



TESINA PROYECTO DE TÍTULO

Instituto y Edificio Productivo Agrícola Laja

Alumno **Francisco Quezada**

Profesor **Diego Martínez**

Mención **Diseño Sustentable**



**TEMA: AGRICULTURA VERTICAL SOSTENIBLE COMO AGENTE DE CAMBIO SOCIAL-
ECONÓMICO**

CASO: INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN Y PRODUCCIÓN AGRÍCOLA.

LUGAR: LAJA, VIII REGIÓN, CHILE

POR: FRANCISCO ELIAN QUEZADA CARRASCO

**Tesina presentada a la Facultad de Arquitectura y Arte de la Universidad del Desarrollo
para optar al grado académico / título profesional de ARQUITECTO con mención en
DISEÑO SUSTENTABLE.**

PROFESOR GUIA

Arquitecto, Magíster en Diseño Sustentable, DIEGO MARTÍNEZ.

PROFESOR MENCIÓN

Arquitecto, MSc Renewable Energy & Architecture, M. ALEJANDRA PORTER P.

Julio, 2026

CONCEPCIÓN

DEDICATORIA

Dedicada a mi familia, que son sinónimo de esfuerzo y me empujan a superarme cada día, dar lo mejor de mí y no bajar los brazos por más difícil que sea el problema. A mis amigos Santiago, Yerko, Mayte, Trinidad, Mariana, Florencia, Catalina y Rocio por creer en mí, valorarme como su amigo y quererme siempre, a través de los años, apoyándonos y superando cada etapa, física y espiritualmente siempre acompañado. Y por último a mi Padre, del cielo me verás egresar de la carrera que tanto sabías que me costaría, gracias por criarme junto a mi madre, la vida me regaló los mejores padres, agradezco cada día el que me hayan enseñado a ser persona y merecer las hermosas personas que hoy me acompañan.

TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	II
ABSTRACT	1
 I. MARCO TEORICO	 2
1. CONTEXTO COMUNAL	2
1.1. Contaminación comunal.	2
1.2. Capacidad de uso del suelo.	2
1.3. Actividades económicas/rubros en decrecimiento.	2
1.4. Egresos	3
1.4.1. Establecimientos educacionales.	3
1.4.2. Oferta de educación superior vs. migración.	3
1.5. Impacto social/económico.	3
2. AGRICULTURA VERTICAL SOSTENIBLE.....	4
2.1 Ventajas de la agricultura vertical	5
2.2 Hidroponía	5
2.3 Cultivos Hidropónicos.	7
2.4 Producción tentativa.	8
2.5 Invernaderos	8
2.6 Distribución interna y tipos de torre de cultivos	9
2.7 Gestión circular de residuos y compostaje.	11
2.8 Manejo de agua.....	11
2.9 Estrategias pasivas y activas.	13
2.10 Referentes de agricultura vertical y sus modelos de gestión.	14
 II. TEMA	 17
III. CASO	19
IV. LUGAR.....	22
V. ESTRATEGIAS PROYECTUALES	24
VI. DESARROLLO PROYECTUAL	32
VII. BIBLIOGRAFÍA	36
VIII. ANTECEDENTES ACADÉMICOS	38
IX. ANEXOS	39

ABSTRACT

La agricultura, como actividad perteneciente al sector primario de la economía, se define por la transformación del entorno natural con el propósito de adaptarlo y optimizar su productividad. Esta práctica incide de manera directa en los sistemas ecológicos globales. En el año 2022, las emisiones derivadas de los sistemas agroalimentarios alcanzaron aproximadamente 16.200 millones de toneladas de dióxido de carbono equivalente, lo que representa un incremento del 10% en comparación con el año 2000, según la FAO¹. Los principales factores que participan en este incremento son el crecimiento acelerado de la población mundial y la expansión de los centros urbanos, procesos que no solo generan una presión en los ecosistemas, sino también en la gestión de los recursos naturales asociados a su desarrollo. El crecimiento de la escasez de los recursos naturales sugiere la implementación de sistemas nuevos, prácticas y tecnologías productivas innovadoras que mejoren las limitaciones de los modelos tradicionales, promoviendo ciclos urbanos más sostenibles y resilientes.

Ante esta problemática, el objetivo de la presente investigación es analizar el potencial de las nuevas técnicas agrícolas —particularmente la agricultura vertical— como una estrategia sostenible capaz de optimizar el uso de los recursos naturales, incrementar la producción de alimentos y adaptarse a espacios reducidos dentro del tejido urbano de ciudades intermedias como Laja, Chile. Asimismo, se busca explorar su rol como catalizador de reactivación productiva local, considerando que la actividad agrícola en la zona ha disminuido desde 2018 según datos del SII, siendo desplazada por el monocultivo forestal.

Para la construcción del marco teórico atingente, se recurrirá al estudio de fuentes bibliográficas y antecedentes técnicos que permitan identificar los componentes esenciales, para el desarrollo de una propuesta arquitectónica coherente con las necesidades territoriales y ambientales del lugar.

¹ Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura / Food and Agriculture Organization.

I. MARCO TEORICO

1. CONTEXTO COMUNAL

Laja, su nombre proviene de la denominación que los españoles le atribuyeron al territorio como “*Isla de La Laxa*”, donde la X se pronuncia como J. Se encuentra geográficamente en la octava región, con una superficie de 339,8 km², 23.706 habitantes y una densidad de 69,6 hab./km². Ubicada al suroeste de Concepción y al noroeste de Los Ángeles y vecina de San Rosendo (Anexo 1).

1.1. Contaminación comunal

El transporte y los residuos de la zona corresponden al 20% y 65% aproximadamente de las emisiones de CO₂e, en total siendo 160.6 KT sumando las energías estacionarias, en la comuna, se puede ver esto explicado en gran medida a la búsqueda de suplir y responder a los requerimientos en el sector, residuos de las empresas forestales, y emisiones en el transporte debido a los distintos factores involucrados al rubro agrícola y forestal (Anexo 2).

1.2. Capacidad de uso del suelo

La agricultura se ve mermada por la falta de disponibilidad de suelos aptos para su desarrollo, dado que en los últimos años ha predominado la producción del monocultivo, a esto se suma que la naturaleza del sector no permite un apropiado desempeño de la agricultura por su morfología. La comuna registra casi un 50% de sus suelos en la categoría VII, lo que significa que esta clase de suelos se caracteriza por la presencia de suelos escarpados, muy degradados, con abundante pedregosidad superficial, excesiva rugosidad, erosionados y salinos con inundaciones muy frecuentes, lo que denota un suelo inadecuado para el desarrollo de esta actividad económica (Anexo 3). En la actualidad, existe una alta superficie destinada a plantaciones forestales (52%), desplazando a la rotativa de cultivo-pradera a un 26% y a los bosques nativos solo a un 3,9% del territorio comunal (1.347 ha) (Anexo 4).

1.3. Actividades económicas/rubros en decrecimiento.

Si hablamos de ofertas económicas u oportunidades de empleo, la mayor actividad del sector la generan las empresas que operan en la comuna, con un 43% del total, observándose en gran medida en torno a los ejes de Balmaceda y la avenida de los Ríos. La empresa dominante en el sector es CMPC, una empresa forestal y papelera chilena controlada por el Grupo Matte,

dedicada a la producción de celulosa, papeles y productos Tissue a partir de plantaciones forestales. A esta se suman las empresas del transporte, con un 13% de representatividad y un total de 128 empresas dedicadas a este rubro. En contraste, desde el 2017 el rubro de la agricultura ha experimentado un decrecimiento constante a través de los años (Anexo 5), como actividad económica, solo representa el 5% del total, distribuido en 52 empresas (Anexo 6).

1.4. Egresos

La comuna tiene un total aproximado de 387 alumnos egresados anualmente, dentro de sus establecimientos de educación media, que equivalen a un 1,63% de la población. Entendiendo que solo corresponde a una parte, ya que el promedio de escolaridad de Laja es de 9,3 años (Anexo 7), y muchos de ellos no cursan ni llegan a la enseñanza media, que corresponde a 12 años de estudio. Esto representa una desventaja a nivel local, que limita las oportunidades laborales de los jóvenes, quienes, en la mayoría de los casos, optan por migrar fuera de los límites de la ciudad en búsqueda de nuevas oportunidades laborales.

1.4.1. Establecimientos educacionales.

La localidad de Laja cuenta con 10 escuelas y con 1 liceo, pero no tiene establecimientos de educación superior que capaciten localmente a los jóvenes, presentando un desafío y a la vez una oportunidad en términos de educación en el sector (Anexo 8). Para contextualizar la realidad local, en la comuna existen 1.133 habitantes, que nunca cursaron educación básica, media o superior, y solo 5.269 asistieron a la educación superior de manera foránea (Anexo 9).

1.4.2. Oferta de educación superior vs. migración.

La comuna de Laja no cuenta con establecimientos educacionales como: centros de formación técnica, institutos profesionales o universidades, lo que explica la falta de oportunidades y acceso a la educación superior por parte de sus habitantes, quienes solo pueden optar por seguir perfeccionándose en ciudades aledañas o cercanas como Los Ángeles y Concepción, fomentando la migración. Internamente, Laja tiene alrededor de 961 migrantes, distribuidos entre el Gran Concepción (301), Los Ángeles (425) y comunas cercanas como San Rosendo, Cabrero y Arauco (237) (Anexo 10).

1.5. Impacto social/económico.

Actualmente, la principal actividad económica es el comercio y la industria, esta última representada por la empresa CMPC, responsable de que el porcentaje más alto de plantaciones sea mayoritariamente monocultivo forestal. A esta situación se suman 2 aristas, la primera es la

falta es establecimientos de educación superior que retengan a la población joven e incentiven su desarrollo local, en vez de verse obligados a trasladarse a ciudades aledañas más grandes para continuar sus estudios y/o capacitación, la segunda es la falta de suelos aptos para reactivar la agricultura dada sus características y condiciones: son escorados, delgados, pedregosos, erosionados, salinos y con problemas de drenaje e inundaciones frecuentes. Esto genera el desafío de cómo potenciar y capacitar localmente a la población joven, junto con reactivar una actividad agrícola que se ha estado perdiendo en las últimas décadas.

Es aquí donde las prácticas sostenibles de la actividad agrícola, pueden ser un agente de cambio social y económico en el sector, promoviendo la capacitación en el desarrollo de la “agricultura vertical sostenible”, para transformar a Laja en un pionero en la región, que lo posicione como referente nacional de las prácticas y tecnologías sostenibles en esta área productiva.

2. AGRICULTURA VERTICAL SOSTENIBLE

La agricultura vertical se ha consolidado en las últimas décadas como un modelo productivo orientado a reorganizar espacialmente el cultivo mediante estructuras con capas apiladas, usualmente dentro de edificios o recintos de ambiente controlado. Su propuesta arquitectónica permite diseñar envolventes que optimizan forma, sección, iluminación y microclima. Así, es posible la producción de alimentos en volúmenes tridimensionales, más eficientes que el cultivo horizontal tradicional. Si nos vamos al origen del concepto, “agricultura vertical” surgió por primera vez en 1915 en el libro *Vertical Farming* de Gilbert Ellis Bailey, aunque muy distinto al significado contemporáneo del término. Más adelante, Dickson Despommier (2010) propone la idea de edificios productivos urbanos basados en pisos agrícolas superpuestos y bajo un control ambiental preciso.

Desde la perspectiva del diseño urbano y sustentable, la agricultura vertical sostenible representa una oportunidad para integrar producción alimentaria directamente en contextos urbanos, aprovechando espacios en desuso. Esto reduce la dependencia de tierras agrícolas externas, disminuye la huella de transporte y, en consecuencia, la emisión de gases de efecto invernadero asociada a la distribución. Al cultivar localmente, se acorta la cadena logística y se genera una soberanía alimentaria urbana. Además, las granjas verticales ofrecen ventajas sociales y económicas; pueden generar empleo especializado en entornos urbanos, fomentar educación en

agrotecnología, revitalizar sectores urbanos degradados y contribuir al desarrollo de economías circulares dentro de la comuna.

Desde el diseño arquitectónico, este sistema exige repensar la envolvente como infraestructura productiva: la forma, orientación, envolvente térmica, iluminación (natural y artificial), ventilación, control de humedad y uso eficiente del agua definen su viabilidad.

2.1 Ventajas de la agricultura vertical

Frente a lo anteriormente mencionado, la agricultura vertical surge como una alternativa capaz de enfrentar varias de las limitaciones espaciales de la agricultura tradicional. Mientras el cultivo convencional depende de amplias extensiones de suelo cultivable, los sistemas verticales reorganizan la producción en estructuras apiladas que aprovechan el espacio en altura y permiten un control más preciso del ambiente (Anexo 11). Esta configuración arquitectónica compacta no reemplaza todas las necesidades del modelo agrícola clásico, pero sí es capaz de suplir una parte importante de sus requerimientos de desarrollo e implementación, especialmente en contextos urbanos de escasez de tierra cultivable, en donde existe la presión por optimizar la eficiencia productiva. Bajo este marco, es posible identificar diversos beneficios asociados a la práctica de la agricultura vertical, entre sus ventajas se destacan:

- Mayor rendimiento: producen entre tres y diez veces más cantidad de alimentos que la agricultura convencional en el mismo espacio. Además, las plantas crecen en la mitad del tiempo.
- Menor consumo de agua: consume 20 veces menos agua que la agricultura convencional, ya que el agua recircula y se reutiliza.
- No necesita ni herbicidas ni pesticidas: están a salvo de malas hierbas e insectos, lo que hace innecesario el uso de estos productos.
- Menor contaminación: al ser un sistema cerrado, no se produce ni contaminación del agua ni del suelo con los residuos de fertilizantes o pesticidas.
- Adaptación a condiciones extremas: permite cultivar plantas en entornos hostiles, con suelos pobres o meteorología extrema.

2.2 Hidroponía

En paralelo, si hablamos de agricultura vertical, debemos nombrar las técnicas de hidroponía, ya que son aliadas en el marco productivo. Estas técnicas de cultivo sin suelo basadas en soluciones

nutritivas, constituyen un antecedente tecnológico fundamental. Sus bases científicas se establecieron en 1860-1861 con los trabajos de Julius von Sachs y Wilhelm Knop, *Über das Wachstum der Pflanzen in mineralischen Nährlösungen* (Sobre el crecimiento de plantas en soluciones nutritivas minerales), y el término “*Hydroponics*” fue formalizado por William Frederick Gericke (1937). A diferencia de la agricultura vertical, la hidroponía no es una forma arquitectónica, sino una técnica agronómica que permite la nula dependencia de suelo, reduce el uso de agua y controla la nutrición vegetal. Debido a estas características, inevitablemente se integra en los sistemas verticales contemporáneos, convirtiéndose en la tecnología más recurrente para producir en múltiples niveles dentro de edificaciones.

Los cultivos hidropónicos poseen una gran variedad de técnicas que abren un abanico de posibilidades y adaptación ante cada circunstancia, además de distintas formas de manejo de los recursos hídricos. Dentro de estas técnicas se destacan 3 grupos:

- Estacionarias: en este sistema las raíces permanecen sumergidas en una solución nutritiva estática. El agua no circula de forma continua, sino que se reemplaza periódicamente, manteniendo su oxigenación mediante aireadores. Es un método simple y de bajo costo, adecuado para cultivos pequeños o experimentales. Dentro de esta categoría existen variantes que modifican la forma en que la planta accede a la solución nutritiva. Existen dos tipos de sistemas, de mecha y los de raíz flotante, ambos orientados a mantener la hidratación y nutrición de las plantas sin necesidad de bombeo continuo:

- De mecha: las plantas se soportan en cestas llenas de un sustrato inerte al que llega la solución nutritiva, desde el depósito a través de una mecha. Se utiliza para hortalizas y plantas aromáticas (Anexo 12).
- Raíz flotante: se utilizan contenedores sobre los que flota una lámina de poliespán, en los que están las plantas con las raíces sumergidas en la solución. Se necesita un cambio de solución semanal, además de oxigenar diariamente la solución. Esta técnica se limita a cultivos pequeños y de ciclo corto como las hortalizas (Anexo 13).

- Aeropónicas: en esta técnica las raíces permanecen suspendidas en el aire dentro de una cámara cerrada, que no permite el paso de la luz, donde la solución nutritiva se suministra por nebulización controlada por temporizadores (Anexo 14). El método favorece una alta oxigenación radicular, un uso eficiente del agua y un crecimiento acelerado, aplicado principalmente en sistemas tecnificados.

- Recirculantes: este sistema mantiene un flujo constante de agua y nutrientes impulsado por una bomba que retorna al depósito principal. Permite optimizar el uso de recursos, mantener condiciones estables y reducir el desperdicio, siendo ampliamente utilizado en producciones hidropónicas de mediana y gran escala. Dentro de esta categoría existen distintas configuraciones que varían en su forma de distribuir y recuperar la solución nutritiva. Entre las más empleadas se encuentran el sistema NFT, el riego por goteo recirculante y el método de inundación y drenaje, cada uno con dinámicas propias y adecuado para diferentes tipos de cultivos y escalas productivas. Su funcionamiento particular se detalla a continuación:

- Goteo: las plantas se sitúan en bolsas o canales de cultivo llenos de sustrato inerte en el que se injerta una tubería que riega el sustrato por goteo, mediante una bomba. Se utiliza para el cultivo de plantas de ciclo largo como tomates y pimientos (Anexo 15).
- Inundación y drenaje: el sistema utiliza una bomba conectada a un temporizador para inundar temporalmente la bandeja de cultivo con solución nutritiva y drenarla de nuevo al depósito. La bandeja de cultivo puede llenarse de sustrato sobre el cual se desarrollan directamente las plantas (Anexo 16).
- NFT: el sistema comprende una serie de tubos con aberturas donde se colocan las plantas dentro de canastillas. Los canales no deben superar los 6 m de longitud para evitar la pérdida de oxígeno en la solución. Se utiliza para el cultivo de hortalizas y especies aromáticas de ciclo corto (Anexo 17).

2.3 Cultivos Hidropónicos.

Las plantas que se pueden cultivar normalmente son de alto valor comercial, donde se pueden encontrar hortalizas, especies aromáticas y ornamentales como lo son:

- Hortalizas de hojas: lechuga, acelga, col, apio, rúcula, cebollín, espinaca.
- Hortalizas de flor: brócoli, coliflor, alcachofa.
- Hortalizas de fruto: tomate, pimentón, pepino, berenjena, fresas, ajo, cebolla, zanahoria, arándanos.
- Ornamentales: rosas, orquídeas, lilis, gerberas, antuarios.
- Especies aromáticas: albahaca, menta, cilantro, perejil, estragón, orégano, manzanilla, tomillo, romero.

Hay que considerar que cada cultivo posee una duración, forma de siembra, distancias entre plantas e intervalos de temperatura para germinaciones diferentes (Anexo 18).

2.4 Producción tentativa.

Al realizar una comparación preliminar entre la producción de determinados cultivos bajo el sistema agrícola tradicional y las técnicas hidropónicas verticales, se observa una diferencia significativa en términos de rendimiento por unidad de superficie y eficiencia en el uso del recurso hídrico. Según Claudia Galleguillos, líder de estrategias hídricas de Fundación Chile, en igual cantidad de metros cuadrados, un cultivo vertical puede aumentar la producción entre un 40% y un 100% más que uno convencional, porque se pueden realizar más cosechas al año (Anexo 19).

Mediante la información recuperada de Leigh James, Horticultor de extensión para el departamento de industrias primarias de Nueva Gales del Sur (Hassall & Associates Pty Ltd, 2001), una comparación definida por el agua necesaria y duración del ciclo en días, se pueden esclarecer diferencias significativas, de la manera tradicional se cultivaron 9 lechugas, con un requerimiento hídrico de 3.0-4.0 ml y una duración de 45-60 días, en cambio la hidropónica, se lograron cultivar 24 lechugas con un requerimiento hídrico de 1.0 ml y con una disminución en el ciclo de cultivo a 30-45 días.

