



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura
Campo de Conocimiento. Tecnología

Envolvente arquitectónica para horticultura urbana



**Tesis que para optar por el grado de
Maestro en Arquitectura presenta:**
Arq. Omar González Mandujano

DIRECTOR DE TESIS:
MA. Leonardo B. Zeevaert Alcántara
Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura. UNAM

Ciudad Universitaria, Cd. Mx. Octubre MMXVII



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

 +  = **HUERTO VERTICAL**
ENVOLVENTE ARQUITECTÓNICA PARA HORTICULTURA URBANA



INSTITUTO
DE INVESTIGACIONES
HISTÓRICAS



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura
Campo de Conocimiento. Tecnología

**ENVOLVENTE ARQUITECTÓNICA
PARA HORTICULTURA URBANA**
HUERTO VERTICAL

**Tesis que para optar por el grado de
Maestro en Arquitectura presenta:**
Arq. Omar González Mandujano

DIRECTOR DE TESIS:
MA. Zeevaert Alcántara Leonardo B.

COMITÉ TUTOR:
Dra. Gemma Verduzco Chirino
Mtra. En Ing. Perla Santa Ana Lozada
Dr. José Diego Morales Ramírez
Dr. José Luis Bermúdez Alcocer

Ciudad Universitaria, Cd. Mx. MMXVII



INSTITUTO
DE INVESTIGACIONES
HISTÓRICAS



COMITÉ TUTOR:

MA. Leonardo B. Zeevaert Alcántara
Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura. UNAM

Dra. Gemma Verduzco Chirino
Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura. UNAM

Mtra. En Ing. Perla Santa Ana Lozada
Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura. UNAM

Dr. José Diego Morales Ramírez
Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura. UNAM

Dr. José Luis Bermúdez Alcocer
Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura. UNAM



INSTITUTO
DE INVESTIGACIONES
HISTÓRICAS



AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Consejo de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y a la Universidad Nacional Autónoma de México por su apoyo y patrocinio recibido para la realización de este Proyecto de Investigación.



Gracias a los profesores e investigadores Dr. Irineo L. López Cruz y Dr. Efrén Fitz Rodríguez, del Posgrado de Ingeniería Agrícola y uso integral del Agua, que junto al equipo del Departamento de Preparatoria Agrícola AGRIBOT de la Universidad Autónoma Chapingo, me han permitido conocer y aplicar las nuevas tecnologías en la agricultura como base fundamental al desarrollo de este tema de investigación.



Agradezco y comparto con mis padres este proyecto de investigación, que es el resultado de todo el tiempo y enorme esfuerzo que han dedicado a nuestra formación, gracias por estar presente en cada momento de mi vida y por la confianza depositada. A mi familia y amigos por brindarme su apoyo en todo momento para lograr este objetivo.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN.....	7
INTRODUCCIÓN.....	8
1. ANTECEDENTES HUERTOS URBANOS.....	12
1.1 VALIDEZ Y DIFICULTADES.....	15
1.2 PROBLEMÁTICA.....	18
1.3 PARTICULARIDADES EN MÉXICO.....	19
1.4 CONTRIBUCIONES.....	24
1.5 MODELO DE ANÁLISIS 1.....	27
2. DESARROLLO TECNOLÓGICO.....	29
2.1 AGRICULTURA URBANA.....	30
2.2 AGRICULTURA VERTICAL (VERTICAL FARMING).....	32
2.3 AMBIENTE CONTROLADO.....	33
2.4 PÉRDIDAS Y DESPERDICIOS.....	35
2.5 HIDROPONÍA.....	38
2.6 ILUMINACIÓN.....	42
3. SITUACIÓN ACTUAL.....	43
3.1 AUTORES RELEVANTES.....	44
3.2 ESTUDIOS DE CASO.....	47
3.3 ANÁLISIS ESTUDIOS DE CASOS.....	49
3.4 ESTUDIOS CUANTITATIVOS.....	50
4. MÉTODO.....	56
4.1 CONTROL DE CLIMA CIUDAD DE MÉXICO.....	62
4.2 MATERIALES Y MÉTODOS.....	64
4.3 SELECCIÓN DE TIPOS DE CULTIVO.....	65
4.4 SELECCIÓN DE NIVELES TECNOLÓGICOS.....	68
4.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	77
4.6 ALTERNATIVAS Y RECOMENDACIONES.....	88
5. APLICACIÓN MODULO BASE.....	97
5.1 DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO.....	98
5.2 SIMULACIÓN ILUMINACIÓN Y RADIACIÓN.....	115
5.3 SISTEMA ESTRUCTURAL.....	120
5.4 PRODUCCIÓN.....	128
CONCLUSIONES.....	132
REFERENCIA DE FIGURAS.....	143
GLOSARIO.....	145
ANEXOS.....	148

RESUMEN

Para satisfacer la creciente demanda de alimentos de los más de 9 000 millones de personas que poblarán el planeta en 2050, del cual casi el 80% de la población mundial residirá en centros urbanos, por lo tanto, será necesario aumentar la producción de alimentos a escala mundial en 60 por ciento en el mismo período (FAO).

La Ciudad de México por sus características de expansión y necesidad de dotación de seguridad alimentaria, que se prevé para los próximos años, es un lugar ideal para estudiar estas condiciones, en base a distintos estudios para poder ubicar módulos de Agricultura Vertical que produzcan alimentos sanos, dependiendo las condiciones socio - económicas y con el apoyo de la Agricultura y sus continuos progresos tecnológicos para el incremento de la producción de alimentos sanos, como es la Hidroponía y el efecto invernadero; se persigue completar este cuadro desde un enfoque Arquitectónico, con la creación de ciudades más sustentables y competentes ante los cambios climáticos, y que gracias a la ayuda de la tecnología potencialicen la cosecha de alimentos y de energía renovable.

Para asegurar un mejor acceso a alimentos nutritivos dentro de la Ciudad de México, se analizaran las características económicas y climáticas, para la creación de una envolvente vertical y autosuficiente para Agricultura Urbana que mediante la aplicación de herramientas tecnológicas adecuadas para el control del ambiente interior óptimo para el desarrollo de distintas hortalizas, garantice la mejor producción de alimentos sin el uso de agroquímicos.

INTRODUCCIÓN

El pensar en una ciudad verde y autosuficiente, implica hablar de diversos temas urbanos, tecnológicos y de generación de recursos, como los muros o azoteas verdes, de gran relevancia actual para la ciudad, o los relacionados al agua ¿Qué hacer con la que tenemos? o ¿Cómo reutilizarla?, entre muchos más asuntos que se requieren abordar ante las amenazas para crear ciudades más resilientes; la tesis que aquí nos interesa es la alimentación a la población que la habita; el tema de Investigación que se desarrolla, nació de un problema que vivimos día a día, con la expansión de la mancha urbana sin alguna reglamentación que la regularice, que ha obligado a las personas a abandonar sus áreas de producción y en consecuencia sus áreas de trabajo.

El rápido crecimiento de las ciudades en los países en desarrollo somete a grandes exigencias a los sistemas de suministro de alimentos de las ciudades. La actual trayectoria de crecimiento de la producción agrícola es insostenible, debido a sus impactos negativos sobre los recursos naturales y el medio ambiente. “Una tercera parte de la tierra agrícola está degradada, 13 millones de hectáreas de bosques al año fueron transformadas para otros usos. La expansión de la agricultura a coste de los bosques, el uso industrial del agua, o el uso recreativo de la tierra”¹.

Creemos que la recuperación de esta actividad junto con el uso de la tecnología puede otorgar a las personas las herramientas necesarias para su especialización y a la ciudad la oportunidad de crecer sin consumir áreas que le han servido para su alimentación, que potencialicen su superficie que antiguamente eran zonas productivas, a través de nuevos métodos de cultivo que dotaran de la seguridad alimentaria que se requiere con sus consecuencias económicas hacia la población.

En consecuencia se creará una actividad distinta a los usos de suelo urbanos con la integración del uso de suelo agrícola dentro del crecimiento de la Ciudad, sin destruir áreas para alimentar a su gente, obligando a crear normas para su construcción y el crecimiento de la ciudad junto a estos sistemas de agricultura eficiente llamadas Huertos Verticales. Por

¹ FAO. (Mayo de 2015). *Alimentar a las personas, nutrir al planeta*. Recuperado el 04 de 2016, de <http://www.fao.org/>: http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/mdg/doc/12._agricultura_es-1.pdf

lo que es necesario estudiar y demostrar por qué la implementación de estas envolventes es una buena opción para las ciudades.

El objetivo general para dar respuesta a estos problemas es el diseño de una envolvente vertical y autosuficiente, (Huerto Vertical urbano o “Vertical Farming”) que mejore la producción de alimentos saludables dentro de la ciudad de México, a partir de un módulo que sea rentable, identificando las zonas con potencial para este uso de tipo industrial o comercial. Otro objetivo que se plantea se alcanzara estudiando el ambiente interior óptimo en la parte aérea (temperatura e iluminación) en los límites considerados como adecuados para el funcionamiento óptimo de sus parámetros productivos, de esta manera mejorar la calidad de los alimentos con el uso mínimo de plaguicidas, identificando las 7 hortalizas que más se comercializan en la región, sus requerimientos de luz, temperatura, viento, humedad, agua, fotoperiodo y rendimientos; medir las variables ambientales para el control de clima en la Ciudad de México y someterla a diseño para soluciones en la envolvente que albergara la producción de alimentos a través de herramientas tecnológicas, evitando sus pérdidas y desperdicios; de esta manera podremos evaluar la viabilidad económica del edificio con un ocupante distinto al que conocemos hoy en día como son las plantas.

La teoría actual señala a las “Granjas Verticales” urbanas o “Vertical Farming” como sistemas que mejoraran la eficiencia en la producción de alimentos frescos y uso controlado de químicos, tendrán la capacidad de procesar estos alimentos para su consumo en diferentes productos, generan empleo, recicla residuos urbanos y residuos orgánicos, crea cinturones verdes, generaran cadenas de venta sin el uso de automóviles, creara vitalidad económica, fortalece la resiliencia de las ciudades frente al cambio climático.

¿La agricultura urbana además de presentar las ventajas sociales y ambientales, puede justificarse desde un enfoque energético? Con el diseño y análisis de envolventes que nos permitan ventilar, o integrar sistemas de captación, transmisión y distribución de luz natural y agua, se desarrollara una simulación energética del módulo para establecer de esta manera el comportamiento de la envolvente, localizada en la Ciudad de México.

De esta forma se evaluara en la parte térmica sus resultados, en la parte económica la construcción del módulo que nos permita hacer un retorno de inversión, y en lo social,

conocer y evaluar la percepción de distintos especialistas del concepto de cultivar en sitio los alimentos y corroborar la viabilidad del proyecto.

Por lo que, la creación de una envolvente vertical y autosuficiente para Horticultura urbana, permitirá por medio de las herramientas tecnológicas en ambientes controlados, mejorar la producción de alimentos sanos dentro de la Ciudad de México. Evitando la competencia al campo y que funcione como apoyo ante los problemas que vive actualmente, como los relacionados al cambio climático, las pérdidas y desperdicios en el sistema de importación de alimentos o la falta de tierra que se prevé en el futuro.

De esta manera se busca generar diagnósticos serios que no se han abordado aun en esta latitud, pretende promover el interés de investigadores y alumnos sobre la importancia de asegurar la disponibilidad de alimentos a la población de las grandes urbes como lo es la Ciudad de México y abordar temas como las variables medio ambientales exteriores, que provocan la utilización de ambientes controlados para la mejor producción durante todo el año de distintas especies fuera de sus zonas agroclimáticas, reduciendo la necesidad de plaguicidas, herbicidas y fungicidas, garantizando que los alimentos no causaran daños al consumidor cuando se preparen y/o consuman; en una superficie mucho menor a la utilizada comúnmente, evitando el estropeo de terreno, y las pérdidas y desperdicios en toda la cadena de producción.

De esta manera se haría frente el esfuerzo para localizar los alimentos en las ciudades, previstas por la FAO². Puede provocar el reverdecimiento en las ciudades no solo con plantas de ornato si no con una función productiva y comestible, presentando las ventajas medio ambientales; y generando investigación en el campo tecnológico en la producción de energía para hacer eficientes los procesos de producción.

² Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura (Food and Agriculture Organization, FAO), es un organismo especializado de la ONU fundado el 6 de Octubre de 1945, que dirige las actividades internacionales encaminadas a erradicar el hambre, su sede central se encuentra en Roma, Italia.

1. ANTECEDENTES HUERTOS URBANOS

El 99.6 % del tiempo de la existencia humana, el hombre, ha sido extractor de recursos naturales y sólo el último 0.4% se ha convertido en productor, esto nos da muestra del insuficiente conocimiento adquirido en la domesticación de la agricultura³. Esta se basa en la alteración del sistema ecológico natural por otro sistema artificial a partir de plantas y animales seleccionadas, aisladas, adaptadas y protegidas por el hombre. La humanidad creció con base en una agricultura extensiva y la respuesta a la demanda de alimentos de una población creciente dio como resultado las revoluciones tecnológicas del siglo XIX y XX⁴. (Nations, Long-range World Population Projection: Two Centuries of Population Growth, 1950-2150, 1992) (Ver Figura 1.1)



Figura 1. 1 Evolución de la población mundial

Las alteraciones en la organización del espacio rural mexicano tras la implementación del modelo tecnológico en la agricultura, sobre todo después de la década de 1940. Se ha conformado como una actividad característica e importante de los espacios rurales siendo, además, la que mayormente ha resistido los embates del capitalismo y su tecnología, la periodización se marca por tres periodos propuestos Santos⁵.

- a) Medio natural
- b) Medio técnico

³ Curso Introducción a la Hidroponía, Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de preparatoria Agrícola. Generalidades y principios, Rómel Olivares Gutiérrez.

⁴ Historical Estimates of World Population: An Evaluation

⁵ Santos, M. (2000). *La naturaleza en el espacio. Técnica y tiempo. Razón y emoción*. Barcelona: Ariel.

c) Medio técnico científico – informacional

Esta última, la tecnología como base apoyada por la ciencia y la información, tiene al mercado como el motor principal y las empresas multinacionales se encargan del desarrollo para un mercado global.

La denominación usada internacionalmente para describir el importante incremento de la productividad agrícola y por tanto de alimentos entre 1940 y 1970 en Estados Unidos fue “Revolución Verde”⁶. Fue iniciada en 1943 por el ingeniero agrónomo estadounidense Norman Borlaug⁷, en Sonora, México. La motivación de Borlaug fue la baja producción agrícola con los métodos tradicionales en contraste con las perspectivas optimistas de la revolución verde con respecto a la erradicación del hambre y la desnutrición en los países subdesarrollados.

La Revolución Verde consistió en la siembra de variedades mejoradas de maíz, trigo y otros granos, cultivando una sola especie en un terreno durante todo el año (monocultivo), y la aplicación de grandes cantidades de agua, fertilizantes y plaguicidas. Con estas variedades y procedimientos, la producción pasó de dos a cinco veces más a la obtenida con las técnicas y variedades tradicionales de cultivo.

Este método de producción había sido juzgado como un éxito por la fundación Rockefeller la cual trató de propagarlo a otros países como en la India, cuando en 1961 estando en el borde de la hambruna masiva, la fundación Ford y el Gobierno de la India colaboraron para la importación de semillas de trigo del CIMMYT⁸, de esta manera la India se convirtió en uno de los productores de arroz del mundo con más éxito. Ahora es un importante exportador de arroz, exportando casi 4,5 millones de toneladas en 2006. En México la producción de trigo pasó de un rendimiento de 750 kg por hectárea en 1950, a 3.200 kg en la misma superficie en 1970.

⁶ Enseñanzas de la revolución verde: hacia una nueva revolución verde. Retrieved 09 2015, from FAO. Documentos técnicos de referencia: <http://www.fao.org/docrep/003/w2612s/w2612s06.htm>

⁷ Premio Nobel de la paz en 1970

⁸ El Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo es una organización de investigaciones agrícolas, internacional, en México, y centro de entrenamiento dedicado al desarrollo de variedades mejoradas de maíz y de trigo.

1.1 Validez y dificultades

Algunas críticas que recibió la “Revolución Verde”, fueron problemas de almacenaje desconocido y perjudicial, excesivo costo de semillas y tecnología complementaria o la aparición de nuevas plagas; al apoyarse en cuatro grandes pilares: la maquinaria agrícola moderna y de transporte de alimentos, los agroquímicos, la biotecnología y los sistemas de riego. De los cuatro, los dos primeros están relacionados directamente con la producción de petróleo. Fue muy criticada desde diversos puntos de vista que van desde el ecológico al económico, pasando por el cultural e incluso nutricional.

El trabajo de Borlaug en la revolución verde, para sus defensores, destruyó algunas de las predicciones catastrofistas del ecologismo y en contraste los males creados por los pesticidas y fertilizantes, y los escasísimos porcentajes de muerte por esas causas, son insignificantes en comparación con las vidas que ha salvado su revolución, que se calculan en unas 1,000 millones. Así, de la misma manera que la agricultura industrial ha sido un factor importante para la transición demográfica, la ausencia de ésta al agotarse el petróleo puede suponer futuras hambrunas, crisis alimentarias y un aumento drástico en la mortandad a nivel mundial.

El mismo Bourlaug consideró la creación de transgénicos como una extensión natural de su propio trabajo en la revolución verde que debe ser continuada y que la oposición a los transgénicos viene del mismo tipo de activismo ambiental -anti-científico desde su punto de vista- que cuestiona los logros de la revolución verde.

Las enfermedades transmitidas por alimentos representan uno de los problemas de salud pública más importantes, con repercusiones que inciden en el ámbito económico, social y político. Se ha estimado, por ejemplo, que en México el número de casos asciende a 200 millones por año, alimentos como las verduras, aunque en menor escala, también participan como vehículos de microorganismos patógenos. Una correcta higiene de los alimentos está determinada por multitud de factores: condiciones de obtención de los mismos, características de los medios empleados para su transporte, temperaturas y condiciones de conservación, estructura de los locales donde se manipulan los alimentos, etc., destacando entre todos ellos la higiene de las prácticas de los manipuladores de alimentos. Todos los

factores citados se vigilan y controlan a lo largo del proceso de obtención y manipulación de alimentos. Una vez que el alimento está listo para su consumo, su análisis microbiológico puede informarnos acerca del resultado real de todo el proceso, ya que la presencia de determinados microorganismos en los alimentos es una medida de su calidad sanitaria y además un indicador de la incorrección de las manipulaciones efectuadas, según estableció en su día el Comité Internacional de Normas Microbiológicas para Alimentos⁹.

