca	3.7	2.1	76%

Fuente: Singh, A., Ashoka, P., Nasima, V. T., Panotra, N., Kalpana, K., Mubeen, y Pandey, S. K. (2024). A comparative analysis of land, water and energy requirements for hydroponic and conventional cultivation of horticultural crops. *Journal of Scientific Research and Reports*, 30(9), 771–784. <https://doi.org/10.9734/jsrr/2024/v30i92404>

Con esta tabla podemos observar que los sistemas hidropónicos usan en promedio más energía por cultivo que los métodos convencionales, este aumento se debe a la iluminación artificial que se tienen que usar en estos sistemas modernos, al sistema cerrado que tiene un control de clima que ayuda a mantener la temperatura en las granjas y por último el sistema de bombeo que sirve para mantener en circulación el agua.

Estos datos son importantes para entender el significado que tiene la agricultura vertical en la actualidad, al brindar ahorros importantes en recursos energéticos como los son el agua y tierra, ya que estos sistemas reducen drásticamente estos componentes y los aprovecha de mejor manera, además ayuda en cuando a la cantidad de producción que genera para poder ser consumida de forma que a nivel de obtención cultivos es bastante optima.

Para comenzar con el tema del agua tenemos que mencionar que este recurso es esencial para la vida de los seres vivos y los humanos hacemos uso de este recurso para alimentar nuestros cultivos, usándolo de forma excesiva y descontrolada, por eso la agricultura se puede ver afectada por el escás mundial de este recurso.

Cabe señalar que con la implementación de la agricultura vertical se puede utilizar hasta un 90 % menos de agua al aplicar el agua con las dosis correctas, y si esto se realiza de forma global su impacto sería bastante grande al intensificar el ahorro como según nos indica: “En general, dependiendo del cultivo, las granjas verticales pueden consumir hasta un 98 % menos de agua en comparación con la agricultura tradicional. Esto no es posible con los métodos convencionales y, como se mencionó, incluso los invernaderos de alta tecnología presentan limitaciones debido a la mayor variabilidad en las condiciones de cultivo debido a la mayor exposición a la intemperie.” World Economic Forum. (2023, junio 20)

Es decir que el impulsar este modelo de agricultura vertical sostenible es totalmente sostenible al ayudar a preservar recursos como el agua a mayor escala que con los métodos tradicionales, y a su vez es más rentable ya que genera una gran producción de alimentos generando rendimientos tanto en ahorro de recursos y en la producción, siendo este sistema bastante novedoso y llamativo para países altamente poblados.

Por otro lado, el ahorro de espacio es una característica clave ya que los países que han utilizado este modelo se les atribuye que no tienen un espacio extenso para sobrellevar sus cultivos, convirtiéndose el factor de la verticalidad en una cuestión indispensable ya que reutilizar espacios como techo, o edificios suele ser una alternativa viable por lo fácil que son adaptar estas gramajas a estos lugares.

### **2.1.2. Implementación del modelo en Singapur.**

La República de Singapur es un país insular ubicado en el sudeste asiático, reconocido por ser uno de los más desarrollados y organizados del mundo a pesar de su pequeño tamaño geográfico. Es una nación con muy pocos recursos naturales y con una densidad poblacional bastante alta, lo que ha obligado al país a buscar soluciones innovadoras para atender sus necesidades básicas, especialmente en temas como vivienda, transporte y producción de alimentos. Gracias a su enfoque en la tecnología, la planificación urbana y la sostenibilidad, Singapur ha logrado destacarse como un modelo de desarrollo moderno, siendo también uno de los primeros países en apostar fuertemente por la agricultura vertical como parte de su estrategia para asegurar el acceso a alimentos frescos y saludables en un entorno urbano.

El modelo que efectuó la República de Singapur, en respuesta a la necesidad alimentarias que tiene el país y la gran dependencia que tiene de las importaciones de alimentos, representa un caso de éxito cuando hablamos de la agricultura vertical sostenible, ya que el país cuenta con una extensión de 750 km<sup>2</sup> lo cual es una extensión territorial bastante reducida como para tener grandes áreas de terreno cubiertas por cultivos agrícolas, una gran densidad población que alcanza los 8.000 habitantes por kilómetro cuadrado. Siendo esto un reto para el estado al ver varios factores que afectan el funcionamiento de llevar alimentos a su población.

Continuando con el párrafo anterior la respuesta que el gobierno tomo ante esta situación fue, utilizar el modelo de agricultura de la empresa Sky Greens, ya que este sistema tiene una adaptación bastante intrínseca en cuanto a lo que el país necesitaba para resolver sus problemas, siendo esta empresa optima en cuanto a la necesidad de espacio y recursos para cumplir el funcionamiento de una granja, por eso el país decidido usar los recursos del estado para apoyar este proyecto.

A partir del 2012 el gobierno de La República de Singapur opto por apoyar proyectos precursores de la agricultura vertical como lo son Sky Greens, que fue considerada la primera granja vertical comercial del mundo. En relación con esto el contexto de la agricultura vertical ha sido una herramienta clave para el país ya que con este sistema logran dejar la dependencia en su totalidad de alimentos extranjeros, y además al implementarla en sus territorios

El proyecto anteriormente mencionado fue desarrollado por Jack Ng, que desarrollo el proyecto al utiliza torres rotativas de aluminio de hasta 9 metros de altura altamente equipadas y adaptadas, en las cuales se cultivan alimentos que son necesarios en la zona o requeridos por los habitantes de la ciudad para cubrir un porcentaje de la alimentación de los ciudadanos locales y con esto logrando nuevos avances en materia de agricultura moderna al aplicar estas tecnología y no afectar el entorno urbano, ya que estas torres ahorran una gran cantidad de agua.

Es importante mencionar que el sistema de rotación que nutre a las plantas dentro del entorno controlado usa energía hidráulica para girar las bandejas y garantizar una exposición uniforme al sol y al agua, reduciendo significativamente el uso de energía eléctrica (Sky Greens, 2014). Siendo este el factor energético bastante importante en cuanto a la huella de carbono y daño que proporcionan las granjas comunes de productos agrícolas.

Ya que su modelo se cataloga por principios de sostenibilidad, eficacia y tecnología autosuficiente, también es importante mencionar el uso racional del espacio incorporando sistemas hidropónicos, recolección de agua de lluvia y un control de clima artificial, con esto permite una constante producción de productos a lo largo del año y no solo en un determinado periodo.

Es importante mencionar que la iniciativa ha sido respaldada por La Agencia para la Seguridad Alimentaria de Singapur (SFA) lo cual le da el respaldo del estado a la empresa y le da la sustentabilidad para utilizar fuentes del estado destinado a la agricultura, gracias a esto ha logrado desarrollarse rápidamente y lograr el prestigio que tiene en la actualidad.

Además, este modelo ha servido como exponente para otros países por su productividad y su gran alcance comercial y han logrado ayudar superar grandes desafíos poblacionales de grandes ciudades, por esto es por lo que actualmente Sky Greens ha logrado mantenerse y desarrollarse en este país. Estos datos muestran que el país mantiene un desafío de seguridad alimentaria el cual ha intentado mitigar su impacto para los años futuros utilizando las herramientas de fábricas agrícolas verticales.

### **2.1.3 Características del modelo.**

En este apartado se describirán las características del modelo de desarrollo de Sky Greens, podemos mencionar la diferencia que tiene con la agricultura tradicional en cuanto a estructura y técnicas de cómo crear el mismo producto que es los productos agrícolas, ya que es muy distinta la forma tradicional por su uso de espacio, agua, energía y nutrientes. Y en el mismo tiempo se disminuye el impacto ambiental y se optimizan los rendimientos de la productividad del entorno urbano densamente poblados.

Cabe mencionar que una de las grandes características del modelo, es el aprovechamiento del espacio vertical, esto mediante la creación de estructuras apiladas o torres modulares que son unos estantes que se encuentran en varios niveles. Con esto se pueden permitir cultivar una mayor cantidad de alimentos en un área limitada, esto es bastante útil en países como Singapur y Japón.

Otro detalle importante de mencionar es la producción de ambientes controlados, ya que esto implica lograr cambiar la temperatura, humedad y luz del entorno sin tener que esperar a las estaciones, optimizando a si una mayor producción eliminando problemas climáticos y controlando plagas. Problemas lo cuales países que son afectados por cambios climáticos como sequias o tormentas afectan estos cultivos llevando los campos comunes de cultivo a la perdida de productos.

Un componente clave es la eficiencia energética que el modelo de Sky Greens incorpora mecanismo como lo son torres hidráulicas de rotación lenta las cuales permiten la movilidad de las plataformas y que estas reciban la cantidad de sol adecuado, también podemos mencionar la importancia de la iluminación LED de bajo consumo que posee en sus instalaciones ayudando a mantener un ritmo constante en la luz que reciben sus plantas, y además el reciclaje de calor y de agua, con estos factores permite mantener un bajo impacto ambiental.

Según lo mencionado anteriormente podemos ver que en términos de sostenibilidad Sky Greens destaca por el uso racional de los recursos naturales. Un ejemplo es el agua utilizada en labores de riego es muchas veces recirculada o recolectada por lluvia, generando que los nutrientes son dosificados mecánicamente para evitar sobrantes, y los residuos vegetales pueden reutilizarse como compost o biomasa. Además, al mantener sus operaciones cerca de las grandes ciudades mantienen sus consumidores finales más cerca ahorrando costos de transporte agrícola o exportación, esto ayuda a reducir la huella de carbono del sistema alimentario.

Para finalizar la gran adaptabilidad de este modelo y la capacidad ser usado por varios países es viable al tratarse de la versatilidad. Lo convierte en una gran herramienta prometedora para abordar temas como la inseguridad alimentaria urbana y los escasos de suelo determinado a la agricultura.

## **2.2 Modelo de agricultura vertical desarrollado por SKY GREENS.**

En el siguiente apartado se analizará el modelo de agricultura vertical desarrollado por la empresa Sky Greens, abordando su origen, evolución y los factores que han contribuido a su posicionamiento actual. Asimismo, se examinarán las estrategias adoptadas y la incorporación de tecnologías innovadoras que han permitido mejorar el rendimiento de los cultivos y optimizar los ciclos de producción.

### **2.2.1. Historia y evolución de Sky Greens.**

En el siguiente texto vamos a mencionar la trayectoria y la forma en la que la empresa Sky Greens ha logrado conseguir el apoyo y el reconocimiento de su país, se van a mencionar puntos importantes de su historia ya que Sky Greens es reconocida como la primera empresa en desarrollar un sistema de agricultura vertical hidráulica con bajas emisiones de carbono a nivel mundial. Su objetivo principal es cultivar alimentos frescos dentro del territorio de la República de Singapur, con el fin de reducir la dependencia de las importaciones y mejorar la seguridad alimentaria nacional.

Esta iniciativa surge en respuesta a los retos geográficos del país, el cual, debido a su limitada superficie cultivable, no puede sostener una producción agrícola tradicional a gran escala (Sky Greens, 2014). Como solución, Sky Greens diseñó un sistema innovador de torres verticales rotativas que permite la exposición uniforme de los cultivos a la luz solar, utilizando hasta un 90 % menos de agua que los métodos convencionales. Esta eficiencia se traduce en una alternativa sostenible y adaptable al entorno urbano, y responde directamente a las necesidades alimentarias de una nación densamente poblada.

El creador de este sistema, el ingeniero Jack Ng, comenzó sus experimentos en 2009 dentro de su propia fábrica de aluminio, donde desarrolló los primeros prototipos del sistema A-Go-Gro. A través de ensayos progresivos, Ng logró convertir su visión en una realidad comercial funcional, ofreciendo una solución replicable que podría transformar la forma en que se produce alimento en entornos urbanos (Despommier, 2010).

A continuación, se destaca el reconocimiento de la empresa Sky Greens en el 2011 del gobierno de la República de Singapur y la empresa fue incluida como parte importante del plan nacional de seguridad alimentaria, Sky Greens es respaldada por la *Agencia de Seguridad Alimentaria de Singapur (SFA)*. Este reconocimiento es importante ya que le da una fuerte credibilidad a sus estructuras para sobrellevar problemas de alimentación y necesidades poblaciones, siendo importante a la hora de negociar la venta de sus productos a otros países. Además, este proyecto tiene una gran relación con sobrellevar operaciones comerciales sostenibles, capaz de exportar su tecnología y ofrecer asesoría técnica a otros países de forma eficiente.

Como otro punto importante de mencionar a lo largo de sus operaciones, han ido mejorando los sistemas que utilizan para lograr acabo sus operaciones y por lo tanto desarrollan nuevas formas de minimizar su impacto ambiental, con esto podemos destacar el uso del sistema A-GO-GRO que integra tecnología hidropónica, sensores de humedad, estructuras aluminio reciclado y mecanismo hidráulicos que permiten el correcto funcionamiento del sistema de agricultura y adaptándose al sistema del entorno urbano de singapur.

Lo más importante es que a partir del año 2020 Sky Greens contaba con alrededor de más de 1000 torres operativas, las cuales brindaban abastecimiento a supermercados locales con productos frescos de forma continua. Esto con el propósito de gubernamental de producir localmente alrededor del 30% de los alimentos del país para el año 2030.

### **2.2.2. Estrategias tecnológicas implementadas por la empresa**

En este apartado podemos entender la manera en la que la empresa Sky Greens nació de las necesidades de su país ya que este territorio tiene bastantes limitantes en cuanto a la creación de cultivos agrícolas, por eso la República de Singapur ha optado por invertir dinero en los proyectos de esta empresa. Sky Greens ha adaptado todos sus procesos a las necesidades de su país para que puedan operar de forma que no afecte el entorno del ciudadano ni la afecte de forma negativa la economía del país.

Parte de las tecnologías implementadas por esta empresa es la innovación del uso de suelo al mantener sus cultivos de forma vertical en plataformas, por lo cual logran tener una mayor efectividad de espacio al poder desplazarse de esta forma y no como habitualmente se hace en los campos agrícolas. Con este sistema de las plataformas implementado por esta empresa, el país puede mantener grandes cantidades de cultivos optimizando el poco espacio disponible.

Además la empresa Sky Greens creó un dispositivo que ayuda con el riego de dichos alimentos, el sistema A Go-Gro, esta tiene la forma de una torre hecha de aluminio, las dimensiones pueden llegar hasta 9 Metros de altura, este sistema permite que las plantas reciban la cantidad necesaria de agua suministrada por medio de un sistema automático con la frecuencia necesaria y específica para cada tipo de planta, dicha máquina ayuda a optimizar la cantidad de agua usada, y ocupa una menor cantidad de agua que una granja normal.

Por consiguiente, una gran mecánica que mantiene la empresa es que las plantas al estar colocadas en bandejas rotativas que permiten el movimiento lento y constante de las bandejas para asegurarse de que se logre una exposición del sol y riego de forma que todos los cultivos en las bandejas reciben la cantidad de suministros necesarios para su formación evitando el desperdicio. Con estas prácticas se logra obtener un mejor rendimiento para que los cultivos se produzcan de forma óptima. Es importante mencionar que otro factor que se obtiene con este modelo de cultivo, es lograr disminuir el consumo de luz artificial en los alimentos, generando un ahorro significativo en electricidad y así evitar una exposición de las plantas a esta luz.

Es importante mencionar que en términos de consumo de agua esta empresa es bastante óptimo, ya que al compararlo con otras formas de agricultura u otras empresas se logra ver una gran diferencia, ya que, al utilizar un sistema cerrado de recirculación del agua, permitiendo reutilizar hasta el 95% del recurso hídrico, la irrigación es controlada de manera automatizada mediante sensores que monitorean los niveles de humedad de las plataformas, temperatura y nutrientes todo esto en tiempo real y monitoreado para obtener los resultados óptimos para los cultivos. Con esto se obtiene que no se genere desperdicio de suministros como agua, fertilizantes y luz generando un ahorro significativo de recursos y siendo este modelo más llamativo para lugares con pocos recursos hídricos como la República de Singapur.

Por consiguiente, el terreno controlado y cerrado en el que se generan el crecimiento de estas plantas mantiene una temperatura controlada y regulada, para poder dar la temperatura óptima a las plantas y que no se pierdan cosechas por un aumento o disminución de suministros. Este factor ayuda en situaciones de climas extremos o condiciones climáticas como las que tiene La república de Singapur que es un país tropical.

Por otra parte, es importante mencionar que Sky Greens utiliza técnicas hidropónicas para cultivar sin suelo, lo que reduce significativamente el riesgo de enfermedades transmitidas por el sustrato. Este tipo de cultivo no requiere pesticidas químicos, lo que permite un mayor control sobre el ciclo de crecimiento de las plantas. Parte del éxito de Sky Greens radica en las soluciones nutritivas desarrolladas para sus cultivos, las cuales permiten una cosecha más rápida y controlada. A diferencia de los campos tradicionales, este sistema permite determinar con mayor precisión los tiempos de producción, ya que está menos expuesto a factores externos como el clima o las condiciones del suelo.