Esta relación evidencia que los ciclos de cultivo en modalidades tecnológicas son más acotados, controlables y adaptativos, favoreciendo una producción continua y predecible en contextos urbanos o de espacio limitado. La comparación entre ambos enfoques ofrece una aproximación cuantitativa y cualitativa al potencial de la agricultura vertical, como modelo productivo eficiente, compacto y tecnológicamente avanzado, en contraste con los métodos convencionales dependientes del suelo y las condiciones climáticas naturales.

2.5 Invernaderos

Los invernaderos constituyen una de las principales innovaciones en el desarrollo agrícola, permitiendo el control de las condiciones ambientales para optimizar la producción. A lo largo de la historia, su evolución tecnológica ha posibilitado extender los ciclos de cultivo, mejorar la eficiencia productiva y adaptarse a diversos contextos climáticos y territoriales. La innovación llegó, como cuenta Grace Mitchell Tada, escritora y editora de obras sobre paisaje, medio ambiente e historia cultural, con las orangeries en el siglo XV, construcciones de madera y piedra para proteger cítricos. Con el tiempo se transformaron en símbolos de lujo, destacando el invernadero de Versalles en el siglo XVII, que albergó más de mil naranjos. En el siglo XIX, la industrialización abarató y agilizó la construcción de invernaderos gracias al vidrio y al metal estandarizados. Según comenta Grace Mitchell Tada (From Ancient Rome to Contemporary Singapore: The Evolution of Conservatories, 2020) En 1827, Charles Fowler diseñó el Gran

Invernadero de Syon Park en Inglaterra, considerado el primer invernadero moderno, hecho de hierro y cubierto con numerosos paneles de vidrio (Anexo 20).

Los invernaderos se definen como recintos aptos para el desarrollo favorable de los cultivos con condiciones adecuadas en todo su ciclo de vida. Son lugares traslúcidos que generalmente están contruidos en acero, madera o aluminio, y el material traslúcido suele ser policarbonato, fibra de vidrio o vidrio en su defecto. Estos espacios requieren de configuraciones y disposiciones recomendables para poder mejorar su rendimiento y así conseguir una forma óptima de desarrollar la actividad de los ciclos vivos de la agricultura. En volumen, se recomiendan anchos de entre 12 y 24 metros, con una altura mínima de 5 metros y largos que pueden llegar a los 50 metros. La disposición es una clave en el diseño; siempre se recomienda la cara más larga mirando hacia el norte-sur, para así captar la mayor cantidad de luz y radiación solar posible. También se recomienda que la cara sur sea de menor tamaño; esto con el objetivo de disminuir el volumen de aire a calefaccionar y las pérdidas de calor por esa cara. Otra de las consideraciones que debemos tener en cuenta es la forma del invernadero, que debe ser flexible dependiendo de la zona geográfica en donde esté emplazado; además de las condiciones climáticas, algunos necesitan tomar el norte neto y otros no (Anexo 21). Lo mismo ocurre con la materialidad de los invernaderos; los cascos más comunes son los hechos con cristal, pero dependerá de la ubicación y el control de la radicación que nos ofrezca el lugar. Los avances a través de la historia nos marcan las aristas que podemos tener en consideración, como lo son el control de la humedad, la ventilación y la temperatura, necesarios para obtener un rendimiento maximizado en el crecimiento de las plantas y minimizar el gasto y la contaminación de los recursos de manera tradicional.

2.6 Distribución interna y tipos de torre de cultivos

Respecto de la distribución interna de los cultivos al interior de un invernadero, se pueden organizar en tres tipos de estructuras diferentes: la piramidal, el rack vertical y la torre (Anexo 22). La estructura piramidal posee la ventaja de que permite apilar los cultivos en varias alturas, aprovechando de mejor manera el espacio vertical y horizontal. Como se refleja en un estudio realizado por Valentin et al. "Design and Fabrication of a Pyramid-Type Plant Bed Hydroponics of Romaine Lettuce Production under Lowland Condition" (2017) desarrollado en el Departamento de Agricultura y Biosistemas de la universidad Estatal de Luzón central, Nueva Écija, Filipinas, módulos de sistema hidropónico creado con cinco niveles, pensado para 100 lechugas en una base de 2.3 m² y utilizando un espaciado de 20 centímetros entre plantas y una distancia de

seguridad mínima entre módulos de 50 centímetros (Anexo 23), dio como conclusión que, a pesar de que sea una buena opción al aprovechar muy bien en espacios reducidos y el sistema resulto más eficiente, ya que maximizó el rendimiento de las lechugas en un 70% en comparación a prácticas convencionales, los niveles inferiores de la cama de cultivos no prosperaron adecuadamente, la altura del sistema y su sombra proyectada en los niveles inferiores son retos a tener consideración.

En el caso del tipo Torre (estilo “columna” o “Torre”) (Anexo 24), los cultivos están dispuestos en vertical, usualmente alrededor o sobre un tubo/estructura, con un sistema de riego de arriba hacia abajo que recorre internamente el sistema. Las torres pueden ser muy variables en su composición dependiendo de lo que se cultive, sin embargo, un estándar sería el distanciamiento entre plantas de 15-25 cm, 28 agujeros de 8 cm y variables de 25 cm-1.5 m entre torres y una altura de 2.5 m. Este sistema cumple con un buen aprovechamiento del espacio reducido y es muy utilizado en áreas urbanas por su facilidad de montaje o autoconstrucción, además de ser un tipo muy eficiente, puesto que, ofrece una eficiencia en el uso de agua superior al 90%, ya que adapta su uso en un sistema cerrado donde el agua recircula desde arriba y se recoge en la parte inferior, siendo la opción más fácil y accesible para él la mayoría de personas que desean explorar estos sistemas nuevos de cultivos sostenibles, aunque como en el anterior tipo el diseño estructural, el recibimiento de luz y proyección de sombra son vitales para un buen rendimiento (Oklahoma State Extension, 2021). Este tipo de cultivo obliga a pensar en una altura libre, una continuidad vertical de riego y una distribución uniforme de luz. Las torres, al medir 2.5 m de altura, requieren de un recinto con altura cómoda para instalar, mantener y ventilar esas estructuras sin generar zonas oscuras.

Por último, el sistema de rack vertical consiste en un sistema de estanterías múltiples con niveles apilados en bandejas o canales de cultivos hidropónicos. Su funcionamiento básico se puede describir como un sistema en donde las plantas crecen en bandejas horizontales dispuestas en distintas alturas o niveles en una estructura “rack” en donde se suministran nutrientes en agua de manera recirculante o de flujo constante. Al ser apilado, se aprovecha más en volumen en vez de área, lo que genera mayor producción por m² de suelo. Si nos basamos en un estudio realizado en el Instituto Africano de Ciencia y Tecnología Nelson Mandela, los distanciamientos verticales fueron planteados en 3 niveles, con un distanciamiento entre niveles de 60 cm cuando su altura total era de 3 m, mientras que la distancia entre racks o bandeja fue de 80 cm y un espacio prudente de mínimo 60 cm de pasillo para el mantenimiento que permite acceso, ventilación y operación (Margaret S. Gumisiriza, Patrick A., 2022) (Anexo 25). Este sistema permite una mayor densidad de cultivos por unidad de suelo, aunque, al igual que los tipos anteriores, advierte que

requiere un buen diseño para la iluminación, ventilación y estructura. Este tipo de cultivo exige una planta más racional, con modulaciones, niveles repetitivos y accesos laterales. Se recomienda dimensionar anchos de pasillo, altura entre bandejas y la distancia entre módulos cómodos y espaciados para evitar zonas de sombra permanente.

2.7 Gestión circular de residuos y compostaje.

A pesar de que los sistemas agrícolas de ambiente controlado son considerados, generalmente más eficientes, productivos y respetuosos con el medio ambiente que las prácticas agrícolas convencionales (Kalantari, F.; Tahir, 2018), se sigue planteando un desarrollo lineal en su ejecución, lo que limita la sostenibilidad, ya que, la mayoría de los recursos utilizados, como agua, nutrientes y energía, provienen de fuentes externas y se pierden tras la cosecha o como residuos no comestibles. Estos residuos, que pueden representar hasta el 50 % de la biomasa cultivada, a menudo terminan en vertederos, donde contribuyen al cambio climático al liberar gases de efecto invernadero (Anexo 26).

Los sistemas agrícolas cerrados, definidos como aquellos donde el intercambio de masa y energía con el exterior es limitado (Hadavi & Ghazijahani, 2018), requieren una infraestructura arquitectónica capaz de contener, regular y redistribuir sus propios procesos metabólicos. Tal como señala Despommier en *La granja vertical* (2010), la agricultura vertical no solo replica la eficiencia de un ecosistema, sino también su capacidad para gestionar residuos mediante ciclos internos. En este sentido, el compostaje se convierte en una pieza fundamental tanto ambiental como arquitectónica. Para el compostaje se recomienda un espacio controlado, con ventilación natural o inducida, aislación adecuada y materiales resistentes a la humedad y a los compuestos orgánicos. Su ubicación idealmente debe situarse próxima a las áreas de cosecha o preparación de residuos vegetales, para reducir el desplazamiento interno, separándola físicamente de la zona de cultivo, para evitar contaminación cruzada y mezclas de aire; esto desde un flujo operativo que iría desde la producción, residuos, compostaje, almacenamiento y finalmente reutilización. Se recomienda desarrollar esta actividad en pasillos amplios para el movimiento de materiales. Asimismo, su cercanía a patios técnicos o fachadas con ventilación facilita la evacuación de los gases y olores, mitigando el impacto hacia el entorno urbano.

2.8 Manejo de agua

El agua cumple un papel fundamental en los cultivos, ya sea en sistemas convencionales o hidropónicos. Además de transportar nutrientes esenciales para el crecimiento vegetal y la

fotosíntesis (Behera, Mohanty & Tripathy, 2025), su correcta administración evita problemas como hipoxia radicular por exceso de riego o estrés hídrico por déficit. Sin embargo, en un invernadero vertical urbano, el manejo del agua debe entenderse también como una infraestructura arquitectónica que condiciona la organización espacial, la materialidad y las estrategias de diseño del edificio. El manejo del agua implica la existencia de estanques, bombas, filtros, tuberías y sensores, los cuales requieren recintos específicos dentro del edificio. Estos espacios técnicos deben ubicarse estratégicamente en relación con las áreas de cultivo para minimizar pérdidas y facilitar la recirculación. En sistemas verticales:

- Las torres requieren puntos elevados de distribución y zonas inferiores de recolección.
- Los racks requieren ductos horizontales que alimenten niveles sucesivos.
- Ambos sistemas demandan espacios para mantenimiento y acceso a esas redes.

La circulación del agua debe acompañar el diseño interno del invernadero. Los sistemas recirculantes requieren de pendientes controladas, zonas de drenaje y espacios donde el retorno pueda fluir sin mezclarse con otras funciones. Esto implica:

- Pisos drenantes con pendiente hacia puntos de recolección.
- Separación entre zonas húmedas y secas.
- Rutas de mantenimiento que no interfieran con líneas de riego.
- Distancias recomendadas entre torres o niveles para permitir un correcto flujo de agua y su retorno.

El control del riego afecta directamente la humedad relativa interna, esto condiciona la elección de materiales, ventilación y diseño de la envolvente. En un invernadero urbano de varios niveles, la presencia constante de humedad obliga a considerar:

- Superficies lavables y resistencia a la condensación.
- Ventilación cruzada para evitar la acumulación de vapores.
- Lucarnas o aberturas superiores que liberen el aire húmedo.
- Selección de policarbonato o vidrio con coeficientes adecuados de transmisión térmica y lumínica.

Por último, en un sistema agrícola urbano circular, el agua debe diseñarse como un circuito completo dentro del edificio (Anexo 27). Esto genera requerimientos como:

- Captación de agua lluvia mediante cubierta.
- Filtrado y almacenamiento en estanques integrados.

- Distribución a los cultivos mediante sistemas recirculantes.
- Retorno y recolección para ser reutilizada.

Estos requerimientos arquitectónicos se sugiere integrarlos en las cubiertas, fachadas y en los niveles inferiores como una pieza activa en la gestión hídrica del proyecto.

2.9 Estrategias pasivas y activas

Para el diseño arquitectónico de espacios aptos para realizar labores agrícolas destinadas al cultivo vertical en espacios urbanos, específicamente a través de configuraciones tipo rack, torre y piramidal, se requiere integrar estrategias bioclimáticas que permitan garantizar la estabilidad del microclima interior, con el objetivo de reducir la dependencia energética y lograr condiciones óptimas de crecimiento vegetal.

Partiendo de las estrategias pasivas, que se pueden definir, según comenta Castro (2020), como aquellas que se aplican al diseño arquitectónico con el fin de aprovechar al máximo lo que nos ofrecen los recursos naturales del lugar, como lo son el asoleamiento, vientos predominantes, vegetación, precipitaciones, entre otras variables. Disminuyendo el impacto ambiental de la construcción, consumo de energía y agua, al minimizar la dependencia de las instalaciones y el uso de combustibles, para obtener el confort en cuanto a la temperatura, iluminación natural, humedad y calidad del aire. Luego del estudio de referentes asociados al tema, se puso especial énfasis en la implementación de cuatro estrategias pasivas que son esenciales en el desarrollo de un invernadero:

- Ventilación pasiva cruzada y estratificada: abrir el edificio para que el aire circule por diferencias de presión y temperatura, evitando la acumulación de humedad entre bandejas y torres. Esto evita la generación de hongos y regula la temperatura sin gastar energía.
- Control solar pasivo: orientación y cubierta adecuadas orientadas al norte para maximizar la radiación difusa. Para la solución tipo torre, se recomienda evitar que las estructuras proyecten sombra sobre sí mismas, separándolas según el análisis solar. Para las que utilizan racks, usar cubiertas difusoras para compensar la sombra en niveles inferiores.
- Masa térmica periférica: la incorporación de elementos de alta inercia térmica, como muros de hormigón, permite estabilizar la temperatura del interior, absorbiendo calor durante el día y liberándolo durante la noche, con el objetivo de mantener una temperatura interior más estable, mejorar la eficiencia energética y minimizar la pérdida de calor por transmitancia térmica. Entendiendo que en la cara norte y cubierta se

privilegiará una materialidad acristalada o traslúcida, favoreciendo la captación solar directa, por ende, la masa térmica servirá para complementar la estrategia de captación y conservar el calor capturado (pisos y muros sur).

- Pasillos como corredores climáticos: la modulación de los pasillos de circulación (60 a 90 cm) funciona como canales de aire, favoreciendo la disipación de calor y humedad producidos por el cultivo, actuando como regulador natural del microclima.

Pasando a las estrategias activas, las cuales se definen como aquellas que se aplican al diseño arquitectónico y requieren intervención directa además de control constante, para afectar un sistema específico y lograr el requerimiento deseado. Estas requieren de energía y medios mecánicos para su operación. A continuación, se proponen cuatro estrategias a implementar:

- Captación y gestión de agua lluvia: el sistema incorpora canaletas, filtros y estanques que permiten mantener condiciones óptimas cuando en el exterior las condiciones ambientales superan los márgenes tolerables para el cultivo (Anexo 28).
- Integración de energía fotovoltaica: se propone incorporar paneles solares en la cubierta, ya que reduce el costo energético de iluminación y bombeo del sistema en los cultivos, aprovechando la radiación disponible sin comprometer la transparencia necesaria para los cultivos (Anexo 29).
- Iluminación LED suplementaria controlada por sensores: dada la presencia de áreas sombreadas en racks y zonas profundas en sistemas de torre, se plantea la implementación de luminarias LED de espectro regulable. Esto asegura eficiencia energética al evitar iluminación excesiva.
- Enfriamiento evaporativo de precisión: se proponen equipos de enfriamiento evaporativos que ponen en contacto una corriente de aire con otra de agua para disminuir la temperatura interna, aprovechando la energía absorbida por el agua en su proceso de evaporación (Anexo 30).

2.10 Referentes de agricultura vertical y sus modelos de gestión.

El estudio de referentes arquitectónicos y productivos permitirá comprender los modelos de gestión empleados y las estrategias espaciales y materiales que sustentan su funcionamiento. Desde una perspectiva arquitectónica, se analizarán los tipos de cultivos desarrollados, sus

sistemas de producción y manejo, así como su carácter de uso público o privado, con el fin de identificar principios aplicables al diseño. Para ello se estudian dos referentes:

- Granja vertical Beijing, China (Anexo 31)

- Tipos de cultivos y lógica arquitectónica: El edificio organiza su producción según requerimientos lumínicos, espaciales y estructurales, generando una distribución vertical especializada. Los cultivos de mayor porte, como árboles frutales y berries, se ubican en áreas de mayor altura libre, permitiendo una mejor ventilación y desarrollo estructural. En los niveles intermedios se emplazan hortalizas de hoja y cultivos de ciclo corto, aprovechando condiciones de luz controlada, accesibilidad para cosecha continua y apoyo de iluminación artificial.
- Configuración y estructura interior: La estructura se resuelve mediante pórticos de acero liviano y cerramientos de vidrio, permitiendo grandes luces sin apoyos intermedios y una planta interior flexible. Este sistema facilita la incorporación modular de torres, racks y mesas de cultivo, además de favorecer la entrada de luz natural y ventilación a través de fachada. En sus espacios interiores se organizan según tres estructuras agrícolas principales:
 - i. Racks horizontales: cuentan con 4 bandejas por módulo, una separación vertical de 0.8 m y pasillos de 1-1.5 m, esto acompañado de ductos laterales para la iluminación y agua.
 - ii. Torres estilo columna con guía por alambre: una altura de 2.5 m, separaciones mínimas entre plantas de 25 cm, pasillos internos entre módulos de 2 m, considerando que requieren retorno de agua por gravedad y superficie reflectante alrededor.
 - iii. Mesas de cultivo para árboles y arbustos frutales: se consideran los espacios con mayor distancia de separación de 1.5-5 m según la especie, permitiendo una ventilación más activa y el movimiento de personas; generan microclimas con humedad más alta.

- Centro de investigación Agrotopía, Bélgica (Anexo 32)

- El proyecto organiza los cultivos según sus requerimientos de luz, temperatura y altura, definiendo una distribución interior eficiente. En el sector este se ubican cultivos de fruto, como tomates, pimientos y pepinos, que requieren mayor radiación solar, alturas libres entre 2,5 y 3 m y ventilación superior constante. En el sector oeste se emplazan hortalizas

de hoja, donde la radiación es más controlada, reduciendo el estrés térmico y permitiendo sistemas de cultivo de menor altura.

- Agrotopía se desarrolla sobre la cubierta de la cooperativa agrícola REO Veiling, optimizando el uso del suelo y vinculando producción e infraestructura existente. Su estructura se resuelve con acero liviano de grandes luces, eliminando pilares intermedios y favoreciendo la flexibilidad interior. La envolvente está compuesta por vidrio facetado de alto rendimiento térmico, estrategia que permite captar y difuminar la luz natural, evitando sobrecalentamientos y mejorando la uniformidad lumínica. En sus espacios interiores, el edificio incorpora dos sistemas productivos principales:
 - i. Torres verticales (este): módulos de 2,5 m de altura, con pasillos técnicos de 1 m y circulación principal de 2,5 m.
 - ii. Racks horizontales (oeste): separación entre cultivos de 60 cm, con iguales dimensiones de circulación.

Ambos sistemas integran riego recirculante, control climático e iluminación suplementaria, asegurando eficiencia hídrica y estabilidad productiva.