Las verduras crudas pueden contaminarse por una diversidad de fuentes dentro de las que destacan: el uso de agua de riego contaminada, la tierra, la materia fecal humana o animal, la calidad del aire en las ciudades, el equipo de cultivo y manejo, los recipientes y utensilios, los materiales de transporte y el humano. El consumo de vegetales crudos, ensaladas de repollo y champiñones salados ha sido asociado a numerosos casos de brotes de enfermedades por microorganismos patógenos como *Listeria monocytogenes*, *Clostridium botulinum*, y *Vibrio cholerae*. *Escherichia coli* también ha sido relacionada a brotes de infecciones por el consumo de vegetales y ensalada¹⁰.

El tema que aborda la presente investigación, no es únicamente sobre el incremento de la producción de alimentos, sino la generación de un producto de alta calidad con gran valor nutrimental, que al producirse en un ambiente controlado está protegido de los factores medio ambientales que nos permite producir durante todo un año, reduciendo o evitando, el uso de agroquímicos, plaguicidas, herbicidas, o fungicidas; con el debido cuidado en su proceso de producción, con normatividad adecuada como la utilizada para la exportación de productos que garantice que los productos no causaran daño al consumidor –inocuidad alimentaria¹¹-. Un alimento se considera contaminado cuando contiene agentes vivos (virus o parásitos riesgosos para la salud), sustancias químicas tóxicas u orgánicas

⁹ Pérez-Silva García , M. D., Belmonte Cortés , S., & Martínez Corral , J. (n.d.). *Estudio microbiológico de los alimentos elaborados en comedores colectivos de alto riesgo*. Retrieved 10 2016, from Revista Española de salud publica.

¹⁰ Rifkin, J. (2007, 01 21). *Nos conviene un menú cada vez más vegetariano*.

¹¹ Se deberá atender y complementar en investigaciones posteriores, lo otorgado en el Reglamento de la ley de productor Orgánicos publicado en el Diario Oficial de la Federación el 1 de Abril de 2010. Con impulso y estrategias definidos en los programas sectoriales, regionales y especiales de producción orgánica que deriven del plan nacional de Desarrollo. Programas de apoyo y convenios de coordinación y de concertación.

extrañas a su composición normal o componentes naturales tóxicos en concentración mayor a las permitidas. (FAO, Food And Agriculture Organization of the United Nations).

Pensamos que al producir dentro de la ciudad y dentro de los radios considerados adecuados, podríamos eliminar el transporte para su importación, eliminando la huella de carbono generada a través de las rutas de distribución. Se podrá ahorrar en recursos como el uso de agua, comprobado con la utilización de las herramientas tecnológicas como es la hidroponía, que puede a través de distintos procesos recircular el excedente haciendo más efectiva su distribución; lo mismo sucede con la utilización de la composta que puede aprovechar los residuos que genera la granja vertical para autoconsumo o para venta a terceros, eliminando de esta manera la pérdida y el desperdicio que genera actualmente la cadena de distribución desde la siembra hasta la venta del producto. Podríamos evitar el intermediarismo que causa problemas relacionados con la economía del productor, promoviendo la generación de empleos y capacitación, convirtiendo al actual productor en empresario¹².

De esta manera se podrán beneficiar tanto a los distintos estratos sociales con el consumo de alimentos sanos, como al medio ambiente urbano que rodea estas zonas, al crear áreas de ocio, recreación y de relajación. Además podríamos crear ciudades más eficientes y sustentables con el mejor manejo de los recursos, con el objetivo de acercar los alimentos a la población. Edificios de producción de alimentos pueden crecer junto con la expansión de las zonas urbanas, que es como las ciudades se han desarrollado, dotando de alimento, trabajo e incluso con el surgimiento de centros comunitarios que eduquen y vean la agricultura como parte integral de la vida urbana. Estas torres tendrán la capacidad por medio de las herramientas tecnológicas, de generar su propia energía para producir hortalizas fuera de su zona agroclimática manteniendo el interior del huerto confortable, con la opción en un futuro de implementar, turbinas eólicas, paneles fotovoltaicos o sistemas en las envolventes generadoras de energía limpia que suministre la suficiente energía para considerar sistemas automatizados en su producción (dependerá de la ubicación de cada caso de estudio, analizando fortalezas y debilidades en el uso específico

¹² Curso Introducción a la Hidroponía, Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de preparatoria Agrícola.

de cada tecnología); ubicarse estratégicamente que evite saturar el mercado con distintos productos para consumo.

1.2 Problemática

Algunas dudas que se generan al plantear este tipo de soluciones, son que este tipo de producción tecnológica puede reducir o eliminar la labranza convencional, así como reducir los recursos otorgados al campo, lo que puede generar dudas a la población. Por el contrario, este tipo de soluciones debe apoyar al campo y sus problemas relacionados con la falta de tierra de cultivo prevista en el futuro o la degradación de la misma. Este complemento incluye la generación de conocimiento y oportunidad para tecnificar en distintos niveles socio-económicos, las áreas de cultivo tradicionales y hacer frente de la misma manera a problemas relacionados con el cambio climático y la expansión de las ciudades.

Otro tipo de planteamientos que se pueden considerar en contra, es el alto gasto en la construcción de torres verticales, al ser un edificio industrializado de uso exclusivo para producir alimentos, genera mayor gasto en su producción por los requisitos de energía que necesita, por dotar de la energía necesaria que la naturaleza nos da gratis, que ocasionarían productos de alto costo en relación con el producto generado en el campo abierto, con la única posibilidad de puesta en marcha en determinados mercados con el potencial de pagar dicho producto. Por lo cual debemos considerar que al construir dentro de la Ciudad de México, con características sociales y económicas muy particulares, podemos pensar en reutilizar estructuras que están abandonadas y de esta forma adaptarlas a este nuevo uso, utilizando los servicios existentes como el agua y luz; así evitaríamos la construcción de nuevas estructuras o evitaríamos la deforestación y desertificación causada por la expansión agrícola en áreas naturales, reduciríamos el uso de maquinaria agrícola y el uso de fuentes de energía como el petróleo. El poner en práctica este tipo de tecnologías en determinados mercados, permitirá mejorar la misma y generar ahorros al utilizar energías limpias y otorgar producto de calidad que reduzca su costo, con el propósito de ir extendiendo estos modelos a otros sitios.

Otro factor que puede limitar su conceptualización es la energía que las plantas necesitan para realizar la fotosíntesis, luz. En varios países en desarrollo existen ejemplos de depósitos de almacenaje que utilizan luces LED que son luces frescas y eficaces que pueden colocarse cerca de las plantas. Son muy eficientes ayudando al crecimiento de las plantas y se puede controlar muy bien ese crecimiento. Con mediciones adecuadas y dependiendo el tipo de cultivo se podrá hacer uso de estos sistemas como apoyo en las zonas oscuras provocadas por el incremento de la producción en vertical.

No existen estudios sobre los requisitos técnicos o uso de determinadas instalaciones especiales, así como la falta de normatividad para estas estructuras de producción de alimentos, pero si algunos acercamientos de análisis financiero que nos de parámetros sobre su rentabilidad, sobre la viabilidad energética e inquietudes sobre el uso de distintos niveles de tecnología en otras latitudes que analizaremos más adelante; por lo que esta investigación pretende generar diagnósticos que otorguen los primeros resultados sobre su viabilidad ambiental y económica en la Ciudad de México.

1.3 Particularidades en México.

El sector agropecuario mexicano en conjunto con la actividad industrial alimentaria tiene una participación de 8.4 % del Producto Interno Bruto (PIB) y emplea al 13.7 % de la población económicamente activa, con 6.7 millones de personas. La agricultura se realiza en casi 4 millones de unidades productivas que ocupan aproximadamente 22 millones de hectáreas, que corresponde al 11 % del territorio nacional, y de ellas 5.7 millones son de riego y 16.3 millones de temporal. El 66 % de la actividad agropecuaria se realiza en unidades menores a 5 hectáreas, con mayor presencia en el centro y el sur-sureste y solo 240 mil unidades (6 %) son altamente eficientes y rentables, dedicadas principalmente al cultivo de hortalizas, frutales y productos orgánicos, con producciones orientadas a los mercados internacionales, SAGARPA, 2013¹³. Por otra parte, las importaciones de productos estratégicos complementan la producción nacional y sigue habiendo déficit en la balanza comercial agroalimentaria.

¹³ SAGARPA. (27 de 06 de 2016). *Servicio de información Agroalimentaria y Pesquera*. Obtenido de Servicio de información Agroalimentaria y Pesquera

Estudios de impacto sobre el cambio climático y la agricultura para México tienen más de dos décadas, muestran que la agricultura de temporal y el sector primario en general son vulnerables a los impactos del cambio climático; estos han sido más estudiados en la producción agrícola y los sistemas forestales, no así para la producción ganadera y la pesca. La sequía es la más documentada¹⁴, ya que ha causado las mayores pérdidas a la agricultura estimándole el 50 % del total de las pérdidas registradas, además de rendimientos que han venido a menos en los últimos años. Al estudiar posibles cambios en el periodo de crecimiento, Conde et al. (2000). Estimaron para la parte central de México que el cambio en general puede ser negativo, reduciéndose el periodo de crecimiento al aumentar la demanda evapotranspirativa y disminuir los días con humedad aprovechable, sin embargo, este periodo de crecimiento puede aumentar en alturas mayores a 2000 msnm al aumentar el periodo libre de heladas y tenerse humedad aprovechable para los cultivos. Se reconoce la falta de estudios sobre otros factores que afectan el desarrollo de la actividad agrícola, como son dinámica de plagas y enfermedades bajo escenarios de cambio climático y la afectación de la elevación del nivel del mar en las áreas agrícolas de las zonas costeras, por la erosión y salinización de los mantos freáticos.

En función de estas señales se realizan acciones como adelantar o retrasar fecha de siembra, incrementar la cantidad de plantas por unidad de área, aplicar insumos si la temporada parece favorable, modificar el manejo del cultivo, cambiar las variedades empleadas, concentrar el cultivo en zonas de producción con clima más propicio o diversificar los ingresos del productor mediante otras actividades asociadas al sector agrícola.

Es importante recalcar investigaciones como las realizadas por Abarraran (2007, 2011) en colaboración con otros autores, en las que elabora una estimación de los costos derivados del cambio climático en la agricultura. Entre los resultados encontrados, indica que se tendrán los siguientes efectos:

a) La importación de alimentos aumentará creando un problema de balanza de pagos.

¹⁴ Gay y Garcia, C., & Rueda Abad, J. (2015). *Reporte Mexicano del cambio climatico*. Mexico, D.F. pag. 97

- b) Afectara de manera desproporcionada a los más pobres que están empleados mayormente en estos sectores y gastan una proporción importante de su presupuesto en comida y servicios alimenticios.
- c) Los campesinos pobres no podrán subsistir de su producción agrícola.

La soberanía alimentaria tiende a agravarse asociado al ritmo de crecimiento de la población y por ende la demanda de alimentos. En México se tiene un déficit en la balanza comercial agroalimentaria y si a ello sumamos que el sector agropecuario es uno de los sectores más vulnerables ante el cambio climático, el reto de la seguridad alimentaria es aún mayor. A pesar de su relevancia, este tema no ha sido prioritario en el debate por muchos años, no se encuentran trabajos publicados que evalúen directamente los efectos del cambio climático sobre la soberanía o la seguridad alimentaria, incluso sobre el comercio de los alimentos como un factor que también influye en ambos conceptos, solo se tienen estudios y predicciones indirectos enfocados a los efectos en la agricultura, la ganadería, forestaría y pesca, y de estos se derivan las consecuencias hacia la seguridad alimentaria¹⁵.

Por otra parte, los Planes de Desarrollo Urbano de la ciudad, no parecen tocar el tema de alimentación y han ido sacrificando las áreas verdes y de reserva forestal a favor de un crecimiento urbano descontrolado y la especulación de la tierra. Específicamente la zona oriente de la ciudad entendida como zona productiva durante toda su historia, y que en la actualidad está creciendo al ritmo que la ciudad se lo pide, ha olvidado sus áreas de producción que han servido para consumo de la ciudad y de su mano de obra que sigue desaprovechada, apostando por negocios de pronta devolución económica.

De igual forma los programas desarrollados en la Ciudad de México y Estado de México¹⁶, para hacer frente a la seguridad alimentaria se quedan a consideración personal cortos, al asegurar solo el suministro de alimentos y/o despensas y no buscar los medios para generar el propio recurso para su población.

¹⁵ Gay y García, C., & Rueda Abad, J. (2015). *Reporte Mexicano del cambio climático*. Mexico, D.F.

¹⁶ CONEVAL, Dimensiones de la seguridad alimentaria: Evaluación Estratégica de Nutrición y Abasto. 2010. <http://www.coneval.org.mx/Paginas/principal.aspx>

La tarea esta justamente en integrar e incorporar el tema de alimentación como parte del diseño urbano y arquitectónico, para acortar la distancia física y conceptual entre nosotros y nuestra alimentación.

Pienso que la Ciudad de México casi depende exclusivamente de la importación de recursos para satisfacer sus necesidades básicas diarias. Alimentos y otros materiales esenciales y los bienes son transportados desde largas distancias, a menudo a través de continentes, que resulta en la emisión de gases nocivos de efecto invernadero.

La globalización ha facilitado el intercambio de información y las ideas, avance de la tecnología y el progreso a alturas que nunca, ha contribuido a la difusión de las culturas y la tolerancia y dio lugar a la aparición de organizaciones internacionales, pero la globalización socava la capacidad de recuperación de la economía local, creando una innecesaria y la dependencia malsana de los productos extranjeros que las comunidades podría producir en casa. Como resultado de la globalización, el consumidor ha sido separado del productor y de ese modo afecta negativamente la economía local. Por lo que se necesita un cambio de paradigma -Autosuficiencia local- (Morris, 1987; Shuman, 1998). Las localidades deben ser capaces de obtener al menos sus necesidades básicas de alimentos, energía, agua y materiales¹⁷.

La globalización económica concentra su poder en ciudades específicas, en consecuencia un uso excesivo y no planificado de la tierra se lleva a cabo. Además, esto nos lleva a la cuestión de la falta de legislación sobre esas parcelas amenazadas por el crecimiento urbano.

La expansión urbana ocupa de manera parcial o incompleta de las zonas rurales entre remanentes. Estos restos se convierten en una mezcla compleja de zonas rurales y urbanas, es decir, espacios híbridos. En consecuencia, el límite entre las zonas rurales y urbanas se difumina, aunque los estilos de vida urbanos, generalmente, terminan imponiéndose. La esperanza por lograr mejores condiciones de vida mediante la migración de un país a ciudades desaparece rápidamente. Como resultado de las nuevas condiciones ambientales,

¹⁷ Morris, Douglas (1987) Ecological Scale and Habitat Use.

las tradiciones y costumbres fueron desplazadas a pequeñas áreas urbanas, solares, jardines, terrazas y tejados.

A pesar de su reconocimiento legal, la agricultura urbana se ve amenazada por las presiones del desarrollo urbano, especialmente en las zonas centrales de la ciudad. Los nuevos proyectos están surgiendo, y los existentes se refuerzan como resultado de una mayor conciencia ambiental de la sociedad, el interés en los productos producidos saludables y localmente, la oportunidad para la cooperación en iniciativas relacionadas con la salud, la educación, la biodiversidad, la inclusión social, etc. la agricultura urbana debe ser considerada como una clasificación de tierras en los reglamentos de planificación urbana¹⁸.

La elección del método de producción será distinta en función de las circunstancias de cada comunidad y sus preferencias. La agricultura urbana tiene el potencial de aumentar el acceso a saludables y nutritivos alimentos, cambios que conducen a un aumento de la ingesta de vegetales, mejora el medio ambiente, el mayor espacio verde también puede reducir el efecto isla de calor urbano, lo que resulta en un menor consumo de aire acondicionado, la reutilización de residuos de cocina como abono, lo que resulta en menos costos de recolección de residuos para la ciudad. La reorientación de las aguas pluviales a la producción de alimentos reduciría el coste de la gestión de las aguas pluviales.

La localización de los alimentos también requeriría una considerable capital financiero, la participación del gobierno, el compromiso público, y el trabajo, “incluso si una ciudad no alcanza el 100% de la autosuficiencia, hay importantes beneficios económicos para aumentar el nivel de la producción local de alimentos”¹⁹.

¹⁸ Roubelat Marques, L., & Armijo Plaza, G. (2012). Urban Agriculture in the Metropolitan Area of Santiago de Chile. *PLEA2012 - 28th. Conference, Opportunities, Limits & Needs Towards an environmentally responsible architecture*. Lima, Perú.

¹⁹ Sharanbir, G., & Parwinder, G. (2012). Can cities become self-reliant in food? *Cities*, 1-11.

1.4 Contribuciones

En una época cuando las poblaciones van en crecimiento y las ciudades están en auge, ¿podríamos ver pronto los rascacielos convertidos en centros para la producción de cultivos?²⁰

Algunas estrategias de adaptación que deben formar parte sustantiva de las acciones a implementarse para atender la problemática descrita de afectación del cambio climático a los sectores agropecuarios, forestal y de pesca, mismos que son fundamentales en la producción de alimentos y la seguridad alimentaria, que da el IPCC, son los siguientes:

Investigación y Formación de recursos humanos: Se requiere apoyo a proyectos de investigación y equipamiento de laboratorios para Centros de Investigación e Instituciones de Enseñanza Superior, para la formación de recursos humanos especializados, tanto en México como en el extranjero; creación de programas interinstitucionales de licenciatura y posgrado enfocados a solución de problemas relacionados en torno al cambio climático y la producción de alimentos.

Agricultura: Dado que el recurso agua será cada vez más escaso en las áreas afectadas por sequía, es necesario visualizar y evaluar las ventajas de la agricultura protegida y el apoyo político, tecnológico y económico para la agricultura de temporal, así como la implementación de sistemas más eficientes de riego en donde se cuente con agua. Asimismo, son necesarios estudios específicos sobre aparición y expansión de plagas y enfermedades agrícolas que se prevén en los escenarios de cambio climático, para diseñar estrategias de combate y control de las mismas.