La ubicación de donde pueden establecer estas granjas es un factor relevante a la hora de hablar de Sky Greens ya que el modularidad y la escalabilidad del sistema, lo que facilita el construir esta estructura en sectores urbanos, invernaderos, contenedores reciclados o espacios industriales ya que se pueden adaptar de manera sencilla y segura. Y se estarían produciendo cerca de los mismos lugares de consumo ayudando con los costos de transporte de los productos.

Para concluir, una de las características más destacadas del sistema de Sky Greens es su capacidad de monitoreo, gracias al uso de tecnologías de análisis de datos. Estas herramientas permiten ajustar de forma continua las condiciones del entorno en el que se cultivan los alimentos, optimizando el ciclo agrícola. Este enfoque basado en datos fortalece la resiliencia del sistema y contribuye a mantener una producción estable frente a factores externos como el clima, la demanda o las variaciones en la oferta de insumos.

Las estrategias aplicadas por Sky Greens representan un claro ejemplo de cómo las nuevas tecnologías pueden integrarse a la agricultura para lograr una producción eficiente y con bajo consumo de recursos. Además, ayudan a enfrentar retos contemporáneos como el crecimiento poblacional, la escasez de suelo agrícola y la dependencia alimentaria. Su implementación en la República de Singapur demuestra cómo la innovación tecnológica puede ser clave para resolver problemáticas estructurales en el ámbito agroalimentario.

### **2.2.3. Estrategias del modelo económico y negociación**

La forma en la que esta empresa logra cautivar a sus inversores es gracias a la sostenibilidad que se ha vuelto un factor importante en la actualidad, esta empresa tiene un esquema de productividad que le permite mantener bajos costos de operación mediante el uso de tecnologías de bajo consumo y a su vez se asegura de que la producción local de alimentos urbanos sea provechosa. Con ello, resalta que su estructura de negociación y las estrategias de modelo económico están basadas en la capacidad que tiene la empresa para lograr retribuir de forma ostentosa a sus inversores por medio de un eficiente sistema de producción. Ya que los costos que ocupan para mantener las plantas en funcionamiento son en comparación más económicos que una granja común.

El pilar más importante de esta estructura es la cantidad de consumo energético que ocupa gracias al sistema A GO-GRO que reutiliza el agua y la mantiene en movimiento generando energía mecánica, esto reciclando la misma agua que se usa para sus cultivos. Con esta tecnología se logra que el sistema sea más atractivo y competitivo a la hora de compararlo contra otros modelos agrícolas urbanos, que ocupan algún tipo de iluminación artificial.

En cuanto al modelo de negocio, Sky Greens se enfoca en la producción local para el consumo de sus habitantes, por lo cual está centrado en los vegetales de consumo del país o región más utilizados y por lo tanto los de mayor demanda. Esto le permite lograr cultivar sus vegetales de forma rápida y eficaz, al mantener una línea de producción rápida y constante, como otro factor importante al estar posicionada en la ciudad ya que el tiempo que transcurre entre la cosecha y la venta a los consumidores bastante corta siendo el tiempo estimado 24 horas. Esto se refleja especialmente en los cultivos seleccionados por la empresa como lo son el nutricional, ambiental y el logístico.

En relación con lo anterior podemos mencionar que los cultivos se enfocan en lechuga, el Pak Choi y otras hortalizas populares por los habitantes de hojas verdes, la empresa Sky Greens responde cultivando las preferencias alimentarias locales, los cultivos suelen llegar alrededor de un plazo de 24 horas o menos tras concretar la cosecha y en comparación a los productos importados tardan alrededor de 3 a 10 días perdiendo frescura y nutrientes.

Es importante mencionar que debido a la cercanía de estas granjas permite garantizar una trazabilidad completa con una mayor frescura y una cantidad mucho menor de pérdida postcosecha, y además estar alineado con las necesidades de su consumidor gana un número considerable de clientes con una gran lealtad y apego al producto por su grandes calidades y responsabilidad ambiental. Otro factor importante en cuanto la cercanía de estas granjas es la eliminación del uso de transporte, almacenamiento y distribución, generando un gran aumento en los márgenes de rentabilidad a la empresa, con esto la empresa puede competir con productos importados sin sacrificar la calidad de sus cosechas.

En cuanto a negociación comercial, Sky Greens ha mantenido una estrecha relación con las necesidades de la población de La República de Singapur la cual por medio de la SFA Singapore Food Agency han logrado utilizar los fondos agrícolas estatales para poder impulsar este modelo de agricultura. Esto ha logrado ayudarles a promover sus estructuras en la ciudad. Todo esto con la intención de aumentar la producción local de alimentos agrícolas en un 30% para el año 2030.

Con este tipo de modelo tan atractivo, países como China y Tailandia se han interesado por este producto, y la empresa Sky Greens ahora la empresa se dedica también a vender estas tecnologías a otros países con el fin de replicar el caso de éxito y pasar de una empresa productora de cultivos agrícolas a generar ingresos brindando sus servicios de tecnología y capacitaciones ahora venden tecnologías sostenibles y con bajo consumo energético para la producción de cultivos agrícolas.

Todo el modelo económico de Sky Greens demuestra que es posible combinar innovación tecnológica, sostenibilidad ambiental y rentabilidad financiera. La manera en la que han llevado este caso ha sido entender la agricultura no solo como una actividad productiva, sino también como una forma estratégica para la seguridad alimentaria, la economía circular y el desarrollo urbano resiliente.

Al mismo tiempo podemos analizar que en 2019, la República de Singapur destinó alrededor de 144 millones de dólares para su plan "30 by 30", en el cual empresas como Sky Greens fueron beneficiadas con subsidios y apoyo técnico para expandir su producción local de alimentos (Singapore Food Agency, 2020). Con esto podemos analizar que la credibilidad de la empresa a nivel internacional aumenta y a su vez logra obtener el apoyo del estado en cuando a la inversión de capital que recibe.

Por consiguiente, con esta inversión la empresa capta la atención de los países con situaciones similares, como lo son la escasez de tierra cultivable y una gran densidad poblacional, facilitando la negociación con países como la República de China Malasia y Tailandia lo cuales tienen situaciones poblacionales similares por lo cual este tipo de modelo de agricultura son bastante llamativos para implementarlo en sus ciudades debido al enfoque energético y la rentabilidad a largo plazo que estas operaciones tienen.

#### **2.2.4. Estrategias sostenibilidad y ambientales.**

Uno de los principales factores que impulsan las estrategias de Sky Greens son la sostenibilidad ambiental y dedicación sobre mantener una cultura amigable con el entorno, tanto en las estructuras utilizadas por la empresa como en los sistemas que permiten el desarrollo interno de los cultivos. Esta combinación de factores da como resultado un recurso ecológico atractiva para la población y para los países que buscan tener una solución amigable con el ambiente.

Según lo anterior, gracias al modelo sustentable de sus operaciones y al bajo consumo energético que presentan las instalaciones de Sky Greens, esto es importante ya que las estrategias de sostenibilidad son una necesidad estructural para mejorar la seguridad alimentaria a largo plazo de cada país, especialmente en estados cuya dependencia de alimentos importados representa un alto costo, en comparación con la producción nacional.

Es importante mencionar que la forma en la empresa demuestra su capacidad tecnológica es la forma en la que mantiene el uso de consumo energético de bajo costo, esto debido a que Sky Greens usa energía hidráulica de bajo gasto, ya que este sistema permite mover las torres rotativas mediante agua reciclada. Este sistema reduce significativamente el consumo eléctrico y la huella de carbono en comparación con los otros modelos de agricultura vertical que dependen de motores eléctricos o iluminación artificial. Gracias a esto, Sky Greens se ha posicionado como un referente de bajo impacto ambiental en el sector agrícola urbano.

El sistema utilizado para poder efectuar el riego de las plantas es hidropónico cerrado, el mismo usa entre un 90 % y un 95 % menos agua que la agricultura tradicional en campo abierto. Este sistema mantiene el agua circula constantemente dentro de un sistema que minimiza la evaporación y previene la contaminación del entorno. Este aspecto es fundamental en países que dependen en gran medida del agua importada o desalinizada.

Continuando con el párrafo anterior, otro componente esencial de las estrategias de sostenibilidad de Sky Greens es la reducción en el uso de agroquímicos y pesticidas, ya que al operar en entornos controlados y los alimentos de producción en el interior, la empresa evita el

uso de pesticidas, herbicidas y fertilizantes sintéticos en la mayoría de sus cultivos. Esto no solo contribuye a preservar los suelos y mantener el agua limpia, sino que también mejora la calidad y salubridad de los productos para el consumidor.

Es importante mencionar que, al estar colocadas en entornos urbanos, las granjas están cerca del consumidor final, lo que representa una ventaja estratégica para la empresa y en comparación con las granjas comunes. Esta proximidad reduce drásticamente la necesidad de transportar los productos por largas distancias, ahorrando gran parte de la cadena logística tradicional al eliminar el transporte. Como resultado, los alimentos llegan más frescos a los puntos de venta y se evita el desgaste asociado al transporte prolongado hasta supermercados o centros de distribución.

### **2.3 Viabilidad de la implantación de agricultura vertical en Costa Rica.**

En este apartado se analiza la viabilidad de la implementación de este modelo de agricultura en La República de Costa Rica, este sistema requiere el análisis de múltiples factores entre los cuales se encuentra el sector agrícola, condiciones económicas, ambientales y comerciales del país. Así como ayuda gubernamental que facilite el desarrollo de este proceso de adaptación agrícola.

#### **2.3.1. Contexto actual de la agrícola en la República de Costa Rica.**

En este apartado vamos a hablar de la relación actual que mantiene el país con la industria de la agricultura, tenemos que entender que el país aún sigue exportando frutos y cultivos agrícolas y mantenemos una imagen de, pero hemos dejado esa dependencia a los productos agrícolas y se ha enfatizado en otros sectores en las cuales genera más ganancias como la industria médica, turismo y otros sectores los cuales le generan más ingresos en la actualidad. Sin embargo, en los últimos años, el país ha sufrido un cambio en su estructura productiva y territorial, lo que ha generado una serie de retos para la sostenibilidad y competitividad del sector agrícola, uno de los más importantes es la superficie cultivable particularmente en las regiones cercanas a zonas urbanas como el Gran área metropolitana (GAM) en donde el avance y la creación de nuevas viviendas y sectores urbanos o fabricas ha desplazado muchas tierras agrícolas a sectores más alejados de las ciudades .

No obstante, en los últimos años el país ha realizado una transformación en su forma de productiva y territorial, lo que ha generado nuevos retos para la sostenibilidad y competitividad del sector y la población que se dedica a la agricultura. Uno de los desafíos más relevantes es la reducida cantidad de superficie disponible para cultivar, especialmente en las zonas cercanas a centros urbanos los cuales han sido casi completamente eliminados manteniendo únicamente productos como el café y además el Gran Área Metropolitana (GAM), donde el crecimiento de la infraestructura habitacional, industrial y comercial ha desplazado una cantidad enorme de tierras agrícolas. Según datos del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG, 2023), la agricultura representa hoy menos del 6 % del Producto Interno Bruto (PIB), y enfrenta una disminución en la participación de la población joven, además de una creciente vulnerabilidad ante el cambio climático.

La República de Costa Rica tiene una gran ventaja que es la riqueza bioclimática y ecológica que mantenemos, lo cual nos permite mantener una gran variedad de cultivos y una producción continua durante todo el año, además cuenta con suelos fértiles una buena ubicación geográfica que ayuda a colocar al país una buena situación para avanzar con los modelos agrícolas sostenibles. El país ha intentado disminuir el uso de agroquímicos y otras políticas públicas como con las iniciativas de Agropecuaria Sostenible y Resiliente al Cambio Climático (PAG-SRCC) que buscan promover este tipo de prácticas más saludables para el consumidor.

Costa Rica ha demostrado una gran preocupación en cuanto a seguridad alimentaria en ambientes internacionales y cambio climático lo cual demuestra la preocupación que tiene el país para buscar alternativas más ecológicas y amigables con el ambiente para lograr su producción agrícola. Por otro lado, aún existen limitaciones estructurales como la baja inversión en la innovación agrícola que se mantienen en el país, temas como la poca o nula investigación de nuevas prácticas o incluso algún modelo de desarrollo nuevo que se esté aplicando en la agricultura del país.

Partiendo de lo anterior, se puede ver la agricultura vertical como una gran alternativa que llegaría a complementar los grandes espacios urbanos que mantenemos en las ciudades y fortaleciendo la seguridad alimentaria de los ciudadanos, además de generar una disminución en el impacto ambiental de la producción agrícola. También se puede aprovechar el conocimiento que se mantiene en el país en cuanto a materia de agricultura y replicarlo en estos espacios. Este proyecto requiere el apoyo de grandes sujetos como el gobierno, instituciones universitarias o académicas e implementación de tecnología por parte de Sky Greens que sería indispensable para lograr efectuar dicho proyecto.

### **2.3.2. Elementos económicos: costos y rentabilidad de la implementación.**

En el caso de los costos y la rentabilidad económica, de este proyecto se tiene que entender que al igual que cualquier otro negocio debe analizar los gastos de inversión inicial, los cuales son costos operativos y la rentabilidad proyectada a mediano y largo plazo. Aunque al principio se puede presentar como una inversión inicial elevada debido al tipo de modelo, este costo está justificado por su vinculación directa con tecnologías avanzadas necesarias para su funcionamiento. También la infraestructura juega un papel importante al tener que construir las plataformas y adecuarlas al entorno urbano de la ciudad, y sabemos que el costo de los terrenos urbanos tiene un costo mayor considerable en comparación con otros lugares más alejados de la ciudad.

Una de las implicaciones que puede tener el proyecto es el costo inicial de la implementación de las estructuras verticales y la adquisición de sistemas hidropónicos o aeropónicos y su adecuada implementación dentro de las infraestructuras. El sistema de control de ambiental automatizado como lo son sensores LED y la capacitación técnica que serían factores importantes en cuanto a la implementación de este sistema en Costa Rica.

Los costos de la implementación de este sistema de agricultura o granjas vertical pequeña abarcan entre 50,000 USD y 100,000 USD dependiendo del tamaño, tecnología y luces utilizadas esta inversión inicial puede parecer bastante grande para pequeños agricultores o emprendedores pero viendo las alianzas que se mantienen entre organizaciones público privadas se puede llegar a

financiera con fondos del gobierno este tipo de proyectos que buscan ayudar a los mismo ciudadanos con una correcta alimentación.

Parte de este proceso de adaptación también requiere copiar gran parte de las estrategias que utilizó Sky Greens para lograr obtener estos fondos y desarrollarse por años, de forma que se ganara gran parte de los recursos destinados a la agricultura local y los empleara en crear estructuras adaptadas a la agricultura moderna, generando y retribuyendo ganancias al Estado, ya que este no tuvo que importar todos sus alimentos del exterior.

Otro punto importante es que la agricultura vertical también presenta ventajas económicas relevantes, como la reducción en el uso de suelos y su contaminación, además de disminuir el consumo de agua y fertilizantes, los cuales tienen un alto costo. Uno de los factores más importantes es la reducción de pérdidas por eventos climáticos, ya que, al estar en un ambiente controlado, estas cosechas son menos propensas a pérdidas. La condición de tener que transportar los alimentos desde zonas alejadas del país hasta el consumidor final ubicado generalmente en las ciudades, también sería otro factor por mencionar, ya que las granjas estarían dentro de los lugares urbanos del GAM.

Este tipo de modelo permite una producción intensiva durante el transcurso del año, lo cual genera ciclos continuos de cosechas y comercialización de productos agrícolas, y por lo tanto, la venta de estos, generando ganancias constantes. Se pueden cosechar vegetales de alta demanda y de rotación constante, como lo son la lechuga, la espinaca o algunos que son afectados por los problemas climáticos, como las sequías.

Para emplear este sistema en la República de Costa Rica, se debe considerar que el acceso a la energía renovable y a los recursos hídricos es de vital importancia para el uso de las granjas verticales y su empleabilidad, de manera que sean bajas en emisiones, ya que lo que se busca es desarrollar una fuente de alimentación rentable y amigable con el ambiente. Estas energías pueden hacer más rentable el modelo frente a otros países que dependen de fuentes energéticas más costosas.