Su geometría prismática alargada favorece la ventilación lineal y la evacuación del aire caliente mediante aperturas superiores. La elevación del volumen sobre otra edificación reduce el impacto sobre suelo agrícola y fortalece la conexión con la cadena alimentaria existente.

II. TEMA

La agricultura tradicional ha sido, sin duda, la base del sistema alimentario global; sin embargo, su impacto ambiental y territorial frente a los desafíos contemporáneos exige un replanteamiento de su lógica productiva. En 2022, los sistemas agroalimentarios mundiales generaron aproximadamente 16.200 millones de toneladas de dióxido de carbono equivalente (Gt CO₂ eq), lo que representa un aumento del 10 % desde el año 2000. Este dato aumenta la magnitud de la huella de carbono del modelo agrícola convencional y su dependencia de recursos cada vez más escasos. Sumado a ello, el uso intensivo de suelo y agua, la expansión de la frontera agrícola y la pérdida progresiva de tierras cultivables generan un crecimiento en la fragilidad de los ecosistemas y la competitividad por materias primas naturales.

Desde la mirada del diseño y desarrollo sustentable, la inclusión de la agricultura vertical como estrategia productiva representaría una innovación espacial de gran relevancia para centros urbanos. Esta disciplina propone sistemas de cultivo apilados o integrados arquitectónicamente, sin necesidad de suelo o con sustratos mínimos y bajo técnicas que optimizan el uso de agua y nutrientes (hidropónica, aeropónica, acuapónica). Investigaciones recientes señalan que la agricultura vertical puede operar en entornos urbanos reducidos, permitiendo la producción local de alimentos y reduciendo el transporte y la pérdida postcosecha (Abdelfatah et al., 2023; Sowmya et al., 2024). Al situar la producción dentro del tejido urbano, se acorta la cadena logística y se fortalece la conexión entre arquitectura, ciudad y alimentación.

La agricultura vertical ofrece varias ventajas sobre las prácticas agrícolas tradicionales, como una menor huella de carbono debido al transporte reducido, menor requerimiento de suelo cultivable y un uso más eficiente del agua, con hasta un 70-80 % de ahorro respecto a campos abiertos (Abdelfatah et al., 2023). El control de variables como luz, temperatura, CO₂ y humedad permite obtener rendimientos más estables y mayores ciclos productivos anuales. Además, la agricultura vertical puede actuar como un catalizador social y ambiental, generando empleo urbano especializado, promoviendo la educación alimentaria y revitalizando espacios urbanos infrautilizados como azoteas y contenedores.

En términos urbanos, estos proyectos permiten repensar los edificios como infraestructuras productivas, integrando valor arquitectónico, eficiencia energética y funcionalidad agrícola. La agricultura vertical facilita la conversión de vacíos urbanos en espacios productivos, contribuyendo a la sostenibilidad urbana mediante la reutilización de espacios existentes y la reducción de recursos. Es fundamental integrar el diseño arquitectónico con estrategias técnicas agrícolas, como la optimización solar, la ventilación natural y el uso de energías

renovables. A pesar de los desafíos iniciales, como la inversión y escalabilidad, la agricultura vertical representa una herramienta clave para una ciudad más resiliente y sostenible.

III. CASO

De acuerdo con el diagnóstico territorial expuesto, se evidencia la necesidad de un establecimiento educacional de nivel superior en la comuna de Laja, orientado al fortalecimiento de un sector económico en declive durante los últimos años: la agricultura. En respuesta a esta problemática, se propone la creación del “Instituto de Investigación y Producción Agrícola Vertical”, cuyo eje central será el estudio y aplicación de métodos innovadores de agricultura vertical sostenible, con el objetivo de otorgar identidad productiva al territorio y promover tanto la formación técnica como el desarrollo local.

La función principal del proyecto es demostrar los beneficios de las nuevas tecnologías agrícolas en comparación con los sistemas tradicionales, contribuyendo a reducir las emisiones locales mediante la disminución de los traslados asociados a la distribución de alimentos. Además, se plantea integrar espacios públicos vinculados al complejo educativo y productivo, generando un recorrido pedagógico y experiencial que fomente la interacción entre la comunidad y la actividad agrícola. El emplazamiento propuesto contempla la articulación entre el instituto, una zona de producción intensiva y el mercado comunal de Laja, potenciando un sistema territorial coherente que vincule la investigación, la producción y la comercialización local de hortalizas.

Como parte de esta investigación se analizaron tres referentes internacionales en los que se destacan las estrategias de diseño, las relaciones espaciales, entre otras características, estos son:

1.- Centro de Desarrollo Agrícola de İzmir (Çiğli), en clima mediterráneo, con una superficie cercana a 2000 m². Combina educación y producción mediante aulas, laboratorios, invernaderos, huertos demostrativos y agricultura vertical. El proyecto se organiza en un eje lineal que guía al usuario desde las zonas formativas hacia las áreas productivas, buscando un aprendizaje experiencial: teoría en aulas/labs, práctica en invernaderos y cultivo en campo abierto. El diseño prioriza la relación directa entre talleres y zonas de producción para minimizar desplazamientos y reforzar la secuencia pedagógica. Las circulaciones permiten ver la actividad agrícola en todo momento. Incluye espacios públicos como un ecomercado para integrar a la comunidad. Su sistema modular permite ampliar aulas, laboratorios e invernaderos, apoyados por la infraestructura de riego, control climático y suelos inteligentes. (Anexo 33).

2.- Oficina de Agricultura Urbana, Ho Chi Minh (clima tropical), con 1.386 m² construidos. El edificio demuestra la viabilidad de la agricultura urbana vertical mediante jardineras colgantes, balcones y terrazas cultivadas, reduciendo la huella ecológica y generando un microclima que

mejora la calidad ambiental. La organización integra oficinas y áreas de trabajo con un atrio central que articula circulaciones, ventilación y luz natural. La fachada verde y las jardineras modulares sostienen la agricultura vertical: permiten cultivar, dar sombra, regular la temperatura interior y filtrar la luz y el aire. Las circulaciones intermedias facilitan el acceso y mantenimiento de los cultivos. Los espacios productivos en balcones y terrazas albergan hortalizas, hierbas y árboles frutales con métodos orgánicos, mostrando cómo la producción agrícola puede integrarse a un edificio. El *roof-garden* amplía la superficie cultivable y mejora la ventilación y aislamiento térmico, apoyado por sistemas de riego y captación de aguas lluvias. El conjunto demuestra cómo un edificio compacto puede integrar trabajo, vegetación y cultivo, y sirve como referencia para modelos institucionales de agricultura moderna o vertical (Anexo 34).

3.- La Cité Maraîchère, Francia (Anexo 35), granja urbana vertical de 2.060 m² destinada a producir verduras y frutas todo el año, promoviendo circuitos cortos, alimentación sostenible, empleo local y transición ecológica. Funciona como laboratorio vivo que combina producción, educación, venta directa y actividades comunitarias. El edificio se compone de dos alas:

- Ala oeste: invernaderos en 4 niveles (15 m de altura).
- Ala este: invernaderos en 7 niveles (24 m).

La planta baja, abierta al público, incluye venta directa, invernadero pedagógico, talleres y un jardín docente. Los niveles superiores concentran la producción intensiva mediante cultivos hidropónicos y bancales elevados, organizados en pisos apilados con pasillos de servicio, zonas de cultivo y pasarelas cada 15 m para reducir desplazamientos. Un vacío vertical recorre el edificio, aportando luz natural, ventilación y visibilidad entre niveles. En el subsuelo se ubican las áreas logísticas: producción de hongos, germinación, almacenamiento, empaque, cámaras de frío, lavado y laboratorios. Las relaciones espaciales clave:

- Conexión entre producción vertical (niveles superiores) y logística (subsuelo) para asegurar operación continua y abastecimiento local.
- Relación entre educación y demostración (planta baja + jardín docente + invernadero pedagógico), orientada a la ciudadanía y escolares.
- Integración de todos los espacios técnicos para mantener el control sanitario, la conservación y la distribución eficiente del producto (Anexo 35).

Recinto	Cantidad	Función/propósito	Superficie estimada (m²)
Zona productiva 1	3	Hortalizas, hidroponía, práctica y producción	900
Zona productiva 2.	3	Cultivo vertical, práctica y producción	1500
Hall de acceso.	1	Conexión entre naves, áreas técnicas y calle pública	300
Zona de germinación y preparación de sustrato.	3	Sustratos, fertilizantes, bandejas, herramientas	1050
Salas técnicas, eléctrica e hídrica.	3	Equipos de riego, fertilización, acumulación de agua	1050
Servicios	3	Cambio de ropa, higiene para trabajadores y estudiantes	450
Salas de reuniones	3	Espacio multiuso habilitado para empresas y reuniones técnicas	450
Circulaciones	3	Conexión entre naves, áreas técnicas y calle pública	900
TOTAL TERRENO NORTE			6.600 m²

Recinto	Cantidad	Función/propósito	Superficie estimada (m²)
Plaza de acceso / hall de entrada	2	Llegada estudiantes y visitas	700
Casino	1	Venta de productos de los invernaderos, consumo	750
Aulas	8	Clases teóricas, módulos de formación técnica	560
Sala multipropósito / auditorio pequeño	2	Charlas, seminarios, eventos	280
Biblioteca / centro de recursos	2	Estudio, consulta, pequeños espacios de trabajo	300
Salas de computación	2	Software agrícola, gestión de datos	200
Laboratorios	7	Suelo / sustratos, análisis de agua y nutrientes	800
Administración/ Dirección / secretaría	2	Gestión académica y administrativa del instituto	100
Sala de profesores / reuniones	1	Trabajo y coordinación docente	150
Sanitarios y camarines	3	Baños y mudas para alumnado y funcionarios	360
TOTAL TERRENO Educacional			4.200 m²

IV. LUGAR

La ciudad de Laja se encuentra situada geográficamente en la región del Bio-Bio, con una superficie de 339,8 km², una población de 23.706 habitantes, lo que representa una densidad de 69,6 hab/km², referencialmente situada al lado de San Rosendo, al suroeste de Concepción y al noroeste de Los Ángeles. Según la clasificación climática de Köppen, Laja tiene un clima mediterráneo de lluvia invernal, con una precipitación media anual de 1.903 mm y presenta temperaturas máximas promedio entre los meses de diciembre y febrero, que aumentan hasta los 28°C, entre mayo y septiembre bajan hasta los 4°C y con una temperatura media anual de 18°C (Anexo 36). Se ubica en la cuenca hidrográfica del río Biobío; posee una serie de cuerpos de agua, como lo son las lagunas de Coyanco, El Desagüe, El Pillo, La Potreada, La Señoraza y Valdebenito, además de contar con los ríos Biobío, Guaqui y Laja. Estas condiciones climáticas e hídricas han configurado históricamente un escenario favorable para el desarrollo agrícola, con estaciones marcadas y disponibilidad de agua superficial para el riego.

Pese a este potencial, durante las últimas décadas la actividad agrícola ha disminuido de manera sostenida en Laja y sus zonas rurales aledañas. Este declive se relaciona principalmente con el deterioro de la calidad del suelo, producto del monocultivo forestal, prácticas que han generado una significativa degradación del suelo, reduciendo su capacidad productiva. Como consecuencia, la agricultura dejó de ocupar un rol económico y social relevante, relegada a un modelo de autoconsumo. Este fenómeno no solo impacta en la identidad territorial, sino que también limita oportunidades productivas y laborales vinculadas al sector (Anexo 37).

En contraste, el casco urbano de Laja presenta una estructura fuertemente comercial, concentrada en el eje Balmaceda con Avenida Los Ríos, donde se concentra la mayoría de los servicios y actividades económicas. La presencia de espacios dedicados a la producción y comercialización agrícola es mínima, ya que solo se da en el Mercado Municipal. Esta situación evidencia una desarticulación entre el territorio rural productivo y la demanda urbana, así como la ausencia de infraestructura educativa/productiva o instituciones que permitan promover prácticas agrícolas contemporáneas, innovación agroalimentaria o agricultura sostenible dentro del tejido urbano.

En este contexto, un sitio adquiere especial relevancia, un terreno de la empresa CMPC ubicado en la calle Arturo Prat, entre Alessandri y Félix Eicher, actualmente utilizado para actividades comunitarias temporales y eventos culturales. Su localización estratégica próxima al Mercado Municipal, a la estación de tren, al supermercado Unimarc y al eje comercial central le otorga una condición privilegiada de accesibilidad y visibilidad urbana. Según el Plan Regulador Comunal, el predio se clasifica como Zona de Centro Cívico (ZCC) (Anexo 38), con condiciones normativas que permiten la incorporación de equipamiento público, educación, ciencia y comercio.

Este emplazamiento, con una superficie aproximada de 8.000 m², presenta un alto potencial para articular la formación técnica, la innovación productiva y la vinculación comunitaria o con el medio, dentro del tejido urbano de Laja. Su posición central facilita la conexión con la ciudad, el transporte existente y edificaciones de baja altura, favoreciendo la captación solar directa. Complementariamente, el terreno incorpora una superficie adicional de 5.200 m², consolidando un eje productivo y educativo entre el mercado y el proyecto. Desde el punto de vista bioclimático, registra una precipitación media anual de 1.093 mm, condición favorable para sistemas de captación y reutilización de aguas lluvias. Además, la presencia de vientos predominantes del norte durante el periodo invernal permite integrar estrategias de ventilación pasiva y activa. Su orientación norte maximiza la radiación solar, optimizando tanto el crecimiento de los cultivos como la implementación de sistemas fotovoltaicos, fortaleciendo la eficiencia energética y autosuficiencia del proyecto (Anexo 39).



V. ESTRATEGIAS PROYECTUALES

Tras el análisis y comprensión teórica del tema, caso y lugar, se detecta la necesidad de poner en valor la forma de recibir la energía solar, la recolección de las aguas lluvias, valorización de ejes simbólicos existentes, entre otros. Primeramente, se lleva a cabo la vinculación a la comuna de Laja con el proyecto mediante la distribución estratégica del emplazamiento.



Figura 1: división de funciones (elaboración propia).

Distribución programática estratégica:

Ante el empleo de este sistema, la distribución del proyecto debe cumplir con parámetros que dirijan el tránsito de las personas dentro de este; para eso se estudia lo existente y se plantea una linealidad a cumplir para integrar de mejor manera lo existente con lo proyectado, integrar la actividad educativa y productiva del proyecto con el mercado de Laja a través de un eje público que articulará los recorridos, plazas y frentes activos (Anexo 40).

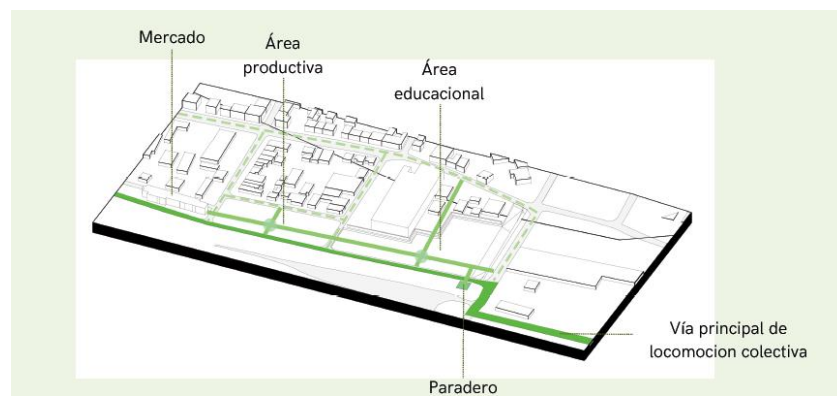


Figura 2: estrategia de emplazamiento (elaboración propia).

Se establecen tres instancias en el proyecto en su área productiva, en donde cada una posee características y se transita de manera distinta.

Exponer: generar puntos que ofrezcan la observación de varios niveles y procesos agrícolas.

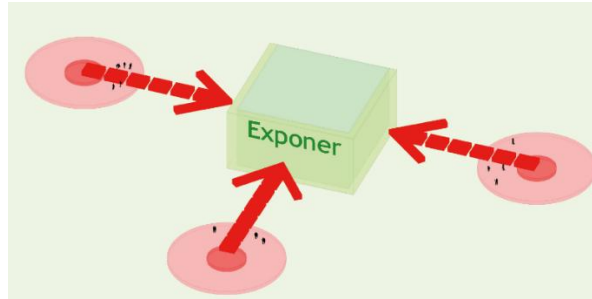


Figura 3: metodología de exposición (elaboración propia).

Demostrar: generar zonas de interacción directas, áreas de inmersión.

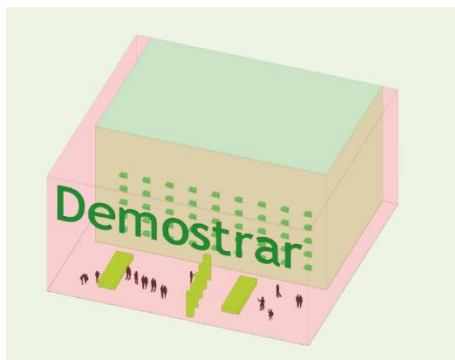


Figura 4: metodología de demostración (elaboración propia).

Comerciar: puntos de comercio, atraer a las personas, intercambio comercial, puestos para ferias itinerantes.



Figura 5: metodología de comercio (elaboración propia).

Altura productiva y crecimiento vertical:

La incorporación de la agricultura vertical sostenible redefine la configuración arquitectónica del edificio, condicionando su estructura, espacialidad y funcionamiento interior. A diferencia de un edificio convencional, el diseño debe responder a requerimientos productivos específicos, como altura libre, control ambiental, circulación técnica y flexibilidad modular, permitiendo compatibilizar producción, investigación y formación dentro de una misma infraestructura.

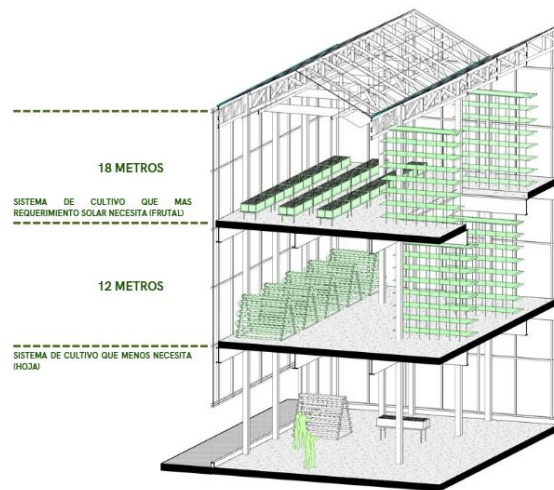


Figura 6: altura productiva y crecimiento vertical (elaboración propia).

Modulación estructural y flexibilidad:

La agricultura vertical necesita estructuras capaces de adaptarse a racks, bandejas, tuberías y sistemas técnicos. Por ello, la modulación estructural permite grandes luces y plantas libres para futuras reconfiguraciones productivas.

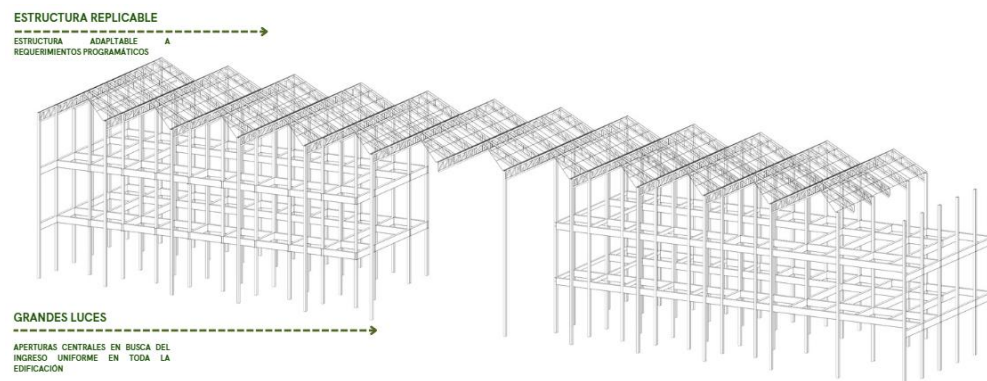


Figura 7: sistema estructural del proyecto (elaboración propia).