Dentro de las alternativas que existen para dar solución a la problemática de la producción de alimentos sanos se encuentran: el campo abierto, el ambiente controlado con apoyo de la hidroponía y actualmente los estudios de torres de producción de alimentos o “Vertical farming” (*ver modelo de análisis 1*).

²⁰ Davis, N. (06 de 02 de 2014). *Vertical farming explained: how cities could be food producers of the future*. Recuperado el 10 de 2015, de The Guardian: <https://www.theguardian.com/science/2014/feb/06/vertical-farming-explained-erik-murchie>

El campo abierto, o 2D por considerarse largo por ancho, es una alternativa probada que ha generado algunos problemas como la aparición de plagas y en consecuencia el uso de fertilizantes y plaguicidas, ocupa grandes extensiones de tierra para su producción con un impacto negativo sobre los recursos naturales y medio ambiente, su desarrollo se ha ido desplazando fuera de las ciudades, por lo que es necesario el transporte para el abasto que es una de las causas de pérdidas y desperdicios en la cadena de suministro y la generación de contaminantes causados por el transporte; además de la producción en tierras contaminadas o el uso de agua negra para su riego presentan riesgos en la salud. Dentro de sus ventajas es el menor costo en su producción.

El ambiente controlado, o 2D Agricultura Bajo Cubierta con ambiente protegido, con sistemas hidropónicos es una alternativa que ha generado buenos resultados, ha permitido incrementar la productividad gracias al control sobre la parte aérea de las condiciones ambientales adecuadas y sobre los nutrientes que necesita el cultivo, dotando los requerimientos necesarios para su crecimiento. Al encontrarse en un ambiente independiente de factores externos, el control y manejo de plagas se desarrolla mejor que en campo abierto. Gracias al incremento en las investigaciones en este campo, ha existido mejor aprovechamiento del agua, mayor conocimiento de los cultivos, en consecuencia mejores rendimientos. Sigue utilizando la misma superficie que en campo abierto y desarrollándose fuera de las ciudades con el uso de transporte para abasto, aunque ya existen algunas unidades trabajando dentro de las ciudades en azoteas o huertos urbanos. Es de notar que los productos generados dentro de estos ambientes al ser de gran calidad se utilizan comúnmente para exportación.

¿Qué falta para el desarrollo a través de la tecnología? Algunos estudios cuantitativos empiezan a desarrollarse con el conocimiento del ambiente controlado más hidroponía al interior de torres de producción o 3D²¹ por considerarse la producción en un largo por ancho por determinada altura bajo ambientes controlados del exterior; existe poca experiencia y muchas preguntas del funcionamiento que se tratan de responder gracias a la investigación. Dentro de las ventajas se encuentran el mayor incremento productivo con

²¹ Curso Introducción a la Hidroponía, Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de preparatoria Agrícola. Generalidades y principios, Rómel Olivares Gutiérrez

menor extensión en el uso de tierra, la producción en vertical genera alimentos nutritivos dentro de las ciudades y se evitarían gastos generados por el transporte como el uso de energía, promoviendo ahorros energéticos y reducción de CO₂; el reciclaje de agua y de residuos orgánicos están presentes, pueden producir en contra estación ya que ofrecen protección del medio ambiente y los problemas causados por el cambio climático; puede crearse ordenación urbanística y oportunidades económicas. Algunas dudas que genera son las relacionadas por los gastos de construcción de estas estructuras verticales, el consumo energético que generan, el uso de agua dentro de las ciudades y en consecuencia el encarecimiento del producto.

Este tipo de investigaciones debe generar nuevas líneas de exploración dentro de esta latitud, con temas relacionados con cadenas de ventas sin uso de automóviles para su compra, con el uso de la tecnología donde el cliente solicita el producto y tiene la opción de distintos medios de pago, de recogida en tienda, entrega en el hogar o renta de charolas. Deberá adaptarse a problemas relacionados con el agua ante la escasez que se presenta de esta, utilizando aguas residuales o de lluvia para su tratamiento, desarrollar medios tecnológicos que aseguren un mayor rendimiento del líquido. El uso del desperdicio de determinados cultivos puede generar producción de electricidad como lo señalan investigaciones recientes. El productor ahora empresario debe estar actualizado o hacer investigación de los sistemas productivos que le generen productos de valor y competencia. Las instalaciones apuntan a evolucionar para ser sistemas automatizados o mecanizados que podrán mejorar aún más su eficiencia, por medio de software específico que lleven a cabo el control de la empresa, o mejorar el flujo de la información para prevenir riesgos.

Es necesario de los servicios de consultoría para su operación, mantenimiento, así como estar bajo normatividad y planeación adecuada en su manejo, esta normatividad debe prever no saturar el mercado mediante el análisis socio – económico, que nos dé resultados óptimos de ubicación y rendimientos, entendiendo el contexto y la capacidad de consumo de la población. Los servicios de consultoría y el productor deberán garantizar la calidad del producto, mediante acuerdos que se comprometan a respetar procesos productivos y cumplir una serie de condiciones, que garantizaran productos de alta calidad y competitivos dentro de la industria alimentaria.

1.5 Modelo de análisis 1

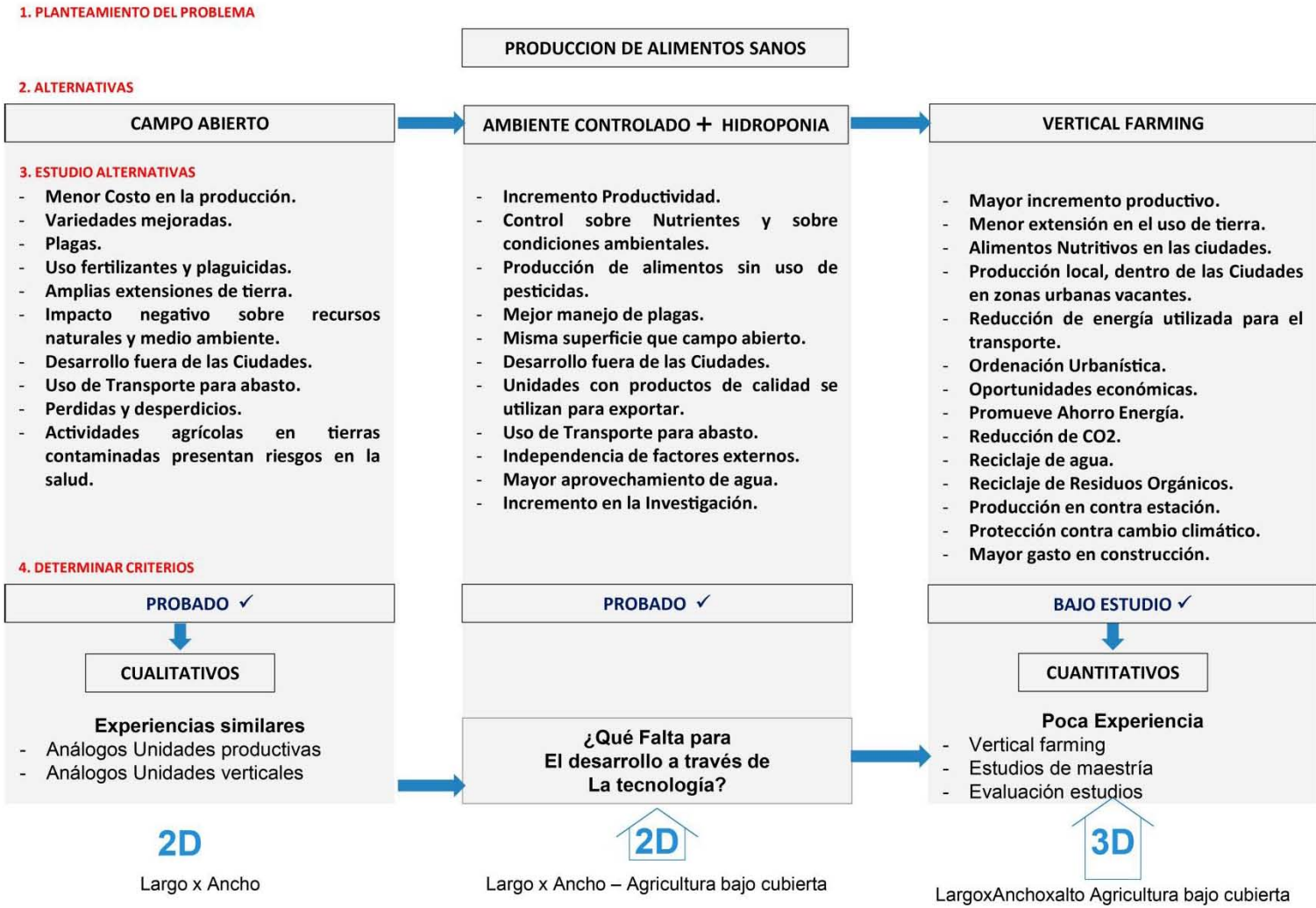


Figura 1. 2 Modelo de Análisis. Desarrollado por autor

MATRIZ FODA. metodología de estudio de la situación del proyecto, analizando sus características internas (Fortalezas y Debilidades) y su situación externa (Oportunidades y Amenazas) en una matriz cuadrada.

	FORTALEZAS	DEBILIDADES
AGRICULTURA VERTICAL	<ol style="list-style-type: none"> 1. Uso optimo del espacio Vertical. Incremento de Productividad. 2. No existen malas cosechas relacionada al clima. 3. Producción en contra estación. 4. Reciclaje de agua y residuos. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Alto costo para dotar los requerimientos de cultivos (luz, CO2, agua) 2. Zonas de bajos ingresos no tienen acceso a alimentos saludables. 3. Se necesitan estructuras mas sofisticadas y mas costosas.
OPORTUNIDADES	ESTRATEGIAS FO	ESTRATEGIAS DO
<ol style="list-style-type: none"> 1. Demanda de Alimentos nutritivos y de calidad. 2. Asegurar el mínimo desperdicio. 3. Respuesta ante cambio climático. 4. Venta de productos fuera de su zona agroclimática. 5. Forman redes sociales compartidas. 6. Utilización de energías renovables. 	<p>F1, O1, O2: Aplicación de recursos para la industrialización alimentaria, con el objetivo de mejorar su productividad y satisfacer su demanda. Que todo el proceso cierre su ciclo, aprovechando cada parte del sistema.</p> <p>F2, O3: Desarrollo de investigación que haga eficiente el sistema, cerrando ciclos de aprovechamiento.</p> <p>F3, O4: Diagnósticos sobre la situación económica que dote producto de valor.</p> <p>F4, O5,O6: Mecanismos de participación ciudadana que fomente el adecuado uso de los recursos.</p>	<p>D1, O1, O2: Analizar datos de la energía consumida para la obtención de alimentos sanos dentro de ambientes controlados, pueden detectar riesgos y diseñar estrategias para la cosecha de energía renovable en esta latitud.</p> <p>D2, O4, O5: Involucrar y capacitar a la mano de obra genera empleos y el crecimiento socio-económico.</p> <p>D3, O3, O6: Establecerlos como Negocios de gran rentabilidad que compitan con bienes raíces, se justifiquen por el ahorro de espacio, generen áreas verdes y regulen la energía para su desarrollo.</p>
AMENAZAS	ESTRATEGIAS FA	ESTRATEGIAS DA
<ol style="list-style-type: none"> 1. Escepticismo ya que no se ha demostrado su viabilidad. 2. Oportunidad solo en determinado mercado. 3. Subsidios. 	<p>F1,A1: Iniciativa de investigación que permitan evaluar procesos de producción y obtengan las garantías mínimas de seguridad alimentaria.</p> <p>F2,F3,A2: Seguimiento económico de gastos por desperdicios, transporte, etc. contra ahorros generados por su capacidad autosuficiente.</p> <p>F4,A3: Implementación de la tecnología para la cosecha energética puede mejorar comercialidad.</p>	<p>D1,A1: Eliminar dudas gracias a la investigación multidisciplinaria para dar respuestas y crear estrategias viables, como lo trata de hacer este trabajo.</p> <p>D2,A2: Implementación en mercados potenciales para mejorar su comercialidad.</p> <p>D3,A3: Visualizarse como oportunidades de implementación de productos de alto valor y de esta manera evitar competencias.</p>

Figura 1. 3 Matriz FODA

Análisis basado en el artículo, **Up, Up and Away! The Economics of Vertical Farming** de Lucie Adenauer. Tutor: Chirantan Banerjee, INSTITUTE FOR FOOD AND RESOURCE ECONOMICS. UNIVERSITY OF BONN, GERMANY, November, 2013. Publicado en Journal of Agricultural studies, 2014, Vol. 2. No. 1.

2. DESARROLLO TECNOLÓGICO

2.1 Agricultura Urbana

La agricultura urbana También conocida como peri urbana es la práctica de un tipo de agricultura con cultivos dentro o en los alrededores del área urbana²². La tierra usada puede ser privada, pública, residencial o calles pública. La agricultura urbana se realiza para actividades de producción de alimentos. Contribuye a la soberanía alimentaria y a alimentos seguros de dos maneras: incrementando la cantidad de alimentos disponibles para los habitantes de ciudades, y en segundo lugar provee verduras y frutas frescas para los consumidores urbanos.

Debido a que promueve el ahorro de energía la producción local de alimentos, la agricultura urbana y periurbana son actividades de sostenibilidad. También plantea otro tipo de problemas y conflictos sociales, derivados por ejemplo de la utilización de terrenos privados abandonados para la ubicación de "huertos familiares" clandestinos. También estas actuaciones incontroladas pueden plantear problemas derivados de la falta de calidad de las aguas utilizadas para el riego, a menudo aguas residuales. Requiere además de un tipo de gestión que va más allá del agronómico o incluso lo social, pues pasa a ser un aspecto de ordenación urbanística.

La creación de una infraestructura basada en la comunidad para la agricultura urbana significa el establecimiento de sistemas locales para crecer alimentos, procesos y transferirlo desde el agricultor para el consumidor. Para facilitar la producción de alimentos, las ciudades han establecido proyectos agrícolas basados en la comunidad, estos proyectos buscan vincular productores con tierra, por lo general, espacio en el patio residencial o jardines en el techo permiten a los habitantes urbanos mantener los espacios verdes de la ciudad sin tener que dejar de lado una zona de la suelo no urbanizable.

En el hemisferio norte, a menudo toma la forma de un movimiento social para las comunidades sostenibles, donde los productores orgánicos, forman redes sociales fundadas en una ética compartida de la naturaleza y el holismo comunidad. En el sur el desarrollo, la seguridad alimentaria, la nutrición y la generación de ingresos son las motivaciones principales para la práctica.

²² Bailkey , M., & Nasr , J. (2000). *From Brownfields to Greenfields: Producing Food in North American Cities*. Community Food Security News.

Lisboa, Portugal: Espacios cultivados dentro de la metrópolis de Lisboa ocupaban cerca de un 32%. La expansión del espacio construido es un hecho irreversible por toda la Región Metropolitana de Lisboa, no siempre acompañada por un aumento de población residente. En el valle del río Tajo, en el entorno inmediato de Lisboa, se extiende una de las mayores empresas públicas portuguesas -Compañía de las Lezírias- 20 000 ha de notable ecológico y área de usos agropecuarios. Dada la extensión de cultivos forrajeros, la creación de ganado es importante para producción de carne, actividad destinada a venta en grandes superficies comerciales. Los Planes Directores contemplan claramente dos categorías de espacios protegidos: Reserva Ecológica Nacional (REN) y Reserva Agrícola Nacional (RAN). Son diseñadas bajo el concepto de propiedades agrícolas preexistentes, bajo criterios de resguardo²³.

Santiago, Chile: Un muestreo a la ocupación agropecuaria de la capital chilena ha evidenciado que, si en el interior del tejido urbano son pocos los huertos y patios cultivados, existen municipios periféricos constituidos en un primer anillo periurbano. Son negocios de gran rentabilidad cuyos suelos de riego son tan valiosos que superan los usos urbanos.

En 1979 se modificaron los límites urbanos previstos en el Plan Regional Intercomunal, a través de la creación del área de expansión urbana que ha logrado ampliar la ciudad a 105 000 ha. La supervivencia de parcelas de usos agroecológicos se debe al ingenio de sus propietarios, que persisten en mantener cuñas verdes en el borde. Conclusión sigue presente en la gente, el anhelo de ciudades sanas, verdes y sustentables.

Cleveland, USA: Se lleva un estudio en la Ciudad, sobre el consumo y gastos; aproximadamente el 1,7% autosuficiente en productos frescos y un 0,1% autosuficiente en total de alimentos y bebidas. En cambio si se utiliza el rendimiento más bajo (jardinería urbana convencional) y sólo el lotes baldíos, Cleveland serían capaces de alcanzar el 22% la autosuficiencia en productos frescos (ambos verduras y frutas) mientras que utilizando el más alto rendimiento vegetal (producción hidropónica bajo condiciones controladas del medio ambiente) y toda la superficie terrestre y la azotea disponibles, Cleveland podría alcanzar el

²³ María Madaleno, I., & Armijo, G. (08 de 2004). *Agricultura urbana en metrópolis iberoamericanas: estudio de casos en Santiago de Chile y Lisboa, Portugal*. Recuperado el 09 de 2016, de Investigaciones Geograficas: <http://www.revistas.unam.mx/index.php/rig/article/view/30131>

100% la autosuficiencia, este estudio muestra que la reducción de las fugas económico local anual de Cleveland estaría entre \$ 29 M y \$ 115 M²⁴.

New York, USA: La agricultura integrada en el edificio (BIA building-integrated agriculture), donde los sistemas agrícolas se encuentran en los edificios, utilizando fuentes de energía renovables y agua. Están diseñados para aprovechar las sinergias entre el entorno construido y la agricultura. Con características como sistemas de captación de agua de lluvia y el enfriamiento por evaporación. Nueva York tiene suficiente en la azotea de bienes raíces para satisfacer 100% de la demanda de vegetales frescos para toda la población de la ciudad. BIA es una estrategia sostenible para el medio ambiente para la producción urbana de alimentos que reduce nuestra huella ambiental, reduce los costos de transporte, mejora la seguridad alimentaria / seguridad, enfría edificios y combate el calentamiento global²⁵.

La Habana, Cuba: Debido a la escasez de combustible y, por tanto, las deficiencias graves en el sector de transporte, el 90% de los productos frescos de la ciudad provienen de granjas y huertos urbanos locales. (Ministerio cubano de agricultura).