Finalmente, la rentabilidad del modelo dependerá de su escala, eficiencia operativa y estrategia comercial. Modelos bien diseñados pueden recuperar la inversión inicial en un periodo de 5 a 7 años, según proyecciones de mercado y experiencias de países como Singapur o Estados Unidos (Grand View Research, 2024). La clave estará en adaptar la tecnología al contexto local, asegurar la demanda del mercado, y establecer redes de distribución directas o de valor agregado.

### **2.3.3. Consecuencias ambientales y sostenibilidad del modelo.**

Las consecuencias de la implementación de este proyecto dentro del territorio de la República de Costa Rica serían positivas al generar una reducción significativa del uso del agua. Los sistemas hidropónicos o aeropónicos utilizados en la agricultura vertical consumen hasta un 90% menos de agua que los sistemas que normalmente se utilizan para el riego de las granjas comunes. Esto debido a los circuitos cerrados que le permiten al agua la recirculación del líquido dentro de los canales, ayudándole así a optimizar el agua que circula dentro de las granjas beneficiando este sistema al ser bastante óptimo en cuanto a rendimiento de consumo de agua.

Como siguiente aspecto, se puede analizar la línea de cambios que genera en comparación a otros métodos más comunes de siembra dentro del país, ya que la minimización del uso de agroquímicos al casi eliminarlos de sus operaciones, ya que, al cultivarse en ambientes controlados, las plantas están menos expuestas a plagas o enfermedades comunes lo que reduce o pueden eliminar el uso de pesticidas, herbicidas y fertilizantes sintéticos, produciendo alimentos más seguros y naturales para los consumidores al mantener una baja exposición a estos químicos.

Siguiente con el párrafo anterior, podemos decir que al evitar el uso de estos pesticidas en las granjas verticales se está evitando contaminar el agua que se usa para cosechar los cultivos generando que esta agua no esté contaminada por los químicos y además el suelo en el que cultiva no estaría siendo afectado por los químicos ya que los cultivos de este tipo de granjas verticales están sobre plataformas las cuales no tienen tierra, por esto se favorece la salud del consumidor local al cultivar productos más naturales por su medio de cultivo controlado y a su vez no se contamina el ecosistema.

Como siguiente punto, podemos ver que la ubicación de estas granjas verticales tiene como objetivo estar en lugares pocos habituales, o lugares en los que las granjas convencionales jamás han estado por condiciones de espacio. Ya que la ubicación geográfica de estas granjas verticales es dentro de zonas urbanas o densamente pobladas ya que su objetivo es estar cerca de sus consumidores, por consiguiente, parte de la estructura del modelo de implementar este sistema de cultivos es el reto de la infraestructura al utilizar pequeñas superficies para crear largas extensiones de alimento de forma apilada siendo esta estructura una forma de optimizar el espacio.

Otro factor importante es que la agricultura vertical contribuye a reducir las emisiones asociadas a el transporte de alimentos ya que estas estructuras están dentro del sector urbano del país, reduciendo la huella de carbono ocasionada por el transporte de este alimento hasta las ciudades de los consumidores, con esto se ahorran y optimizan costos de transporte y almacenaje o bodegas.

También se puede mencionar que la manera en que este sistema realiza sus operaciones de cultivo ayuda el uso de suelo destinado a la siembra habitual, con esto evita la expansión agrícola sobre áreas protegidas o forestales, promoviendo un uso eficaz del suelo optimizando este recurso y minimizando el daño generado a los recursos naturales importantes como el suelo y el agua. Esta es una ventaja clave que busca recuperar la cobertura boscosa de los suelos y que ha convertido la sostenibilidad ambiental en una política de Estado.

Además, un gran reto ambiental es la construcción de estas infraestructuras las cuales requieren materiales como lo son aluminio, plásticos y sistemas eléctricos, sistemas de agua y otras tecnologías las cuales tendremos que adaptar a nuestras necesidades para poder replicar este caso de éxito, cuyo impacto dependerá del manejo del ciclo de vida de cada componente y la manera en la que construyan estas estructuras por lo cual se tiene que usar materiales de alta calidad para evitar generar un desperdicio o una ineficiente estructura, que genere una contaminación innecesaria.

En síntesis, las consecuencias ambientales de la agricultura vertical en la República de Costa Rica serían bastantes positivas, siempre y cuando se realice y se implemente de la forma adecuada, con los principios de eficiencia energética, uso responsable de recursos y adaptación al entorno local, permitiendo no solo aumentar la cantidad de producción agrícola del país si no hacerlo con un impacto ambiental mucho menor que el habitual.

No obstante, también se puede ver que la implementación de este tipo de estructuras en la República de Costa Rica puede afectar el desempeño de los agricultores habituales, al ser competidores directos de su negocio. Sin embargo, se tienen que implementar las medidas necesarias para poder utilizar estas personas que ya trabajan en el campo de la agricultura, ha incentivarlos a ayudar con estos procesos y brindarles trabajo en las mismas granjas para que las cosechas se procesen de la forma más eficaz.

#### **2.3.4. Factores comerciales y mercado potencial.**

La agricultura vertical sostenible no solo beneficia al medio ambiente, sino que también representa una oportunidad de negocio emergente con alto potencial para mercados urbanos, como el de la República de Costa Rica. Además, responde a la creciente necesidad de consumo responsable y natural, así como a la demanda creciente de productos frescos y locales.

En cuanto al consumo interno, se ha observado una preferencia por productos frescos y saludables entre restaurantes y consumidores, especialmente en el área metropolitana, donde reside la clase media con una notable conciencia ambiental y capacidad adquisitiva. La agricultura vertical, al facilitar la producción cercana al punto de consumo, satisface esta demanda con productos frescos, trazables, sostenibles y de producción local, lo que aporta valor comercial y reputacional a la oferta.

Un factor clave de la agricultura vertical es la estabilidad en la demanda de cultivos de ciclo medio y su alta capacidad de rotación. Estos productos pueden cosecharse sin riesgos significativos por condiciones climáticas adversas o plagas, garantizando una continuidad en el

abastecimiento. Al ubicarse cerca de las ciudades y ser de manejo relativamente sencillo, se reducen los costos de almacenamiento prolongado y el desperdicio postcosecha.

Diversos estudios proyectan que el mercado global de agricultura vertical superará los 30 mil millones de dólares para 2030, impulsado por la urbanización creciente, la preferencia por alimentos libres de pesticidas y la innovación en tecnologías agrícolas sostenibles (Grand View Research, 2024, p. 8). Esta tendencia también se refleja en América Latina, donde varias ciudades—incluida San José— han mostrado interés en desarrollar sistemas de producción urbana resilientes. Este panorama ofrece una oportunidad para que Costa Rica invierta en estos sistemas agrícolas, generando beneficios a largo plazo debido a la cantidad y variedad de cultivos que pueden producirse en estas instalaciones. Gracias al control climático dentro de las granjas, es posible cultivar productos no tradicionales en el país e incluso exportarlos a sus países de origen, generando ingresos a partir de dichas ventas.

No obstante, resulta necesario analizar cuidadosamente la producción de alimentos extranjeros en territorio nacional, ya que en situaciones donde un país afectado por tormentas o sequías ha perdido grandes cosechas, deberá recurrir a la importación o sustitución de productos. En tales casos, Costa Rica tiene la oportunidad de posicionarse como proveedor, ofreciendo alimentos cultivados localmente bajo condiciones controladas.

### **2.3.5. Desarrollo de Políticas públicas y apoyo gubernamental.**

La implementación de un proyecto de agricultura vertical sostenible requiere del respaldo de políticas públicas adecuadas, así como de una planificación institucional dentro de un marco regulatorio que promueva la innovación, la seguridad alimentaria, la sostenibilidad y una gestión responsable de los fondos públicos. En este sentido, la República de Costa Rica ha avanzado en la formulación de políticas y estrategias orientadas hacia el desarrollo sostenible. Entre ellas se destacan el Plan Nacional de Descarbonización 2018–2050, la Estrategia Nacional de Bioeconomía y diversos programas de producción agropecuaria sostenible, los cuales establecen una base propicia para fomentar iniciativas de agricultura vertical en el país.

Como lo destaca la FAO, “la agricultura urbana y periurbana ofrece una estrategia fundamental para fomentar la resiliencia del suministro de alimentos de una ciudad” (FAO, 2019), lo que refuerza la necesidad de que estas políticas estén alineadas con nuevas formas de producción sostenible como la agricultura vertical.

La participación del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) es crucial, al igual que la del Instituto Nacional de Innovación y Transferencia de Tecnología Agropecuaria (INTA), ya que por medio de estas instituciones se pueden formular políticas que reconozcan y promuevan la agricultura vertical en el país. A través de ellas también es posible generar investigación aplicada, capacitación técnica y normativas que impulsen este tipo de sistemas productivos.

Asimismo, se pueden buscar apoyos dentro de programas ya establecidos, como la Banca para el Desarrollo y el Programa de Fomento a la Producción Agroecológica, los cuales pueden brindar respaldo financiero a iniciativas que se alinean con sus objetivos. Uno de los principales retos que enfrentan estos proyectos es el alto costo económico inicial que implica la implementación y construcción de las estructuras, junto con la adquisición de los equipos necesarios. Estos incluyen sistemas hidropónicos, aeropónicos, control ambiental automatizado y luces LED, cuya inversión representa una barrera importante para muchos emprendedores o instituciones interesadas en este modelo.

Por esta razón, resulta fundamental contar con un marco regulatorio flexible y con incentivos económicos, como subsidios, exenciones fiscales o créditos especiales, que faciliten la adopción de tecnologías agrícolas innovadoras. La combinación de políticas públicas bien diseñadas y mecanismos de financiamiento accesibles puede marcar la diferencia entre un proyecto piloto aislado y un modelo replicable a nivel nacional.

Además, este tipo de proyecto debe promoverse como una estrategia que fortalezca la independencia y soberanía alimentaria del país, reduciendo la dependencia de alimentos importados que podrían ser producidos localmente. Esto resulta especialmente relevante ante crisis como sequías o pérdidas de cosechas, lo cual no solo permitiría ahorrar recursos públicos mediante

la reducción de importaciones, sino también enfrentar de mejor manera las condiciones climáticas adversas que afectan al país, como tormentas intensas o sequías prolongadas. En este contexto, cabe destacar que, según la FAO, “la agricultura en áreas urbanas y periurbanas proporciona ya alimentos a cerca de 700 millones de residentes en las ciudades, un cuarto de la población urbana mundial” (FAO, 2019), lo que evidencia el potencial de estas prácticas para mejorar la seguridad alimentaria local.

En conclusión, el desarrollo de políticas públicas específicas y un marco de apoyo institucional son condiciones esenciales para que la agricultura vertical pueda consolidarse en Costa Rica. Más allá de la tecnología, será la voluntad política, la planificación estratégica y la coordinación entre instituciones lo que definirá su impacto real en el territorio. También será clave el apoyo de universidades, centros de investigación y alianzas público-privadas que aporten conocimiento, financiamiento y capacitación para que esta forma de cultivo sea accesible tanto para pequeños productores como para empresas más grandes. Si se logra integrar este modelo en las ciudades con visión de futuro, se puede convertir en una herramienta útil para enfrentar el crecimiento poblacional, la falta de espacios cultivables y la necesidad de producir alimentos de forma sostenible.

## CAPITULO III: MARCO METODOLOGICO

En este capítulo se describe el método de investigación utilizado, el cual es de enfoque cualitativo. Este se centra en la recolección y el análisis de información con el objetivo de evaluar la viabilidad del presente estudio sobre la implementación de la agricultura vertical. A través del diseño metodológico propuesto, se busca cumplir con los objetivos planteados, detallando la unidad de análisis, los instrumentos utilizados para recolectar datos y los procesos aplicados para analizar la información obtenida.

Además, se presenta un análisis bibliográfico basado en fuentes relevantes y estudios previos relacionados con la temática. Esta revisión de documentos permite construir un marco de referencia sólido y sirve como herramienta para desarrollar un análisis crítico y fundamentado.

### **3.1 Enfoque de la investigación.**

Este trabajo de investigación empleará un enfoque cualitativo, ya que se busca demostrar y analizar la información oportuna relacionada al impacto de la agricultura vertical dentro la República de Singapur y la oportunidad de desarrollarla en la República de Costa Rica. Por parte de Hernández, Fernández y Baptista (2014), se manifiesta que el enfoque cualitativo “utiliza la recolección y análisis de los datos para afinar las preguntas de investigación o revelar nuevas interrogantes en el proceso de interpretación” (p.7).

En relación con lo anteriormente mencionado, esto se alinea con el planteamiento del problema y la pregunta generadora de la investigación. ¿Cómo puede el caso de Sky Greens en Singapur servir como modelo para la implementación de la agricultura vertical sostenible en la República de Costa Rica, considerando sus aspectos comerciales, económicos y de cooperación internacional? Con esto buscamos comprender la importancia de desarrollar mecanismos óptimos para crear nuestros alimentos y que sean amigables con el ambiente, ampliando nuestros mercados de exportación y obteniendo mejores relaciones diplomáticas con otro país al lograr establecer un mercado sólido.

El investigador cualitativo se diferencia de los demás, ya que, en este tipo de investigación se da la realización de entrevistas, se indaga en documentos y se recolectan datos; el propósito de este es “reconstruir” la realidad y generar opiniones por medio de las entrevistas. Las indagaciones cualitativas no buscan generalizar de manera probabilística los resultados obtenidos, más bien, se busca que los resultados de cada investigación sean diferentes, innovadores y que no se repitan. (Hernández et al., 2014 p.9)

Es importante recalcar que el aporte de una investigación cualitativa busca nuevas respuestas a problemáticas ya existentes. Según Hernández et al (2014):

El enfoque cualitativo puede concebirse como un conjunto de prácticas interpretativas que hacen al mundo “visible”, lo transforman y convierten en una serie de representaciones en forma de observaciones, anotaciones, grabaciones y documentos. Es *naturalista* (porque estudia los fenómenos y seres vivos en sus contextos o ambientes naturales y en su cotidianidad) e *interpretativo* (pues intenta encontrar sentido a los fenómenos en función de los significados que las personas les otorgan. (p.9)

La elección del enfoque cualitativo también permite analizar el contexto cultural, político y social en el que se podrían implementar estas tecnologías agrícolas. Esto es esencial para comprender cómo reaccionarían diferentes actores nacionales —como instituciones gubernamentales, productores agrícolas y ciudadanos— ante un modelo como el de Sky Greens. La investigación busca así dar voz a las percepciones y experiencias locales, lo que resulta clave para una posible adaptación exitosa del modelo.

Además, este tipo de enfoque abre la posibilidad de comparar casos similares a nivel internacional, lo que brinda un panorama más completo sobre la efectividad y viabilidad de la agricultura vertical en distintos entornos. A través de entrevistas, análisis documental y revisión de experiencias previas, se podrá identificar qué elementos del caso de Singapur podrían replicarse en Costa Rica, cuáles requerirían ajustes y qué barreras podrían surgir durante su aplicación.

### 3.2. Diseño de investigación.

Este proyecto basado en un enfoque cualitativo busca analizar y describir una problemática. Esta investigación se resguarda a favor del diseño de investigación – acción, en la cual, se busca analizar el desarrollo de nuevas formas de agricultura en la República de Costa Rica. Continuando con esta idea, el diseño de investigación: investigación – acción según Salgado (2007) “La finalidad de la Investigación – Acción es resolver problemas cotidianos e inmediatos, y mejorar prácticas concretas. Su propósito fundamental se centra en aportar información que guíe la toma de decisiones para programas, procesos y reformas estructurales.” (p.73).

Esta metodología resulta factible para poder, entender el desarrollo y el impacto en la república de Singapur en cuanto a la industria agrícola que mantiene, siendo un país con poco territorio destinado a este tipo de trabajo, lo que genera interés en replicarlo en la República de Costa Rica.

Este diseño de investigación – acción será una herramienta fundamental para la recolección de información que sirva como soporte para realizar el análisis pertinente. Con base en las experiencias y conocimiento que compartan los entrevistados se podrá generar dialogo y critica que sea de utilidad para que otros países, emprendimientos o empresas puedan sacar provecho, aplicar y apoyar la agricultura vertical y su implementación en la República de Costa Rica.

Según Salgado (2007), este diseño de investigación cuenta con tres pilares los cuales son:

- Los participantes que están viviendo un problema son los que están mejor capacitados para abórdalo en un entorno naturalista.
- La conducta de estas personas está influida de manera importante por el entorno natural en que se encuentran.
- La metodología cualitativa es la mejor para el estudio de los entornos naturalistas.