Circulación segregada:

Los edificios agrícolas requieren separar los flujos productivos, técnicos y públicos para evitar contaminación cruzada y mejorar la operación.

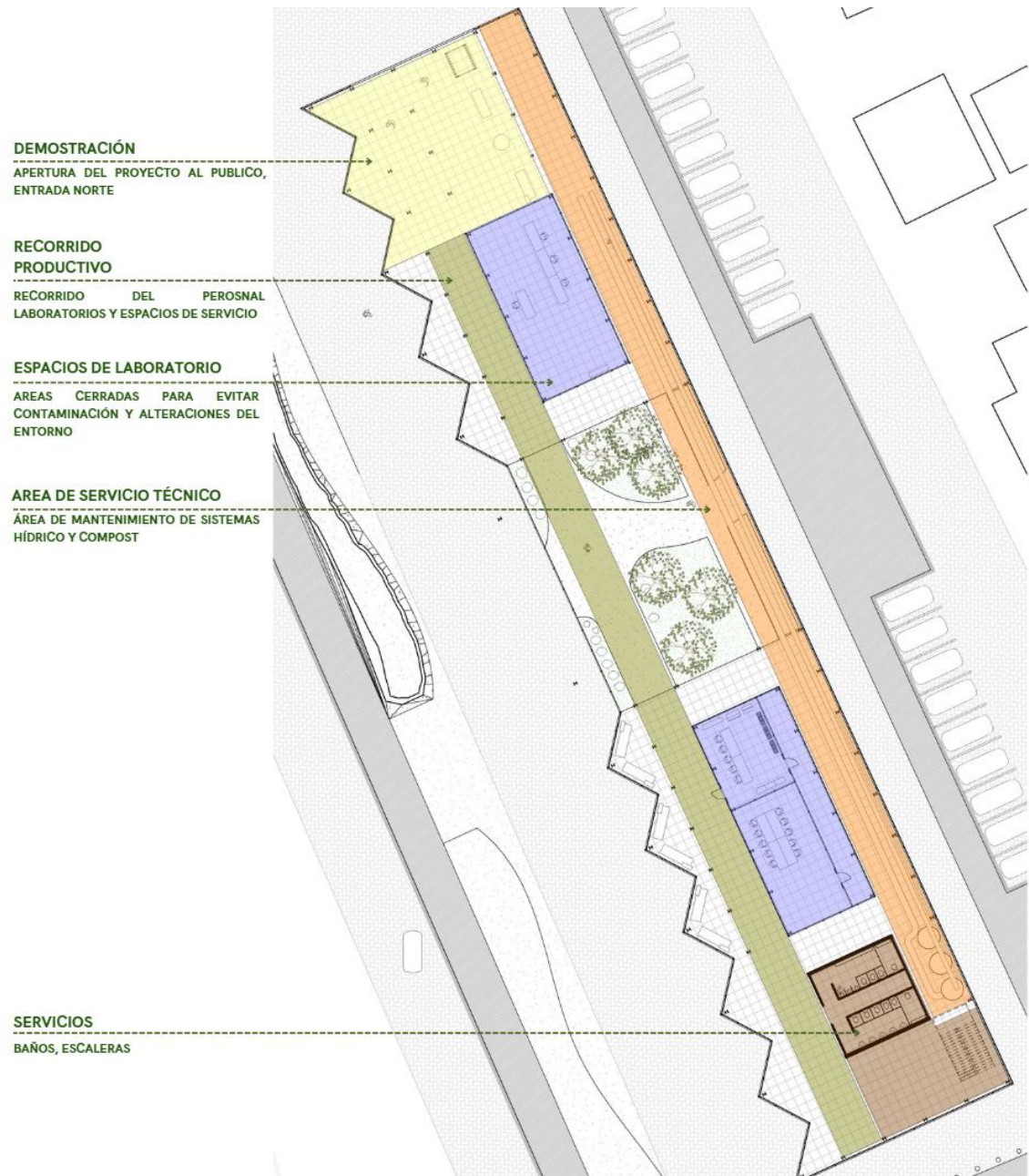


Figura 8: circulación del proyecto (elaboración propia).

Integración de infraestructura hídrica y técnica:

Otro apartado clave en la configuración del espacio en el proyecto es la integración de infraestructura hídrica y técnica; la producción vertical requiere incorporar redes permanentes de agua, drenaje, nutrientes y mantenimiento como parte del diseño arquitectónico.

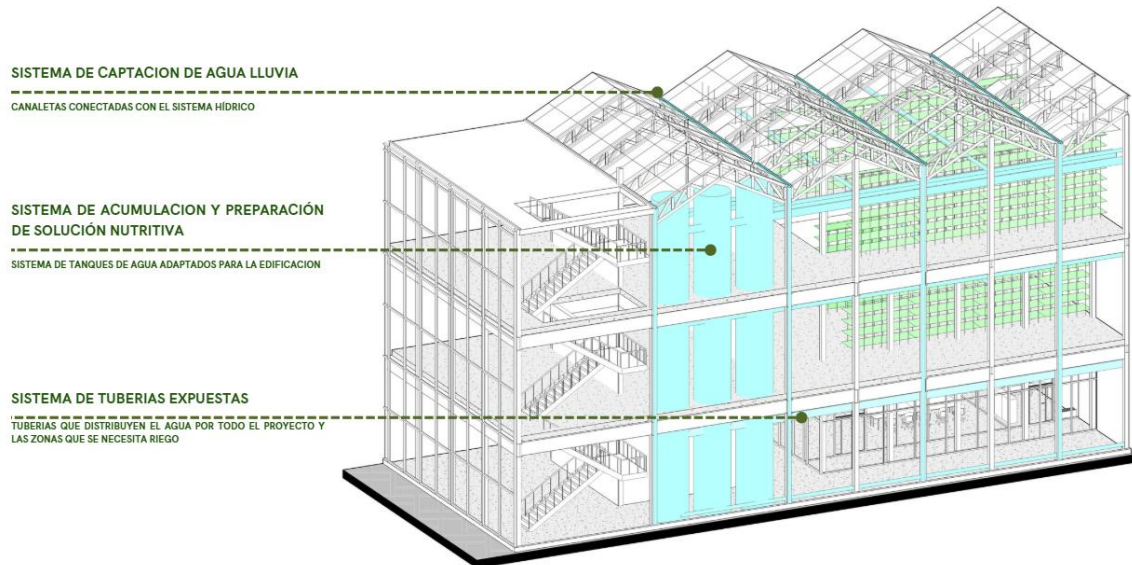


Figura 9: sistema hídrico del proyecto (elaboración propia).

Control solar adaptativo para la producción agrícola:

El proyecto incorpora vacíos y espacios centrales que favorecen el ingreso controlado de luz natural hacia las áreas de cultivo, optimizando la captación solar para los sistemas productivos.



Figura 10: esquema de iluminación natural en el proyecto (elaboración propia)

Complementariamente, una envolvente y cubierta facetada regula la incidencia directa de radiación, disminuyendo el sobrecalentamiento y protegiendo los cultivos frente a exposiciones solares excesivas (Anexo 41). Esta estrategia se refuerza mediante sistemas activos de sombreado textil móvil, capaces de regular la entrada de luz según la hora del día y los requerimientos específicos de cada cultivo, además se complementa con la implementación de paneles de vidrio fotovoltaicos (Anexo 42).

FACETADO

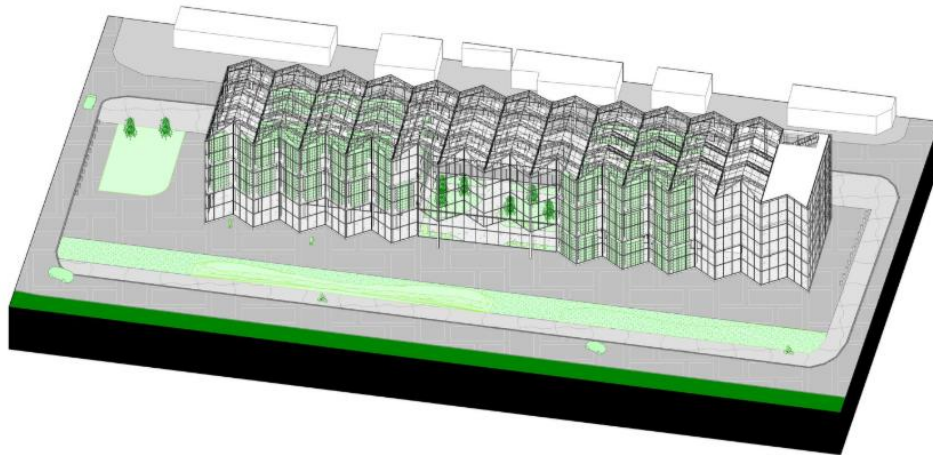


Figura 11: estrategia pasiva, fachada y cubierta facetada (elaboración propia).

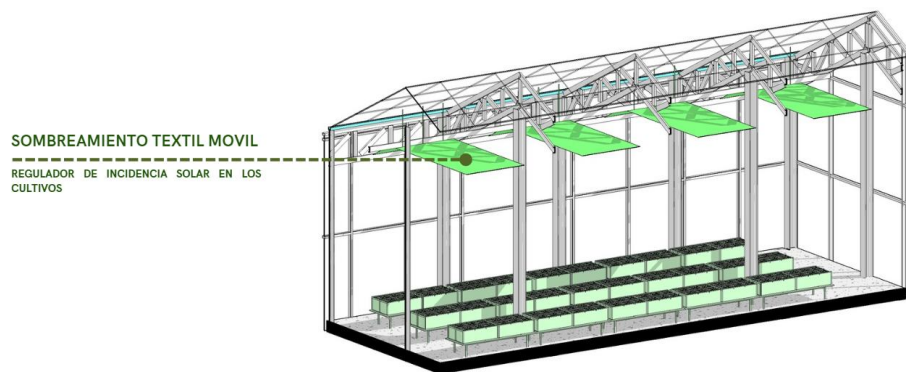


Figura 12: estrategia activa de sombreado (elaboración propia).

Aprovechamiento de vientos predominantes para ventilación cruzada:

Mediante conexiones y aperturas estratégicamente orientadas hacia el flujo de viento predominante, se favorece la ventilación natural, la renovación del aire y la regulación térmica interior, disminuyendo la dependencia de climatización mecánica (Anexo 43).

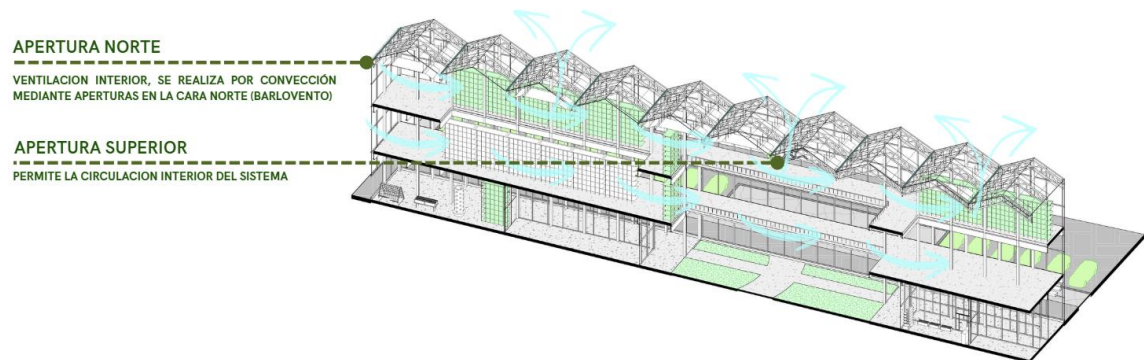
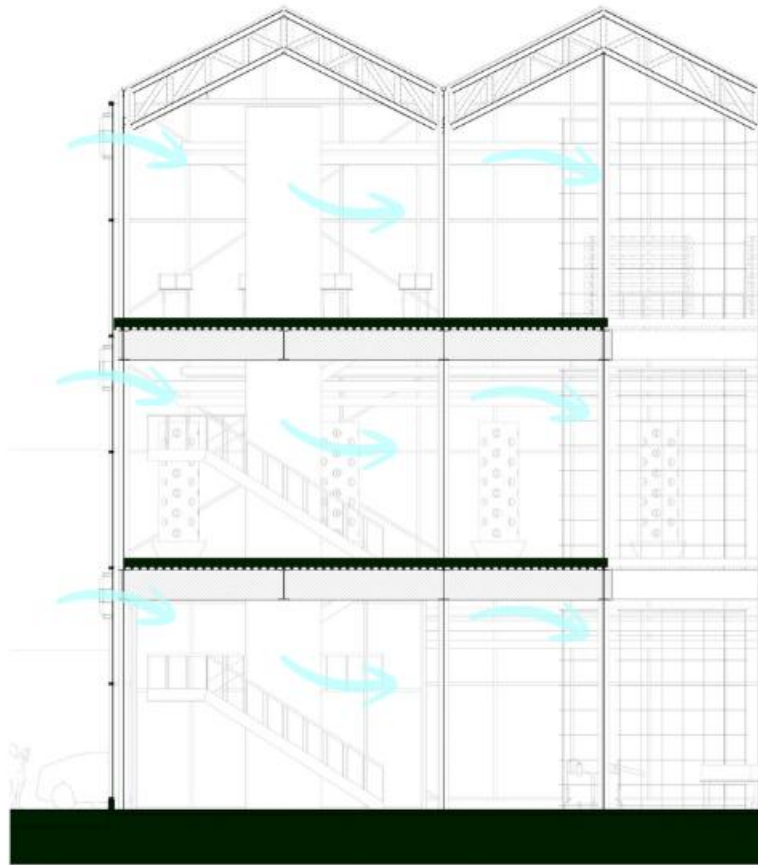


Figura 13: estrategia pasiva de ventilación (elaboración propia).



Sistema hídrico recirculante:

Uso de bombas, filtrado y control técnico para reutilizar el agua dentro del proceso agrícola, con un sistema de captación de agua lluvia aprovechando las precipitaciones en el lugar (Anexo 44).

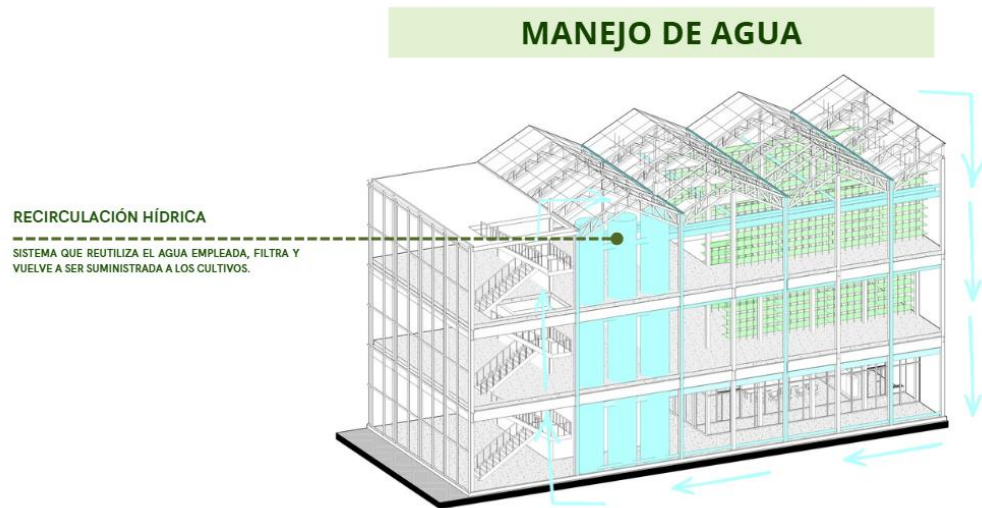
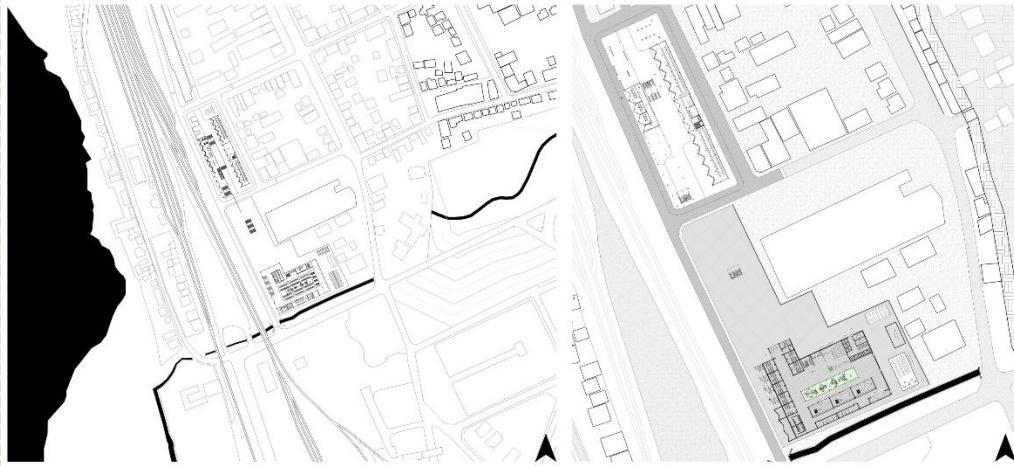


Figura 14: estrategia activa de manejo de agua (elaboración propia).