China: el Aumento de Beijing en la superficie terrestre, condujo a su adopción con más del 70% de los alimentos no básicos. El primer nivel abordado desde centro de la ciudad produce artículos perecederos. En el segundo, vegetales más resistentes se cultivan como las papas, las zanahorias y las cebollas.

2.2 Agricultura vertical (Vertical Farming)

Vertical Farming o Agricultura vertical, es un concepto de la agricultura con uso de tecnología para cultivar plantas dentro de edificios de varios pisos o rascacielos. En estos edificios, que funcionarían como invernaderos de gran dimensión, se usarían tecnologías como la hidroponía o aeroponía para cultivar las plantas. Algunos diseños incluyen la práctica de ganadería (sobre todo avicultura) o acuicultura en los pisos inferiores, convirtiéndose así en sistemas de acuaponía.

²⁴ Sharanbir, G., & Parwinder, G. (2012). Can cities become self-reliant in food? *Cities*, 1-11.

²⁵ Gould. (2012). Building-integrated agriculture: a new approach to food production. *Metropolitan Sustainability*, 147-170.

Funciona con distintas tecnologías que existen en la actualidad, en conjunto de manera cíclica. Son edificaciones donde crecen hortalizas por medio de sistemas como la acuaponía, hidroponía, aeroponía, estos sistemas de cultivo sin suelo (tierra), permiten que exista un control más estricto acerca de los nutrientes y el pH de las plantas, fortaleciendo su crecimiento de manera orgánica y teniendo un cultivo libre de parásitos, sin necesidad de pesticidas ni fertilizantes, bajo condiciones controladas de invernadero. Permite producir cosechas en contra estación, independencia de fenómenos meteorológicos, menos espacio para una mayor producción, ahorro de agua que se puede reciclar; y producir energía mediante su propio sistema, por ejemplo, por medio de paneles solares, energía eólica.

La agricultura vertical produce un aumento en el rendimiento de los cultivos sin aumentar la superficie de tierra destinada para los cultivos. Si pudiéramos mover un poco de esa tierra desde el campo a la ciudad y producir un poco de esos alimentos cerca de donde existen altas concentraciones de población, entonces podríamos tener un impacto real.

La belleza de las granjas verticales es que se puede ir tan alto como se quiera, si se dispone de un sistema que funcione de manera eficiente. El único riesgo que se corre es llevar las cosas que las plantas necesitan, tales como el agua y los nutrientes, hasta donde se encuentren. Y hacer eficiente el cómo se mueve el producto dentro del edificio.

En consecuencia varios autores de diferentes ramas han escrito sobre las posibilidades de Vertical Farming, Alemania, China, Emiratos Arabesm Corea, Estados Unidos y países de primer mundo tratan de responder con investigación a las interrogantes que existen ya que la actual trayectoria de crecimiento de la producción agrícola es insostenible, debido a sus impactos negativos sobre los recursos naturales y el medio ambiente. La expansión de la agricultura a coste de los bosques, el uso industrial del agua, o el uso recreativo de la tierra.

2.3 Ambiente controlado

Sistema de producción donde se aplican herramientas tecnológicas que permiten el control de condiciones ambientales de la parte aérea y subterránea, de un cultivo, dentro de los límites considerados como adecuados.

- Ofrece protección contra el cambio climático que reduce la capacidad de adaptación de los sistemas de producción actuales y contribuye a la degradación de los recursos naturales. Se prevé que en el futuro se agraven importantemente las subidas de temperatura, los cambios en los patrones de precipitación y los fenómenos meteorológicos extremos.
- Aunque los estudios han demostrado la mejora de la calidad del aire en las zonas urbanas relacionadas con la proliferación de huertos urbanos, también se ha demostrado que el aumento de la contaminación urbana (relacionado específicamente a un fuerte aumento en el número de automóviles en la carretera), ha dado lugar a un aumento de la plagas de insectos, que consumen las plantas producidas por la agricultura urbana.
- Rendimientos reducidos dentro de los jardines urbanos disminuye la cantidad de alimentos disponibles para el consumo humano.
- Los estudios indican que la calidad nutricional del trigo sufre cuando las plantas están expuestas a alta concentraciones de dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre. Este problema es especialmente grave en el mundo en desarrollo y la población depende de la agricultura urbana como una fuente primaria de alimento²⁶.
- Las actividades agrícolas en tierras que están contaminadas (con metales tales como plomo) presentan riesgos potenciales para la salud humana. Estos riesgos están asociados tanto con el trabajo directo en tierra contaminada y con el consumo de alimentos cultivados en él²⁷. (McClintock, 2012)
- Mejora la eficiencia en el uso de los recursos para la agricultura sostenible y logra proteger y mejorar los medios de vida rurales y el bienestar social.
- Asegurar el mínimo de desperdicio de alimentos, generado en toda la cadena de suministro, desde la producción inicial hasta el consumo final de los hogares. Hasta un tercio de todos los alimentos se estropea o se desperdicia antes de ser consumido por las

²⁶ Bell. (2011). Los efectos de la contaminación del aire en los ecosistemas urbanos y la agricultura. *Revista Internacional de Desarrollo Sustentable y Ecología Mundial*, 226-236.

²⁷ McClintock, Nathan. (2012). Evaluación de la contaminación por plomo en múltiples escalas en Oakland, California: implicaciones para la agricultura urbana y la justicia ambiental. *Geografía Aplicada*. Pags. 460-473

personas. Problemas en la recolección, almacenamiento, embalaje, transporte, infraestructura o a los mecanismos de mercado. Hasta un 45% de pérdidas de frutas y hortalizas se desperdician²⁸.

2.4 Pérdidas y desperdicios

Con «pérdidas de alimentos» nos referimos a la disminución de la masa de alimentos comestibles en la parte de la cadena de suministro que conduce específicamente a los alimentos comestibles para el consumo humano. Las pérdidas de alimentos tienen lugar en las etapas de producción, pos cosecha y procesamiento de la cadena de suministro de alimentos. Las pérdidas de alimentos que ocurren al final de la cadena alimentaria (venta minorista y consumo final) se conocen como «desperdicio de alimentos», más relacionado con el comportamiento de los vendedores minoristas y los consumidores²⁹.

Las pérdidas o el desperdicio «alimentarios» se miden únicamente para los productos destinados al consumo humano, por lo que quedan excluidos los productos que no son comestibles. Por definición, las pérdidas de alimentos o el desperdicio son masas de alimentos que se tiran o desperdician en la parte de las cadenas alimentarias que conducen a productos comestibles destinados al consumo humano. Por ello, los alimentos que estaban destinados en un principio al consumo humano pero que el azar ha sacado de la cadena alimentaria humana se consideran pérdidas o desperdicio de alimentos, incluso cuando posteriormente son utilizados para un uso no alimentario (bioenergía, etc.). Este enfoque distingue entre usos no alimentarios “planeados” y usos no alimentarios “no planeados”, que aquí se han tenido en cuenta como pérdidas.

La cuestión de las pérdidas de alimentos es muy importante en los esfuerzos para combatir el hambre, aumentar los ingresos y mejorar la seguridad alimentaria en los países más pobres del mundo. Las pérdidas de alimentos afectan a la seguridad alimentaria de los pobres, a la calidad y la inocuidad alimentarias, al desarrollo económico y al medioambiente. Las causas exactas de

²⁸ FAO (2014). Pérdidas y desperdicios de alimentos en el mundo. Estudio realizado para el congreso Internacional SAVE FOOD. Alemania.

²⁹ Parfitt, J., Barthel, M., & Macnaughton, S. (16 de 08 de 2010). *Food waste within food supply chains: quantification and potential for change to 2050*. Recuperado el 04 de 2016, de Philosophical Transactions of the royal society B: <http://rstb.royalsocietypublishing.org/content/365/1554/3065>

las pérdidas de alimentos varían en las diferentes partes del mundo y dependen sobre todo de las condiciones específicas y situación local de cada país. En términos generales, las pérdidas de alimentos están influenciadas por las elecciones tomadas en la producción de cultivos y sus patrones, la infraestructura y capacidad internas, las cadenas comerciales y los canales de distribución, así como por las compras de los consumidores y las prácticas de uso de alimentos.

Las pérdidas de alimentos deberían mantenerse al mínimo en cualquier país, independientemente de su Nivel de desarrollo económico y de la madurez de sus sistemas.

Las pérdidas de alimentos conllevan el desperdicio de recursos utilizados en la producción, como tierra, agua, energía e insumos. Producir comida que no va a consumirse supone emisiones innecesarias de CO₂ además de pérdidas en el valor añadido de los alimentos producidos. Cabe mencionar que la inseguridad alimentaria es, a menudo, más una cuestión de acceso (poder adquisitivo y precio de los alimentos) que de suministro. Mejorar la eficiencia de la cadena de suministro de alimentos puede ayudar a disminuir el coste de los alimentos para el consumidor y, así, aumentar el acceso a estos.

Aproximadamente un tercio de las partes comestibles de los alimentos producidos para el consumo humano se pierde o desperdicia, lo que representa alrededor de 1,300 millones de toneladas al año. Los alimentos se desperdician a lo largo de la cadena de suministro de alimentos, desde la producción agrícola inicial hasta el consumo final en el hogar. En los países de ingresos altos y medianos, los alimentos se desperdician en gran medida, lo que significa que se tiran incluso si todavía son adecuados para el consumo humano. En los países de ingresos bajos, los alimentos se pierden principalmente durante las primeras etapas y etapas intermedias de la cadena de suministro de alimentos y se desperdician muchos menos alimentos en el consumo.

Las pérdidas de alimentos en los países industrializados son tan altas como en los países en desarrollo, pero hay que tener en cuenta que en los países en desarrollo más del 40 % de las pérdidas de alimentos se produce en las etapas de pos cosecha y procesamiento, mientras que en los países industrializados más del 40 % de las pérdidas de alimentos se produce en la venta minorista y el consumo. Los consumidores de los países industrializados desperdician casi la

misma cantidad de alimentos (222 millones de toneladas) que la producción de alimentos neta total del África subsahariana (230 millones de toneladas).

En el grupo de *frutas y hortalizas*, dominan las pérdidas en la producción agrícola en las tres regiones industrializadas. Esto se debe principalmente a la clasificación de las cosechas de frutas y hortalizas impuestas por los estándares de calidad establecidos por los vendedores minoristas. El desperdicio al final también es abundante en las tres regiones, con de 15 a 30 % de las compras por masa desechada por los consumidores. En las regiones en desarrollo, las pérdidas en la producción agrícola dominan el total de pérdidas. Las pérdidas en las fases de pos cosecha y distribución también son graves; esto se debe tanto al deterioro de los cultivos percederos en los climas calientes y húmedos de muchos países en desarrollo, como al carácter estacional que conlleva un excedente imposible de vender. (*Ver Gráfico 2*)

En los países industrializados se pierden (tiran) alimentos cuando la producción excede la demanda. En ocasiones, los agricultores, con el fin de garantizar la entrega de las cantidades acordadas y anticipándose al impredecible mal tiempo o a los ataques de plagas, hacen planes de producción por si acaso y acaban produciendo cantidades superiores a las necesitadas, incluso si las condiciones son “regulares”. Cuando se produce más de lo necesario, una parte de las cosechas excedentarias se vende a los procesadores de alimentos o como comida para animales. Sin embargo, esto no suele ser económicamente rentable puesto que los precios en estos sectores son mucho menores que en el sector minorista.

Desperdicio de alimentos por segmento: 28% en consumo, 28% en producción, 22% en manejo y almacenamiento, 17% en mercado y distribución, 6% durante el procesamiento. Los alimentos que se desperdician a nivel de la venta en América Latina y Caribe podrían satisfacer las necesidades alimenticias de más de 30 millones de personas, es decir, el 64% de quienes sufren hambre en la región. La FAO estima que el 6% de las pérdidas mundiales de alimentos se dan en América Latina y el Caribe.

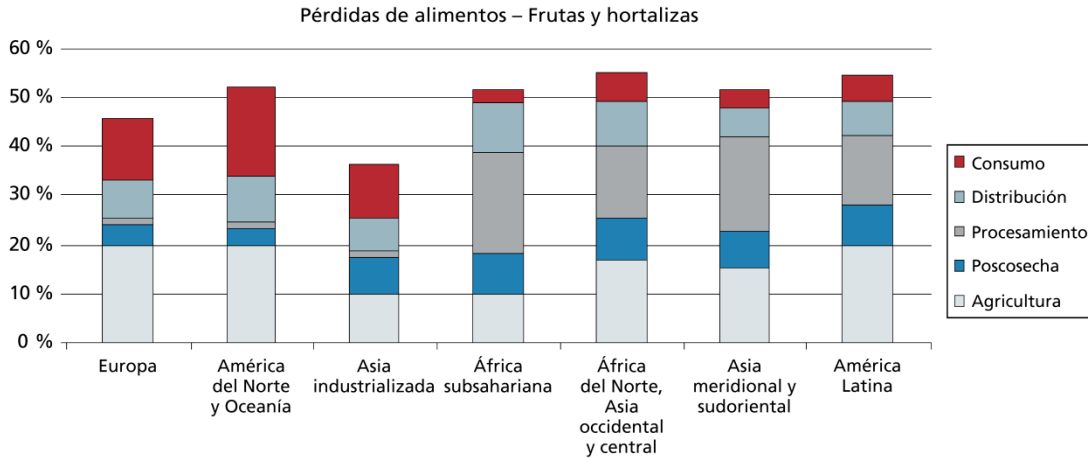


Figura 2. 1 FAO, Pérdidas y desperdicios de alimentos en el mundo 2014

2.5 Hidroponía

Es una Técnica que involucra los cultivos sin tierra, se deriva del Griego Hydro (agua) y Ponos (Labor o trabajo), lo cual significa “Trabajo en Agua”. Es utilizada comercialmente, desarrollándose a niveles muy elevados, en países con limitaciones serias de suelo y agua. Muchos de los métodos hidropónicos actuales emplean algún tipo de sustrato como grava, arena, piedra pómez, aserrines, arcillas expansivas, carbones, cascarilla de arroz, a los que se les añade una solución nutritiva que contiene todos los elementos esenciales para el normal crecimiento y desarrollo de la planta.

Este mecanismo permite desarrollar organismos vegetales a través de sustratos, donde las plantas crecen, otorgándoles los nutrientes necesarios para su desarrollo, no requiere utilizar el suelo y puede ser empleado casi en cualquier lugar.

En la segunda Guerra Mundial tuvo un gran auge, ya que los ejércitos se abastecían en forma hidropónica. La NASA ha desarrollado este tipo de cultivos desde hace aproximadamente 30 años para alimentar a sus astronautas; ha producido con esta tecnología sistema CELSS, o El Sistema de Producción Vegetal (Veggie), Está diseñado para cultivar plantas a bajo costo con

mayor rendimiento y con un alto valor nutricional en el espacio exterior. (Miranda Velázquez, y otros, 2013). Algunas de las razones que justifican el uso de la hidroponía son ecológicas³⁰:

Agua: En México se consumen cada año 73 km³ de agua. El campo consume el 87 %, el uso doméstico el 10% y el industrial el 3%. Desperdiciando el 50% del agua. El cambio de sistema de riego mejora el consumo en la Agricultura que es donde se gasta más agua. Haciendo eficiente el sistema al utilizar la misma cantidad de riego en un sistema tradicional para 1Ha. A un sistema por goteo que con esa misma cantidad se podría regar 6 Ha.

La hidroponía es una técnica donde se es eficiente el uso del agua, por tal es una alternativa. Es de uso diario entre 0.5 y 3.0 litros / planta. El uso de composta ahorra entre un 40 y 50% de agua al retenerla y el uso de nutrientes se puede reducir de igual forma.

Suelo: Son dos problemas los que dificultan el desempeño de los suelos agrícolas: la erosión y la contaminación.

- **Erosión:** Un alto porcentaje dedicados a la agricultura presentan algún tipo de erosión, lo que hace que algunos terrenos sean abandonados, al no brindar los rendimientos esperados. Ante el problema, el cultivo en otro tipo de materiales diferentes al suelo se vuelve una alternativa.
- **Salinidad:** el uso inadecuado de fertilizantes y riego traen que el contenido de sales se vuelva demasiado alto lo que los hace inservibles para la agricultura.
- **Pesticidas:** El uso inadecuado y usando técnicas de aplicación inadecuadas, deja como resultado un desbalance en la cantidad de microorganismos benéficos al suelo.
- **Fitosanitarios:** El uso constante de productos químicos en algunos cultivos intensivos deja problemas severos fitosanitarios y el suelo ya no puede ser usado para producción agrícola por un tiempo.
- **Metales pesados y otros elementos contaminantes tóxicos:** En algunas regiones se practica la agricultura usando aguas negras siendo fuente de contaminación al suelo y las mismas hortalizas, llevando altas cantidades de metales pesados y materia fecal.

³⁰ Morales Parada, J., Miranda Velázquez, I., Reyes Ramirez, D., Gil Vázquez, I., Ramirez Arias, A., Hernández Ortiz, J., y otros. (2014). *Manejo de Cultivos Hidropónicos bajo Invernadero*. México: AGRIBOT.

- **Deficiencias en diferentes nutrientes:** Algunos suelos presentan deficiencias en alguno o varios nutrientes que en ocasiones son difíciles de corregir. Por lo tanto el uso de sustratos artificiales en cultivos hidropónicos tienen otras ventajas adicionales.

Ventajas

- Puede contribuir a la producción de plantas de igual o mejor calidad que las cultivadas en suelo.
- Constituye una opción en condiciones limitadas de suelo, clima y agua.
- Puede ser adaptado a condiciones específicas ambientales, socioeconómicas y tecnológicas.
- Se puede tener un mejor control sobre aspectos de nutrición, pH, densidad, malezas, plagas y enfermedades.
- Mayores rendimientos que en suelo.
- Cultivos libres de parásitos, bacterias, hongos y contaminación.
- Reducción de costos de producción. Menos espacio y capital para una mayor producción. Se evita maquinaria agrícola.
- Independencia de fenómenos meteorológicos. Permite producir cosechas en contra estación
- Ahorro del agua, que se puede reciclar. Ahorro de fertilizantes e insecticidas.
- Alto porcentaje de automatización.

Desventajas

- Por si sola no asegura rendimientos superiores.
- El cuidado de los detalles es lo que otorga el éxito o fracaso.
- Las plantas se vuelven dependientes del hombre y son más susceptibles a desbalances nutrimentales.
- La inversión inicial es alta, en función del sistema a emplear.