Por lo tanto, el estudio tiene un enfoque cualitativo basado en la investigación – acción brinda un marco adecuado para el análisis de dicho caso de éxito específicamente en la economía de Singapur. A través de un proceso participativo y reflexivo, como se mencionó anteriormente, esta investigación no solo busca evidenciar una situación actual, sino, también generar información

útil para fomentar la innovación, crecimiento y su adecuado acoplamiento para la República de Costa Rica.

Este diseño también permite una adaptación flexible durante el proceso de estudio, lo cual resulta útil al tratar con temas innovadores como la agricultura vertical. Dado que se trata de una práctica emergente, la posibilidad de ajustar los métodos de recolección de datos conforme avanza la investigación favorece una comprensión más profunda de los retos y oportunidades reales que enfrentaría su implementación en el país.

Además, el diseño investigación–acción favorece el vínculo entre teoría y práctica, permitiendo que los hallazgos no solo se queden en el plano académico, sino que puedan traducirse en recomendaciones concretas para actores clave como ministerios, municipalidades, universidades y productores. La intención es que los resultados de esta investigación generen un impacto directo, promoviendo cambios positivos y sostenibles en las formas de producción agrícola del país.

### **3.3. Fuentes de investigación**

Con el siguiente apartado se busca obtener las bases de conocimiento sobre tesis, trabajos de investigación, revistas etc. Que nos permitan dar un resultado preciso sobre el presente proyecto con las fuentes de investigación se obtiene el conocimiento requerido sobre la investigación. Según la Universidad de Houston (2024) las fuentes secundarias se pueden definir como

“... obras que sintetizan y/o comentan fuentes primarias y/o secundarias, que suelen ser obras académicas, se diferencian de las fuentes primarias por el elemento de síntesis, análisis o comentario crítico.” En este sentido, las fuentes secundarias pueden ser páginas web, libros, artículos entre otros recursos que sirven para complementar la información que se requiera. El uso de las fuentes secundarias permite acceder a datos precisos y confiables, facilitando un análisis detallado que, combinado con la información obtenida de las fuentes primarias, contribuirá al cumplimiento de los objetivos del presente proyecto. Con esto también se da la oportunidad de ampliar la información recolectada y fundamentar la teoría que se pueda llegar a crear a lo largo de la investigación.

En resumen, este apartado no solo aporta el respaldo teórico necesario para el desarrollo del proyecto, sino que también permite tener una visión más completa del contexto y de los avances previos en el tema. Gracias a la consulta de fuentes secundarias confiables, se fortalece el análisis y se amplía la comprensión del fenómeno estudiado, lo que ayudará a generar conclusiones más sólidas y coherentes con los objetivos planteados en la investigación.

### **3.4 Unidad de análisis**

Para poder entender este apartado es necesario definir lo que significa una unidad de análisis. Según entendemos por Hernández et al (2014) “La unidad de análisis indica quienes van a ser medidos, es decir, los participantes o casos a quienes en última instancia vamos a aplicar el instrumento de medición.” (p.183) por lo cual este texto de análisis es de mucha importancia sobre la investigación cualitativa ya que es la suma de la opinión y experiencia de más personas, así como la recopilación de información de fuentes bibliográficas brindan una base concreta para la recolección y análisis de datos.

La unidad de análisis de la presente investigación está conformada por el modelo de agricultura vertical sostenible desarrollado por la empresa Sky Greens en la República de Singapur durante el periodo 2019-2024. Este modelo será examinado en función de sus dimensiones tecnológicas, económicas, ambientales y de impacto social, a fin de identificar elementos clave que permitan valorar su viabilidad para la adaptación e implementación en el contexto costarricense.

Dicho modelo representa una referencia concreta y funcional de aplicación de la agricultura vertical en un país con limitaciones territoriales y alta densidad urbana, características que guardan paralelismos con algunas regiones urbanas de Costa Rica. La selección de este caso se justifica en virtud de su reconocimiento internacional como un ejemplo exitoso de innovación agroalimentaria sostenible, así como por su relevancia en el debate global sobre seguridad alimentaria en entornos urbanos y frente al cambio climático.

La unidad de análisis no solo abarca las estructuras físicas y técnicas del modelo Sky Greens, sino también las políticas públicas que lo respaldan, los marcos de inversión y cooperación internacional, y su articulación con los objetivos nacionales de Singapur en cuanto a sostenibilidad y autosuficiencia alimentaria. Esta perspectiva integral permitirá contrastar sus condiciones de aplicación con el entorno agrícola, económico y político de Costa Rica.

### **3.5 Instrumentos**

Según la Universidad del Desarrollo (2021) los instrumentos de la investigación se pueden definir como:

“El o los instrumentos de recolección de información deben estar vinculados y alineados con la selección del diseño de investigación y la muestra apropiados al problema de investigación propuesto. La selección de estos instrumentos presenta un plan detallado del procedimiento que conduce al investigador a cumplir con los objetivos específicos.”

Para lograr un adecuado proceso de investigación es importante mencionar las herramientas de investigación. Estos pueden estar escritos en diferentes modalidades como cuestionarios, entrevistas, fuentes bibliográficas entre otros medios. Es necesario que al utilizar instrumentos se tenga la certeza de que las fuentes sean confiables y validez para evitar que el análisis de datos tenga alguna discrepancia.

Cabe resaltar que los instrumentos permiten recopilar información de forma más eficiente y coherente. Al obtener opiniones y experiencias por medio de entrevistas o indicadores se pueden resaltar aspectos relevantes para la presente investigación y con esto se puede reconocer patrones, tendencias entre otras variables que ayuden a complementar la investigación con información enriquecedora.

Además, es fundamental seleccionar los instrumentos adecuados según el tipo de información que se busca recolectar y el perfil de los participantes. Por ejemplo, las entrevistas semiestructuradas permiten profundizar en las percepciones y experiencias de expertos o actores claves, mientras que los cuestionarios pueden facilitar la recolección de datos estandarizados para

comparaciones. La combinación de diferentes instrumentos, conocida como triangulación, ayuda a validar los resultados y aumentar la confiabilidad del estudio.

Por otro lado, el uso de fuentes documentales, como informes oficiales, estudios previos y artículos científicos, complementa la información obtenida directamente de las personas. Estos documentos aportan un contexto histórico, normativo y técnico que enriquece el análisis y permite contrastar los datos cualitativos con evidencias ya existentes. Así, los instrumentos seleccionados deben formar un conjunto coherente que apoye la exploración profunda del fenómeno estudiado.

### **3.5.1 Revisión bibliográfica**

El utilizar la revisión bibliográfica como instrumento de recolección de datos es de mucha relevancia para lograr tener una mejor visión del panorama en estudio. Este instrumento como bien se puede deducir por su nombre es la recopilación de datos por medio de fuentes confiables como libros, revistas artículos entre otros. De acuerdo con lo que menciona Gómez et al. (2014) “la revisión bibliográfica constituye una etapa fundamental de todo proyecto de investigación y debe garantizar la obtención de información más relevante en el campo de estudio, de un universo de documentos que puede ser muy extenso.”

Por otro lado, es importante mencionar la pertinencia de la búsqueda y el análisis de datos recopilados por medio de estas fuentes, que ayudan a tener una mayor amplitud de conocimiento sobre el tema. además, otro factor importante es que permite crear conexiones y tendencias dentro del campo de investigación. En conclusión, la revisión bibliográfica es una herramienta indispensable para fundamentar teóricamente la investigación.

Además, la revisión bibliográfica permite identificar vacíos en el conocimiento existente y entender qué aspectos han sido poco explorados o requieren un análisis más profundo. Esto ayuda a enfocar la investigación hacia áreas donde puede aportar mayor valor y originalidad, evitando duplicar esfuerzos y contribuyendo a construir un conocimiento más sólido y actualizado.

Asimismo, esta etapa facilita la contextualización del estudio dentro del marco teórico y práctico actual, al relacionar los hallazgos con teorías, modelos y experiencias previas. De esta forma, la revisión bibliográfica no solo apoya la fundamentación académica, sino que también guía la formulación de hipótesis, preguntas de investigación y la elección de métodos adecuados para alcanzar los objetivos planteados.

### **3.5.2 Entrevista**

Las entrevistas también son muy importantes en las investigaciones cualitativas ya que permiten recolectar datos por medio de experiencias y opiniones de expertos y/o voluntarios. Según Díaz, L et al. (2013) la entrevista: “Es un instrumento técnico que adopta la forma de diálogo coloquial... Se argumenta que la entrevista es más eficaz que el cuestionario porque tiene información más completa y profunda, además presenta la posibilidad de aclarar dudas durante el proceso, asegurando respuestas más útiles.”

Este método facilita la obtención de datos profundos y detallados y con esto brindar una mejor perspectiva más fundamentada y contextualizada que no se podría obtener de otro tipo de instrumento de investigación. Además, las entrevistas permiten conocer el lado humano de las personas, es decir, explorar aspectos más subjetivos como emociones que contribuyen también a la comprensión del tema de investigación.

Además, las entrevistas en esta investigación permiten profundizar en la experiencia de expertos, empresarios y funcionarios involucrados en la implementación y operación de sistemas de agricultura vertical, como el caso de Sky Greens en Singapur. Esta flexibilidad para adaptar las preguntas según las respuestas facilita descubrir detalles clave sobre los retos, oportunidades y aprendizajes obtenidos, que pueden ser muy útiles para evaluar la viabilidad de replicar este modelo en Costa Rica.

Por otro lado, las entrevistas posibilitan captar las percepciones y opiniones de actores locales en Costa Rica, como agricultores, autoridades y consumidores, quienes pueden expresar sus inquietudes, expectativas y condiciones particulares. Entender estas dimensiones humanas y

contextuales es fundamental para diseñar estrategias de adaptación que respondan a la realidad social, cultural y económica del país, y así aumentar las probabilidades de éxito en la implementación de la agricultura vertical sostenible.

### **3.6 Proceso de recolección y análisis de datos.**

El proceso de recolección de datos es una parte fundamental de cualquier investigación, ya que permite sustentar con teoría, hechos, testimonios y opiniones las preguntas que surgen a lo largo del estudio. Esta etapa no solo facilita el análisis y la evaluación del problema planteado, sino que también contribuye a una mejor comprensión del fenómeno investigado. Además, los datos recolectados pueden servir como base para futuras investigaciones, ofreciendo información valiosa y bien fundamentada. Por tanto, el proceso de recolección y análisis de datos puede definirse como:

“la recolección de datos dentro de una investigación comprende reunir y medir información de diversas fuentes, con la finalidad de obtener un panorama general del objeto de estudio. La obtención de estos datos puede realizarse a través de diferentes técnicas e instrumentos como la observación, cuestionarios, entrevistas y escalas.” Sánchez (2022)

Continuando con lo anterior, el proceso de recolección y análisis de datos cuenta con una serie de fases las cuales se detallan a continuación:

- Selección del tema de investigación.
- Evaluación y validación de los documentos necesarios que certifican la relevancia y la utilidad de la investigación.
- Recolección de fuentes bibliográficas.
- Entrevistas a voluntarios y expertos.
- Desarrollo de la información adquirida.
- Conclusiones y recomendaciones.

Por medio del desarrollo de este proceso, se realizaron una serie de entrevistas y se recolectaron datos pertinentes que sustentaron la presente investigación con datos y opiniones relevantes tanto de emprendedores como de diseñadores colombianos y costarricenses que se han tenido que enfrentar a la nueva era digital. Esto también dio la oportunidad de contextualizar la problemática expuesta a lo largo de la investigación.

## CAPITULO IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el siguiente capítulo se examina la información obtenida a lo largo de la investigación, con el fin de darle al lector una interpretación consistente y directa de la información obtenida a lo largo de la investigación de forma que sea una fuente enriquecedora, que mejore la comprensión y su percepción de la agricultura vertical, sus usos, avances tecnológicos, modelo de negocio y la implementación de este sistema en la República de Costa Rica.

Toda esta interpretación se lleva a cabo dentro de la perspectiva obtenida de la agricultura vertical, analizando su resultado y la forma en la que se desarrolló dentro del entorno de la República de Singapur, además se analizará el impacto obtenido a lo largo de su historia y como fue actualizándose a lo largo de la historia con los avances más importantes estudiados.

### **4.1. Modelo de agricultura vertical sostenible.**

Este apartado se centra en abarcar el contexto de la formación de agricultura vertical, la cual tiene como objetivo desarrollar un nuevo modelo de granjas formadas por estructuras las cuales ayuda a desarrollar más producción de alimentos en zonas poco habituales, con el enfoque de usar adaptaciones de huertas verticales independientes entre sí. Dicho modelo ha sido usado de forma un poco diferente por culturas antepasadas como se menciona en capítulos anteriores, civilizaciones que ante una adversidad de espacio logró usar sus techos como alternativa para cultivar alimentos, este ejemplo se da para que se obtenga un contexto más amplio de lo habitual que puede ser adaptar algún tipo de estructura a la agricultura.

En este mismo sentido, se analiza que la agricultura vertical es un modelo en general y no solo es un trabajo que Sky Greens pueda realizar ya que cualquier país, persona o institución puede realizar la labor de tener una granja vertical, sin embargo, todo el avance tecnológico y las patentes de torres giratorias o sistemas hidráulicos giratorios que si mantienen una patente y son herramientas las cuales si necesitan un permiso por parte de la empresa.

Partiendo de lo anterior, es importante tener claro que la agricultura vertical y este modelo de cultivo, no es exclusivo de la empresa Sky Greens ya que este sistema lo adaptaron varias empresas en diferentes países como una forma de facilitar la agricultura de cada país. El modelo de agricultura vertical es la formación de estructuras apiladas que maximizan el espacio existente para obtener una mayor ganancia de cultivos.

Además, se comprende que la agricultura es un trabajo que se ha ido adaptando en todas las culturas y civilizaciones a lo largo de años, por lo cual ha tenido diferentes cambios y evoluciones en base a las necesidades de sus demandantes. Es por ello, que se pueden entender que una de las últimas evoluciones que tiene el sistema de la agricultura en la actualidad es el poder desarrollar las granjas de la mano de las nuevas tecnologías que la humanidad ha ido desarrollando.

Para continuar con la idea anterior, a lo largo la historia se ha observado visto como la agricultura ha ido desarrollándose de forma que ha cambiado en grandes aspectos como lo son entornos, calidad, cantidad y la necesidad poblacional en aumento, por esto el modelo de agricultura vertical ha sido una gran rama de la agricultura tradicional que ha ido surgiendo de forma colectiva de varios avances, los cuales han sido realizados por diferentes personas pero que a su vez lograron consolidar algo importante.

A continuación, se analizarán los avances y la evolución tecnológica del modelo de agricultura vertical. Un ejemplo ancestral de este tipo de práctica son las terrazas de arroz de Ifugao, en Filipinas, construidas hace más de 2000 años. Estas terrazas representan una forma temprana e ingeniosa de adaptar la agricultura a condiciones geográficas difíciles, ya que sus habitantes vivían en zonas montañosas poco favorables para el cultivo tradicional.

Mediante la construcción de terrazas en forma de escalones, lograron aprovechar el terreno para retener el agua necesaria para los cultivos. Este diseño no solo permite conservar el agua, sino también drenarla de manera controlada, manteniendo un equilibrio hídrico óptimo para las plantas. Aunque rudimentario en comparación con las tecnologías modernas, este sistema marcó un punto de inflexión en la agricultura, al introducir el uso de estructuras escalonadas para mejorar la eficiencia en terrenos complicados.

Los andenes Incas también tienen un sistema escalonado, en el cual usan estructuras poco tradicionales aun para la época, del cual lograban cultivar sus cosechas, una gran diferencia de este sistema es el sistema de riego que utilizaban al ser canales y acueductos que llevan el agua a cada nivel, y como característica que tenían este sistema es que cada terraza de cultivo podía tener un diferente clima lo cual generaba que tuviera una variedad de cosechas. Aunque este sistema tiene alrededor de 1000 años, se puede observar que son importantes para poder llevar a cabo esta investigación y poder brindar un criterio óptimo del avance de las granjas a nivel mundial, ya que siempre estos avances vienen entrelazados de una necesidad poblacional.

Por otra parte, es importante entender que el modelo escala un gran avance por el aporte de Gilbert Ellis Bailey, ya que es el primero en usar el término de agricultura vertical en su libro “Agricultura vertical, para acuñar un nombre, es la clave de una nueva agricultura que ha llegado para quedarse, pues los explosivos baratos permiten al agricultor cultivar más profundo, bajar para ampliar su hectárea cultivable y asegurar cosechas más abundantes.”(Bailey,1915, p3).