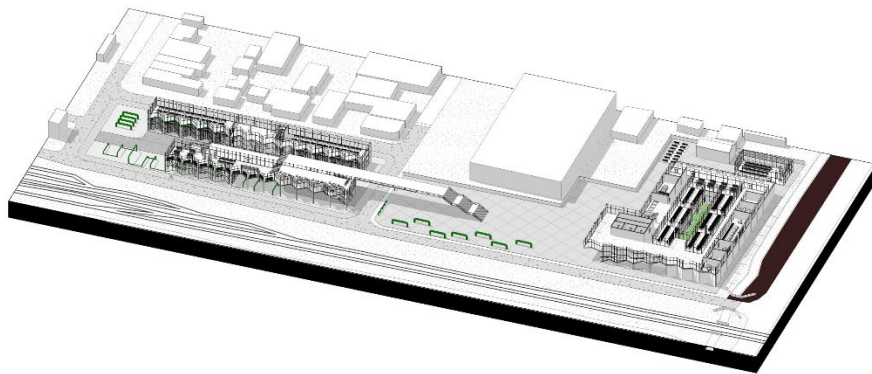
VI. DESARROLLO PROYECTUAL

EMPLAZAMIENTO

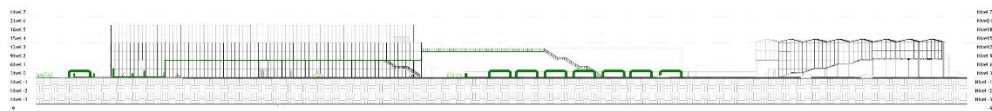


UBICACIÓN | ESCALA 1: 2000

EMPLAZAMIENTO | ESCALA 1: 1000



ISÓMETRICA | ESCALA 1: 700



CORTE ESTE | ESCALA 1: 400

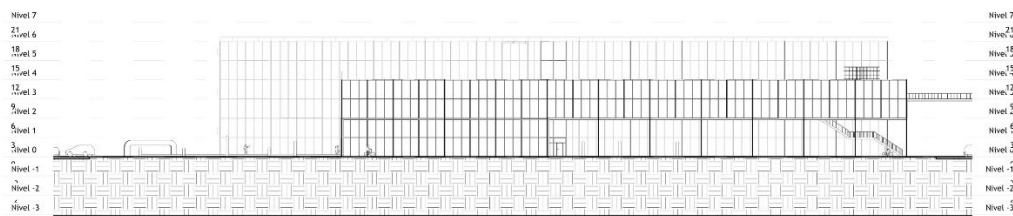
OBRAS EXTERIORES



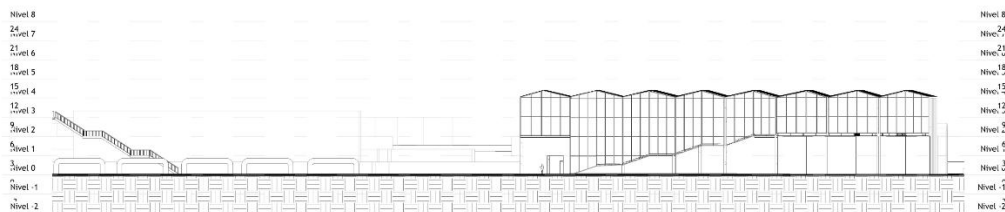
**ESPACIO PÚBLICO VOLUMEN
PRODUCTIVO | ESCALA 1: 300**



**ESPACIO PÚBLICO VOLUMEN
EDUCACIONAL | ESCALA 1: 300**

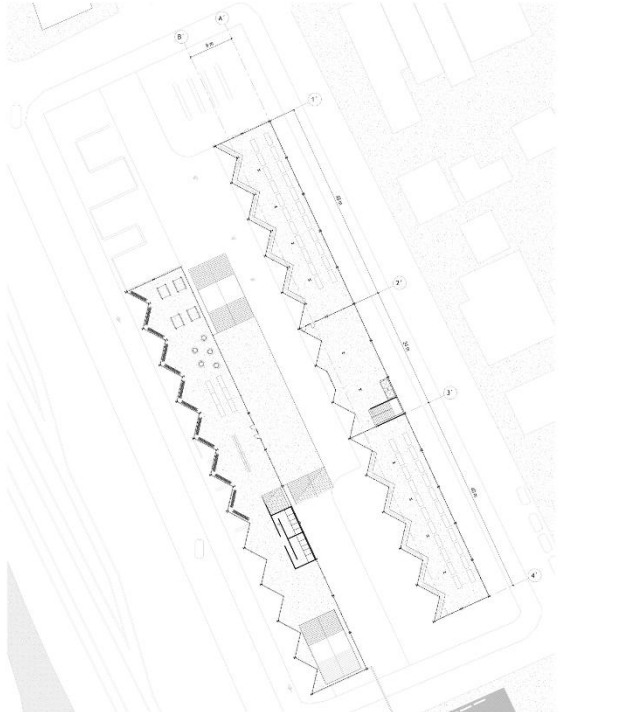


**ELEVACIÓN ESTE VOLUMEN
PRODUCTIVO | ESCALA 1: 400**

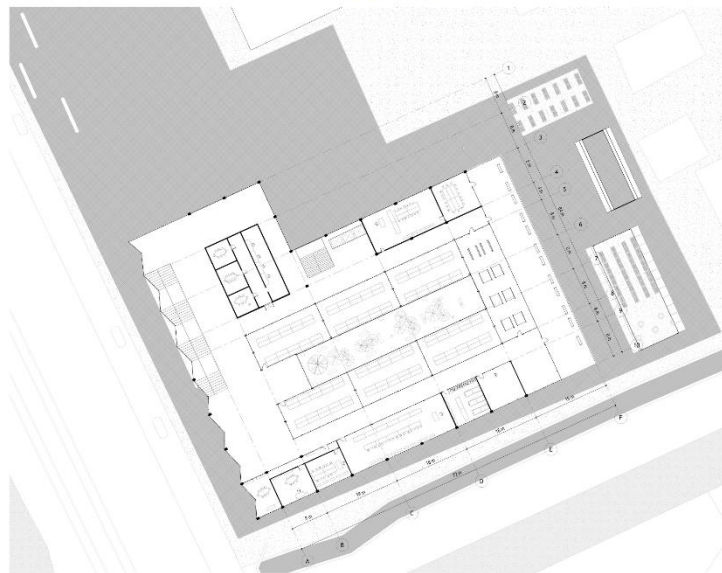


**ELEVACIÓN ESTE VOLUMEN
EDUCACIONAL | ESCALA 1: 400**

PLANTAS

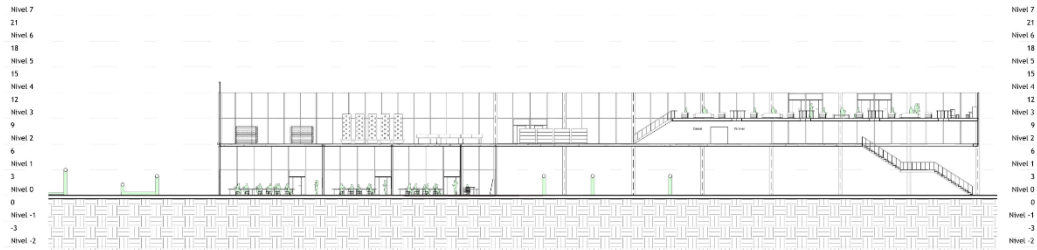


PLANTA VOLUMEN PRODUCTIVO |
ESCALA 1: 300



PLANTA VOLUMEN EDUCACIONAL
| ESCALA 1: 300

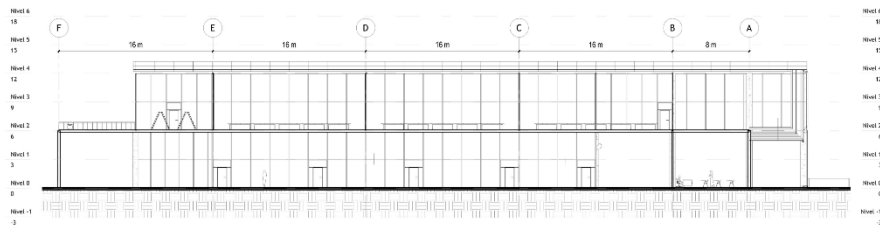
CORTES



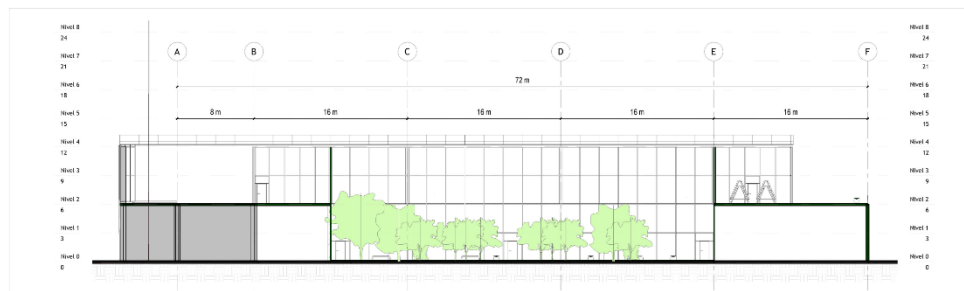
CORTE ESTE VOLUMEN PRODUCTIVO
| ESCALA 1: 300



CORTE SURE VOLUMEN PRODUCTIVO
| ESCALA 1: 300



CORTE OESTE VOLUMEN EDUCACIONAL
| ESCALA 1: 300



CORTE ESTE VOLUMEN EDUCACIONAL
| ESCALA 1: 300

VII. BIBLIOGRAFÍA

- Aquino, M. A. (2014, noviembre 13). Manual de hidroponía. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/232367/Manual_de_hidroponia.pdf
- Basterrechea, M. (2016, noviembre 25). *Cómo construir un invernadero hidropónico*. Portalfruticola.com. <https://www.portalfruticola.com/noticias/2016/11/25/como-construir-un-invernadero-hidroponico/#ubicacion-orientacion>
- Cardador, M. J. (2017, diciembre 10). Técnicas hidropónicas. Hidroponía al cubo. <https://hidroponiaalcubo.wordpress.com/tecnicas/>
- Castro, E. de. (2020, junio 23). *Arquitectura bioclimática: Estrategias pasivas*. Clima.bio. <https://clima.bio/arquitectura-bioclimatica-estrategias-pasivas/>
- Chen, Y. (2025, abril 18). *Soluciones de ventilación para invernaderos: ¿Por qué los sistemas de ventiladores de extracción + paneles de enfriamiento brindan los mejores resultados? Refull*. <https://chinaexhaustfan.com/es/Soluciones-de-ventilación-para-invernaderos%3A-%C2%BFpor-qu%C3%A9-los-sistemas-de-paneles-de-enfriamiento-con-ventiladores-de-extracción-ofrecen-los-mejores-resultados/>
- Collado, A. D. (2020, diciembre 7). *La agricultura del futuro*. CEPAL. https://comunidades.cepal.org/ilpes/sites/default/files/2018-10/Tema%20Discusión_%20La%20agricultura%20del%20futuro-compressed.pdf
- Corporativa. (2021, abril 22). *Hidroponía, una técnica de cultivo aliada de la sostenibilidad*. Iberdrola. <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/que-es-hidroponia-y-ventajas>
- Donno A. "Innovation in Vertical Farming: A Model-Based Energy ..." (2025)
- Despommier, D. *La granja vertical: alimentar al mundo en el siglo XXI*; Thomas Dunne Books: Nueva York, NY, EE. UU., 2010. [Google Scholar]
- Etecé, E. E. (2024, octubre 25). *Agricultura. Concepto*. <https://concepto.de/agricultura/>
- FAO. (2024). *Greenhouse gas emissions from agrifood systems: Global, regional and country trends 2000-2022*. Rome: FAO.
- Gumisiriza MS et al. "A simplified non-greenhouse hydroponic system for small-scale ..." (2022)
- Hadavi, E., Ghazijahani, N. (2018). Sistemas cerrados y semicerrados en la agricultura. En: Lichtfouse, E. (ed.) *Sustainable Agriculture Reviews* 33. Sustainable Agriculture Reviews, vol. 33. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-99076-7_10

- INTAGRI, E. E. (2017). *Aspectos a considerar en la orientación de los invernaderos*. INTAGRI. <https://www.intagri.com/articulos/horticultura-protegida/aspectos-a-considerar-en-la-orientacion-de-los-invernaderos>
- Janssen, E. (s.f.). *Cómo crear una granja vertical*. Philips. <https://www.lighting.philips.cl/areas-aplicacion/specialist-applications/iluminacion-horticultura/hortiblog/vertical-farming/como-crear-una-granja-vertical>
- Jiaoliao Chen & Chen, Y. (2014, enero 1). *Análisis y optimización del sistema de refrigeración evaporativa con ventilador y panel para invernaderos mediante CFD*. Sage Journals. <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1155/2014/712740>
- Kogut, P. D. (2020, octubre 12). *Agricultura sostenible*. Eos Data Analytics. <https://eos.com/es/blog/agricultura-sostenible/>
- Kalantari, F.; Tahir, OM; Joni, RA; Fatemi, E. Oportunidades y desafíos en la sostenibilidad de la agricultura vertical: una revisión. *J. Landsc. Ecol.* **2018**, 11, 35–60.
- Michael. (s.f.). *Espaciado de plantas en hidroponía: Una guía para principiantes*. NoSoilSolutions. https://nosoilsolutions.com/simple-guide-hydroponic-plant-spacing/?utm_source=chatgpt.com%20espaciado%20para%20los%20cultivos%20hidroponicos
- Rubilar, T. I. (2024). *Manual con recomendaciones para la ejecución de invernaderos de los concursos del Programa de Pequeña Agricultura del Departamento de Fomento Ley N.º 18.450*. Ministerio de Agricultura.
- Wark, C. (2024, septiembre 10). *¿La agricultura vertical es perjudicial para el medio ambiente?* Green Match. <https://www.greenmatch.co.uk/blog/is-vertical-farming-bad-for-the-environment>
- Wicharuck S. "A potential farming practice for lettuce production" (2023)

VIII. ANTECEDENTES ACADÉMICOS

Ingreso el año 2019 y 2025 de egreso.

Diseño arquitectónico I:

Año 2020, profesores Alessandra Sandolo, Andrea Nazar y Thomas Möhring.

Proyecto: Chilexpress centro de servicios

Diseño arquitectónico II:

2021, profesores Felipe Campos y Juan Pablo Grau.

Proyecto: Edificio de estudio acuático

Diseño arquitectónico III:

2023, profesores Gabriel Vargas y Martin del Solar.

Proyecto: Vivienda de pescador Caleta Tumbes

Diseño arquitectónico IV:

2024, profesores Andrés Utz y Constanza González.

Proyecto: Máster plan Villarrica, Penco.

Diseño arquitectónico V:

2024, profesores Andrés Utz y Constanza González.

Proyecto: Laguna Villarrica, Penco.

Diseño arquitectónico VI:

2025, profesores Paulo Alegría y Diego Martínez.

Proyecto: Polideportivo Lonco.

IX. ANEXOS

ANEXO 1

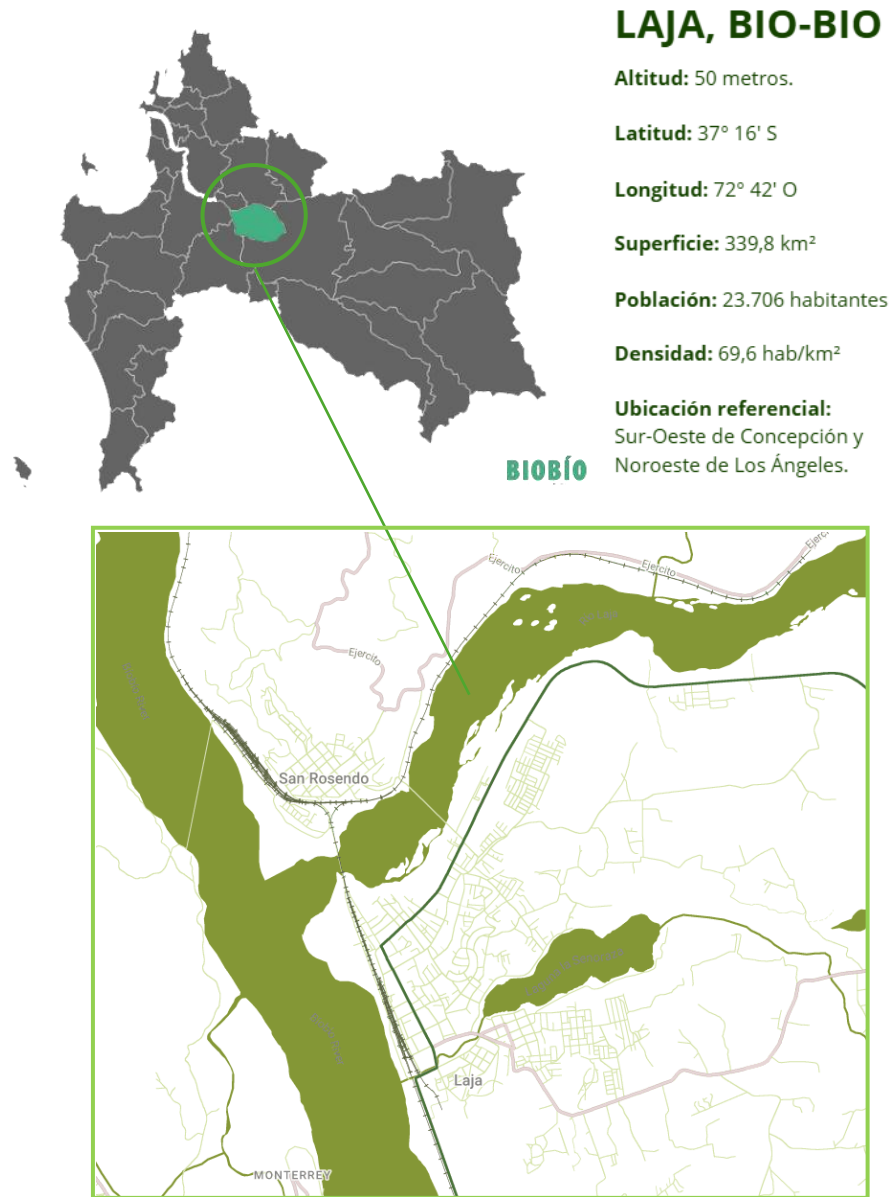


Figura 1: Ubicación e información de Laja (Fuente: elaboración propia).

ANEXO 2

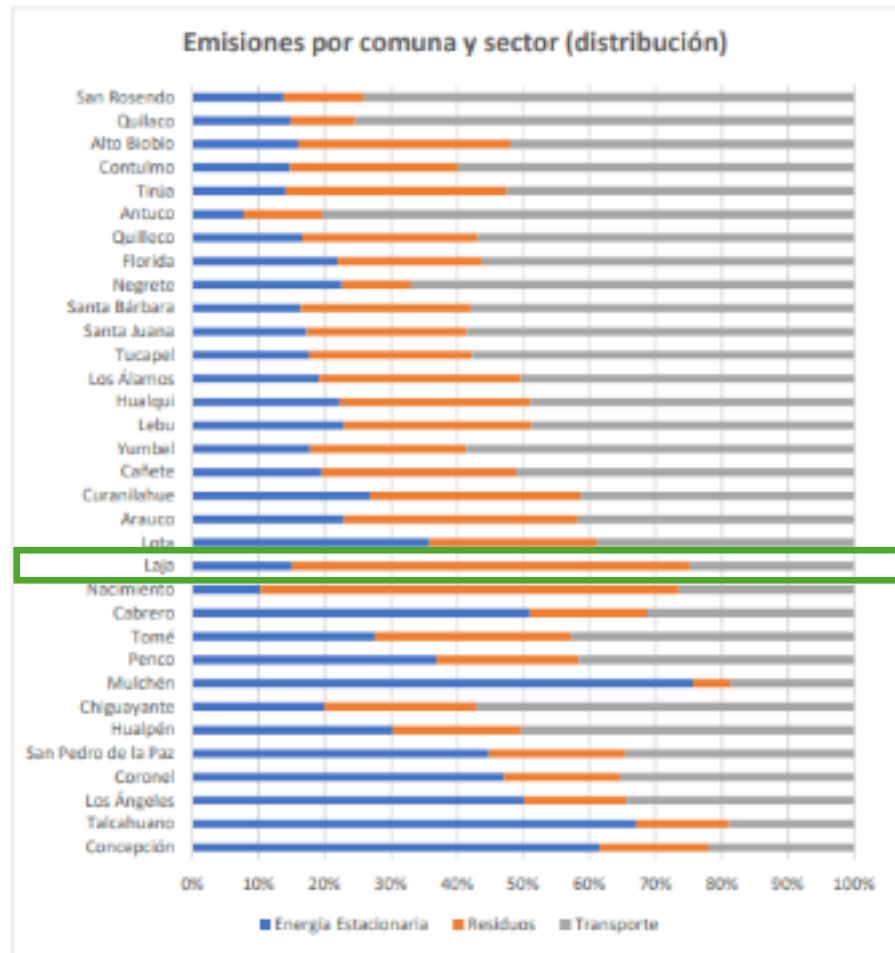


Figura 6. Distribución de emisiones por comuna y sector

Figura 2: Emisiones en la comuna de Laja, desglose de cantidad de CO2 equivalente

(Fuente: Huella Chile).