Factores Ambientales: Los ecosistemas son los espacios en los que se establecen las condiciones para el desarrollo de distintos organismos, cuando los ambientes naturales se modifican para el desarrollo de la agricultura, se transforman en agro ecosistemas o ecosistemas agrícolas. Las modificaciones pueden ser de tal magnitud que se generan verdaderos sistemas artificiales, donde se recrean condiciones micro ambientales específicas, de acuerdo a las necesidades de los cultivos. *(Ver Figura 2.2)*

La Temperatura, Influye en la fotosíntesis, en la respiración, actividades enzimáticas de las células, en la división y crecimiento de células, en la capacidad de absorción de las raíces, en la disponibilidad de los nutrientes, temperaturas altas, hasta cierto límite, favorecen las funciones

útiles de las plantas, y las bajas temperaturas: disminuyen la fotosíntesis, la respiración, la absorción de agua y nutrientes. En promedio para la mayoría de las especies hortícolas los procesos de germinación se desarrollan entre los 20 - 35°C.

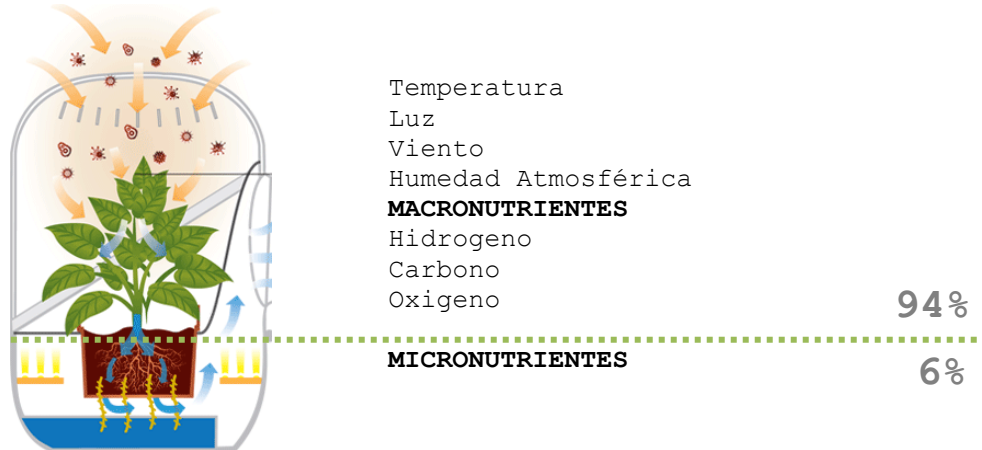


Figura 2. 2 Requerimientos de cultivo, medio ambiente y medio hidropónico

El Fotoperiodo, es el efecto de la duración de la longitud del día sobre el desarrollo de las plantas sobre la floración, si la planta no completa sus requerimientos de fotoperiodo, no puede producir flores, frutos ni semillas. Se clasifican en tres grupos:

- Plantas de día corto, requieren menos de 12 horas de luz
- Plantas de día largo, necesitan más de 12 horas de iluminación
- Plantas de día neutro, se desarrollan bien tanto en días cortos como en días largos.

Las variedades mejoradas tienden a ser de día neutro con la finalidad de que tengan un amplio rango de adaptación.

La humedad relativa es el porcentaje del vapor de agua que en un momento dado y a una temperatura contiene el aire. Controla la temperatura ambiental, una baja humedad relativa incrementa la transpiración de las plantas, determinado porcentaje facilita o dificulta la polinización de las flores. Puede crear condiciones propicias para el desarrollo de plagas y enfermedades 60% a 80%.

La circulación del viento permite la renovación del aire de modo que haya suficiente CO₂ para la fotosíntesis, en la liberación de Oxígeno, Es un agente polinizador de las plantas. Una adecuada ventilación sirve para regular la temperatura del ambiente.

Los ideales de dióxido de carbono, 300 a 400 ppm. Optimo 600 a 800 ppm. Descomponiendo desechos o quemar combustible.

Luz: Es la energía que emite el sol, con longitud de onda dentro del espectro visible de (400-700 nm), tiene influencia:

- Las plantas absorben directamente esta energía y la transforman en energía química por medio de la fotosíntesis.
- La radiación solar determina la distribución geográfica de los climas, plantas y animales.
- Influye en la germinación, crecimiento vegetativo, transpiración, fotosíntesis, respiración y reproducción.

2.6 Iluminación

La tecnología LED, implementada en algunas granjas como en las Plant Factory en Corea, hace posible su utilización con efectos adecuados, ya que el rango de longitud de onda en el que las plantas trabajan se encuentra de los 400 a 700 nm. La irradiación calorífica que emiten los paneles de Led en comparación a las lámparas es mínima, facilitando en gran medida el control del clima durante el transcurso del cultivo, además como no emitirán mucho calor, permiten realizar cultivos en aquellas épocas o zonas más calurosas en las que no se puede cultivar con lámpara de vapor de sodio, a no ser que se instale un aire acondicionado y evitan que la planta este expuesta a calor directo. Según los investigadores de esta área, la tecnología permite el ahorro de hasta un 70% de consumo eléctrico, comparando con lámparas de sodio de alta presión o incandescentes que se utilizaban previamente, ya que una lámpara LED de 120W puede reemplazar un foco de sodio de 400W.

En definitiva, la tecnología no sólo presenta ventajas económicas desde el punto de vista operativo debido al ahorro de energía, sino que también genera un tipo de luz óptima para el crecimiento de las plantas, debido a que sólo emiten luz en los espectros de radiofrecuencia que las plantas necesitan para su crecimiento, correspondientes a las longitudes de onda azules y rojas, necesarios en sus fases de desarrollo vegetativo y reproductivo respectivamente³¹.

³¹ Hernández , R., & Kubota, C. (12 de 11 de 2015). *Respuesta de plántulas de tomate a luces LED*. Recuperado el 11 de 2015, de Hortalizas: http://www.hortalizas.com/cultivos/respuesta-de-plantulas-de-tomate-a-luces-led/?utm_source=knowledgemarketing&utm_medium=newsletter&utm_campaign=pdhenews+11122015&omhide=true

3. SITUACIÓN ACTUAL

La aplicación de herramientas tecnológicas para el incremento de la producción de alimentos sanos, como es la hidroponía y el efecto invernadero o la mayor frecuencia en el uso de energías limpias como la energía solar, resulta en menos desperdicios y utilización de los que existan para la misma cadena de producción.

Se puede resumir en tres puntos estratégicos que se deberían poner en pie en los distintos mercados:

- I. Tecnología, innovación y capacitación para la recopilación de datos, implementación de buenas prácticas e inversiones en materia de infraestructura y capital para mejorar la eficiencia de los sistemas alimentarios.
- II. Gobernanza para el establecimiento de marcos normativos, inversión, incentivos y alianzas estratégicas.
- III. Información y comunicación a través de campañas de sensibilización a cada uno de los actores de la cadena alimentaria como la Iniciativa global SAVE FOOD.

3.1 Autores Relevantes

A pesar de que precedentes arquitectónicos permanecen, los precedentes tecnológicos que hacen posible la agricultura vertical se remonta a la historia de la horticultura a través del desarrollo de efecto invernadero, la tecnología hidropónica y avances recientes en la investigación de producción de hortalizas mediante luz artificial (LED)³².

El termino agricultura vertical fue acuñado por Gilbert Ellis Bailey en 1915 en su libro “*Vertical Farming*”. Uno de los primeros planos de un edificio alto que cultiva alimentos se publicó en la revista *Life* en 1909. Esta propuesta se puede ver en el libro de Rem Koolhaas, *Delirious New York*³³. Otras propuestas arquitectónicas sobre granja vertical, incluyen de Le Corbusier *Immeubles-Villas* (1922) y *Highrise de la WEB de hogares* (1972).

El concepto de Granja Vertical, tiene mayor auge en 1999, desarrollado por el biólogo Dickson Despommier de la Columbia University de Nueva York, para cultivar plantas dentro de edificios de varios pisos o rascacielos. Aunque existen antecedentes como una visión

³² Savinio. (05 de 11 de 2012). <http://www.aryse.org/>. Recuperado el 11 de 2015, de <http://www.aryse.org/http://www.aryse.org/es-la-agricultura-vertical-el-futuro-para-la-produccion-urbana-de-alimentos/>

³³ Koolhaas, R. (2004). *Delirio de Nueva York*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili. Pag. 83.

del físico Cesare Marchetti que en 1979 ideó un concepto similar ³⁴, publicado como respuesta al informe “Los límites del crecimiento” poco antes de la crisis del petróleo, la conclusión del informe fue: *“si el actual incremento de la población mundial, la industrialización, la contaminación, la producción de alimentos y la explotación de los recursos naturales se mantiene sin variación, alcanzará los límites absolutos de crecimiento en la Tierra durante los próximos cien años”*³⁵. La tesis principal del libro es que, *“en un planeta limitado, las dinámicas de crecimiento exponencial (población y producto per cápita) no son sostenibles”*.

Marchetti, trató un concepto teórico de largo alcance para refutar, el estudio “Los límites del crecimiento del Club de Roma”. Se debe invertir en Ciudades Jardín autos sostenibles y asegurar que la producción de alimentos por la agricultura de interior (similar a la agricultura Vertical) y el uso de microorganismos que pueden convertir cualquier sustrato orgánico en alimentos garantizados. El reciclaje debe ser alcanzado, en las ciudades, deben tener un sistema cerrado, excepto la generación de calor sin más impacto en la naturaleza. El informe examina la cuestión de la cantidad de población humana de la tierra puede tolerar. El resultado de este análisis es que desde un punto de vista tecnológico de un billón de personas pueden vivir muy bien en la Tierra, por tiempo ilimitado, sin agotar cualquier recurso primario y sin sobrecargar el ambiente.

En estos edificios, que funcionarían como invernaderos de gran dimensión, se usarían tecnologías como la hidroponía o aeroponía para cultivar las plantas. Despommier afirma que el cultivo de plantas dentro de los rascacielos producirá menos energía utilizando un terreno más pequeño. La vida vegetal se produce más dentro de espacios herméticamente cerrados, ambientes artificiales que tienen poco que ver con el mundo exterior y podrían ser construidos en cualquier lugar. Una de las características más importantes de una granja vertical es que contiene formas de energía renovable, ya sea paneles solares, turbinas eólicas, o un sistema de captura de agua. La granja vertical está diseñada para ser sostenible y permitir a los habitantes cercanos trabajar en ella.

Cada piso tendrá sus propios sistemas de riego y monitoreo de nutrientes. Habrá sensores para cada planta única que rastrea cuánto y qué tipo de nutrientes que la planta ha

³⁴ Marchetti, C. (1979). A check on the earth-carrying capacity for man. *Energy Vol.4*, 1107-1117.

³⁵ Meadows, D. (1972). *Los límites del crecimiento*. Massachusetts : MIT.

*absorbido. Incluso tendrás sistemas para controlar enfermedades de las plantas mediante el empleo de chips de ADN. Por otra parte, un gas nos dirá cuándo recoger la planta por analizar. La posibilidad de construir una granja vertical existe ahora. No tenemos que hacer nada nuevo*³⁶.

Entre 2007 y 2009 en los Emiratos Árabes Unidos una empresa italiana desarrolló una variante del concepto que funciona con agua marina y por lo tanto no gasta agua potable. El concepto, llamado *Seawater Vertical Farm*³⁷, combina las tecnologías del invernadero de agua marina con el concepto desarrollado por Despommier.

En el año 2009 fueron introducidos al mercado los primeros sistemas comerciales de *hidroponía vertical*. En estos sistemas los cultivos crecen en varios niveles verticalmente superpuestos, pero no necesariamente en "pisos" como en edificios. La problemática del gasto de energía por la necesidad de usar luz artificial es resuelta en los primeros sistemas con cultivos rotantes, de la manera que cada planta es expuesta a la luz solamente durante el tiempo necesario para crecer de manera adecuada. La primera granja vertical en Europa que usa este sistema fue inaugurada en septiembre de 2009 en el jardín zoológico de Paignton, Inglaterra, para producir alimentos para los animales del parque³⁸.

Ken Yeang, Arquitecto Malasio, plantea el reto de proyectar de manera ecológica edificios de gran tamaño como los rascacielos. Según Yeang, el "rascacielos" es una forma construida que no desaparecerá. Nos guste o no, seguirán construyéndose edificios de gran tamaño; por tanto, en vez de negarnos a proyectar este tipo de edificios, Yeang propone una mayor conciencia ecológica a la hora de proyectarlos. En sus rascacielos de uso mixto, propone que en lugar de la agricultura de producción masiva herméticamente sellado, que la vida vegetal debe ser cultivada en al aire libre, los rascacielos deben ser de uso mixto para el control climático y el consumo.

³⁶ Cooper, A. (19 de Mayo de 2009). *Going up? Farming in High Rises Raises Hopes*. Recuperado el 2015, de Miller-mccune: Miller-mccune.com

³⁷ Buscador de Arquitectura. (s.f.). *Arquitectura: 2001 a 2010: 2009: Granja Vertical de agua marina*. Recuperado el 10 de 2015, de Buscador de Arquitectura: <http://noticias.arq.com.mx/Detalles/10245.html#.VwiZ5fnhDcf>

³⁸ BBC, N. (30 de 09 de 2009). *Vertical crop system is piloted*. Recuperado el 09 de 2015, de BBC News: http://news.bbc.co.uk/2/hi/uk_news/england/devon/8282288.stm

3.2 Estudios de caso

VERTICROP Paignton, Inglaterra. 2009: Esta tecnología pendiente de patente fue desarrollada para cultivar alimentos de forma natural en los entornos urbanos y representa un cambio de paradigma en la agricultura y producción de alimentos. Que proporciona hasta 20 veces el rendimiento de los cultivos normales de campo, mientras que el uso de sólo el 8% del agua que suelen ser necesarios para el cultivo del suelo. El sistema crece plantas en las bandejas de agua que se mueven sobre una cinta transportadora. Paignton Zoo lo utiliza para cultivar hierbas, verduras de hojas y frutos como alimento para sus animales. El sistema está diseñado para ser "ecológico" por medio de la energía solar o energía eólica, con el agua utilizada para cultivar las plantas que se reciclan. (tm) (Ver Figura 3. 1)



Figura 3. 1 Sistemas de cultivo rotante

SKY GREENS Lim Chu Kang, Singapur. 2009: Consiste en charolas de crecimiento montados sobre un bastidor modular de aluminio y acero, pueden ser hechas a la medida para adaptarse a diferentes cultivos. Funciona de forma rotativa para asegurar que las plantas reciben uniforme la luz del sol, el riego y nutrientes. El marco puede ser de hasta 9 metros de altura con 38 niveles de canales de cultivo. Intensifica el uso de suelo y resulta en al menos 10 veces más rendimiento por unidad. Un entorno protegido asegura que el sistema puede ser relativamente libre de mantenimiento con baja dependencia de la mano de obra. Las charolas giratorias también significan una alta eficiencia de mano de obra. Con el método de inundación para regar las plantas, no hay necesidad de un sistema de rociadores.



Figura 3. 2 Sistema de cultivo vertical

(Figura 3. 2)

LULA FARMS Montreal, Canadá. 2010: 2,976 m². Producen 70 toneladas métricas al año y alimenta aproximadamente a 2000 personas cada semana. Uso de cortinas de energía evita perdida de calor en la noche. Los clientes son residentes cercanos al invernadero y se evita el transporte y refrigeración. Uso de menos refrigeración se compensa con uso de gas natural para calentar en invierno. Controles biológicos para cuidar de plagas dañinas. Recirculación y captación de agua de lluvia, evita la carga al sistema de drenaje y los nutrientes no terminan en lagos y ríos. Programar ventas para recoger el día de la cosecha³⁹. (Figura 3.3)



Figura 3. 3 Lula Farms. <https://lufa.com/en/>

VERTICAL HARVEST Wyoming, USA. 2014: Granja Hidropónica dentro de un Edificio de $9.15 \times 45.75 = 418.61 \text{ m}^2$, para un total de $1,254 \text{ m}^2$ y tener una producción de Anual 45,400 kg. Dentro de sus Características es que su Iluminación es natural y cuenta con un Control de iluminación para invierno, sistemas de programación y control de plagas mediante sensores que monitorean la unidad todo el día. La cosecha vertical está situada en un sitio que es 1/10 de un acre, y podrá producir el equivalente de 5 acres de la agricultura tradicional.⁴⁰ (Ver figura 3. 4)



³⁹ Lufa Farms. (s.f.). Obtenido de <http://lufa.com/en/>

⁴⁰ Vertical Harvest. (s.f.). *Vertical Harvest*. Recuperado el 08 de 2015, de <http://verticalharvestjackson.com/>

Figura 3. 4 Vertical Harvest <http://verticalharvestjackson.com/>

Estos sistemas comienzan a utilizar aspectos tecnológicos para hacer más productiva la obtención de alimentos, como el uso de iluminación LED, o bandejas que se adaptan para crecer y moverse según sus requerimientos. Debido a su buen funcionamiento y la necesidad de seguridad alimentaria, existen propuestas arquitectónicas donde se proyectan edificios de gran altura, donde el ser humano ya no es quien los habita, aunque si hará uso de ellos, y los cultivos son los usuarios a considerar para su diseño.

Algunas tesis incorporan en su programa mercados, centros de educación, Plazas públicas, Restaurantes, laboratorios de investigación, oficinas, vivienda; y los espacios que hacen posible el funcionamiento del edificio o tecnología para la utilización de energías limpias como cuartos de control, comunicación vertical para movilizar el producto, almacenes para captación y tratamiento de agua, paneles fotovoltaicos y sistemas de fachada para captación de energía solar, aerogeneradores.

3.3 Análisis Estudios de casos

Estos modelos analizados estudian algunas ventajas como evitar el uso de maquinaria agrícola, contemplaría el ahorro energético al no hacer uso de fuentes de energía como el petróleo.

Las unidades que producen actualmente están orientadas al aprovechamiento de la luz natural, pocos son los Casos de estudio donde la iluminación LED esta puesta en práctica, pero se ve impulso a su utilización, ya que gracias al aprovechamiento del espacio les genera retorno en la inversión. Al estar bajo un ambiente controlado la ventilación es artificial y todos utilizan la hidroponía como solución en sus distintas variables, como el NFT, raíz flotante o aeroponía que aseguran menos consumo de agua y mejor aprovechamiento. (Ver figura 3.5).