En este sentido se comprende que, aunque usa el concepto de agricultura vertical como en el actual trabajo tenía un connotación diferente ya que, él usaba el subsuelo para poder llevar a cabo este sistema cultivo, siendo eficaz según su teoría de las raíces crezcan verticalmente, con una mejor oxigenación y optimizando el espacio necesario para su crecimiento, esta forma de cultivo la usaba con explosivos siendo algo poco común para la época y hasta en la actualidad, ya que es bastante radical para usarse y contiene muchos riesgos como el uso de explosivos y agrietar el suelo.

De igual forma hubo otros avances destacados que no precisamente fueron relacionados con la agricultura vertical, ni hechos por empresas sino que fue realizado por comunidades en zonas específicas como lo son en los años 1950-1980 ya que ciudadanos de estos lugares practicaban la agricultura en sus terrazas, de las ciudades más destacadas son New York y Tokio las cuales sabemos que tienen un gran índice poblacional y muy poco o nulo espacio para siembra. En el caso de Tokio se destaca el uso de esta herramienta después de la guerra como consecuencia

de la reducción del espacio y en zonas como New York se da por circunstancias similares en relación con la reducción del espacio y la falta de alimentos frescos.

Durante las décadas de 1950 a 1980, comenzaron a desarrollarse prácticas de cultivo en terrazas y techos en ciudades como Nueva York y Tokio. Un ejemplo temprano es el invernadero comercial Terrestrial, que operaba en una azotea de Manhattan desde 1969, demostrando que ya existían formas de agricultura urbana en altura mucho antes de que el término “agricultura vertical” se popularizara (National Geographic, 2014).

A continuación, se expondrá uno de los principales avances en la materia que brindo según su experiencia el arquitecto Ken Yeang el cual expone la bioarquitectura vertical integrada con vegetación. Este proyecto lo expone debido a la necesidad de sobrellevar un entorno más amigable con la agricultura y el lugar donde vivimos, logrando fusionar las zonas de nuestros hogares en zonas sostenibles con el medio ambiente. Según él, “la ecología debe ser el punto de partida para diseñar edificios urbanos, creando sistemas vivos que imiten los ecosistemas naturales” (Yeang, 1999). Este pensamiento lo llevo a formar grandes raíces para la agricultura vertical moderna ya que lograr desarrollar la idea de forma construye edificios que tienen estos ecosistemas integrados de forma que no afectan a sus habitantes.

Dando continuidad con el análisis anterior, gran parte de los avances que hizo fue el diseño de un eco rascacielos, el cual esta adaptado para ser un ecosistema vertical vivo, donde el aire y el agua lograban ayudar a mantener este sistema en funcionamiento, por el tipo de estructura que era el factor de la luz solar es resuelto desde la perspectiva del arquitecto. Además, en el edificio no solo colocaba plantas como forma de adorno, si no que las plantas tenían una función ecológica al ayudar mantener frio el edificio, filtrar el aire captar agua y generar habitas.

Es importante mencionar que el aplicaba estrategias de ventilación natural y de sombra mediante la misma vegetación que tenía el edificio y a su vez reduciendo el uso energético de los aires acondicionados del edificio. Toda esta conexión la realizo sin generar alguna interrupción con el ecosistema local y sus habitantes generando un entorno sin molestias para las personas. Estos edificios los logro llevar a cabo en Malasia los cuales fueron bien recibidos fue reconocido

como uno de los pioneros del “ecorrascacielos”, además fue incluido en listas de los arquitectos más prestigiosos del mundo por su enfoque sostenible.

Por otra parte, Dickson Despommier introduce el concepto tal como se conoce en la actualidad de granjas verticales en edificios urbanos para ayudar a combatir la inseguridad alimentaria de las grandes ciudades, gracias a sus aportes y propuestas en las cuales indicaba como serían las estructuras en las cuales se cultivaría alimento de forma sostenible dentro de entornos urbanos, esto usando estructuras adaptadas. Parte de su idea no era solo mantener huertos en techos comunes, si no crear estructuras de varios pisos, únicamente dedicadas al cultivo de alimentos con el uso de hidroponía, aeropónica y sistemas cerrados de reciclaje de agua que alimenten las plantas.

En 2010, Despommier publicó el libro *The Vertical Farm* en el cual consolidó su modelo de agricultura, en este libro logra defender de forma concreta las críticas que puedan tener ante este modelo de agricultura, redactando de forma detallada este proceso de agricultura vertical el cual es fundamental ya que genera una gran base para fomentar el desarrollo de estas prácticas agrícolas de forma sostenible en las ciudades con gran índice poblacional.

También replantea y defender las críticas sobre una defensa teórica, ambiental y ética de por qué la agricultura vertical es una necesidad urgente frente al cambio climático, la sobrepoblación y la degradación del suelo. Como resultado de este libro han surgido grandes bases y prácticas que han logrado poner en práctica la teoría escrita por Despommier. Con el gran avance teórico y las practicas puestas por antiguos especialista, empresas como lo son Sky Greens logran crear la primera granja vertical del mundo en la República de Singapur, usando torres hidráulicas rotativas para producir alimentos en zonas urbanas, esto lo generan en un ambiente poblacional bastante grande y recibiendo el apoyo del gobierno para lograr obtener los fondos que requieren para comprar el equipamiento necesario y desarrollar nuevas tecnologías que ayuden a las granjas a producir los alimentos que el país necesita para solventar una parte de las exportaciones que realiza.

En el sistema que desarrollaron obtuvieron una gran aceptación por parte de los habitantes y el gobierno ya que logran producir alimentos populares del país, los cuales son vendidos frescos para sus consumidores, caso contrario con las exportaciones que tardaban más tiempo en llegar los productos al país una vez cosechados, según comentan los entrevistados este tipo de cultivos son mas saludables por la cantidad mínima o nula de químicos que se usan para cultivarlos.

Se puede entender que la empresa ha recibido este apoyo del gobierno gracias a que la empresa generan un gran beneficio para sus habitantes en cuanto a seguridad alimentaria, ahorro energético ya que es una empresa de bajo consumo de energías y por su capacidad de adaptarse al entorno urbano de la ciudad. Esto sumado a la cantidad tan poca en comparación de mano de obra que necesita que utilizan alrededor de un 75% menos de personas que una granja común.

A continuación, se analizan los principios tecnológicos y de productividad, que inician el modelo de la agricultura vertical sostenible se entrelaza con una serie de avances tecnológicos que permiten potenciar las ganancias obtenidas de las granjas este modelo optimiza el tiempo y el rendimiento en comparación con una granja común, esto a su vez es llevado en espacio pequeños sin la necesidad de ocupar grandes extensiones de terreno para cultivar estos alimentos.

Entre los principales factores tecnológicos más relevantes del sistema de la agricultura vertical son los sistemas que suministran agua como el hidropónicos, aeropónicos y acuapónicos los cuales eliminan el uso de la tierra para cultivar y facilitan poder suministrarles nutrientes a los cultivos. También ahorrando considerablemente el consumo del agua dentro de estos campos generando un ahorro significativo para la ciudad en la que se encuentre.

Por consiguiente, otro factor tecnológico que tiene este sistema de cultivo es la incorporación de iluminación LED de bajo consumo que es regulada en relación con factores como el sol ya que mantiene un control automático que sirve para remplazarse de forma óptima, al igual que los sensores automatizados que regulan y monitorean las áreas en las cuales necesitan agua y nutrientes, al igual que el aire siendo este un factor regulado dentro de estos ambientes cerrados.

Continuando con el párrafo anterior, todas estas torres que están dentro de las estructuras y las bandejas apiladas sirven para optimizar el espacio y la rapidez en la que se trabajan los cultivos ya que al estar entrelazados mejor el riego y suministrar nutrientes de forma más eficiente ahorrando recursos y tiempo, además este diseño permite producir más producción con menos espacio, generando un gran rendimiento de producción.

Por consiguiente, el factor de la productividad que tienen estas granjas es mucho mayor al de una granja convencional ya que gracias a sus sistemas automatizados logra producir ciclos de cultivo más rápido, con un mayor número de cosechas al año y una significativa reducción de pérdidas post cosecha “una hectárea de cultivo vertical puede rendir lo equivalente a 4 o 6 hectáreas de cultivo tradicional” (Despommier, 2010).

Estos principios aplicados en el desarrollo de la agricultura vertical como lo son la automatización de los sistemas y el ambiente controlado permiten el desarrollo de una densidad productiva de manera eficiente y a su vez se genera una menor dependencia a la climática externa, esto sumado a la reducción de recursos energéticos que se obtiene. Por otro lado, se tiene que analizar la reducción casi en su totalidad de fertilizantes en estos cultivos ya que gracias al factor de tener un gran control de clima y el no utilizar tierra para cultivar, genera que las plagas no sean una tarea complicada, reduciendo los pesticidas y produciendo de manera mas limpia estos cultivos.

Para finalizar, es importante destacar las características del sistema cerrado de cultivo que permite tener ventajas clave como lo son la producción continua durante todo el año, sin que las condiciones climáticas externas afecten la producción interna de alimentos agrícolas lo cual es un gran beneficio para el país al obtener sus alimentos en situaciones de crisis climáticas, con las misma constancia y calidad durante todo el año.

En otro aspecto importante, los factores ambientales lo cuales se estarían viendo beneficiados con la implementación de este modelo de agricultura, ya que como lo hemos explicado en textos anteriores este sistema de agricultura es sostenible y ayuda a no generar una carga de recursos, dentro de las ciudades en las que se encuentra ya que sabemos que son altamente

pobladas. Es importante mencionar que parte del objetivo que tiene este sistema de agricultura es la seguridad alimentaria del país, siendo esto una de las razones por las cuales el país tomó la iniciativa de invertir fondos en este proyecto, debido a la preocupación de calidad de los alimentos que consumen sus habitantes.

Por consiguiente, todas estas estructuras y producción tienen que estar supervisadas y maniobradas por personal, por lo cual este modelo generaría un gran empleo en las zonas urbanas al tener que usarse mano de obra, para poder cosechar los cultivos y estar haciendo mantenimientos en las áreas que así lo requieran. Finalmente, Como último factor, se identifica la reducción de la dependencia que la República de Singapur tendría en su importación, ya que al poder cosechar sus cultivos dentro de su territorio puede dejar de estar dependiendo al 100% de sus importaciones y proveedores e empezar a invertir esos fondos para otros proyectos o políticas públicas de la región.

Por otra parte, se analizarán las limitaciones y retos a nivel internacional que puede tener implementar este tipo de modelo, a pesar de tener muchos beneficios a nivel de población, trabajo y recursos, la agricultura vertical afronta una serie de condiciones que deben considerarse al momento de su implementación. Estos altos costos de producción hacen que sea un proyecto descartable para países de bajos recursos al no tener la capacidad económica de realizar esta inversión inicial.

Como parte de los resultados obtenidos en esta investigación, se expone una de los aportes de los entrevistados, respondiendo a el primer objetivo que es identificar las principales características del modelo de agricultura vertical sostenible y su implementación en la República de Singapur, el cual indica que es un nuevo modelo que ha ido ganando popularidad y que es totalmente rentable y viable ante situaciones como el cambio climático, además que si requiere una gran inversión y apoyo de ayudas o financiamiento para poder llevarse a cabo ya que por lo general los agricultores de mediana o pequeñas producción no cuentan con el capital para llevarlo estos sistemas de cultivo de forma efectiva.

Uno de los principales retos que tiene es el alto costo de inversión inicial que se tiene que hacer para poder comprar la tecnología requerida para regular el entorno controlado, estructuras avanzadas donde se producen los cultivos, sistemas automatizados de monitoreo y personal capacitado para su producción, este factor económico es una gran limitante para países de bajos recursos o en condición de desarrollo. Otro de los retos de este sistema tenemos el limitante de la variedad de cultivos que se pueden producir de forma rentable con estas estructuras, ya que en la actualidad la agricultura vertical se enfoca en cultivos de hojas verdes, ya que cultivos con una gran dimensión pueden representar un problema al no poder generar ciclos rápidos de producción y por condiciones de altura de este que pueden verse afectados su calidad.

Además, a nivel técnico se tendría una dependencia de tecnología avanzada para producir cultivos, por lo cual si hubiera fallas eléctricas afectarían directamente el estado de los cultivos al verse afectados los sensores, sistemas de riego etc. Finalmente como último factor tenemos la aceptación social en la República de Costa Rica por parte de los consumidores que podrían no ver factible la naturalidad del producto al no cultivarse con tierra o naturalidad, esto podría influir en su decisión de no comprar este tipo de producto, por lo cual se tendría que educar a la población de los beneficios que tiene el usar productos agrícolas de granjas verticales, como la poca o nula cantidad de pesticidas que se usan para mantenerlos saludables.

#### **4.2 Modelo de agricultura vertical desarrollado por SKY GREENS.**

La empresa Sky Greens está ubicada en la República de Singapur, este dato es bastante importante ya que en relación con las necesidades que este país tiene, la empresa logra obtener un gran nicho de mercado en materia agrícola al realizar sus actividades de forma vertical, ya que el país cuenta con una extensión territorial bastante limitada y una gran densidad poblacional, generando que las tierras dedicadas al cultivo agrícola sean bastante limitadas.

Esta empresa está enfocada en el negocio de la agricultura vertical, debido a que su creador Jack Ng noto una gran problemática en su país que era la dependencia excesiva de productos agrícolas del extranjero. Lo cual lo llevo a idear una novedosa idea de cultivar los alimentos

agrícolas en su país, combatiendo con la problemática del espacio o poco suelo que se puede destinar para este tipo de trabajos.

Por esto para realizar esta iniciativa se da por su gran ingenio como inventor de estructuras y su labor de ingeniero buscando la forma de realizar un sistema eficiente, ecológico y económico que produzca los alimentos en su país. Además, parte de la motivación de este ingeniero es el interés que tiene en reducir la huella de carbono que deja el país al tener que exportar los alimentos de otros países, esto le da bastante relevancia al proyecto de Sky Greens si lo comparamos con la huella de carbono habitual del país.

Por otro lado, parte de los avances que da son los mecanismos que utiliza de forma sencilla en sus instalaciones al implementar rueda hidráulica que mueve lentamente las bandejas del cultivo para que todas las plantas puedan recibir luz del sol de forma que no se tenga que hacer este movimiento de forma manual o se requiera tanta mano de obra como en las granjas comunes, ahorrando mucho trabajo automatizando este sistema.

Finalmente, con respecto a esta evolución de la empresa se puede analizar que a pesar de tener mecanismos sencillos con el paso de los años se han ido actualizando y han implementado sistemas mas tecnológicos entre sus granjas, este a su vez genera varias ventajas y desventajas ya que genera un gran optimización de recursos personal y tiempo al optimizar estos procesos de ciclos de cultivo, pero a su vez hace que este sistema tenga un costo más elevado para ser implementado en otros países con necesidades similares. Por otro lado, también le sirve como idea de negocio para la empresa, ya que ofrecen estos servicios a otros países como la República de China y generando ganancias al vender estas tecnologías.

Las estrategias y tecnologías que la empresa utiliza para poder innovar y optimizar en sus granjas son bastante ingeniosa y llamativas para países que tienen un poco espacio y recursos para utilizar en sus recursos. Podemos mencionar el sistema de torres A GO-GRO que su función principal es regar los cultivos, pero a su vez reciclar el agua utilizada y además ahorra energía al ser impulsado por la misma agua que esparce como un reciclo del agua continuo, esto minimiza el gasto de recursos que la agricultura convencional tienen.

Este sistema almacena y une principios de ingeniería hidráulica, rotación mecánica, tecnologías de reciclaje de recursos y maximiza la producción al esparcir uniformemente el agua que los cultivos necesitan, es bastante práctico en lugares que quieran producir alimentos en zonas urbanas con espacios reducidos. En promedio este sistema logra utilizar aproximadamente 0,5 litros de agua por rotación completa de la torre y alrededor de 40 vatios de electricidad para operaciones básicas en las granjas verticales lo que representa un consumo energético bastante bajo en comparación con otro sistema de agricultura vertical.

Esto implica que el ahorro de agua y energía es bastante significativo en comparación con métodos tradicionales, ya que la empresa Sky greens utiliza al menos 0.6 litros de agua por rotación completa y logra consumir solo 40 vatios de electricidad para operar su sistema hidráulico vertical para mantener en funcionamiento una torre de 9 metros según nos indica : “ El sistema de cultivo vertical patentado de Sky Greens consiste en niveles rotativos de canales de cultivo montados sobre un marco de aluminio en forma de A. El marco puede alcanzar una altura de hasta 9 metros con 38 niveles de canales de cultivo, que se adaptan a diferentes medios de cultivo, ya sea tierra o hidroponía. Los canales giran alrededor del marco de aluminio para garantizar que las plantas reciban luz solar, riego y nutrientes de manera uniforme a medida que pasan por los diferentes puntos de la estructura.” (Sky Greens sitio oficial)

Esta estructura demuestra el avance tecnológico aplicado de la empresa a un campo como lo es la agricultura dejando en claro que la importancia que tiene como objetivo mantener un sistema sostenible novedoso que sirva como fuente de comercio a nivel tecnológico para otros países, por eso estas estructuras son bastante llamativas a pesar de su alto coste económico en comparación a sistemas tradicionales. Ya que su rendimiento es casi 10 veces mayor a los tradicionales.