ANEXO 3

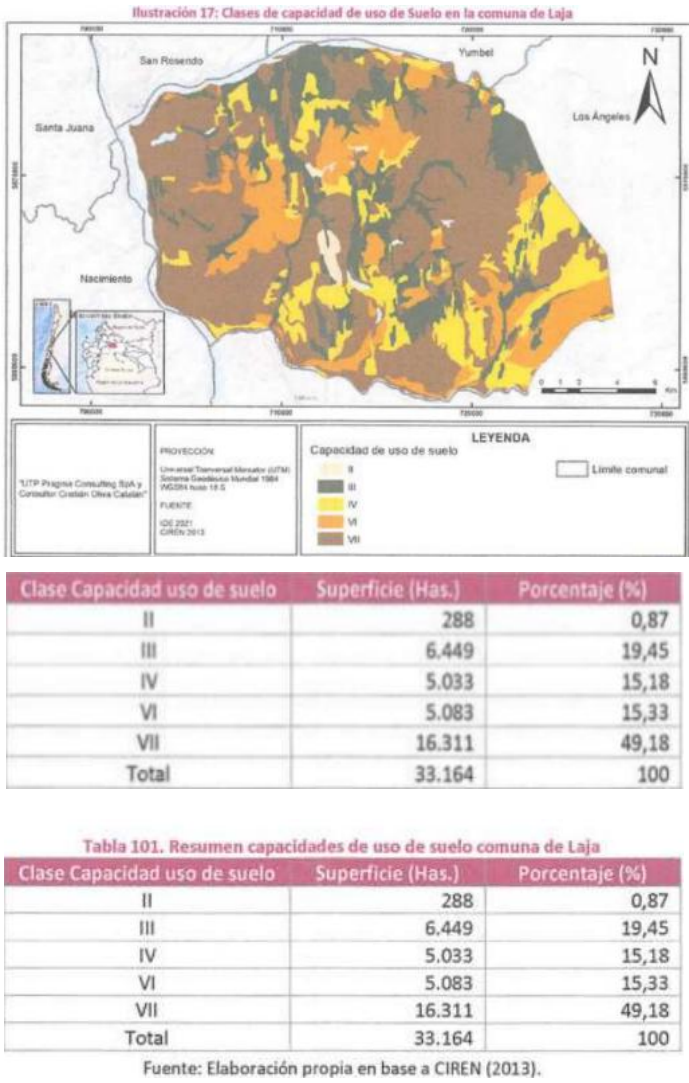


Figura 3: Clases de capacidad de uso de suelo en la comuna de Laja. (Fuente: PLADECO Laja)

ANEXO 4

Tabla 102. Resumen Usos de suelo en comuna de Laja

Uso de Suelo	Superficie (Has)	Porcentaje (%)
Bosque Mixto	636	1,84
Bosque Nativo	1.347	3,91
Cajas de Ríos	56	0,16
Ciudades, Pueblos, Zonas Industriales	379	1,10
Lagos, Lagunas, Embalses, Tranques	131	0,38
Matorral	816	2,37
Matorral-Pradera	562	1,63
Matorral Arborescente	496	1,44
Minería Industrial	15	0,04
Otros sin Vegetación	105	0,30
Otros Terrenos Húmedos	15	0,04
Plantación	17.976	52,11
Praderas	1.521	4,41
Ríos	1.053	3,05
Rotación Cultivo-Pradera	9.057	26,26
Terreno de Uso Agrícola	307	0,89
Vegas	21	0,06
Total	34.493	100

Fuente: Elaboración propia en base a CONAF (2015)

Figura 4: Uso de suelo en la comuna de Laja (Fuente: PLADECO Laja, con base en CONAF).

ANEXO 5



Figura 5: Evolución de ventas en UF (2011-2020) y empresas de los rubros en decrecimiento en la comuna de Laja (Fuente: PLADECO Laja, con base en datos del SII).

ANEXO 6

Tabla 13. Cantidad de empresas comuna de Laja, por rubro económico y porcentaje de participación, año 2020

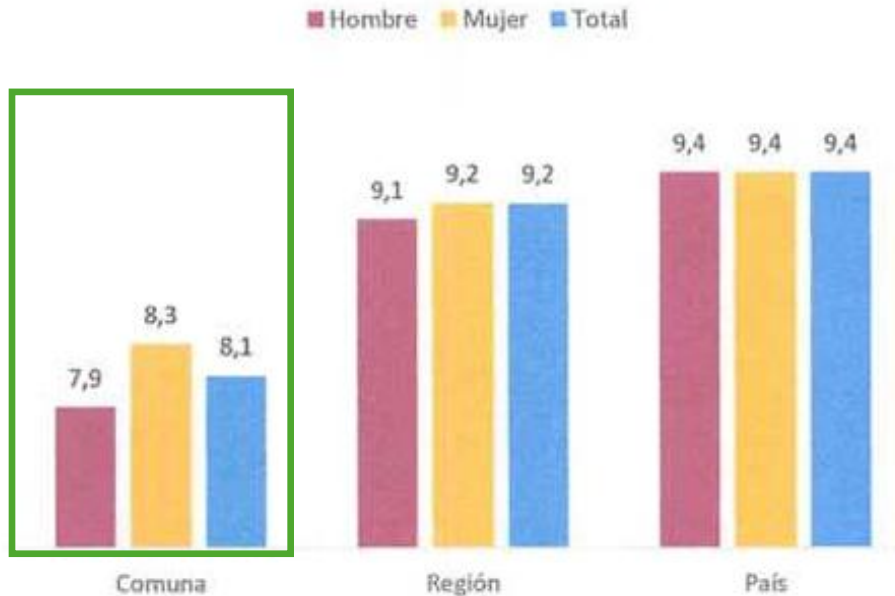
Rubro Económico	N° empresas	Participación
Comercio al por mayor y al por menor	443	43%
Transporte y almacenamiento	128	13%
Actividades de alojamiento y de servicio de comidas	92	9%
Industria manufacturera	81	8%
Construcción	77	8%
Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca	52	5%
Otras actividades	151	15%
Total	1024	100%

Fuente: elaboración propia en base a datos del SII.

Figura 6: Actividad económica en comuna de Laja (Fuente: PLADECO Laja, con base en datos del SII)

ANEXO 7

Gráfico 7. Años de escolaridad promedio, por territorio



Fuente: Censo de Población y Vivienda 2017.

Figura 7: Años de escolaridad promedio en la comuna de Laja (Fuente: PLADECO Laja, con datos del Censo de población y vivienda 2017)

ANEXO 8

Tabla 56. Oferta de la Educación Municipal, comuna Laja

Tipo de oferta	Nombre
Salas Cunas y Jardines Infantiles VTF	Sala Cuna y Jardín Infantil Arcoíris
	Sala Cuna y Jardín Infantil Manitos Pintadas
	Sala Cuna y Jardín Infantil Mis Dulces Pasos
	Sala Cuna y Jardín Infantil Santa Lucía
	Jardín Infantil Rayito de Sol
Escuelas Básicas	Escuela La Colonia
	Escuela Andrés Alcázar
	Escuela José Abelardo Núñez
	Escuela Nivequetén
	Escuela Francisco Zattera
	Escuela Puente Perales
	Escuela Las Ciénagas
	Escuela Diego José Benavente
	Escuela Amanda Labarca
Liceos	Liceo Bicentenario Héroes de la Concepción
Educación de Adultos	CEIA Instituto Rubén Campos López

Fuente: Elaboración propia

Figura 8: Oferta de la educación municipal en la comuna de Laja (Fuente: PLADECO Laja).

ANEXO 9

Comuna	Laja
Poblacion censada	23,706
Nunca asistió	1,133
Diferencial	165
Parvularia	1,062
Básica	7,282
Media	8,757
Superior	5,269
Nivel educativo no declarado	38

Figura 9: Educación de la comuna de Laja (Fuente: Censo de población y vivienda 2024).

ANEXO 10

Gran Concepción	301
Los Ángeles	425
Comunas cercanas	237

Figura 10: Migración interna Laja (Fuente: Elaboración propia con base de datos del Censo de población y vivienda 2024).

En el conteo de la Gran Concepción se consideró: Concepción, Coronel, Chiguayante, Florida, Hualqui, Lota, Penco, San Pedro de la paz, Santa Juana, Talcahuano, Tomé y Hualpén.

En el conteo de las comunas cercanas se consideró: Alto Biobío, Antuco, Cabrero, Mulchén, Nacimiento, Negrete, Quilaco, Quilleco, San Rosendo, Santa Bárbara, Tucapel y Yumbel

ANEXO 11

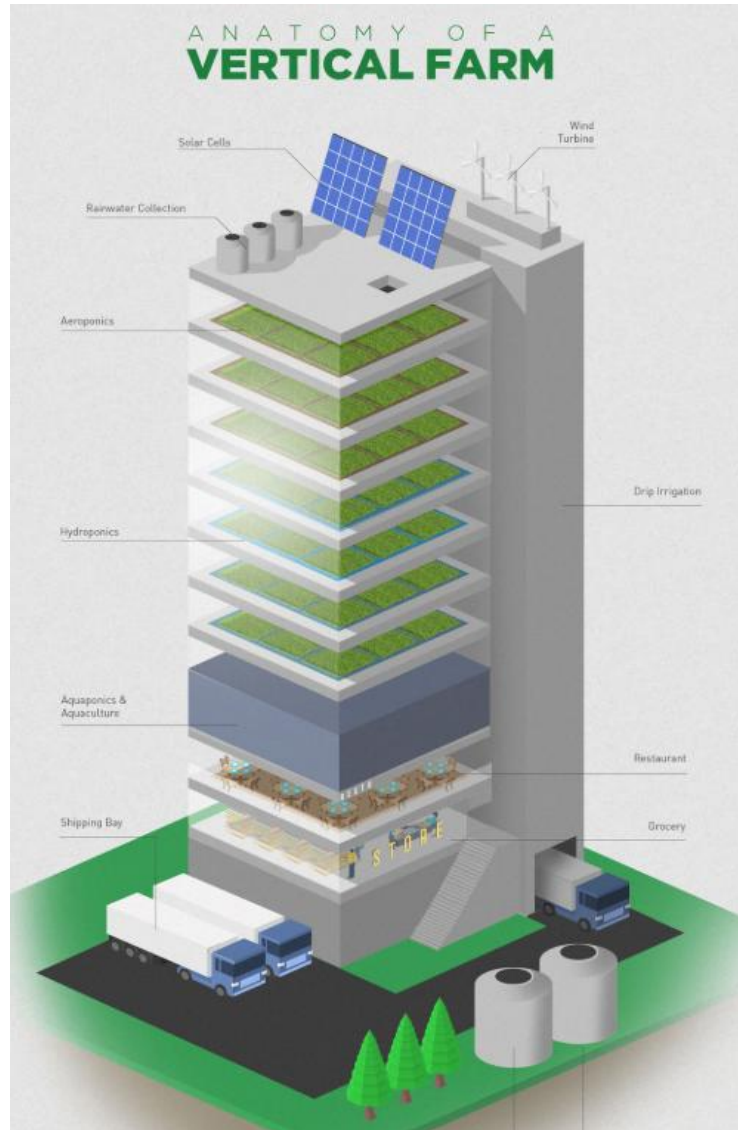


Figura 11: Anatomía de la Agricultura Vertical (Fuente: Visual Capitalist).

ANEXO 12



Figura 12: Cultivo hidropónico de mecha, estacionaria
(Fuente: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua).

ANEXO 13



Figura 13: Cultivo hidropónico de raíz flotante, estacionaria
(Fuente: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua).

ANEXO 14

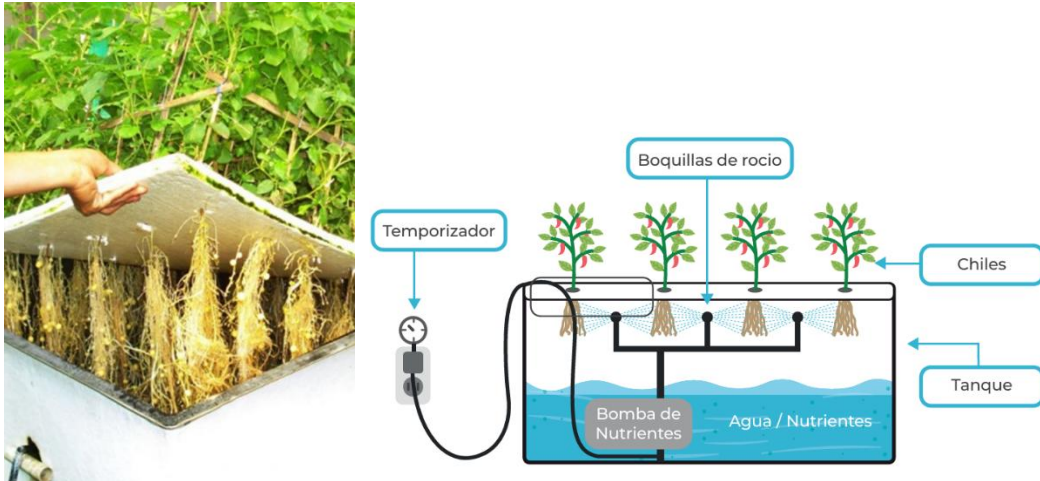


Figura 14: Cultivo Aeropónico (Fuente: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua).

ANEXO 15

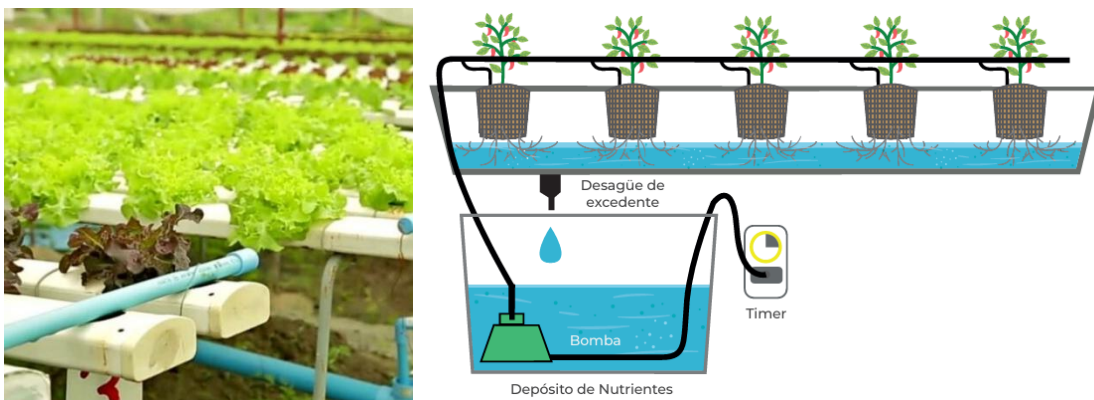


Figura 15: Cultivo hidropónico mediante goteo, recirculante
(Fuente: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua).

ANEXO 16

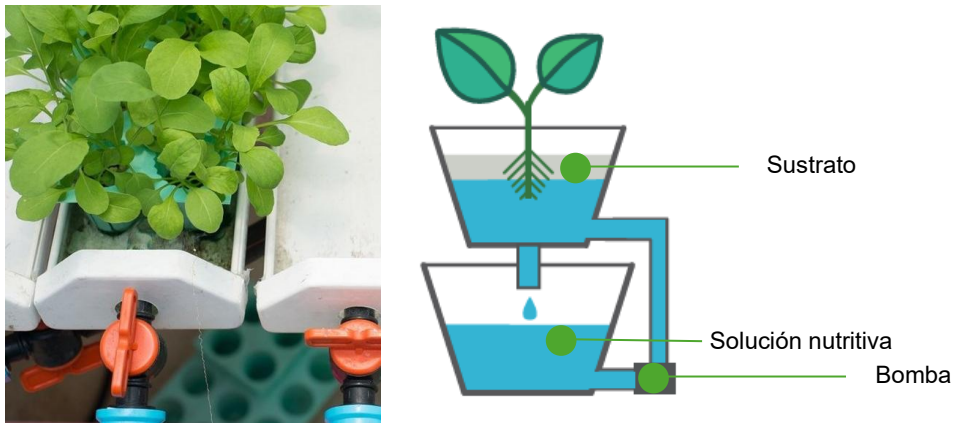


Figura 16: Cultivo hidropónico mediante flujo y reflujo, recirculante
(Fuente: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua)

ANEXO 17

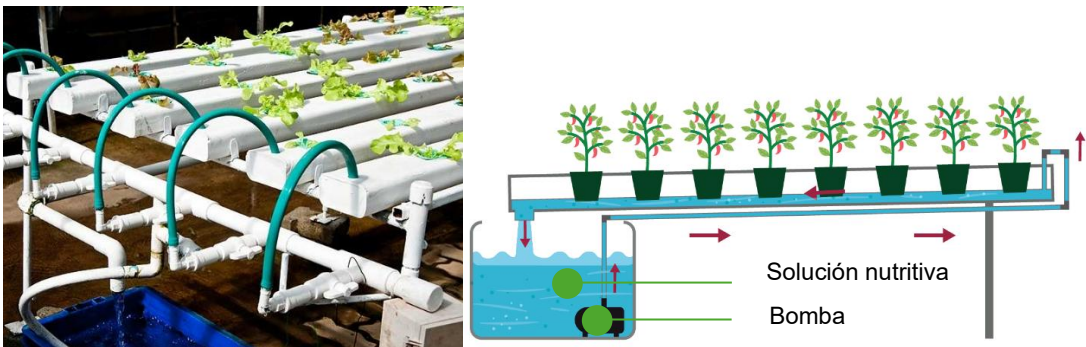


Figura 17: Cultivo hidropónico mediante NFT, recirculante
(Fuente: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua)

ANEXO 18

Hortaliza	Forma de siembra	Duración de ciclo (días)	Intervalo de temperaturas (°C)	Distancia entre plantas (cm)
Lechuga	trasplante y directa	38-47	20	30
Espinaca	directa	20	10-15	10
Cilantro	trasplante	50	15-30	5
Acelga	trasplante y directa	60	15-20	30
Cebollín	trasplante	50-60	15-20	10
Col	trasplante y directa	80-100	15-25	35
Apio	trasplante	90-120	15-30	30
Brócoli	trasplante y directa	70-90	15-25	50
Coliflor	trasplante y directa	80-100	15-25	50
Alcachofa	directa	150	20-30	100
Tomate	trasplante	110-120	20-30	30
Pepino	trasplante y directa	70-80	20-30	15
Ajo	directa	90-120	15-20	20
Cebolla	trasplante	120	15-20	10
Zanahoria	directa	90-100	20-30	5
Perejil	directa	80	15-20	20

Figura 18: Formas de siembra, duración de ciclo, intervalo de temperatura y distancia entre plantas

(Fuente: Manual de hidroponía, 2014).

ANEXO 19

Cultivo de manera tradicional				Cultivo de manera Hidropónica			
Especie	Plantas/m2	Agua necesaria	Duración del ciclo(días)	Especie	Plantas/m2	Agua necesaria	Duración del ciclo(días)
Lechuga	9	3.0-4.0 ml	45-60	Lechuga	24	1.0 ml	30-45
Tomate	5	2.0-7.5 ml	60-85	Tomate	24	1.5 ml	50-70

Figura 19: Tabla comparativa de productividad utilizando técnicas de cultivo hidropónico y método tradicional (Fuente: Elaboración propia con información de James, Leigh – NSW Agriculture).

ANEXO 20



Figura 20: Primer invernadero moderno, *Great Conservatory* de Syon Park en Inglaterra

(Fuente: www.conservatoryheritage.org)

El *Great Conservatory* de Syon Park (1826–1830), diseñado por Charles Fowler, suele considerarse un punto de inflexión absurdo en lo adelantado que estuvo para su época. Cuando el resto de Europa seguía con estructuras pesadas de mampostería y ventanas pequeñas, Syon utilizó hierro y vidrio a gran escala, anticipando los mega-invernaderos victorianos como Kew Palm House o Crystal Palace. Hablando de sus materiales y sus innovaciones estas fueron:

- Uso extendido de hierro fundido: permitió luces más largas y cubiertas curvas sin muros portantes gruesos.
- Primeras aplicaciones de vidrio industrial en grandes paños: el edificio usó hojas relativamente amplias gracias a los avances en fabricación de vidrio plano de inicios del siglo XIX.
- Estructuras modulares prefabricadas de hierro: el arquitecto Fowler diseñó componentes repetitivos, mucho más fácil y rápido en el montaje, además de reducir el peso del invernadero.