En edificios de gran altura se plantean programas donde conviven varios usos, como oficinas, viviendas, educación, restaurantes y proporcionan grandes cantidades de producción, pero no se especifican estudios de la población que los consumirá, hace falta un análisis donde la demanda no sature el mercado y se vuelvan a crear desperdicios. El tema estructural no se plantea de forma clara en el diseño de estos edificios, como cargas, claros, estructuras ligeras que

contemplan la adecuación a módulos verticales o alturas de entrepisos ya que podrían ser diferentes a los requerimientos que conocemos para los usos urbanos. (Ver figura 3.6 y anexo 1)

UNIDADES DE PRODUCCION	Lugar	ILUMINACION		VENTILACION		SISTEMAS	
		NAT.	ART.	NAT.	ART.	SUSTRATOS	RAIZ F
PASONA. 2011	Japon	✓	✓	✓	✓	✓	
GROW UP BOX. 2013	Inglaterra	✓		✓			
LULA FARMS. 2010	Canada	✓			✓	✓	
VERTICAL HARVEST. 2014	USA	✓			✓	✓	
SKY GREENS. 2009	Singapur	✓			✓	✓	
VERTICAL CROP. 2009	Inglaterra	✓			✓		
AERO FARMS. 2010	Nueva York	✓	✓		✓		
PLANT FACTORY. 2010	Corea		✓		✓		

VERTICAL FARMING	Lugar	PROGRAMA				ARQUITECTONICO	
		Granja	Oficina	Mercado	Educacion	Restaurant	Habi
AGROCROPOLIS	Canada	✓		✓	✓	✓	
SKY-FIELDS	USA	✓	✓	✓	✓	✓	
SEA WATER VERTICAL FARM		✓					
THE VERTICAL FARM		✓	✓			✓	
THE ECO LABORATORY	Seattle						
THE VERTICAL FARM		✓					
THE DRAGON FLY TOWER	Nueva York	✓	✓	✓	✓		
THE LIVING TOWER. 2005	Francia	✓	✓	✓	✓		

3.4 Estudios cuantitativos

En cuanto a los Estudios cuantitativos que se han abordado para verificar la viabilidad de estas estructuras verticales, desde el punto de vista económico y energético, y es donde mi tema de investigación obtiene el punto de partida para la generación de estos módulos dentro de una Ciudad como la de México y su zona metropolitana, se encuentran:

“Up, Up and Away! The Economics of Vertical Farming”⁴¹ El objetivo del estudio fue la construcción de una granja vertical y realizar un análisis de mercado de los potenciales para esta tecnología. Los objetivos específicos del estudio fueron:

	SISTEMAS O METODOS			CONTROL	AHORRO		PRODUCCION			
	SUSTRATOS	RAIZ FLOTANTE	NFT	AEROPONIA	DE PLAGAS	AGUA	LUZ	AUTO	REGION	INDUSTRIAL
	✓	✓				✓		✓		
			✓			✓		✓	✓	
	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓
	✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓
	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓
		✓			✓	✓		✓	✓	
				✓		✓		✓	✓	
		✓	✓			✓		✓	✓	✓

Figura 3. 6 Análisis Unidades de Producción

SISTEMA	ARQUITECTONICO				AUTOSUSTENTABILIDAD				ESTUDIOS	
	Restaurant	Habitacion	m ²	Niveles	Aerogenerador	Agua	Solar	Combustible	Urbano	Solar
	✓			34	✓	✓	✓		✓	✓
	✓				✓	✓	✓		✓	✓
					✓	✓	✓		✓	✓
	✓		14,700		✓	✓	✓		✓	✓
					✓	✓	✓	✓	✓	✓
		✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓
		✓	350,000	132	✓	✓	✓	✓	✓	✓
		✓	50,471	30	✓	✓	✓		✓	✓

Figura 3. 5 Análisis Vertical Farming

1. Diseño y simular una granja
2. Identificar los costos por razones de viabilidad
3. Identificar los mercados potenciales a través de un análisis de mercado.

Una granja vertical de 0,93 HA (aproximadamente del tamaño de una manzana), con el fin de apoyar a 15,000 personas con un total de 37 plantas, 25 de ellas para la cosecha producción y 3 para la acuicultura. Además, de 3 plantas distribuidas de manera uniforme son para la regulación

⁴¹ Adenauer, L. (2013). Up, Up and Away! The Economics of Vertical Farming. *Journal of Agricultural Studies*, Vol. 2. No. 1.

ambiental y 2 en el sótano de la gestión de residuos. Además hay una planta para la limpieza de las bandejas de crecimiento, la siembra y la germinación, uno para el embalaje y el procesamiento de las plantas y el pescado y otro para ventas y entrega en el sótano. Un ascensor de carga lo suficientemente grande para permitir que una carretilla elevadora se planeó en el centro del edificio a una altura de 167.5 metros (37 pisos).

La tecnología LED (Light Emitting Diode) se eligió para la iluminación artificial, ya que emite un bajo nivel de radiación térmica, la duración deseada de la iluminación se adapta a las necesidades de las plantas, dando lugar a 12 - 16 horas dependiendo de los periodos de especies y ahorra energía. Está previsto contar con un sistema funcional cerrado, estos residuos vegetales se convierte en recursos útiles al alimentar a la tilapia.

El rendimiento total aumenta 516 veces en comparación con la agricultura tradicional a través de apilar la producción. En total esto lleva a una producción estimada de 3.573 toneladas de frutas y verduras comestibles. Para manejar un área de 403 m² por hora se necesita una fuerza laboral estimada de 6-10 trabajadores (8 h de trabajo por día).

Aproximadamente 217.000 l de agua se requieren por día, El agua adicional que no es absorbida por las plantas se recircula directamente en el sistema de reciclado de agua a procesar y se pulveriza de nuevo, cerrando de este modo el sistema. Los costos de construcción y equipos se amortizan en un período de 30 años, 111,58 millones de euros en construcción, el equipo requerido costó un total de alrededor de 90,4 millones de euros, que da un total de 200 millones de euros.

En un estudio de ingeniería iniciado por DLR Bremen, diseñada y simulada en Berlín para estimar el costo de la producción y el mercado potencial de esta tecnología, genero los siguientes resultados: Produce alrededor de 3.500 toneladas de frutas y verduras y 140 toneladas de filetes de tilapia, 516 veces más de lo esperado de un área de 0,25 ha debido al apilamiento y múltiples cosechas. Los costes de inversión ascienden a 200 millones de €, y requiere 80 millones de litros de agua y 3,5 GWh (Gigavatio hora) de energía al año. Los costos de los alimentos producidos entre € 3,50 y € 4,00 por kilo. En vista de su viabilidad, se estima un mercado de alrededor de 50 granjas en el corto plazo y casi 3.000 granjas en el largo plazo. Para

aprovechar los beneficios económicos, ambientales y sociales de esta tecnología, se requiere una amplia investigación para optimizar el proceso de producción.

Y concluye el estudio: Sólo pueden esperarse en las ciudades relativamente ricas con alto nivel de conciencia ambiental. Uno puede proyectar que el mayor potencial se encuentra en los sistemas desarrollados para las mega-ciudades, seguidas por las naciones del desierto.

El costo de la construcción, sus parámetros estructurales necesarios, así como el equipo de servicio, el transporte y los requisitos de energía son preguntas de investigación serias que se pueden contestar sólo a través de la investigación-acción. Condiciones de crecimiento óptimo en el sistema agrícola, el requisito de trabajo óptimo, así como el plan de producción necesita ser resuelto.

Vertical Farming: Skyscraper sustainability?⁴²

El propósito de esta investigación, por lo tanto, es investigar la viabilidad y la plausibilidad del concepto vertical desde una metodología mixta, socio-técnica en tres ámbitos específicos de investigación e interrelacionados.

- (a) Examinar la cantidad de energía que se necesita para alimentar un edificio de este tipo y si la energía renovable puede satisfacer las demandas en el sitio de la construcción mediante el desarrollo de un modelo energético simplificada.
- (b) Determinar la huella de carbono de forma vertical productos cultivados y posteriormente compararlo con productos cultivados convencionalmente.
- (c) Investigar cómo las partes interesadas pertinentes perciben el concepto de agricultura vertical.

Con el fin de identificar cuáles son las barreras actuales y existen oportunidades hacia la posible adopción de la tecnología. Los resultados indican que la agricultura vertical es una herramienta que puede ser utilizada para suministrar alimentos a las ciudades de manera sostenible, pero esto depende de la ubicación y el diseño.

⁴² Al- Chabali, M. (2015). Vertical Farming: Skyscraper Sustainability? *Sustainable Cities and Society*, 74-77.

Se examinó el modelo y se decidió que el diseño Dr. Dickson Despommier era el más adecuado para ser utilizado como base para esta investigación. En el diseño, la luz se utiliza para cultivar en el interior del edificio y el agua se bombea a través del edificio para el cultivo hidropónico. Los paneles solares se colocan en el techo y en la fachada (un lado). Por lo tanto, el uso de este diseño como base, se cuantificaron los flujos de energía (demanda y generación).

Se calculó la cantidad de energía necesaria para iluminar el edificio y bombear el agua. Iluminación y bombeo de agua son dos de los principales elementos de la demanda de energía, se cuantificó la cantidad de energía generada a partir de paneles solares. Un cálculo de la energía se hizo para cada planta con el fin de determinar la cantidad de energía que se requiere para bombear el agua para cada planta específica, y luego los valores fueron resumidos por el importe total de la energía necesaria para bombear a través de todo el edificio. Se ignoraron las pérdidas menores. Se hicieron suposiciones estándar en cuanto a tamaño de la tubería y el material de la tubería.

Para la generación de energía de paneles solares, el cálculo se basa en un área con una gran cantidad de radiación solar (Phoenix, Arizona) y la fotovoltaica (240 W). Las células solares Suntech paneles solares de silicio monocristalino y las dimensiones son 1.956 mm × 992 mm × 50 mm, que se utilizó para esta investigación (Suntech, 2007). El modelo de optimización calcula la cantidad de energía necesaria para la luz y la bomba del edificio. Un panel de la calculadora solar (BD calculadora) se utilizó para determinar el número de paneles solares necesarios para satisfacer las necesidades de energía (de los cálculos de iluminación y bombeo de agua) (2010). El modelo exploró si el edificio tendría en cuenta el número de PV basa requirió en el techo / zona de fachada disponible debido a las dimensiones asumidos. La altura se mantuvo la misma (30 pisos, 105 m de altura total) con el fin de ver si la agricultura vertical era posible en edificios de gran altura.

Resultados: Los resultados del modelo energético indican que hubo dimensiones que podrían generar suficiente energía en el sitio para satisfacer las necesidades de (iluminación, bombeo de agua) del edificio a lo largo de un mes. A través de paneles solares en el techo y la fachada. Las tres primeras dimensiones (10m, 20m, 22m) demuestran que la agricultura vertical es plausible. Las dos primeras dimensiones (10m, 20m) no requieren de iluminación porque el uso de

estantes de luz cubrió el interior. Se requirieron 1398 paneles solares para satisfacer las demandas de energía.

En los resultados de las entrevistas los ingenieros creen que edificios en desuso podrían ser adaptados para satisfacer las necesidades de la granja vertical, mientras que los *arquitectos creen que se requiere un nuevo edificio*. Una barrera identificada fue que muchos perciben la hidroponía como “alimentos químicos y no naturales”, y por lo tanto podría ser una barrera social hacia la captación de productos agrícolas cultivados en las ciudades.

De un punto de vista energético, los resultados indican que la *agricultura vertical es factible en áreas que tienen abundante luz solar. Se podría generar luz y bombear el agua*. Sin embargo, las implicaciones ambientales específicas del *sitio para la obtención de agua deben ser examinadas*. Un área de investigación futura sería hacer un estudio tecno económico del concepto, así como un análisis de rentabilidad de la agricultura vertical de perspectiva energética y productiva.

Optimization model for the vertical farm.

Dimensions of building		Energy demand (one month timeline)				Energy supply		Feasible
Length, width (m)	Area/floor (m ²)	Water pumping required (kW h)	Light required (kW h)	Total required (kW h)	PV required	PV available on roof/facade Number of panels	PV available-PV required	
					Number of panels			
10	100	148	0	148	4	593	Yes	
20	400	591	0	591	15	1289	Yes	
22.5	506	748	57,946	58,694	1398	1479	Yes	
25	625	923	137,388	138,311	3294	1675	No	
28	784	1158	257,393	258,551	6165	1920	No	
30	900	1329	352,350	353,679	8421	2088	No	

Figura 3. 7 Optimización de modelo agricultura vertical

Al- Chabali, M. (2015). Vertical Farming: Skyscraper Sustainability? *Sustainable Cities and Society*, pag. 76.

Los resultados indican que la agricultura vertical es un concepto que está en su infancia técnica pero que es prometedor para las ciudades del futuro. Incluye el desarrollo de diseños multifuncionales con el aporte de los ingenieros, arquitectos y proveedores de tecnología agricultura vertical de forma simultánea con el fin de ayudar a diseñar estructuras futuras que se puedan adaptar a las necesidades del siglo XXI, *el desarrollo de un modelo energético más grande que puede tener más factores en cuenta (ventilación, residuos, etc.)*, y llevar a cabo un estudio económico que incorpora los costos de construcción y mantenimiento. Agricultura vertical se sostiene potencial en las circunstancias adecuadas.

4.MÉTODO

Existen algunos vacíos que son necesarios abordarse con otro tipo de investigación, como lo son, los procesos de producción que puedan generar mayores rendimientos, el costo de construcción de estas estructuras verticales, o la adecuación de estructuras existentes para el aprovechamiento al interior y el uso de servicios con los que ya cuenta el predio como energía y agua, o los requisitos de energía que deben consumir estos sistemas y el uso del agua. En temas como la construcción y los requisitos de energía la Arquitectura debe conceder aportes importantes, como el estudio y la generación de energías limpias dentro de las zonas urbanas, con el objetivo de convertirse en hitos no solo en la cosecha de alimentos nutritivos si no en la cosecha de energía para su producción durante todo un año fértil; gracias a la ubicación geográfica y las condiciones climatológicas de la Ciudad de México, con un comportamiento mejor que en otras latitudes, pueden significar ventajas, generando aportes tecnológicos, sociales y ambientales en nuestro entorno.

El análisis entre modelos probados que producen regionalmente y los estudios sobre Vertical Farming para determinado número de población, nos pueden indicar los pasos previos que se necesitan dar para llegar a estos modelos verticales; ya que existe un análisis tenue sobre la población a la que servirá, que consume esta, que productos solicita la gente, rendimientos de cada producto, para de esta manera evitar saturar el mercado, como lo muestran ejemplos donde el exceso en la producción condujo a pérdidas, como en Almería, España; es probable que estas torres de producción sean muy pretensiosas en este momento y no den respuesta a esta ciudad, sin embargo el estudio de módulos ubicados estratégicamente para que la mayor parte de la población se vea beneficiada sin el uso de transporte para su compra, con un impacto positivo en el crecimiento de la ciudad, puede ser viable económica y energéticamente, contribuyendo de esta manera a generar conocimiento para su evolución. (*Ver modelo de Análisis, pág. 27 y 28*). Este análisis nos lleva a estudiar focalmente cada zona, considerándolos dentro de programas urbanos y mejoramiento de sus funciones.

Los resultados de los últimos estudios desarrollados y sus conclusiones, ponen un antecedente para generar un análisis similar bajo las condiciones de la Ciudad de México, y proponer un precedente de investigación sobre su viabilidad; aunque la falta de estudios en los sistemas de distribución, de desarrollo económico - tecnológico y la hasta ahora aparente falta

de necesidad, no parecen aspectos positivos que permitan el desarrollo en este tipo de soluciones en este momento.

Sin embargo, la generación de conocimiento objetivo, sistematizado y valido que produzca los parámetros necesarios para que un Huerto Vertical funcione, como requerimientos de determinados cultivos, las necesidades de la estructura, la necesidad básica de un edificio de definidas características para una función específica, que es la de producir alimentos sanos, dará la pauta de soluciones en un futuro.

Se parte de la generación de un módulo de 20 x 20 como máximo, analizado por Al- Chabali, 2015⁴³, que al estar ubicado en la Ciudad de México no requiere de luz artificial ya que es un lugar con abundante luz solar que se podrá captar, transmitir y distribuir al interior, como lo prueba García Alcántara⁴⁴, y que podrá generar la energía necesaria para el funcionamiento del sistema de producción, sin el uso de combustibles fósiles, por tal los estudios sobre esta fuente de energía es necesaria, por lo que es factible desde el punto de vista energético. De estas dimensiones podremos partir para generar los estudios en la envolvente se tendrán que analizar predios y usos de suelo comercial e industrial y adecuarse a la dimensión y orientación otorgada por los planes de desarrollo urbano por lo que la envolvente deberá ser adaptable para aprovechar el recurso solar y lumínico.

Se investigaron los requerimientos de control de clima para invernaderos usando diagramas de equipamiento y graficas de temperaturas máximas y mínimas, a fin de identificar el tipo de control requerido en los invernaderos tradicionales para las condiciones de la Ciudad de México. El clima es un factor importante que influye en la estructura y en las características funcionales de los invernaderos, debe tomar en cuenta el contexto climático en el que operara, que resultan en los parámetros de diseño o nivel tecnológico aplicado para su buen funcionamiento y los requerimientos principales del crecimiento de cultivos vegetales. El modo más fácil de interpretarlo es en términos de medias anuales o estacionales de temperatura y precipitaciones, pero como se analizara más adelante estudiar los niveles y usos de tecnología necesita un

⁴³ Al- Chabali, M. (2015). Vertical Farming: Skyscraper Sustainability? *Sustainable Cities and Society*, 74-77.

⁴⁴ García Alcántara, M. (2012). *Luz natural. sistema de Captación, Transmisión y Distribución*. Ciudad Universitaria, México. D.F.: Programa de Maestría y Doctorado.

análisis detallado con datos promedio por hora o por minuto para tener un acercamiento mayor a las cualidades que debe tener el control climático. Se dividieron los datos de temperatura promedios por hora en quincenas durante todo el año, y de esta manera conocer el comportamiento más detallado de la oscilación de la temperatura durante el día y la noche en la temporada más fría y más cálida del año para observar el comportamiento durante las 24 horas y obtener de manera precisa como deberá comportarse la envolvente.