Además, estos sistemas tienen unas características, que son la gran adaptabilidad al ser fabricadas con aluminio y acero, permitiéndose ser escalables y modificadas de forma que se adapten a las necesidades del fabricante, esto las hace accesibles a diferentes cultivos, temperaturas,

esto sirve para que el fabricante o consumidor las adapte según las necesidades y cultivos correspondientes.

Otro pilar técnico dentro del fundamental de Sky Greens es la forma en la que automatizan la irrigación de sus cultivos mediante un sistema de sensores y controladores que regulan de forma precisa la cantidad de agua que cada planta necesita. Este sistema resulta altamente eficiente, ya que permite mantener niveles adecuados de humedad y nutrientes, minimizando las pérdidas por evaporación o escurrimiento.

Además, parte importante de la implementación de estos sistemas es el consumo del sistema de Sky Greens ya que según indica “Nuestro consumo de energía es similar al de la agricultura tradicional, por lo que podemos ahorrar alrededor del 75 % en mano de obra”, afirma Ng. “Nuestros costos operativos son más bajos que los de la agricultura tradicional; lo único que importa es el costo de la inversión. Como nuestra producción es diez veces mayor que la de la agricultura tradicional, los costos de inversión se compensan” lo que nos demuestra que a pesar de ser una desventaja el consumo de electricidad no es tan alto como para descartar este sistema, y demostrando que la ganancia económica y energética es mayor que la pérdida.

Por esto la empresa Sky Greens ha logrado integrar tecnologías que optimizan de forma efectiva el uso de recursos como el agua y la electricidad, al tiempo que aprovecha al máximo el espacio disponible. Esta optimización espacial es especialmente relevante para ubicar sus granjas en zonas urbanas densamente pobladas, procurando que su presencia no genere alteraciones ni afectaciones a las comunidades cercanas y a su vez ayude a mantener estos productos cerca de sus consumidores de manera que estén mas frescos en relación comparación con los que productos que el país tiene que importar de otras regiones del mundo.

Es importante mencionar que el bajo consumo de agua que tiene este modelo de agricultura vertical practicado por Sky Greens, ya deja atrás a sus competidores en condiciones de consumo, ya que los recursos como el agua, espacio o tierra cultivable, pesticidas y un ahorro en cuanto al transporte de estos alimentos, generan un valor agregado a la hora de usar esta empresa y este modelo como caso de éxito, siendo las granjas verticales una forma innovadora de afrontar los

escases de recursos, y los desafíos ambientales de la actualidad que afectan la agricultura tradicional.

En esta misma línea podemos analizar que: “Jack Ng, fundador y director ejecutivo de Sky Greens, afirma que han demostrado en Singapur que es posible cultivar y vender hortalizas para el mercado masivo sin recurrir a iluminación artificial, lo que reduce significativamente los costos energéticos en comparación con otras granjas verticales que dependen de LEDs”. Demostrando que aunque haya más granjas verticales o empresas que se dediquen a el mismo mercado, ellos mantienen un gran valor agregado que son la innovación y alternativas a las problemáticas iniciales del modelo de agricultura vertical.

Dentro de las estrategias económicas y de mercado, el factor económico y la dinámica comercial juegan un papel fundamental en la rentabilidad de cualquier empresa o producto. En el caso de Sky Greens, estos elementos han sido clave para consolidarse a lo largo del tiempo como una figura destacada y un caso de éxito en Singapur. Su permanencia en el mercado responde a la implementación de estrategias económicas eficientes y a su capacidad de adaptarse a las demandas del entorno, lo que le ha permitido posicionarse como un referente en el ámbito de la agricultura vertical, tanto a nivel nacional como internacional.

En este mismo sentido, cabe resaltar que el modelo que utilizan es el de la producción local y cumplir con un abastecimiento de manera rápida y eficaz, sin dejar de lado la calidad de sus productos al mantener la frescura para sus consumidores. Estos factores de brindar de forma rápida y eficaz alimento a la población son bastante relevantes ya que la SFA (Singapore Food Agency) brinda subsidios e invierte fondo en el desarrollo de esta empresa con el fin de ayudar en aspectos como la seguridad alimentaria.

Como punto importante al ser una empresa ya consolidada en su país y tener un gran apoyo gubernamental, muchos países han observado esta labor y como ha solucionado varias problemáticas y necesidades poblacionales, por esto países con necesidades similares han recurrido a comprarle a Sky Greens tecnología para poder replicar y producir los alimentos de la misma manera en la que ellos lo realiza en Singapur, convirtiéndose la venta de tecnología en una gran estrategia de mercado. Parte del interés de estos componentes en otros mercados como en las

Repúblicas de China o Tailandia se deben a la rentabilidad que tienen en comparación a otros sistemas similares en el mercado, siendo Sky Greens el más óptimo.

En lo que respecta a las estrategias de sostenibilidad ambiental, es importante destacar que el proyecto de Sky Greens fue concebido desde sus inicios con el objetivo de optimizar el uso de recursos y energía en las granjas, manteniendo su capacidad de producción alimentaria. Este enfoque permite reducir significativamente el consumo de agua, suelo y energía en comparación con los métodos tradicionales de cultivo. Las granjas verticales representan, además, una alternativa atractiva para consumidores y gobiernos comprometidos con la reducción del impacto ambiental, especialmente en zonas urbanas densamente pobladas donde la demanda alimentaria y la presión sobre los recursos naturales son mayores.

Además, parte la forma en la que esta implementadas las estructuras fue adaptado a la zona urbana, ya que son el lugar donde se proyecta construir estas estructuras para mantener una cercanía con el consumidor final. Los objetivos son estrechamente relacionados con la intención de ser sostenible y amigable con el ambiente debido a que no pueden ser invasivas de la zona urbana ni afectar la existencia de los consumidores finales. Con esto se entiende que en las zonas en las que van a trabajar estas granjas no pueden generar escases de agua o afectar a los ciudadanos con cortes de luz.

Ahora como parte de los avances que la empresa ha tenido, han logrado expandirse y replicar sus casos de éxito en países como China y Tailandia según indica: “Sky Urban Solutions ha vendido su tecnología de torres hidráulicas verticales a países como China y Tailandia, demostrando que su modelo es replicable y adaptable en otros contextos urbanos (The Straits Times, 2019)”. Lo que demuestra que este sistema es fácilmente adaptable a las necesidades de diferentes países.

La exportación de esta tecnología no solo es clave para la empresa Sky Greens, más bien es un bien global que más países y empresas incursionen en este mercado ya que estas prácticas, están beneficiando el consumo de recursos como el agua y energías, promoviendo prácticas

agrícolas sostenibles de forma óptima, esto a su vez ayuda a combatir la seguridad alimentaria de estos países que tienen un gran índice poblacional.

Cabe resaltar que este modelo de negocio le ha ayudado a resaltar entre la competencia y demostrar su capacidad de competir a nivel internacional siendo reconocido y referente global gracias mostrando cómo las soluciones tecnológicas pueden ser adaptadas para resolver problemas globales relacionados con la alimentación y el desarrollo urbano.

Para cerrar el tamaño del mercado global de la agricultura vertical se estima que ronda los 8.15 mil millones de dólares en el año 2023 se estima que este monto aumente para el año 2030 proyectándose en 24.95 mil millones de dólares, esto sería un 20,9% mayor. Los principales factores que contribuyen a este aumento serían el crecimiento poblacional acelerado y con esto la gran alta demanda de alimento.

Según el análisis de Mordor Intelligence (2024), el mercado global de la agricultura vertical alcanzará un estimado de USD 23.23 millones en el 2029, con una tasa de incremento de anual compuesta (CAGR) del 10.30 %. entre estos actores se puede notar que la empresa Sky Greens figura entre los principales actores a nivel internacional. El siguiente análisis es importante debido a las proyecciones que genera de la alta demanda que va tener estas tecnologías demostrando que su precio de inversión puede aumentar debido a la demanda de otros países, esta inversión puede generar una ganancia ante las necesidades alimentarias.

**Tabla 4 Crecimiento proyectado del mercado de agricultura vertical a nivel mundial**



Mordor Intelligence. (2024). *Vertical Farming Market*. Recuperado de <https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/vertical-farming-market>

En esta grafica se puede observar la proyección para los años posteriores debido al incremento poblacional y la alta demanda de estos sistemas agrícolas, siendo un auge que recauda mucho dinero debido a su impacto en la rentabilidad que tiene este sistema en países con gran demanda alimenticia, este periodo de estudio se centra en el 2018-2029 lo cual es un periodo en el cual el mundo se vio envuelto por problemáticas globales gracias a el COVID-19, debido a esto muchos países perdieron la capacidad de producir ciertos alimentos.

Por consiguiente otra característica que la tabla muestra es la gran demanda en el mercado Asia-Pacífico, esto se relaciona debido a la alta densidad que tienen estos países en sus ciudades, que como alternativa han recurrido a implementar dentro de sus ciudades este modelo de agricultura vertical como respuesta a las necesidades de sus habitantes, adaptando estas estructuras logran un mayor manejo de la demanda de productos frescos en la región.

Este modelo de negocio es popularmente llamativo debido a la gran necesidad alimentaria que tienen los grandes países, por lo que ven de manera objetiva la inversión inicial de los costes de estas granjas verticales, por lo que países como China intentan cumplir con la demanda de alimentos de su población como lo indican en “El aumento de la población en China creó una demanda de alimentos que a su vez empuja a los agricultores hacia técnicas agrícolas verticales. Con la ayuda de la tecnología, los agricultores están registrando mayores rendimientos y utilizando menos recursos.” Mordor Intelligence. (2024). Vertical Farming Market

Por lo que estas tecnologías se van a seguir requiriendo y replicando para ayudar a mantener la estabilidad de alimentos del mundo, y mantener la producción sostenible de estos alimentos durante este proceso. Esto debido a las tendencias del mercado y la especulación de este ya que están involucrados varios factores como lo son económico, estabilidad alimentaria y sostenibilidad.

Como síntesis el ahorro del agua, la baja huella de carbono que genera, la reducción de agroquímicos y reducción del transporte al estar en cercanía con el consumidor genera que sea un proyecto sostenible que no afecte el área en urbana en el que estas granjas generen sus actividades, otro gran factor es que mantiene un bajo desecho o pérdida tras cosecha lo que aumenta la rentabilidad de la producción.

Este análisis genera que podamos ver este proyecto como algo viable en la República de Costa Rica al estar muy enfocado en el desarrollo de alimentos agrícolas, evitando el daño

ambiental a los suelos en las que estas granjas trabajan, además el bajo costo energético puede ayudar a que la población lo tome como una alternativa para producir sus alimentos.

El crecimiento de esta la empresa Sky green está compuesto por varios factores como lo son las necesidades de la República de Singapur, que debido a la preocupación de sus condiciones demográficas no pueden optar por usar métodos tradicionales de cultivo, pero a su vez impulsando métodos más sostenibles para el mundo, de forma que de manera consiente está comercializando un producto que beneficia a todos los ciudadanos por resguardar recursos importantes como lo son el agua.

Por estas razones este modelo de negocio es bastante rentable a tal punto que están comercializando fuera de sus fronteras al estar respaldados por su propio éxito en el país, ya que países con mayores necesidades y retos similares de densidad poblacional están optando por replicar sus grandas verticales con el fin de frenar las repercusiones a futuro de escases de comida, agua y recursos energéticos.

#### **4.3 Viabilidad de la implantación de agricultura vertical en Costa Rica.**

Este apartado se dedica al análisis de la viabilidad de la agricultura vertical, aplicada a la República de Costa Rica viendo aspectos económicos, ambientales y social urbano, estos aspectos son importantes para entender cómo se puede desenlazar este proyecto al ser un tema que demanda la atención de varios ministerios dentro del país.

El análisis técnico brinda una proyección más objetiva y estructurada de lo que sería introducir a la industria agrónoma del país, un sistema tan completo como la industria de la agricultura vertical, ya que sabemos que a nivel de país tendremos que adaptarnos a las críticas y sugerencias de los expertos en el área de nuestro país, además esta tecnología tiene que adaptarse a nuestras necesidades y cultivos.

Por otro lado, el análisis económico permite identificar como la estrategia económica de Sky Greens ofrece un modelo bastante llamativo para la industria del país, replicar este negocio en el país podría tener algunas limitantes como la diferencia económica, las ayudas económicas

que pueda dar el estado por último la inversión monetaria que ocupa para poder comenzar a operar, sin embargo, este análisis tiene como fin adaptar este proceso y entenderlo como una inversión en el país a largo plazo.

Es fundamental entender que cualquier tipo de proyecto que se quiera implementar en el país tienen que estar sujeto a apoyo gubernamental e inversores, por lo cual este proyecto no es la excepción, según indican los entrevistados este tipo de proyecto es totalmente viable dentro de la República de Costa Rica debido a la tecnología del país y el espacio que tenemos disponible para colocar las granjas, el enfoque que tiene este proyecto en el país sería el de generar más empleos de trabajo en zonas rurales.

Por eso este proyecto se enfocaría en la población agrícola, además con estas granjas operando en el país, se van a tener más estabilidad y disponibilidad de los productos agrícolas en el país. Esto quiere decir que cuando el país se vea afectado por cambios climáticos, sequías, tormentas tropicales, sus productos no se van a ver afectados con escases de productos, esto con relación a las ventas internas dentro del país.

Según expertos en el área que fueron entrevistados, la implementación de la agricultura vertical va generar beneficios en los cultivos que se pueden formar dentro de estas granjas, ya que se podrá controlar las condiciones de cultivo logrando producir una mayor cantidad de volumen, y por lo tanto va generar una ventaja competitiva en comparación con métodos tradicionales, y además indican que el ahorro de agua recursos sería mayor.

Como punto importante, la República de Costa Rica puede ser el punto de partida para que más alimentos se cultiven de esta manera, y ayuden abastecer a la población local y a su vez el país logre ayudar a otros países a cultivar sus cultivos en nuestras granjas verticales, esto como medida de negocio de exportar vegetales propios de otros países ya que sabemos que la industria agrícola ha disminuido según “El número de granjas en el mundo podría reducirse de los 616 millones en 2020 a solo 272 millones para el año 2100” (Mehrabi, 2023, pp. –, citado en Nature Sustainability). Por esto esta incitativa puede verse como una gran oportunidad para comercializar productos de alta calidad en nuestro país.

En la República de Singapur, importa una gran cantidad de alimentos que son necesarios para nuestra población, lo que nos demuestra una gran dependencia de otros países a una menor escala que la República de Singapur, pero de igual forma con cifras bastantes altas como lo menciona: “Costa Rica importa cerca del 60% de los alimentos que consume, lo que evidencia una alta dependencia externa (FAO, 2023). Invertir en agricultura vertical podría reducir esta brecha, sobre todo considerando que, entre 2014 y 2022, los desastres climáticos causaron pérdidas agrícolas superiores a los \$100 millones (MAG, 2023).” Con estas granjas podríamos reducir esta dependencia a mercados extranjeros sobre alimentos que altamente consumidos por nuestra población y ayudar a reducir esta dependencia de importar alimentos en gran escala.

Finalmente, se evidencia una significativa retribución de la inversión inicial en comparación con las granjas tradicionales de otros países. Esta ventaja permite que el mercado mejore sus rendimientos en relación con la creciente demanda. Según un informe de MarketsandMarkets (2023), se estima que el mercado global de la agricultura vertical alcanzará un valor de 27.000 millones de dólares para el año 2030, con un crecimiento anual superior al 20%. Este panorama representa una gran oportunidad para el país, al facilitar su inserción en un mercado en constante expansión a nivel internacional.

Lo que este constante crecimiento del mercado puede beneficiar al país a comportarse como fuente de tecnología para otros países, convirtiéndolo en una fuente de comercio para la invasión de la agricultura vertical, estos sistemas también nos permitirían lograr vender productos agrícolas a gran escala con un mayor rendimiento y minimizando el impacto ambiental en nuestro territorio ya que de elimina el daño ambiental a tierras, gastos de agua y el daño por fertilizantes. Haciendo de este modelo de negocio una gran fuente de ingresos para el país.