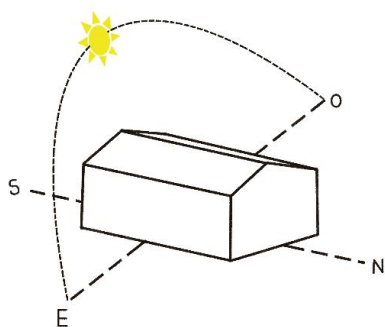
Además de innovaciones materiales el invernadero Syon tuvo innovaciones compositivas y espaciales, como se observa un invernadero, como funciona y sus requerimientos climáticos:

- Planta centralizada con cúpula: la composición radial permitía distribuir especies según necesidades de luz y humedad, integrando horticultura con una organización casi “palaciana”.
- Transparencia como lenguaje arquitectónico: En vez de esconder la estructura detrás de ornamentación pesada, Syon la muestra. Fue casi un manifiesto temprano de que vidrio más metal podían ser arquitectura, no solo utilería agrícola.

- Control climático avanzado para su tiempo: Incorporaba calefacción mediante calderas y tuberías de aire caliente, precursor de los modernos invernaderos climáticamente zonificados (*Royal Horticultural Society, 2019*).

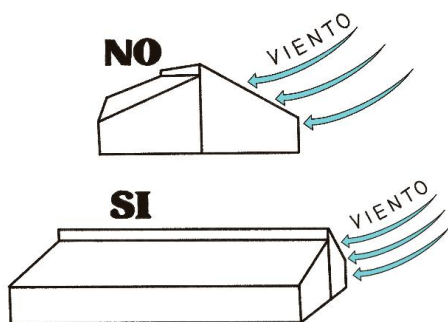
Syon Park demostró que antes del boom industrial ya existía una exploración seria del metal y el vidrio como sistema constructivo, y que la arquitectura de invernaderos estaba dejando de ser un mero “anexo agrícola” para convertirse en objeto arquitectónico autónomo.

ANEXO 21



La orientación hacia el **norte verdadero** es fundamental para un invernadero hidropónico exitoso. La exposición al sol durante todo el día (**este y oeste**) proporciona las horas de luz necesarias para la **fotosíntesis**, especialmente crítico en sistemas hidropónicos donde las plantas dependen completamente de la solución nutritiva para su crecimiento.

Figura 21: Disposición de nave para mayor captación solar (Fuente: greenbuilding.ft).



Se recomienda ubicar el invernadero donde su lado **más largo** se encuentre en la misma dirección que el viento. Esto permitirá **reducir** la exposición del invernadero a vientos predominantes.

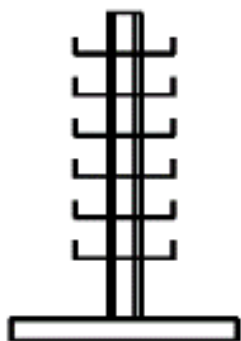
Figura 22: Disposición de invernadero flujo de aire correcto (Fuente: edificarse.com).

ANEXO 22



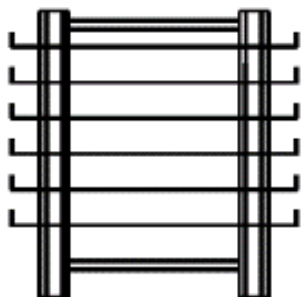
Estructura en forma de **pirámide escalonada** (generalmente de 3 a 5 niveles), donde cada nivel sostiene varias plantas. El agua se bombea a la parte superior y **fluye hacia abajo por niveles**, alimentando las plantas en cada piso.

Figura 23: Cultivo tipo Piramidal (Fuente: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua)



Una estructura **vertical y cilíndrica** (como un tubo o columna) donde las plantas crecen una sobre otra, en orificios distribuidos a lo largo de la torre. El agua con nutrientes sube desde un depósito inferior mediante una bomba, se reparte por la parte superior y **va cayendo por gravedad** regando todas las raíces.

Figura 24: Cultivo tipo Torre (Fuente: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua)



Estructura tipo **estantería o repisa**, con varias bandejas horizontales colocadas una encima de otra. Cada nivel tiene su propio sistema de riego o goteo, y las plantas se cultivan en **bandejas con sustrato o NFT (película nutritiva)**.

Figura 25: Cultivo tipo Rack (Fuente: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua)

ANEXO 23

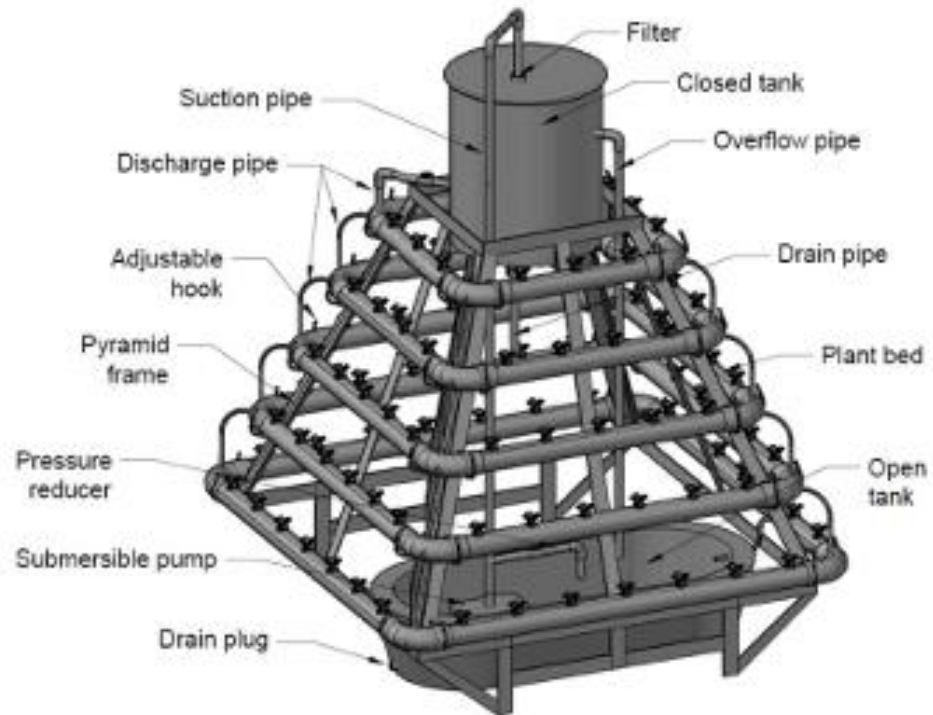


Figura 26: Tipo de cultivo Piramidal experimental (Fuente: Departamento de Ingeniería Agrícola y de Biosistemas, Universidad Estatal de Luzón Central).

ANEXO 24



Figura 27: Cultivo tipo Torre (Fuente: cultivoshidroponicos.org).

ANEXO 25

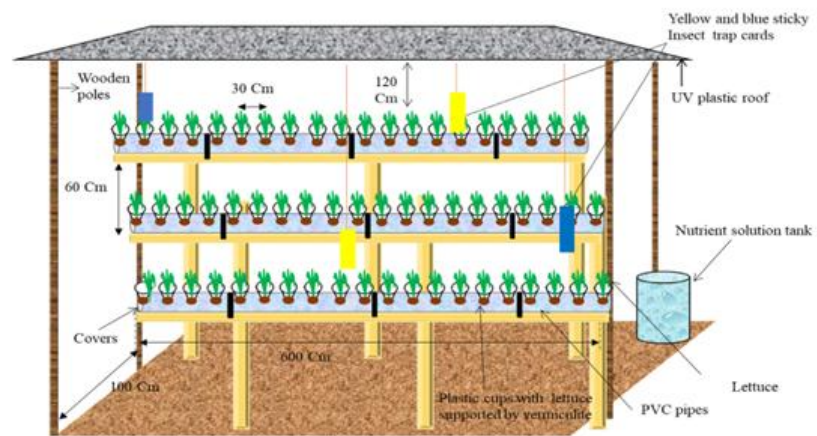


Figura 28: Tipo de cultivo Rack (Fuente: Elsevier.com).

ANEXO 26

Figura 1. Patrón de flujo de recursos en los enfoques de producción de alimentos (a) lineal y (b) de ciclo cerrado. En un flujo de recursos lineal, los residuos de cultivos no comestibles se tratan como desechos y se eliminan, lo que representa una pérdida de recursos. En cambio, el flujo de recursos de ciclo cerrado se centra en la recuperación de los recursos presentes en los residuos de cultivos no comestibles y su reutilización en los ciclos de cultivo posteriores.

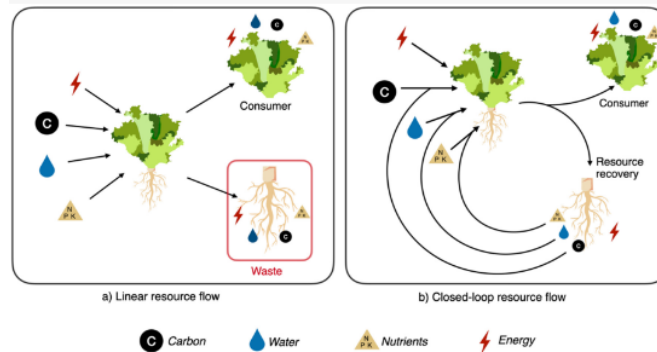


Figura 29: Patrón de flujo de recurso lineal (a) y Patrón de flujo de recursos de ciclo cerrado (b) (Fuente: Sostenibilidad.com).

Figura 2. Representación general del proceso de compostaje. La biomasa se descompone por acción de microorganismos en presencia de oxígeno. Los productos del proceso de compostaje incluyen dióxido de carbono, vapor de agua, calor y compost.

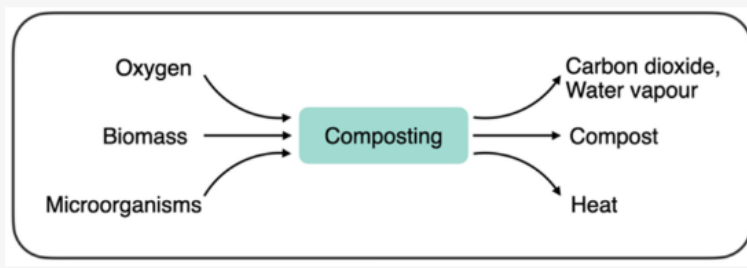


Figura 30: Representación general del proceso de compostaje (Fuente: Sostenibilidad.com).

Figura 3. Mapa de procesos para la producción de cultivos en circuito cerrado a base de compost en un sistema agrícola urbano de ambiente controlado.

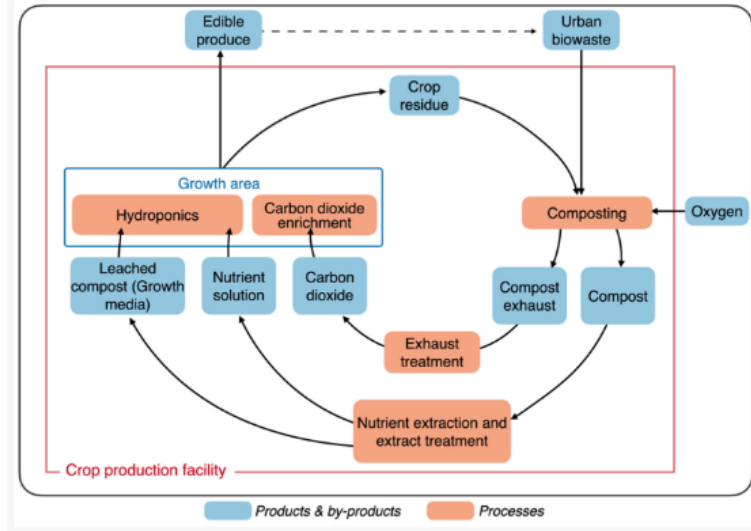


Figura 31: Mapa de procesos de cultivo cerrado (Fuente: Sostenibilidad.com).

ANEXO 27

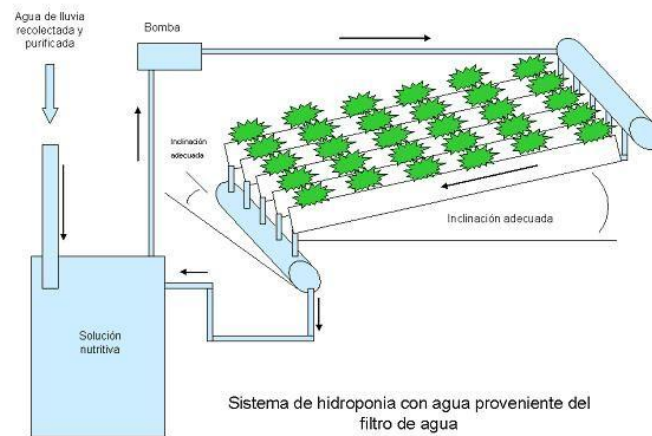


Figura 32: Circuito del agua en sistema hidropónico (Fuente: hidroponiaelisava.wordpress.com).

ANEXO 28



Figura 33: Captación de agua lluvia (Fuente: Ecoinventos.com)

ANEXO 29



Figura 34: Paneles fotovoltaicos integrados a invernadero (Fuente: Dreamstime.com).

Los sistemas fotovoltaicos permiten convertir la radiación solar en energía eléctrica mediante celdas fotovoltaicas. La eficiencia y la integración arquitectónica del sistema dependen principalmente del tipo de montaje utilizado.

En este caso se recomienda el uso de paneles BIPV (*Building Integrated Photovoltaics*) debido a que los paneles fotovoltaicos pasan a formar parte integral de la envolvente del edificio, reemplazando elementos tradicionales como tejas, vidrios, parasoles o revestimientos, tienen una excelente integración estética y constructiva, además contribuye al aislamiento térmico y a la eficiencia energética del edificio, puede reducir costos al sustituir materiales de cubierta o fachada.

ANEXO 30

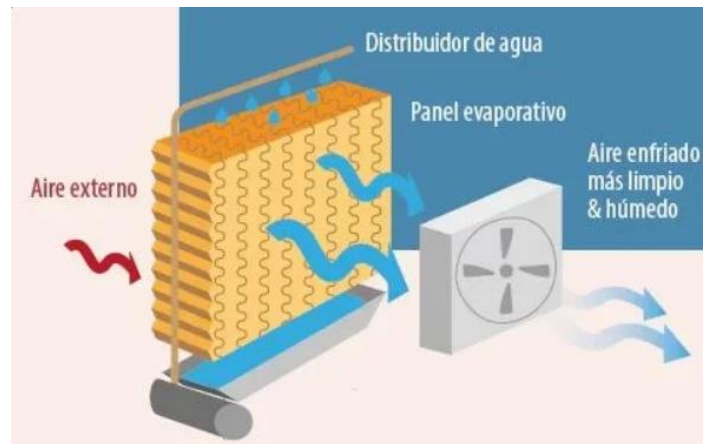
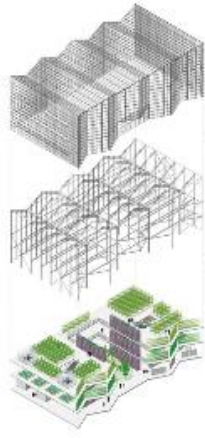


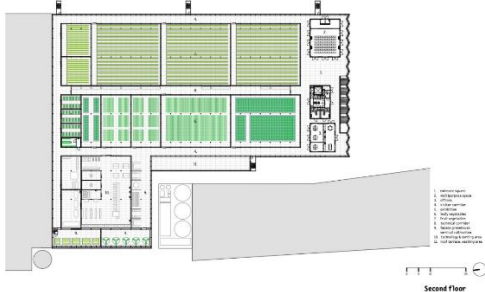
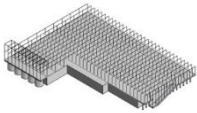
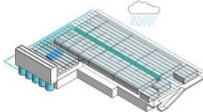
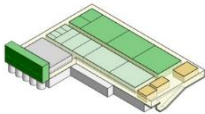
Figura 35: Funcionamiento del enfriamiento evaporativo (Fuente: Avinews.com).

Entra aire por un borde húmedo, se enfría al evaporar, atraviesa capas de cultivo guiado por la forma y la altura, recoge el calor interno y sale por arriba/lado opuesto; el agua circula en bucle y la envolvente regula sol y sombra.

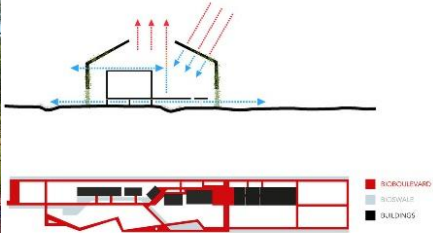
ANEXO 31

Ficha de referente - Granja Vertical Beijing	
Nombre	Granja Vertical Beijing
Arquitecto	Van Bergen Kolpa architects
Ubicación	Beijing, China
Área	3500 m²
Clima	Beijing tiene un clima continental, con estaciones bastante marcadas. Veranos son cálidos y húmedos; inviernos, fríos y secos. En promedio anual, la temperatura ronda los 12.7 °C.
Estrategia sostenible	<u>Agricultura apilada</u>: usan espacios compactos, con horticultura en “pisos”, lo que permite cultivar gran cantidad de vegetales sin requerir grandes extensiones de tierra. <u>Uso eficiente del agua y fertilizantes</u>: gracias a la hidroponía o cultivo en sustrato, se reduce la necesidad de agua comparado con agricultura tradicional, y se optimiza el uso de insumos. <u>Regulación pasiva de temperatura</u>: en la estructura de la granja hay mecanismos para extraer calor del sol y usar enfriamiento por evaporación, reduciendo la necesidad de climatización intensiva.
   Fuente: ArchDaily.com	

ANEXO 32

Ficha de referente – Agrotopia	
Nombre	Agrotopia
Arquitecto	Van Bergen Kolpa architects
Ubicación	Roeselare, Bélgica
Área	9000 m ²
Clima	Roeselare tiene un clima templado oceánico, veranos frescos a moderados, promedios de 17–22 °C. Precipitaciones anuales aproximadas de 800-850 mm. Alta nubosidad casi todo el año, por ende, una humedad relativa elevada, comúnmente entre 75% y 90%.
Estrategia sostenible	<u>Uso intensivo y eficiente del espacio:</u> en vez de usar tierra rural, se aprovecha una azotea industrial. Esto permite producir alimentos sin consumir suelo agrícola ni expandir urbanización. <u>Recuperación y uso circular del agua:</u> el agua de lluvia que cae sobre la cubierta se almacena, se usa para irrigar los cultivos; el agua residual también se limpia y reutiliza. <u>Uso de calor residual urbano:</u> el invernadero se calienta usando calor sobrante proveniente de una incineradora de residuos cercana (o del sistema de calor urbano, red de calor). Esto reduce la necesidad de calefacción adicional con combustibles fósiles u otros.
      Invernadero de acero sobre subestructura de hormigón Recolección y almacenamiento de agua de lluvia Zonificación climática para plantas y personas	
Fuente: ArchDaily.com	