Se estudió el ambiente interior óptimo enfocándonos en la parte aérea (temperatura, humedad e iluminación) en los límites considerados como adecuados para el funcionamiento óptimo de sus parámetros productivos, se identificaron las 7 hortalizas que más se comercializan en la región, y se estudian sus requerimientos de luz, temperatura, viento, humedad, agua, fotoperiodo, rendimientos, fechas de siembra y cosecha en su modalidad hídrica de riego y temporal; con las variables ambientales para el control de clima en la Ciudad de México se somete a diseño para soluciones en la envolvente que albergara la producción de alimentos a través de herramientas tecnológicas, de esta manera podremos evaluar la viabilidad económica, y energética del edificio con un ocupante distinto al que conocemos hoy en día, como son las plantas.

Posteriormente se analizan los distintos niveles de tecnología en el uso tradicional de los invernaderos, la diferencia tecnológica debido a la ubicación geográfica es de vital importancia cuando se compara el total de superficie cubierta por invernaderos. Menor equipamiento para el control de clima se refleja en un bajo costo de producción, pero se ve afectada la calidad de los productos. La gran mayoría de los invernaderos en México son de baja tecnología, resultando en rendimientos muy bajos 213 t/ha para el jitomate tipo bola SAGARPA⁴⁵, en comparación con los rendimientos obtenidos en los Países bajos, que es de 803 t/ha. Por lo que resulta importante el análisis que nos den parámetros de las relaciones entre los niveles de protección de las condiciones internas, junto al rendimiento y el uso de recursos. El invernadero tradicional ocupa energía para calentar o enfriar el invernadero lo cual se traduce en costos, por lo que el estudio de la envolvente dentro de un contexto determinado como la Ciudad de México y análisis del

⁴⁵ SAGARPA. (27 de 06 de 2016). *Servicio de información Agroalimentaria y Pesquera*. Obtenido de Servicio de información Agroalimentaria y Pesquera: <http://www.gob.mx/siap/documentos/siembras-y-cosechas>

material con que está hecho su envolvente nos otorga soluciones para el control de clima al interior.

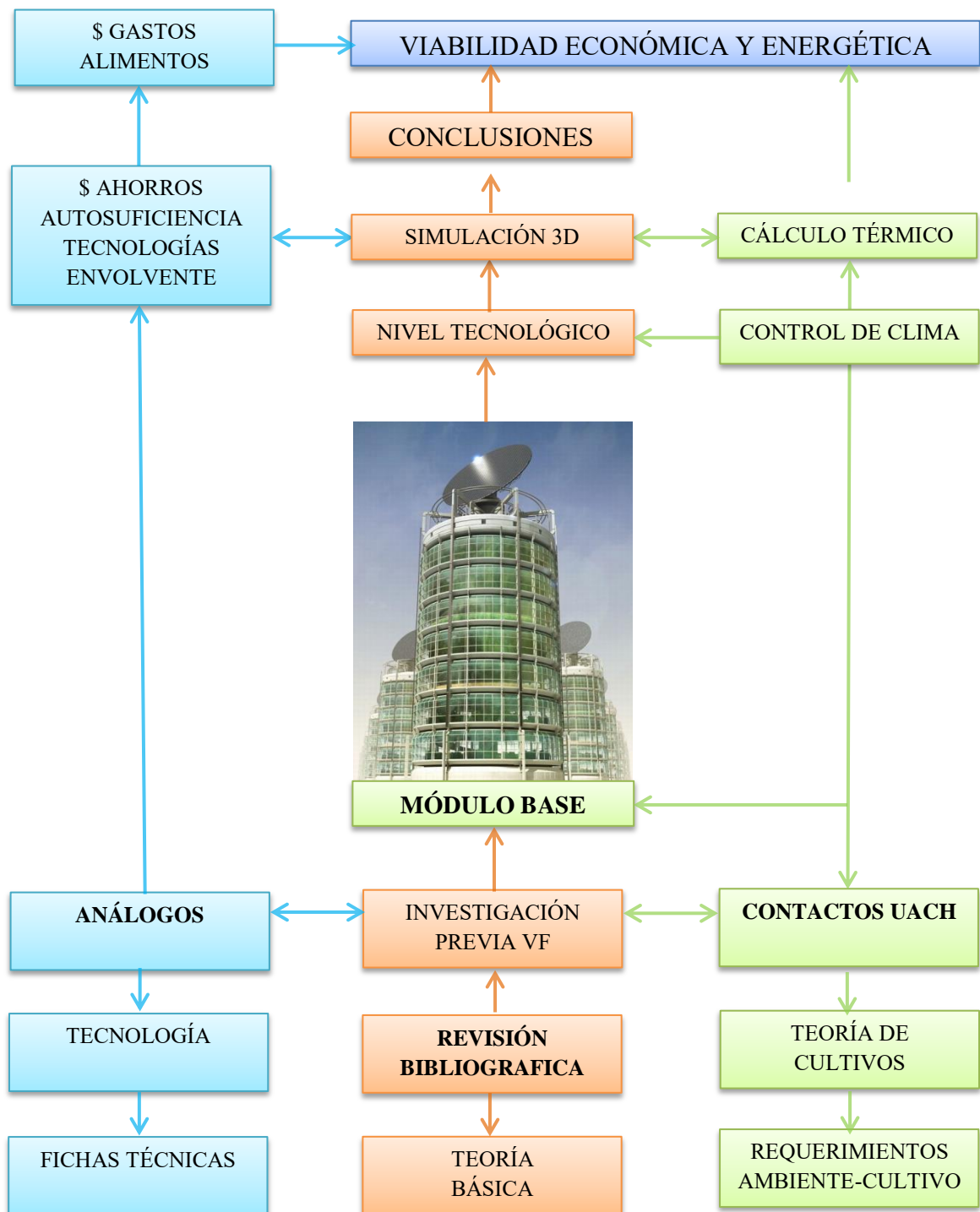
Con estos datos que determinan el rango de temperatura en el cual los cultivos pueden desarrollarse de manera óptima, para llevar a cabo un diseño arquitectónico, es necesario utilizar un procedimiento sistemático que identifique claramente las estrategias de diseño que utilicen las fuentes de energía naturales disponibles. El análisis bioclimático cuantitativo busca resultados numéricos a los fenómenos físicos involucrados en el diseño del hábitat para utilizarlos de forma racional en diseños subsecuentes. Se lleva a cabo el análisis de cálculo térmico y transferencia de calor basado en el método propuesto por Zeevaert Alcántara, 2014⁴⁶, para obtener valores de conductividad térmica, espesores de materiales, resistencia térmica y transmitancia térmica, de distintos cristales y compararlos con valores otorgados por los proveedores. Obtener una envolvente que contrario a lo que tradicionalmente se usa en invernaderos comprenda el medio donde se diseñe y tome como base de diseño los parámetros climáticos.

Una vez analizado el clima, las características de los cultivos y temperaturas rango, así como las características de la envolvente óptima se desarrolla una propuesta que responda a las distintas épocas del año, y que tome en cuenta en su diseño lo que pasa en el día y la noche.

Con esta información se estudian diferentes soluciones usando el modelo de simulación para obtener niveles de iluminación y radiación en el área de estudio, además que optimiza el consumo de energía en la región. Por lo que nuestro acercamiento se desarrolla con Software Revit, simulaciones de iluminación y radiación, para obtener algunos datos o parámetros del comportamiento de la envolvente propuesta y comparar con los datos obtenidos del cálculo térmico y transferencia de calor desarrollado.

⁴⁶ Zeevaert Alcántara, L. (2014). *Interaccion del medio ambiente y la envolvente Arquitectonica*. Ciudad de México.

Figura 4.26 Selección del método



Método determinación de módulo base

4.1 Control de clima Ciudad de México

En la mayor parte de su territorio se presenta clima Templado subhúmedo (87%) En el resto se encuentra clima Seco y semiseco (7%) y Templado húmedo (6 %) ⁴⁷. La temperatura media anual es de 17°C. La temperatura más alta, mayor a 25°C, se presenta en los meses de marzo a mayo y la más baja, alrededor de 5°C, en el mes de enero. La zona urbana ocupa la mayor parte del territorio, pero hacia la parte sur y sureste se encuentran zonas agrícolas, principalmente de temporal, donde se cultiva maíz, frijol, avena y nopal entre otras, siendo importantes también las hortalizas y la floricultura ⁴⁸. Las temperaturas máximas se obtienen un par de meses antes del solsticio de verano, en el mes de abril, debido a la llegada del periodo de lluvias. La radiación solar global fluctúa entre 17.5 a 20 MJ m² día, durante invierno y verano.

La diferencia tecnológica debido a la ubicación geográfica es de vital importancia cuando se compara el total de superficie cubierta por invernaderos. Menor equipamiento para el control del clima se refleja en un bajo costo de producción, pero se ve afectada la calidad de los productos. La gran mayoría de invernaderos en México son de baja tecnología, resultando en rendimientos muy bajos. Debemos considerar el contexto climático para el diseño de invernaderos y en este caso de envolventes arquitectónicas de mayor altura, considerar otras variables como la sombra que puede provocar los sistemas o entrepisos, este análisis resultara en los parámetros de diseño que se pueden implementar de acuerdo con su ubicación.

Los requerimientos principales del crecimiento de cultivos se pueden definir y resumirse como enlista Islas ⁴⁹:

1. El riesgo de temperaturas bajo cero puede ser ignorado cuando la temperatura exterior mínima diaria supera los 7°C.
2. Rendimientos y calidad de las hortalizas de fruto de invernadero se ven afectadas cuando las temperaturas están por debajo de los 12°C o exceden los 30°C. Los cultivos en

⁴⁷ García E. (2004) Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen, México, UNAM, Instituto de Geografía.

⁴⁸ INEGI. (2015). *Informacion por entidad*. Recuperado el 08 de 2015, de <http://www.cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/df/territorio/clima.aspx?tema=me&e=09>

⁴⁹ Islas, J. O. (2016). *Análisis de un modelo matematico como base de un simulador de clima de invernaderos*. Chapingo, Estado de México: Posgrado en Ingeniería Agrícola y uso integral del agua.

horticultura protegida se adaptan, principalmente, a las temperaturas medias que oscilan entre los 17 a 27°C. Las temperaturas óptimas oscilan entre los 22 y 28°C durante el día y de 15 a 20°C en la noche. Se puede definir que los límites climáticos apropiados a ser de 12 a 22°C.

3. Si la temperatura media exterior es inferior a los 12°C, los invernaderos necesitan calefacción. Con temperatura media diaria arriba de 22°C, se necesita de enfriamiento artificial o el cultivo debe abandonarse, con temperaturas medias entre los 12 y 22°C la ventilación natural es suficiente.
4. La temperatura máxima absoluta media no debe ser superior a los 35 a 40°C.
5. Se estima que los requerimientos diarios de radiación mínimos de la mayoría de los cultivos son alrededor de 8.5MJ/m²/día (2.34 kWh/m²/día), durante los meses más cortos del año (noviembre, diciembre y enero en el norte del hemisferio). El límite para una producción efectiva es de es de 1.0 kWh/m²/día. La luz artificial debe usarse para una producción intensiva.
6. La temperatura promedio nocturna se encuentra alrededor de los 15 a 18.5°C para plantas que requieren de calor tal como tomate, pimiento, pepino. Para el chile 12°C. la temperatura mínima para el tomate no debe ser menor a los 15°C,
7. Humedad relativa de 70 a 90% puede considerarse que está dentro de un rango seguro.

De acuerdo con Zabeltitz⁵⁰, existen justificaciones para implementar un sistema de producción en invernaderos.

1. Si la temperatura promedio es de alrededor de 7°C, no hay riesgo de heladas. La calefacción es absolutamente necesaria si las temperaturas caen debajo de los 0°C y es necesario considerar que para algunos cultivos el crecimiento y/o desarrollo se detiene a los 4°C.
2. Si la temperatura exterior mínima promedio está por debajo de los 10°C en el mes más frío y si el cultivo necesita de temperaturas superiores (pepino 18°C), la calefacción será necesaria para mejorar la calidad y rendimiento.

⁵⁰ Zabeltitz, C. V. (2011). *Integrated Greenhouse systems for Mild climates. Climate conditions, design, construction, maintenance, climate control*. Germany: Springer.

3. Si la temperatura exterior mínima promedio es $<12^{\circ}\text{C}$ (temperatura mínima absoluta <9 a 10°C), apertura de ventilas (ventiladores) de invernaderos tiene que quedarse cerrado para mantener la temperatura superior interna. La calefacción puede ser necesaria.
4. Si la temperatura mínima promedio es $>12^{\circ}\text{C}$, los ventiladores pueden estar abiertas permanentemente. La ventilación se convierte en necesaria si la temperatura interna es >18 a 20°C .
5. Si la temperatura máxima promedio es $>27^{\circ}\text{C}$ la ventilación mediante ventilas rígidas o en el techo es necesaria en un clima húmedo y cálido y para invernaderos con varias naves.
6. Si la temperatura exterior máxima promedio es $>36^{\circ}\text{C}$ el enfriamiento artificial evaporativo es necesario si la humedad exterior es lo suficientemente baja.
7. Si la humedad relativa durante el día es <55 a 60% , la humedad interna debe incrementarse por sistemas nebulizadores o enfriamiento evaporativo.

Algunas recomendaciones sobre el tipo de estructuras para los invernaderos de acuerdo al tipo de clima, de acuerdo a Von Zabeltitz, (2011).

Clima Templado Subhúmedo (Cw). Deben contar con ventilas que puedan cerrarse y ser estrechos con el fin de proteger a los cultivos de las bajas temperaturas en invierno. Generalmente es necesario calentar los invernaderos. El material de la cubierta debe permitir el paso de la radiación de onda larga para minimizar la radiación térmica fuera del invernadero. El uso de canaletas para coleccionar agua de lluvia y usarla con fines de riego. Durante los meses de verano con altas temperaturas no es usual que los vegetales se cultiven en invernaderos. Se utiliza la clasificación de climas del INEGI para la Ciudad de México⁵¹.

4.2 Materiales y Métodos

Para elaborar las gráficas que contienen la información climática de la CDMX, se consideraran los datos promedio por día del año 2015, máximos y mínimos, reportados por el Observatorio Meteorológico de Temperatura del Aire, Humedad relativa, Insolación, Dirección y velocidad del viento, del colegio de Geografía de Ciudad Universitaria, UNAM. Se analizaran

⁵¹ INEGI. (2010). *Instituto Nacional de Estadística y Geografía*. Recuperado el 09 de 09 de 2016, de <http://www.inegi.org.mx>.

los datos desde el año 1965 a la fecha para conocer el clima en la región y conocer sus variaciones. Los datos de radiación se complementan con los obtenidos en la página web Aire de la Ciudad de México⁵².

Con estos datos se elaboran gráficas y diagramas de temperatura máxima, mínima, promedio mensual del aire. Para comprender qué tipo de control se necesita de manera general para los invernaderos en cada lugar, se completó la información con las recomendaciones de (Zabeltitz, 2011) e (Islas, 2016) sobre el tipo de estructura en la región.

Nos dimos cuenta que para tener parámetros exactos los promedios día resultan insuficientes para conocer los requerimientos específicos por hora para calentar o enfriar los invernaderos durante un día completo, por lo que se recurren a los datos que otorga la página web Aire de la Ciudad de México, con datos promedio por hora durante todo el año 2015.

4.3 Selección de Tipos de cultivo

Conocer el marco geográfico y por tal la ubicación del módulo es importante para determinar a quién va dar servicio, como primer acercamiento se analiza la procedencia de los alimentos que se consumen en la ciudad y sus datos que nos arrojan son que el 80% del consumo en la Ciudad de México, procede de otros estados. Los principales cultivos que se producen bajo agricultura protegida son tomate (70%), pimiento (16%) y pepino (10%). (Ponce Cruz, 2013).

El anuario estadístico para la producción agrícola nos marca al Distrito Federal como el estado con la menor superficie sembrada y cosechada de México, por tal, con el menor valor de producción, contrario al estado de Michoacán con el máximo valor de producción. (Ver Figura 4.1)

Producción Agrícola	2015	Riego + Temporal	
Ubicación	Sup. Sembrada	Sup. Cosechada	Valor Producción
	(Ha)	(Ha)	(Miles de Pesos)
	22,148,245.07	20,801,779.59	444,137,887.86
Michoacán	1,152,215.94	1,039,777.60	46,782,105.97
Distrito Federal	17,547.25	17,374.90	1,180,206.55

Figura 4. 1 Fuente anuario estadístico de producción Agrícola (Pesquera, 2015)

⁵² AIRE. (2016). *CDMX Ciudad de México*. Recuperado el 06 de 01 de 2016, de <http://www.aire.cdmx.gob.mx/default.php>

Estos datos se contraponen con el número de población que se localiza en la Ciudad de México ubicándose como el segundo lugar con 8,851,080 personas, enseguida del Estado de México que cuenta con una población de 15,175,862 personas⁵³. Los datos nos dan muestra del apoyo de otros estados en el suministro de alimentos que tiene la CDMX.

Se han identificado en México, a nivel comercial, se producen 49 especies hortícolas; sin embargo el 80% de la producción se concentra en 7 productos: tomate rojo, papa, chile verde, cebolla, calabaza, tomate verde y pepino. Y en 4 el 70% de las exportaciones: tomate, cebolla, calabaza y pepino⁵⁴. (Ver Figura 4.2)

Las siembras y cosechas están constituidos a partir de la superficie sembrada y cosechada mensual, la información estadística sobre los productos agrícolas se presentan en cuadros por ciclo de cultivo en su modalidad hídrica riego y temporal, época de siembra primavera-verano y época de cosecha otoño-invierno⁵⁵. (Ver figura 4.3) Referencia al Estado de México. Al no tener datos para la papa, chile y pepino en la Ciudad de México, se toman valores del estado de Puebla

CULTIVO	Temperatura Germinación °C					Intensidad de luz				Fotoperiodo			PH	H. Relativa
	Afecta	Nocturna	Optima	Maxima	Afecta	Pies candela	Lux		Neutro	Corto -12hrs.	Largo +12nrs			
Jitomate	menor a 10	15-18	24-28	30-35	mayor a 40	4,970	5,964	53,477	64,173	X			5.5-7.0	50-70%
Pepino	menor a 12	19-27	20-30		mayor a 30	3,479	4,473	37,434	48,129	X	X		5.5-7.0	60-70%
Pimiento	menor a 13	18-20	26-28	26-28	mayor a 35			600	800w				6.5-7.0	50-70%
Chile		18-22	25-30											
Papa			20-25								X			
Cebolla		15-18	22-28										6.0-6.5	
Calabaza	10-12	15-18	20-25	35									5.5-6.8	
Lechuga	menor a -6	5-8	14-18	22	Mayor a 30	5,964	6,958	64,173	74,868			X	6.0-7.0	60-80%

Figura 4. 2 Requerimientos de Hortalizas

⁵³ INEGI. (2010). *Instituto Nacional de Estadística y Geografía*. Recuperado el 09 de 09 de 2016, de <http://www.inegi.org.mx/>

⁵⁴ Miranda Velázquez, I., Gil Vázquez, I., Morales Parada, J., Reyes Ramírez, D., Ramírez Arias, A., Hernández Ortiz, J., y otros. (2013). *Introducción a la Hidroponía*. México: AGRIBOT.