En cuanto al tema ambiental, cabe señalar que los impactos climáticos en la agricultura costarricense han sido bastante frecuentes durante los últimos años, por esto el análisis ambiental se va a realizar desde las complicaciones climáticas del cambio climático en que se desenvuelve el país y los costos económicos que esto genera al consumidor final. Ya que al final los agricultores tienen que sobrevaluar su producto para contrarrestar la pérdida de productos por las condiciones

climáticas extremas. Con esto genera un desbalance en los precios del mercado interno local y externo ya que ante la falta de precio de los agricultores los comercios tienen que optar por subir los precios de los productos afectados.

Según datos del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) y el Instituto Meteorológico Nacional (IMN), entre 2014 y 2022 las pérdidas en el sector agrícola costarricense a causa de fenómenos climáticos como sequías y huracanes superaron los 100 millones de dólares, siendo los cultivos hortícolas (vegetales) uno de los sectores más afectados (MAG & IMN, 2023). Se evidencia que el costo de pérdida de los cultivos agrícolas que pierde el país y sus productores debido a cambios climáticos es bastante elevado y genera una pérdida significativa para el país, sus agricultores, y consumidores locales y extranjeros generando afectaciones a todo el país.

En relación con lo expuesto anteriormente, sectores como lo son el de horticultura son bastante vulnerables a estos cambios climáticos debido a las condiciones extremas que se somete el país, estos son problemas naturales que muchas veces no se pueden evitar que afecte el país, pero en cuanto a la producción controlada de los alimentos podemos replicar esta alternativa de cultivar nuestros alimentos dentro de granjas controladas por medio de agricultura vertical, y mitigando los daños hacia los cultivos en zona agrícolas.

La agricultura vertical ofrece una solución innovadora al realizarse en entornos controlado y evitar su exposición a sequías e inundaciones, siendo esta función bastante óptima ante las problemáticas climáticas del país, además es un sistema que Conserva agua mediante sistemas hidropónicos cerrados, preservando la producción frente a déficits hídricos graves. Al estar ubicarse en zonas urbanas o periurbanas, mitiga los daños causados por acontecimientos naturales en las zonas rurales, legitimando la disponibilidad continua de alimentos agrícolas para el país de forma continua.

Además, según un estudio de OCED indica que “La agricultura representa **dos tercios (66 %)** del total del agua extraída para usos productivos, siendo el principal consumidor de recursos hídricos” (OECD, 2023). indicándonos el alto índice porcentual que el país utiliza para

producir los cultivos y con esta modalidad de agricultura vertical podríamos disminuir la cantidad de agua es utilizada en nuestro país destinada a la producción agrícola

Para continuar el análisis de la importancia de esta implementación, es fundamental mencionar que reducirá gran parte de los daños ambientales que genera el sector agrícola en la tierras de cultivo disponible y apta para la siembra, así como ayudará a la República de Costa Rica a mejorar su respuesta frente fenómenos climáticos extremos logrando mantener sus productos disponibles ante los consumidores, con este sistema el país logrará una opción más viable y sostenible para afrontar estos riesgos climáticos. Parte del análisis que dan los entrevistados es el optar por estas medidas de agricultura vertical, para lograr mantener una producción más continua durante todo el año, ya que estos sistemas son más efectivos en cuanto a producción y casi no pueden cosechas por afectaciones exteriores, debido a estructura en que estos se encuentran, ahorrando dinero en muchos materiales y generando más ganancias por su efectividad.

En el análisis social y urbano, es fundamental considerar los posibles impactos que la implementación de estructuras de agricultura vertical podría generar en el contexto costarricense. Desde esta perspectiva, estas granjas no solo ofrecen beneficios visuales y ecológicos al integrarse armónicamente en entornos urbanos, sino que también contribuyen significativamente a la seguridad alimentaria. La agricultura vertical representa una solución innovadora que puede mejorar la calidad de vida en las ciudades, al promover un modelo de producción sostenible, accesible y adaptado a las necesidades de una población en crecimiento.

Ante el crecimiento acelerado de las zonas urbanas y una gran reducción de las tierras agrícolas disponibles, este modelo representa una buena salida para generar la producción alimentaria de forma más rápida y eficiente para los costarricense evitando que los cultivos se vean expuesto ante agroquímicos y pesticidas, convirtiendo en una opción bastante saludable para los consumidores y envolviendo al país en una posición de garantizar una mayor seguridad alimentaria en zonas altamente pobladas, y combatiendo la escases de productos.

Además, las instalaciones de granjas verticales pueden generar nuevas oportunidades de empleos en sectores como la agricultura tecnológica, mantenimiento de componentes, también se ocuparía mano de obra calificada para poder cosechar los cultivos, esta iniciativa puede generar

una gran tasa de empleo en las zonas urbanas ayudando a resaltar su importancia dentro de los cambios sociales más importantes. Este aspecto se puede llevar dentro de espacios urbanos subutilizados como edificios abandonados, techos de centros comerciales o terrenos vacíos del gobierno, estos lugares se pueden transformar en espacios productivos agrícolas.

Por lo que según “Según Barbosa et al. (2015), la producción hidropónica de lechuga utiliza solo alrededor de 20 L de agua por kg, mientras que el cultivo tradicional exige cerca de 250 L/kg, es decir, hasta 13 veces más. Este ahorro hídrico es determinante para regiones con presión sobre el recurso, como son Costa Rica.”

Por estas razones se puede ver que países más cercanos como Estados Unidos ha mostrado un interés bastante notorio en implementar este sistema debido a la facilidad y la reducción de mano de obra que requieren esta producción, por esto el crecimiento de estos sistemas dentro del país se va seguir observando en años futuros como indica “ Se anticipa que la industria estadounidense de agricultura vertical experimentará un crecimiento significativo con una CAGR del 19,5 % entre 2025 y 2030. (Grand View Research, 2025)

Por lo que este modelo de agricultura es tendencia y es rentable para su aplicabilidad, al igual que en países Europeo el cual no tienen una disponibilidad de tierra para cultivo, por esta razón están viendo optimo el usar estas granjas con el fin de contrarrestar la demanda de alimentos de la población, este modelo de mantienen dentro de la línea con las estrategias del pacto verde Europeo y “De la granja a la mesa “que buscan priorizar la eliminación de la huella de carbono que dejan las prácticas agrícolas tradicionales.

En conclusión, el usar la agricultura vertical responde a retos climáticos y alimentarios de la zona de manera eficiente al lograr mantener su producción en un sistema cerrado que no se ve afectado por condiciones climáticas, y además también representa una herramienta social y urbana que podría cambiar drásticamente las dinámicas comunitarias del país al desarrollarse como una práctica de bien común para la población al estar ligada a su alimentación. Esta transformación tiene que estar acompañada de políticas públicas que ayuden a potenciar estos proyectos dentro de las comunidades más vulnerables.

Para iniciar el siguiente punto, se abordará explicar que es un análisis FODA, es una herramienta utilizada para evaluar el nivel viabilidad de un proyecto o modelo como el de la agricultura vertical, ya que este ayuda a determinar las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas del proyecto según: “El análisis FODA es una herramienta estratégica que permite identificar las fortalezas y debilidades internas de una organización, así como las oportunidades y amenazas del entorno, facilitando la toma de decisiones y la planificación efectiva”(Chiavenato, 2006, p. 101). Esta herramienta es importante para poder determinar la viabilidad de esta aplicación en la República de Costa Rica.

Por consiguiente, se destacan varias fortalezas del proyecto, entre ellas la posibilidad de realizar producción agrícola en espacios reducidos, lo cual resulta ideal para zonas urbanas densamente pobladas. Esta característica permite que los cultivos se ubiquen cerca de los supermercados y del consumidor final, facilitando la distribución y reduciendo costos logísticos. Además, el uso de sistemas hidropónicos permite una alta eficiencia en el uso del agua, lo que contribuye a un menor gasto energético en el funcionamiento de estas granjas dentro del país

Según indican los entrevistados se deberá trabajar en un tiempo de 7 días a la semana ya que mencionan que la supervisión en estos sistemas es clave para lograr un resultado efectivo de los cultivos, además que indican que todos estos sistemas deberán tener una constancia de trabajo ya que no es un trabajo de 5 o 6 días por semana, por lo cual esto se tendría que tomar en cuenta antes de replicar estos sistemas agrícolas.

Como tercer punto la producción estable de productos agrícolas, sin la dependencia de las estaciones climáticas, ya que al estar en un entorno cerrado no se verían afectadas por cambios externos, con esto se enfatiza la continuidad de producción de estas granjas verticales. Por cuarto punto tenemos la reducción de costos de trasportes y distribución al ubicarse en la ciudad, ahorrando dinero en almacenaje y distribución del producto al estar ubicado en ciudades. A continuación, se presentan las oportunidades que esta implementación puede causar en el país, ya que la creciente atención que va recibir a nivel tecnológico es importante mencionarlo al estar mezclando dos campos muy diferentes entre si como lo son la agricultura y tecnologías avanzadas,

generando un interés nacional en tecnologías sostenibles y de agricultura urbana y la reutilización de edificios abandonos y techos de las grandes ciudades que actualmente no tienen ningún uso.

Por esta razón todo esto claro se tiene que llevar a cabo con el apoyo potencial del gobierno y con políticas públicas de sostenibilidad y seguridad alimentaria. Para poder ser más atrayente a nuevos inversores en proyectos agrícolas y con la capacidad económica de ayudar con los costos de implementación, además de poder generar trabajos en las zonas donde sea implementadas estas granjas.

En consecuencia, de la aplicación de este modelo tenemos algunas debilidades, las cuales son la elevada inversión inicial que se tiene que realizar para poder llevar a cabo esta construcción de granjas verticales e infraestructura tecnológica lo cual es uno de los grandes retos al tener que buscar inversionista para poder llevar a cabo este proyecto, otro factor negativo es la reducida experiencia a nivel nacional en relación con la agricultura vertical en gran escala que el país.

Según indican los entrevistados a el objetivo de explicar a viabilidad de la implementación de este tipo de producción agrícola en la República Costa Rica partiendo del caso en estudio estas granjas en el país sería sencillo a nivel de infraestructura y tecnológica debido a que tenemos la capacidad tecnológica de replicar estos sistemas, sin embargo el reto está en las necesidades humanas que las granjas van a tener ya que tienen que estar supervisadas los 7 días de la semana, debido a los sistemas que estas tienen y que la agricultura no es una actividad en la que se tomen días libres por lo delicado que son los cultivos.

Por consiguiente, la necesidad de capacitación especializada para operar sistemas hidropónicos y automatizados dentro de las granjas y la dependencia de estas tecnologías importadas de otros países. Un inconveniente que pueden tener este proyecto es la falta de suficiente dinero o apoyo del estado para ayudarles a invertir en las estructuras iniciales. También es difícil competir con los productos agrícolas tradicionales en condiciones económicas, ya que muchas veces son más baratos y ya tienen muchos clientes establecidos

Este análisis permite evidenciar que el modelo de la agricultura vertical posee varias fortalezas relevantes para poder enfrentar los desafíos alimentarios y ambientales de la República de Costa Rica, específicamente en entorno urbanos, sin embargo las debilidades asociadas a los costos iniciales y falta de experiencia local requiere un soporte mayor y estratégico por parte de países expertos en el tema, además de obtener la búsqueda de financiamiento y capacitación en temas habilidades técnicas.

Es importante destacar de los beneficios sociales y económicos de la agricultura vertical ya que estos sistemas permiten maximizar el rendimiento de los cultivos y el crecimiento económico por lo que es fundamental lograr replicar este modelo con el fin de reducir el impacto ambiental que generamos con los cultivos que actualmente cosechan dentro de la República de Costa Rica, permitiéndonos mantener un país con modelos de negocio sostenibles.

Por esto el punto de la sostenibilidad de este negocio es crucial ya que ayuda a mantener una eficiencia de recursos, optimizando agua mediante sistemas de circulación que conservan el agua y la reutilizan, y que permite minimizar la degradación del suelo donde se tienen estas granjas evitando la pérdida de estas tierras al dañarse por químicos y pesticidas, con esta implementación se puede alinear de una forma más sostenible las prácticas agrícolas actuales del país.

Con la implementación de estos huertos verticales se logrará impulsar las prácticas sustentables a futuro ya que según indica: “Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2023), la expansión urbana y el aumento poblacional han reducido la disponibilidad de tierras cultivables, a la vez que menos personas están dispuestas a dedicarse a tiempo completo a la agricultura intensiva.” Por lo cual se busca incentivar estas prácticas agrícolas modernas como una forma de incentivar más trabajo en las zonas urbanas.

Posteriormente este modelo de agricultura vertical ayudaría a mejoras aspectos económicos clave, como lo son la dependencia alimentaria y reducir las importaciones ya que en el 2023 las importaciones de alimentos representaron alrededor de un 13,32% total de las importaciones del país, con la implementación de estas granjas podemos reducir los gastos por exportaciones y cultivar estos alimentos dentro de la República de Costa Rica. Por lo que la implementación de

este modelo y su viabilidad en la República de Costa Rica tendría una serie de beneficios que ayudaría al país a adaptarse a las nuevas necesidades actuales, ya que la reestructuración de estos nuevos modelos de agricultura combate con la necesidad de preservar el agua del país y no generar un gasto incesante de este suministro. Por lo que a nivel de sostenibilidad este modelo se adapta a las necesidades y el cumplimiento sostenible del país.

Ahora bien, la manera en que estas estructuras están creadas sirve como fuente para no ver pérdidas de cosechas por condiciones climáticas que afecten al país a lo largo del año preservando las exportaciones y el consumo del país de manera segura y con una estabilidad para los consumidores y el país al no tener que verse afectado por pérdidas y aumentos de precios en los productos. Este modelo sirve como una gran fuente de empleo para todo el país, ya que estas granjas al estar adecuadas a la tecnología no requieren una mano de obra tan demandante como la de los campos tradicionales, lo cual sirve como un factor clave para que las nuevas generaciones vean este trabajo más llamativo en las zonas urbanas del país. Por lo que su implementación involucra el crecimiento de plazas disponibles para los costarricenses.

La disminución del uso del suelo es un aspecto clave en los nuevos sistemas de agricultura, especialmente considerando que las granjas tradicionales suelen provocar la degradación de tierras cultivables debido al uso de químicos. En contraste, la agricultura vertical permite prescindir del suelo mediante el uso de plataformas integradas y rotativas, lo que reduce significativamente el daño ambiental asociado. En este sentido, implementar proyectos piloto en provincias urbanas como San José, Heredia, Cartago y Alajuela, a través de subsidios o alianzas público-privadas, resulta fundamental. Esta estrategia no solo contribuiría a mitigar los efectos del cambio climático y el deterioro ambiental, sino que también podría convertirse en una importante fuente de empleo para el país.

## CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el siguiente apartado se van a presentar las conclusiones y recomendaciones que se han podido analizar para la implementación de la agricultura vertical en el país usan como referente el caso de la Republica de Singapur, y además como el impacto de esta implementación puede verse en la Republica de Costa Rica, así como la importancia de realizar este cambio de manera sostenible.

### 5.1. Conclusiones.

En este apartado se presentan una serie de conclusiones derivadas del desarrollo de esta investigación, con el objetivo de demostrar la viabilidad de implementar la agricultura vertical en la República de Costa Rica. Para ello, se analiza el caso de la República de Singapur, país que ha logrado desarrollar con éxito granjas verticales en entornos urbanos, enfrentando de manera efectiva desafíos como la seguridad alimentaria y la limitación de espacio. Además, se destaca su capacidad para establecer un sistema agrícola sostenible dentro de sus ciudades.

Como primera conclusión, se entiende que la Republica de Singapur es de gran importancia para la agricultura vertical, por la carrera histórica que tiene a lo largo de estos años en los que ha desarrollado sus granjas y experimentado de diferentes maneras la forma en la que desarrolla sus cultivos. La Republica de Singapur es un país que se caracteriza por la innovación en tecnología y realizar avances técnicos, por lo que la implementación de la agricultura con temas como la tecnología de la manera en la que la utilizan resulta en una nueva forma de ver la evolución del país en temas de agricultura y tecnología.

Es importante mencionar que estos proyectos son de gran importancia para el país ya que se vuelve un gran exponente en el mercado internacional, en ventas de tecnología para replicar estas granjas en otros países, para crear cultivos en estos sistemas cerrados de manera eficiente y sirviendo de ayuda a sus ciudadanos en cuanto a la seguridad alimentaria. Otro aporte de este modelo es el ahorro de inversión en exportar alimentos del extranjero.

En segundo lugar, el desarrollo de granjas urbanas y jardines verticales en el país, ya que ha optado por implementarlas por todo el territorio nacional debido a lo reducido de su territorio, tienen que optar por reutilizar espacios construyendo estas estructuras dentro de espacios comerciales y todo tipo de edificios, reacondicionando estos lugares y convirtiendo estas zonas en fuente de alimentos para la misma población.