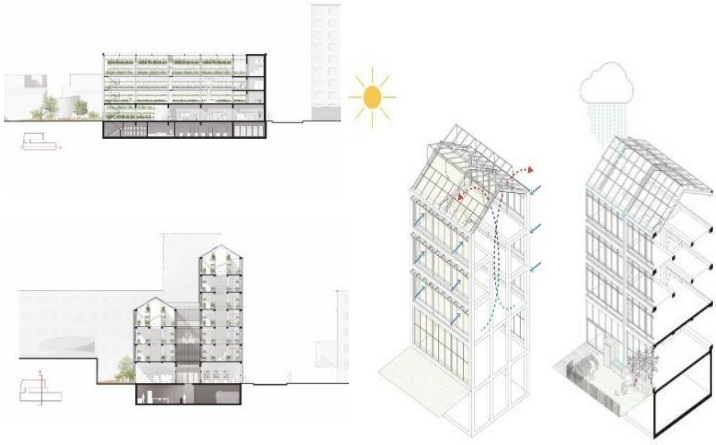
ANEXO 33

Ficha de referente – Centro de desarrollo agrícola de Izmir	
Nombre	Centro de desarrollo agrícola de Izmir
Arquitecto	Mert Uslu Architecture
Ubicación	Sasalli Merkez
Área	2000 m ²
Clima	Izmir tiene un clima mediterráneo. Los veranos son calurosos y secos; los inviernos, suaves y lluviosos. En verano, durante varios meses (aproximadamente de junio a septiembre), las temperaturas máximas diarias suelen superar los 30 °C. Las precipitaciones anuales se estiman en torno a 700–1.200 mm.
Estrategia	<u>Promover tecnologías agrícolas “<i>climate-smart</i>”</u>: es decir, innovaciones pensadas para adaptarse al cambio climático, optimizando uso de recursos, minimizando impacto ambiental, aumentando resiliencia. <u>Fomentar la eficiencia de recursos</u>: agua, energía, insumos agrícolas; con tecnologías y mecanismos de producción más eficientes. Integrar la agricultura local en un modelo más amplio de desarrollo regional sostenible: dentro de políticas de “crecimiento verde” (<i>green growth</i>), buscando compatibilizar producción agrícola, conservación ambiental y desarrollo económico en Izmir.
  Fuente: ArchDaily.com	

ANEXO 34

Ficha de referente – Oficina de agricultura urbana	
Nombre	Oficina de agricultura urbana
Arquitecto	VTN Architects
Ubicación	Ho Chi Minh, Vietnam
Área	1386 m ²
Clima	Ho Chi Minh tiene un clima tropical con estación seca. La temperatura media anual ronda los 27–28 °C. La precipitación anual es elevada: alrededor de 1.900 a 1.909 mm.
Estrategia	Fachadas verdes con agricultura vertical: el edificio de la oficina utiliza una “granja vertical” en su fachada — con cajas colgantes / macetas modulares — donde se cultivan frutas, verduras y hortalizas. Esto devuelve espacios verdes a la ciudad y permite producción de alimentos local. Diseño pasivo / microclima interior favorable: las plantas en la fachada funcionan como filtro solar y regulador térmico — reduciendo radiación directa, ofreciendo sombra, contribuyendo a un microclima más confortable en el edificio. Integración de agricultura urbana como parte de infraestructura verde de la ciudad: en contextos de urbanización acelerada, la agricultura urbana sirve también como espacio verde, ayuda a mitigar problemas urbanos (calor, falta de vegetación, calidad del aire), y ofrece resiliencia frente al cambio climático
 Fuente: ArchDaily.com	

ANEXO 35

Ficha de referente – La Cité Maraîchère	
Nombre	Equipamiento la Cité Maraîchère en Romainville
Arquitecto	Ilimelgo
Ubicación	Romainville, Francia
Área	2060 m ²
Clima	Romainville posee un clima oceánico templado con estaciones moderadas, lluvia repartida, cero aventuras tropicales. Temperatura media anual: aprox. 11–12 °C. Precipitaciones: ~600–650 mm/año, distribución bastante homogénea.
Estrategias sostenibles	Orientación y envolvente pensadas para captar luz natural y reducir necesidades artificiales. Sistemas de ventilación y calefacción adaptados para minimizar demanda energética. Uso de agua de lluvia y circuitos optimizados para riego. La Cité Maraîchère incluye espacios para compostaje comunitario y para reutilizar residuos vegetales del propio edificio.
  Fuente: ArchDaily.com	

Terreno norte, 5.000 m², volúmenes invernaderos:

N°	Recinto/zona	Superficie estimada (m ²)	Función/ propósito
1	Invernadero A – cultivo intenso	1.500	Hortalizas, hidroponía, practica y producción
2	Invernadero B – ensayo/ didáctico	1.500	Variedades, manejo de clima, practica con estudiantes
3	Área de packing / selección / lavado	400	Recepción de cosecha, selección, lavado, preparación para venta
4	Cámaras frías / Conservación	250	Almacenamiento de producto fresco antes de distribución
5	Sala de riego, sala técnica	250	Equipos de riego, fertilización, acumulación de agua
6	Vestidores, duchas y baños personal	150	Cambio de ropa, higiene para trabajadores y estudiantes
7	Bodega de insumos / herramientas	300	Sustratos, fertilizantes, bandejas, herramientas
8	Patio de maniobras / carga y descarga	350	Zona de carga
9	Circulaciones exteriores, andenes, caminos internos	300	Conexión entre naves, áreas técnicas y calle pública
Total terreno Norte		5.000 m ²	

Terreno sur, 8.000 m², edificio educacional:

N°	Recinto/zona	Superficie estimada (m ²)	Función/ propósito
1	Plaza de acceso / hall de entrada	400	Llegada estudiantes y visitas
2	Eco-mercado / cafetería	300	Venta de productos de los invernaderos, consumo
3	Aula estándar (6 salas x 80 m ²)	480	Clases teóricas, módulos de formación técnica
4	Sala multipropósito / auditorio pequeño	200	Charlas, seminarios, eventos
5	Biblioteca / centro de recursos	160	Estudio, consulta, pequeños espacios de trabajo
6	Salas de computación	80	Software agrícola, gestión de datos
7	Laboratorio (3 x 90 m ²)	270	Suelo / sustratos, análisis de agua y nutrientes
8	Taller técnico agrícola	220	Armado de sistemas de riego, mantenimiento de equipamiento
9	Administración/ Dirección / secretaría	220	Gestión académica y administrativa del instituto
10	Sala de profesores / reuniones	120	Trabajo y coordinación docente
11	Servicios a estudiantes	100	Atención estudiantil y apoyo
12	Sanitarios y camarines	220	Baños y mudas para alumnado y funcionarios
13	Circulación interior (pasillos, escaleras, pasarela)	450	Conexiones funcionales entre todos los espacios del edificio
Subtotal edificio Educacional		3.220 m ²	

Exterior y espacios abiertos:

N°	Zona exterior	Superficie estimada (m ²)	Propósito
14	Patios y patios cubiertos	900	Espacio de estar, recreo, circulación exterior
15	Jardín didáctico / huerto pedagógico	1.200	Compost, demostraciones sin necesidad de cruzar a invernaderos
16	Estructura demostrativa agricultura vertical	300	Torre / pórtico con sistemas verticales visible desde la calle
17	Zona de recreación	600	Actividad física y recreación para estudiantes
18	Estacionamiento	1.300	Autos, minibuses, estacionamiento de personal y visitas
19	Patio de servicio / basura / gas / estanques	300	Manejo de residuos, instalaciones de servicio
20	Circulación peatonal y paisajismo	180	Conectar accesos, patios, estacionamientos
Subtotales exteriores		4.780 m ²	

ANEXO 36

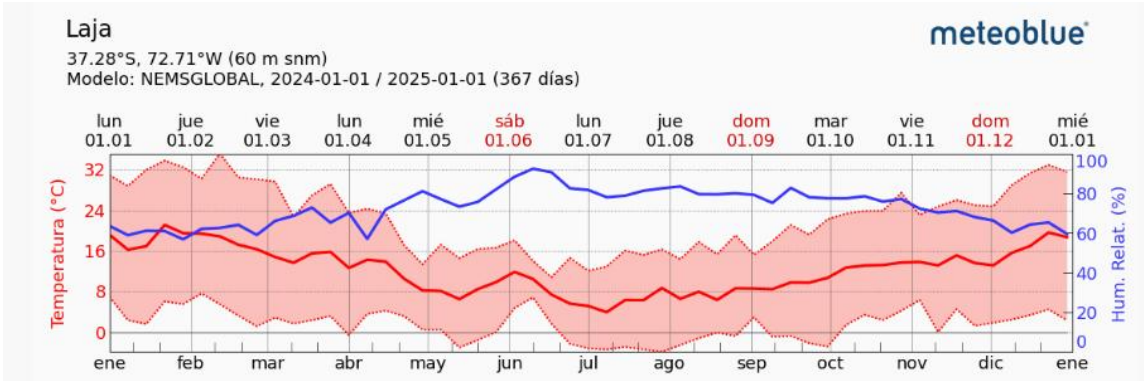


Figura 36: Temperatura por mes de Laja (Fuente: Meteoblue.com)

ANEXO 37

Indap refuerza su apoyo a la agricultura familiar ante la intensificación del cambio climático

por Jorge Guzmán Buchón

09 JULIO 2025

El organismo aumentó en un 50% los presupuestos de riego respecto de 2022 y desarrolló programas de reactivación productiva para 229 usuarios afectados por los temporales de junio. También, por medio de una transición hacia prácticas agroecológicas, la entidad busca generar resiliencia ante fenómenos extremos cada vez más recurrentes.



Figura 37: Noticia INDAP apoyo agrícola en Laja (Fuente: Latribuna.com)

REACTIVACIÓN PRODUCTIVA TRAS FENÓMENOS EXTREMOS

Los temporales de junio generaron afectaciones en 229 usuarios, principalmente en los plásticos de sus invernaderos producto del viento y la lluvia. "Estamos trabajando con estos productores y productoras para hacer una reactivación productiva mediante un concurso especial para ayudarlos", detalló el director nacional.

La estrategia contempla la actual transición del país hacia el Fenómeno de La Niña, que traerá temperaturas más bajas que las ya registradas hasta la fecha. Ante esta proyección, *Rojas recomendó "prorrogar ciertas prácticas agrícolas que son, a la salida del invierno, preventivas a las heladas".*

El instituto reconoce que los climas extremos serán cada vez más recurrentes debido al cambio climático. Por ello, promueve que los usuarios incorporen seguros agropecuarios al momento de acceder a créditos, para así contar con una protección ante estos fenómenos.

Figura 38: Noticia reactivación productiva agrícola en Laja (Fuente: Latribuna.com)

ANEXO 38

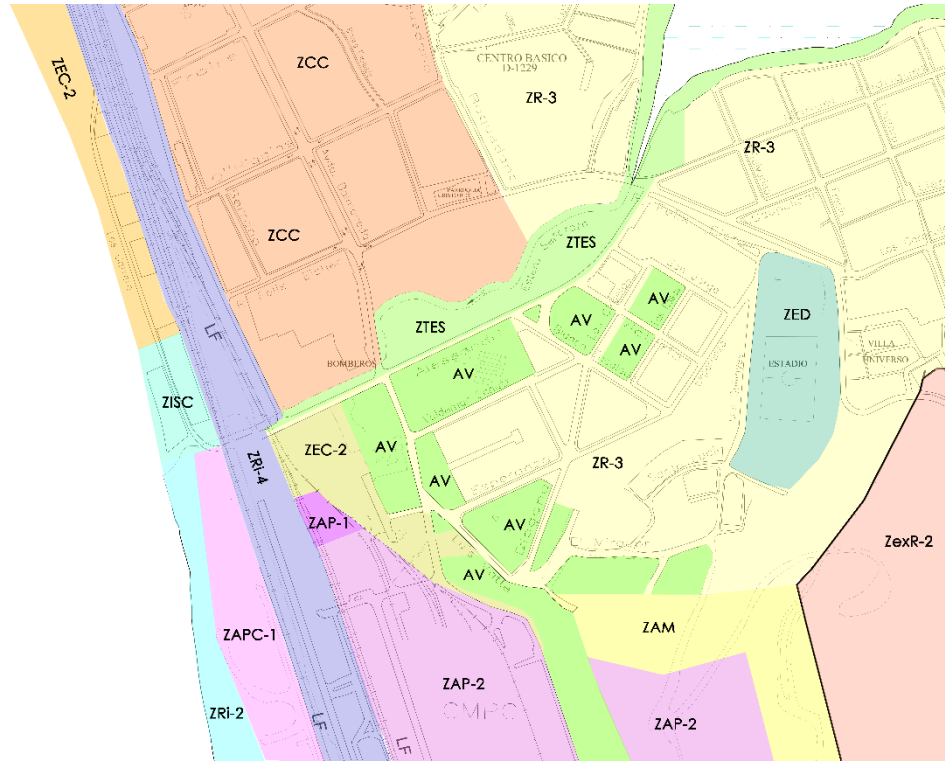


Figura 39: Plan regulador del sector a intervenir (Fuente: Plan regulador comunal).

ANEXO 39



Figura 40: Polígono de terreno escogido en Laja (Fuente: Plan regulador de Laja).

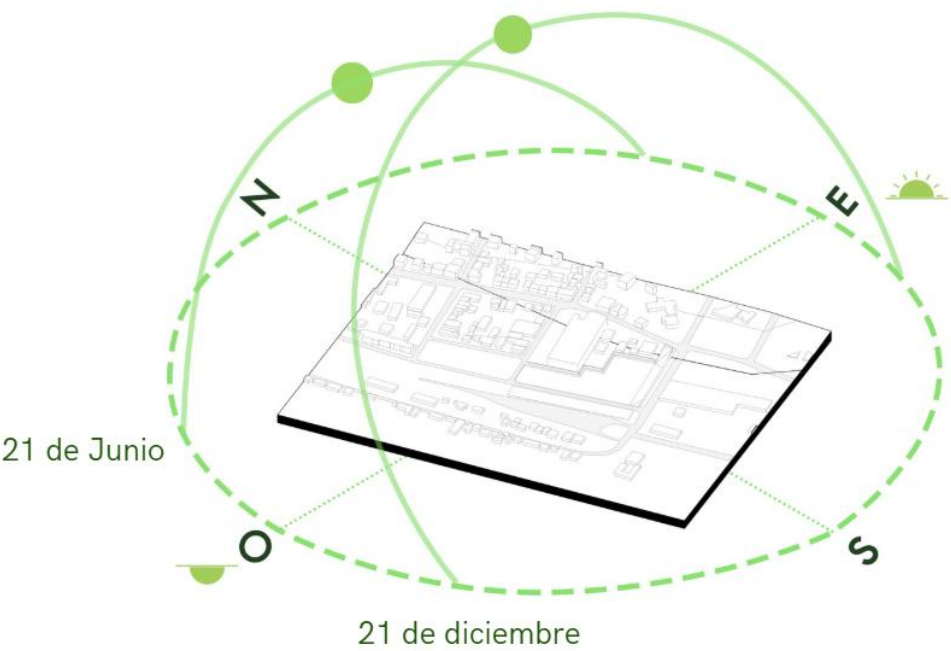


Figura 41: Asoleamiento en Laja (Fuente: elaboración propia).

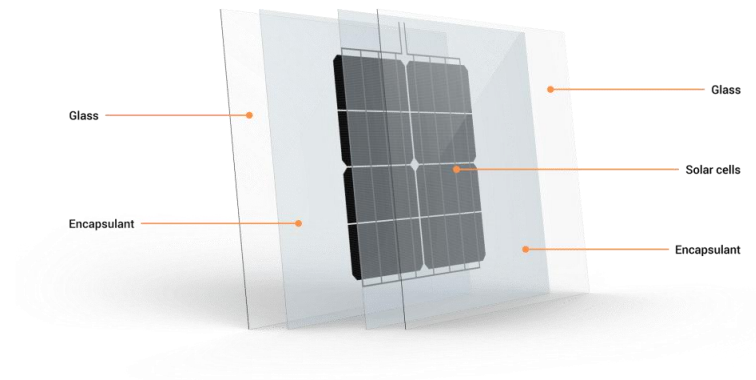


Figura 42: Estructura de vidrio fotovoltaico transparente (Fuente: Metsolar.eu).

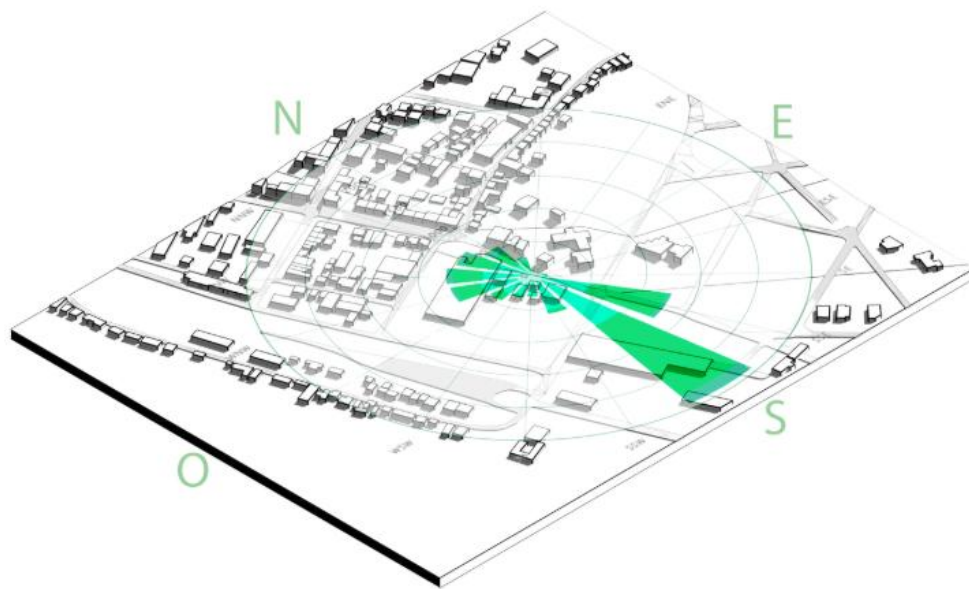


Figura 43: Esquema gráfico vientos predominantes (Fuente: elaboración propia).

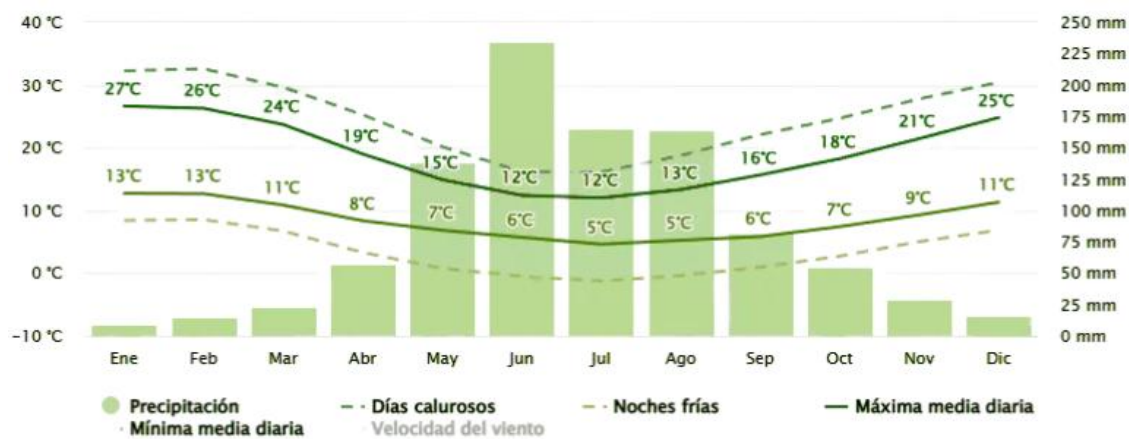


Figura 44: Precipitación anual en Laja (Fuente: Meteoblue.com)