Siendo este uno de los cambios más radicales en cuanto agricultura ya que se está implementando en las ciudades las cuales carecen de espacio de tierra cultivable siendo este hecho algo importante de destacar debido a la complejidad del espacio y el adecuar estas zonas con infraestructuras óptimas para no afectar a sus habitantes y crear alimentos con las granjas adicionadas a las estructuras.

Como tercera conclusión, se destaca la importancia de la sostenibilidad de estas granjas, las cuales operan con un consumo energético muy bajo en relación con su alta efectividad. Uno de los factores más relevantes es el uso eficiente del agua, ya que, gracias a sus sistemas cerrados, estas granjas logran minimizar el impacto sobre los recursos hídricos del país, utilizando una cantidad significativamente menor de agua para el cultivo de alimentos. Además de la utilización de luz solar como recurso para las plantas incrementando el ahorro energético y no afectando el entorno poblacional de la zona, es importante comprender que este sistema de cultivo no daña el entorno de sus cultivos ya que no utiliza tierra por lo tanto no afecta la tierra fértil donde las granjas son construidas caso contrario como sucede en granjas comunes.

En cuanto lugar, se concluye que el modelo de Sky Greens en la República de Singapur se basa en 3 factores muy importante entre si como los son el factor económico, tecnológico y ambiental siendo ya que estos nuevos modelo de agricultura generan consecuencias sobre varias problemáticas del país, en el caso del factor tecnológico encontramos que el sistema como Hidropónicos y acuaponía, las cuales son implementadas en estas granjas son de bastante relevancia ya que gracias a los sistemas de Hidropónico no se requiere el uso de suelo en estas granjas para poder cultivar los vegetales, siendo así fundamental en este tipo de agricultura ya que genera un gran ahorro en recursos como el agua y suelo siendo esto muy beneficioso para el medio

ambiente, cumpliendo este con los objetivos ambientales de la zona y utilizando avances tecnológicos del país.

Sexto, gracias a la implementación de estas granjas verticales la República de Singapur ha logrado producir su propio alimento y ha dejado de lado la dependencia total de sus alimentos agrícolas a otros países, lo cual le genera un gran ahorro económico al país ya que no tienen que exportar todos sus alimentos, esta dependencia es muy dañina ya que estos productos están sujetos a tarifas que pueden variar y a su vez el costo del consumidor final en La República de Singapur.

Estas prácticas le ayudan al país a ganar ingresos por medio de la nueva tecnología aplicada a la industria agrícola. Generando un enriquecimiento de servicios que el país puede generar a otros estados que estén dispuestos a sobrellevar estos sistemas de agricultura vertical sostenible, Esto es importante ya que países con una alta sobrepoblación tendrán que optar por estos cambios para mantener una buena seguridad alimentaria dentro de sus habitantes.

Por otro lado, es importante mencionar que la viabilidad del proyecto en la República de Costa Rica es aplicable debido a las condiciones que tenemos tales como herramientas agrícolas, expertos calificados en el país, espacio para replicar las granjas y la tecnología necesaria, se analiza por medio de la información obtenida en la investigación que el modelo es rentable al estar compuesto por un ciclo continuo de cultivos a lo largo del año generando una gran capacidad de productividad si se realiza para solventar la necesidad alimentaria del país.

Se concluye que, para implementar este modelo de producción en la República de Costa Rica, es fundamental establecer una coordinación efectiva entre distintos ministerios y el diseño de políticas públicas adecuadas. El desarrollo de un plan piloto exitoso requiere de inversiones significativas, espacios adecuados, expertos en el área agrícola que aporten conocimientos técnicos y la aplicación o adaptación de tecnologías en las granjas. Por ello, para lograr cultivar y comercializar estos productos destinados al consumo de la población, es indispensable la articulación de múltiples factores y actores que permitan llevar a cabo el proyecto de manera integral.

Finalmente, este tipo de granjas requiere una inversión significativa por parte del país para poner en marcha su operación, tal como lo demuestra el caso de éxito en el que se basa esta propuesta. No se trata únicamente de replicar la inversión económica, sino también de otorgarle al proyecto la importancia estratégica que merece, con el fin de obtener los beneficios de producir alimentos de manera más eficiente y sostenible.

Si bien no es imprescindible utilizar exactamente las mismas tecnologías empleadas en las granjas de Sky Greens, sí es viable adoptar su modelo de funcionamiento, el cual ha demostrado ser rentable y adaptable a la realidad costarricense. Este tipo de agricultura vertical puede implementarse en zonas vulnerables al cambio climático, especialmente aquellas afectadas por inundaciones o sequías. Además, estas granjas podrían representar una oportunidad para generar ingresos mediante la exportación de productos a países que enfrentan problemas similares, tanto por razones climáticas como en el marco del comercio internacional.

## **5.2. Recomendaciones.**

Las recomendaciones son una parte fundamental en las investigaciones sobre un tema en específico, ya que se aconseja a futuras investigaciones sobre nuevos caminos o conclusiones que se pueden cambiar o tomar durante sus trabajos de investigación. Lo que este apartado busca es brindar y aportar los conocimientos recopilados sobre un mejor desenlace de la aplicabilidad de este sistema de producción de alimentos. En este caso se busca que hayan más países que sigan el ejemplo de la República de Singapur en temas como la agricultura vertical y que se le dé la importancia debida a problemáticas como la seguridad alimentaria, ahorro recursos como agua y electricidad, cuidar la tierra fértil existente y no contaminarla con químicos.

Al gobierno de la República de Costa Rica, se recomienda que a partir del análisis de la agricultura vertical en su posible implementación en la República de Costa Rica ya que es un tema que en el cual tenemos que capacitarnos más y realizando de forma competente con los esfuerzos necesarios para lograr tener un sistema híbrido de agricultura, ya que es un tema que va en crecimiento exponencial y que va ser fundamental para lograr mantener nuestros alimentos en generaciones futuras. Se tiene que entender que los recursos del país son limitados y nuestra

población va en aumento cada año lo que requiere una mayor cantidad de demanda alimentaria, por lo cual se tiene que realizar el ahorro energético necesario para lograr mantener nuestra producción local.

En la misma línea, se hace un llamado a las instituciones estatales en específicamente al Ministerio de Agricultura y Ganadería en coordinación con el MICITT, para desarrollar un plan piloto de agricultura vertical urbana en zonas de alta densidad poblacional y exposición al cambio climático. Este programa deberá incluir apoyo tecnológico y financieras, así como formación técnica. Esto con el fin de ir minimizando las afectaciones del cambio climático a la agricultura del país y el daño ocasionado en zonas afectadas por cambios climáticos en el país. Esta recomendación se realiza ya que es importante que las políticas públicas del país ayuden a los pequeños y grandes agricultores a realizar este tipo de estructuras con el fin de lograr incrementar la efectividad y calidad de los productos alimenticios del país, así como de mitigar las pérdidas ocasionadas por condiciones climáticas que afectan al país y consigo las pérdidas de cultivos de las granjas comunes.

La segunda recomendación se hace a la comunidad internacional, para que busque incentivar este tipo de proyectos que buscan ayudar con problemáticas como la seguridad alimentaria de cada país de manera sostenible de una manera que afecte los suministros energéticos positivamente resguardándolos para el futuro y además logrando minimizar el impacto ambiental ocasionado por la producción en masa de alimentos agrícolas. Por lo que esta recomendación se realiza de forma que la comunidad internacional genere una observación sobre replicar este modelo en lugares con pocos recursos como el agua y los alimentos. Además, al ver las afectaciones del cambio climático, podemos determinar que estos sistemas son eficaces ante condiciones extremas de sequías o inundaciones, determinando que son una forma óptima para lograr mantener la producción local de alimentos.

Tercero, a las diferentes universidades, se recomienda a la carrera de relaciones Internacionales incorporar un plan de estudios con contenidos en relación con la diplomacia climática internacional, con énfasis en el desarrollo tecnológico para afrontar estas problemáticas

internacionales como el cambio climático y la seguridad alimentaria global. Con el fin de enfatizar las necesidades globales de cumplir con estos objetivos de manera sostenible.

Cuarto, a las futuras investigaciones sobre tecnologías replicables en nuestro país ya que podemos realizar por medio de tecnología aplicada y replicada en nuestro país ya que son dispositivos adaptables a nuestras condiciones, esto con el fin de abastecer el país y de mitigar los efectos del cambio climático en el país, para contrarrestar las pérdidas de cultivos en el territorio nacional, esta implementación se puede realizar para que las personas agriculturas.

En cuanto a la agricultura vertical y su comercialización, se plantea la posibilidad de replicar este modelo de cultivo en campos controlados con el objetivo de convertir a Costa Rica en un exportador de alimentos, aprovechando así una ventaja competitiva frente a otros países que enfrentan condiciones climáticas adversas y escasez de productos agrícolas. Asimismo, es fundamental analizar en profundidad la oportunidad de establecer una industria agrícola más activa, limpia y sostenible. La agricultura, como actividad ancestral presente en todas las culturas, puede evolucionar hacia sistemas más amigables con el ambiente y menos perjudiciales para el suelo, promoviendo una producción masiva de alimentos sin comprometer los ecosistemas donde estas prácticas se desarrollan.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ¿Qué debo saber para postular mi proyecto de investigación? (2021). Universidad del Desarrollo. Recuperado de <https://innovaciondocente.udd.cl/files/2021/12/7.instrumento-de-seleccion-de-informacion.pdf>
- Castro Canales, D. S. (2023). *Agricultura vertical para aumentar la producción de alimentos en áreas urbanas* (Trabajo de titulación, Universidad Técnica de Babahoyo). Universidad Técnica de Babahoyo, Facultad de Ciencias Agropecuarias.
- Castro Fallas, M. (2024). *Análisis de la economía verde y el Plan de Desarrollo Sostenible de la República de Singapur y su influencia en el Sistema Internacional como un líder en comercio verde durante el período 2017-2023* (Tesis de licenciatura). Universidad Internacional de las Américas, Carrera de Relaciones Internacionales. Sky Greens. (2014). *World's first low carbon, hydraulically driven vertical farm system*. <https://www.skygreens.com>
- De Anda Sánchez, J. (2016). *La agricultura vertical: una opción sustentable para producir alimentos en México*. En M. A. Cortés Lara (Coord.), *Aportes a la sustentabilidad: una mirada desde la gestión del territorio y los recursos naturales* (pp. 161-179). Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente (ITESO). [https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w25434w/web\\_u4\\_aportesalasustentabilidad.pdf#page=162](https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w25434w/web_u4_aportesalasustentabilidad.pdf#page=162)
- Despommier, D. (2010). *The Vertical Farm: Feeding the World in the 21st Century*. Thomas Dunne Books.

- Gómez, E., Navas, D., Aponte, G & Betancourt, L. (2014) Metodología para la revisión bibliográfica y la gestión de información de temas científicos, a través de su estructuración y sistematización. SciELO. Recuperado de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0012-73532014000200021](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0012-73532014000200021)
- Grand View Research. (2024). *Vertical Farming Market in Singapore – Outlook 2024 to 2030*. Retrieved from <https://www.grandviewresearch.com/horizon/outlook/vertical-farming-market/singapore>
- <https://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/14796/E-UTB-FACIAG-%20AGROP-000052.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). (2023). *Diagnóstico de la agricultura costarricense y su potencial de transformación sostenible*. San José, Costa Rica.
- Mogollón Pérez, E. A., & Quimbay Diaz, Y. P. (2019). *La agricultura vertical como estrategia para garantizar la seguridad alimentaria en términos de abastecimiento y calidad de productos en el municipio de Gachetá, Cundinamarca*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD). <https://repository.unad.edu.co/jspui/bitstream/10596/28457/1/ypquimbayd.pdf>
- Murra, J. (1979). *La organización económica del estado Inca*. México D.F.: Siglo XXI Editores.
- Rojas Montero, S. J. (2019). *Diseño de un sistema hidropónico orbital como alternativa de producción de alimento de alta intensidad en zonas urbanas* (Tesis de licenciatura). Universidad de Costa Rica, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería de Biosistemas. <https://www.ingbiosistemas.ucr.ac.cr/wp-content/uploads/TFG-SergioRojasM.pdf>

- Salaverry, E. (2023). *El modelo de producción Inca en la agricultura de la Quebrada de Humahuaca. Elaboración y propuesta de un material educativo interdisciplinario*. Revista Huellas de la Historia, (16), 877-886.
- SANDUA, D. (2023). El Futuro de la Alimentación: Agricultura Vertical Y Carne de Laboratorio. (n.p.):[https://www.google.com/books/edition/EL\\_FUTURO\\_DE\\_LA\\_ALIMENTACION/C3%93N/COXcEAAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1](https://www.google.com/books/edition/EL_FUTURO_DE_LA_ALIMENTACION/C3%93N/COXcEAAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1)
- Tatum, M. (2020, 18 de diciembre). *Cómo la agricultura vertical ayuda a alimentar Singapur*. MIT Technology Review. <https://www.technologyreview.com>
- World Bank. (2022). *Sustainable Food Systems and Urban Agriculture: Policy Recommendations for the Future*. <https://www.worldbank.org/en/topic/agriculture>
- Yeang, K. (2006). *Ecodesign: A Manual for Ecological Design*. Wiley-Academy.
- Bailey, G. E. (1915). Vertical Farming. Waverly Press. Recuperado de <https://verticalfarminstitute.com/wp-content/uploads/2024/09/VERTICAL-FARMING-1915-Gilbert-Ellis-Bailey.pdf>
- National Geographic. (2014, abril 29). Brooklyn's Rooftop Farms Lead the Way in Urban Agriculture. <https://www.nationalgeographic.com/history/article/140429-farming-rooftop-gardening-brooklyn-grange-vegetables-science-food>
- The Green Skyscraper” (1999) y “Ecodesign: A Manual for Ecological Design” (2006)
- Mehrabi, Z. (2023). Proyección de la cantidad y tamaño de granjas hasta 2100 (Nature Sustainability). Datos recopilados por la Universidad de Colorado Boulder, basados en estadísticas de la FAO.
- Chiavenato, I. (2006). *Administración: Teoría, proceso y práctica* (4.ª ed.). McGraw-Hill.

Singh, A., Ashoka, P., Nasima, V. T., Panotra, N., Kalpana, K., Mubeen, y Pandey, S. K. (2024). A comparative analysis of land, water and energy requirements for hydroponic and conventional cultivation of horticultural crops. *Journal of Scientific Research and Reports*, 30(9), 771–784. <https://doi.org/10.9734/jsrr/2024/v30i92404>

- World Economic Forum. (2023, junio 20). *Cómo la agricultura vertical puede ahorrar agua y favorecer la seguridad alimentaria*.  
<https://www.weforum.org/es/agenda/2023/06/como-la-agricultura-vertical-puede-ahorrar-agua-y-favorecer-la-seguridad-alimentaria/>
- 
- Sky Greens. (s.f.). *Technology*. Recuperado el 22 de julio de 2025, de <https://www.skygreens.com/technology>
- Ng, J. (2023). *Enfoque sostenible de Sky Greens en la agricultura urbana*. Recuperado de <https://www.just-food.com/features/indoor-farming-and-the-prospects-for-profitability/>
- 
- Grand View Research. (2025). *Vertical Farming Market Size, Share & Trends Report: Análisis del tamaño, participación y tendencias del mercado de agricultura vertical por componente, mecanismo de cultivo, categoría de cultivo, estructura, región y pronóstico (2025-2030)*. Grand View Research.
- 
- OECD. (2023). *Agricultural Policy Monitoring and Evaluation 2023: Adapting Agriculture to Climate Change*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/b14de474-en>
- 
- Lorenzen Baltodano, G. (2021). *Propuesta de vivienda agro-resiliente con huerta vertical integrada para el Barrio Rohrmoser, San José, Costa Rica* [Tesis de licenciatura, Universidad de Costa Rica]. Repositorio SIBDI. <https://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr/items/8b14dfff-ae1b-4524-a012-824498af0b1e>

- Ocampo González, C. M. (2012). *Lineamientos para capacidades en agricultura urbana y periurbana* [Tesis de maestría, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE)]. Repositorio CATIE. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/5290>

- 

Briggs, H. R. (2022). *Sustainable Intensification: insights from vertical farming on the links between Diffusion of Innovation and the Business Model* (Tesis doctoral, University of Leeds). University of Leeds. <https://etheses.whiterose.ac.uk/30711>

Tabla

Fuente: Mordor Intelligence. (2024). Vertical Farming Market. Recuperado de <https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/vertical-farming-market>