⁵⁵ SAGARPA. (27 de 06 de 2016). *Servicio de información Agroalimentaria y Pesquera*. Obtenido de Servicio de información Agroalimentaria y Pesquera: <http://www.gob.mx/siap/documentos/siembras-y-cosechas>

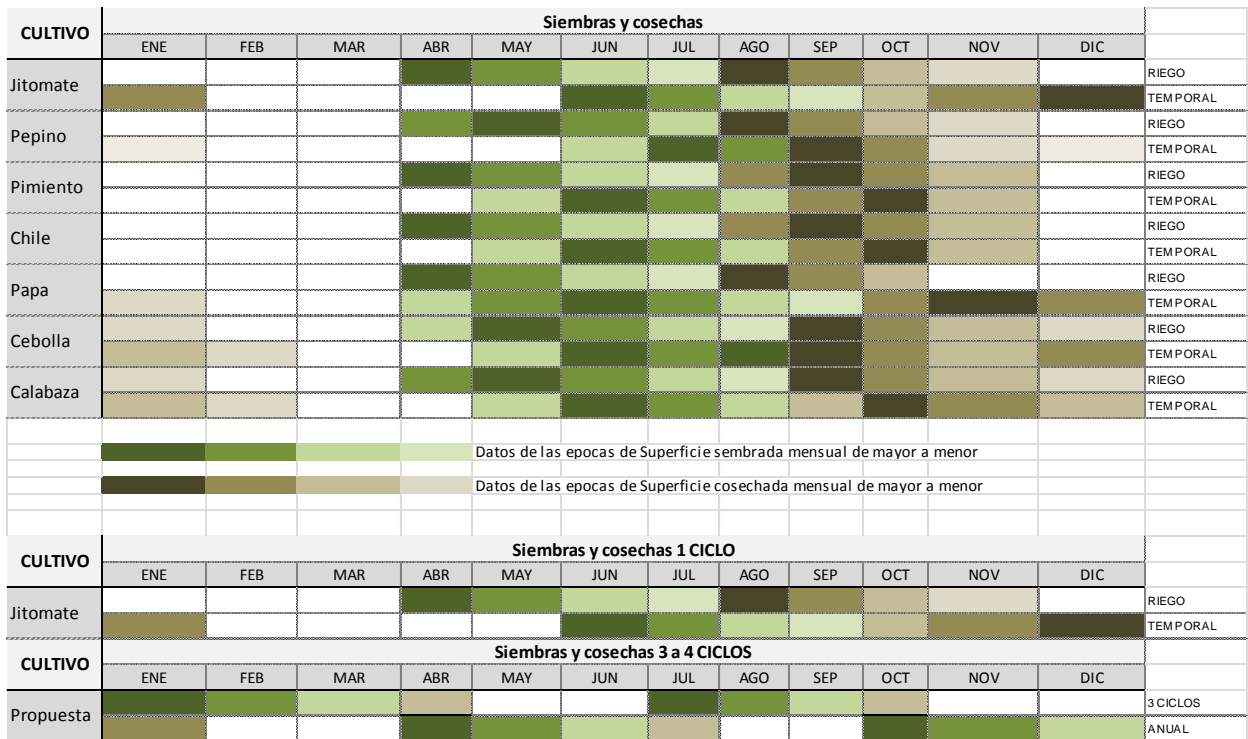


Figura 4. 3 Ciclos de siembra y cosecha de los cultivos.

Proceso Productivo						Riego por goteo			Densidad	Produccion	Produccion Ton/Ha.	
Siembra	Transplante	Cosecha	Meses Produciendo	Ciclos/año	Altura / m	Riegos/dia	Duracion/min	lts/dia/planta	plantas/m²	Kg/m²/año	Campo	Invernadero
Indirecta	30 a 40 días	4 meses	2 a 2.5	3	2	6	5-6	2-3	10	90	14	900
Indirecta	25 a 30 días	4 meses	4	3	3			6	2.5	42	150	420
Indirecta	30 a 45 días	4 meses		3	3			2	4	63	3-4	630
Indirecta	30 a 50 días	4 meses							9		20	200
		3 meses						8	3.5		30	120
Indirecta	40 a 4 días	4-5 meses			1			0.45	70-110		30	120
Indirecta	30 a 60 días	4 meses						0.45	2	10	20	100
Indirecta	30 a 40 días	3 meses		4		3-5		5-6	20		60-80	250

La agricultura de temporal se ve afectada por la temporada de lluvias, es por eso que en los meses de Mayo y Junio comienza a sembrarse para obtener la cosecha desde agosto, en septiembre la mayor parte del cultivo se cosecha, terminando en octubre. Para algunos cultivos como la papa esta se hace en noviembre.

La agricultura de riego tiene ventajas de poder empezar a sembrarse desde el mes de Abril y mayo, para obtener la cosecha en los meses de agosto a septiembre. La mayoría de los cultivos

no producen en época de invierno por heladas y el cuidado que requieren los cultivos, obteniendo solo un ciclo anual de producción.

La envolvente arquitectónica deberá ser capaz de crear un micro clima con el ambiente óptimo necesario para que las hortalizas crezcan, y obtener de esta manera hasta tres ciclos de producción anual (*ver figura 4.4*), pudiéndose incrementar en algunos casos a cuatro, con el manejo hidropónico adecuado de los cultivos, los nutrientes, controles climáticos en la parte aérea que pueden llevar un manejo óptimo en las hortalizas.

4.4 Selección de Niveles tecnológicos

El análisis llevado a cabo por Costa & Giacomelli⁵⁶, da parámetros para el uso de tecnología, considera que la selección depende de los requisitos de los cultivares, las características del clima, el capital disponible para la inversión en tecnología, y experiencia laboral. Lo que significa que los trabajadores de formación y desarrollo de la experiencia técnica del productor de un cultivo en un medio controlado son las principales prioridades. Considera Los mejores lugares para la producción de efecto invernadero durante todo el año dentro de las altas regiones desérticas del norte de México (Norte de Sonora y Chihuahua), y las regiones altas del centro de México.

Las limitaciones del medio ambiente se pueden superar mediante la elección adecuada de la tecnología. Los autores definen tres niveles de tecnología de efecto invernadero que permiten a las plantas para producir un rendimiento económico, incluyendo:

- 1) la tecnología de baja**, con modificación ambiental mínimo suficiente para modificar el microambiente.
- 2) de alta tecnología**, con la modificación máxima del medio ambiente, creando un microambiente para el crecimiento óptimo de planta y rendimiento.
- 3) la tecnología de media**, con varias combinaciones de los dos anteriores.

⁵⁶ Costa, P., & Giacomelli, G. (s.f.). *Ensuring success, Protected horticulture: productivity based on levels of technology*.

Muchas regiones de México, como Jalisco, Sonora, Baja California Norte, así como el centro de México, tienen condiciones climáticas en un nivel intermedio de protección de cultivos es suficiente.

Los diseños incluyen cualquiera de los sistemas de ventilación pasiva, con sistemas de control ambiental activas con almohadilla y ventilador de refrigeración y sistemas de calefacción de techo y / o aberturas de ventilación lateral, o. cortinas de control básico de la computadora y sombra automatizado se incluyen a veces para las condiciones climáticas mejoradas.

Este análisis concluye: La tecnología debe ser seleccionado a un nivel adecuado, lo que significa que el nivel más alto y más compleja tecnología no puede ser deseado, si una tecnología más simplificada proporcionará la productividad requerida para satisfacer las demandas del mercado y los ingresos esperados. En la zona centro el nivel de media tecnología es el adecuado con sistemas de ventilación pasiva, sistemas de control ambiental para la refrigeración y calefacción, además del control básico por computadora para riego y sombra. Es importante destacar que estos sistemas podrían implementar características del invernadero de alta tecnología en cuanto al riego por circuito cerrado y captación de energía solar, como herramientas para un mejor desempeño en gastos y costos.

La industria de los invernaderos es sólo otra empresa de negocios. Debe seguir las reglas del mercado en relación con la oferta y la demanda. Por lo tanto, el nivel y el momento de la producción y calidad de la fruta juegan un papel importante en la definición del mercado objetivo y con éxito ganarlo. Por último, la importancia de un acceso continuo a la asistencia técnica, junto con los programas de formación / educación con estándares de alto rendimiento no se puede exagerar.

El análisis realizado por (Elings, Campen, Nieves Garcia, & Van der Valk, 2013)⁵⁷, estudia más a fondo 7 distintos niveles de tecnología, traducidas en producción, inversión y retorno, dan parámetros de análisis de las ventajas de cada tipo. (*Ver figura 4.4*)

⁵⁷ Elings, Anne; Campen, Jouke; Nieves Garcia, Victoria; Van der Valk, Olga. A greenhouse design for Mexico. The case of La Huerta, Aguascalientes. La Haya. Landbouw Economisch Instituut

Calefacción: en el sistema convencional de un invernadero existen dos componentes principales: el generador y el distribuidor de calor. Los elementos comúnmente utilizados para la distribución de calor son el agua y el aire.

Sistemas de calefacción por aire: existen dos métodos principales por medio de impulsores (hélices) o con polytubos (mangas). El combustible utilizado para los calentadores son el propano, gas natural y biodisel. La principal ventaja de este sistema es su costo y facilidad de uso. Además la implementación es rápida y la generación de calor es inmediata. Recomendados en sitios con temperaturas mínimas exteriores suaves, con cultivos que presentan una temperatura mínima óptima no muy exigente.

		NIVEL DE TECNOLOGIA							
		BAJA	M1	M2	M3	M4	M5	ALTA	PROPUESTA
CUBIERTA		Plastico	Plastico	Plastico	Plastico	Plastico	Cristal	Cristal Difuso	Cristal Difuso
CALEFACCION		No	Cal. Aire	Cal. Aire	Tubos Calef	Tubos Calef	Tubos Calef	Tubos Calef	Tubos Calef
ENFRIAMIENTO		Ventilacion	Ventilacion	Ventilacion	Ventilacion	Evaporativo	Ventilacion	Mecanico	Eva/Mec
PANTALLAS TERMICAS		No	No	Si	No	No	No	Si	Si
SUSTRATO		T	SS	SS	SS	SS	SSR	SSR	SSR
CO2 ENRIQUECIMIENTO		No	No	No	Si	No	Si	Si	Si
PRODUCCION DE TOMATE	kg/m ²	21.6	50.7	49.3	70.3	53.6	67.5	134.5	
USO DE AGUA	m ³ m ²	3	2	2	2	2	1.3	0.6	
USO DE ENERGIA	MJ m ⁻²	43	762	604	922	768	778	3465	
USO EFICIENTE AGUA	kg m ³	7.2	25.3	24.7	35.2	21.4	51.9	168.2	
USO EFICIENTE ENERGIA	kg GJ	505	67	82	76	70	87	39	
COSTOS DE INVERSION	\$ m²	\$551.00	\$715.00	\$780.00	\$934.00	\$896.00	\$1,008.00	\$3,759.00	
TOTAL INSTALACION	\$ m ²	77	110	132	142	136	151	529	
RECURSOS, AGUA,LABOR, NUT.	\$ m ²	126	361	321	413	372	397	712	
INGRESOS TOTALES CULTIVO	\$ m ²	275	708	690	10007	716	1007	1796	
INGRESOS NETOS	\$ m ²	71	237	236	451	206	458	554	
RETORNO DE LA INVERSION	\$ m²	5.3	2.8	3	1.9	3.5	1.9	3.5	

T = Tierra / SS = Sin Suelo / SSR = Sin Suelo y Reutilización de agua

Figura 4. 4 Niveles de tecnología

Sistemas de calefacción por medio de agua caliente: se basa en el uso de grandes calderas en donde el agua se calienta antes de iniciar su circulación a través de tuberías de metal que distribuyen el calor por radiación. Es efectivo ya que distribuye el calor a nivel de la planta, sin calentar todo el aire del invernadero. Utilizan con más eficiencia la energía que los sistemas de calefacción por aire, sin embargo, la inversión inicial por este equipo es mayor y el calor no está

disponible de manera instantánea ya que se necesita calentar el agua que se distribuirá en el invernadero para su difusión. Recomienda usar un sistema de calefacción de agua caliente con un sistema de control climático computarizado.

Enfriamiento: normalmente se utilizan tres métodos para enfriar y reducir las temperaturas del invernadero. Tomar en consideración que el sistema de riego también es una fuente de enfriamiento.

Ventilación natural: entre el aire dentro y el ambiente externo, este cambio es pasivo a través de aberturas laterales o en el techo o activamente con ventiladores que aumentan el índice de cambio de aire cuando el natural es insuficiente para los requerimientos de la planta. Su costo operativo es muy bajo con poco o nada de energía, mediante apertura de ventila manual o con motor.

Enfriamiento adiabático, aumenta la humedad al mismo tiempo que disminuye la temperatura dentro del invernadero. Para esto se utilizan nebulizadores o paredes húmedas.

Nebulizador o rociador: rociador de niebla súper fino es óptimo para la germinación, no humedece las hojas. La gota es de 80 micrones a una presión de 4 bar. Puede reducir la temperatura ambiental de 5 a 10 °C. Incluye emisores, válvulas, ventiladores, sistema de tuberías. Se enlaza al sistema de riego. No se recomienda para climas templados o cultivos susceptibles a hongos.

Pared húmeda: Incluye pared húmeda, ventiladores, tuberías para dispersión de agua sobre las paredes, bombas, tanque de agua, tuberías para suministro de agua. Requiere energía o calor para funcionar, el cual obtiene del aire que rodea el sistema de evaporación. Requiere equipo de ventilación mecánica para que funcione. Se coloca en un extremo del invernadero y la ventilación mecánica del otro lado para extraer el aire. Los paneles son de celulosa especial que se humedece y el aire caliente se enfría evaporando el agua del panel, útil para grandes áreas. Requiere clima cálido y seco para ser eficiente. Es buena alternativa en vez de nebulización con cultivos susceptibles a enfermedades fungosas.

Ventilación mecánica: Se expulsa el aire caliente con la ayuda de ventiladores de extracción, los cuales crean una presión negativa. Normalizando la presión al permitir la entrada de aire

fresco, con lo que refresca el invernadero de manera efectiva. Usa energía ya que funciona con electricidad.

Pantallas térmicas: pueden ser fijas o móviles, se utilizan para reducir la penetración de la radiación, esta es la causa que el espacio del invernadero se caliente (efecto invernadero) Al reducir la intensidad de la penetración de la radiación, se reduce el calor dentro del invernadero y también la penetración de luz, importante para el proceso de fotosíntesis de la planta. Por lo que existen pantallas con bajos porcentajes de sombra entre 20% y 80%, dependiendo de las condiciones climáticas y el cultivo.

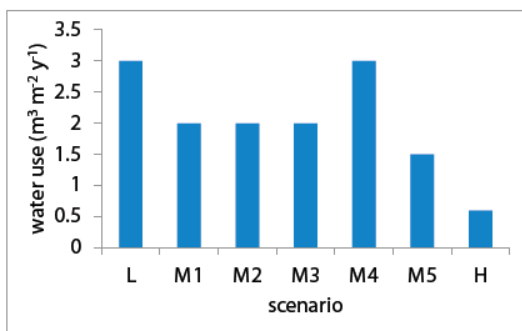


Figura 4. 5 Uso de agua

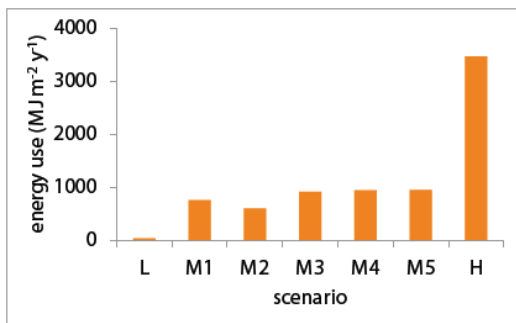


Figura 4. 6 Uso de energía

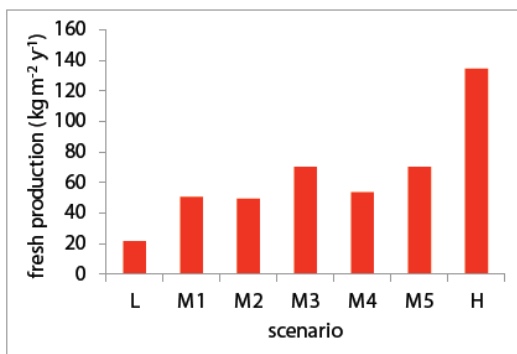


Figura 4. 7 Producción de Tomate

Aspectos positivos son el uso absoluto de agua por m² que varía poco entre escenarios, pero las diferencias en producción causan un fuerte aumento en eficiencia de uso de agua con el nivel de tecnología (Ver figura 4.5). La eficiencia energética disminuye cuando el nivel tecnológico aumenta (Ver figura 4.6). Vidrio difuso que mejora la distribución de la luz y pantallas térmicas para reducir pérdida de calor en invierno son más medidas rentables para aumentar la productividad (Ver figura 4.7). El cultivo sin suelo aumenta la sostenibilidad en términos de uso de agua, y también en términos de uso de los nutrientes. Esto puede optimizarse aún más mediante

la reutilización del agua de drenaje.

Sin embargo, falta de capital, altos costos, mercados inestables o inertes, falta de organización y el alto riesgo fueron identificados como factores que influyen negativamente en la generación de ingresos para los agricultores. La importación es otro aspecto negativo por los altos costos que genera, tiempo de

entrega o procedimientos.

El nivel de tecnología 4 fue viable para la zona, coinciden con el estudio previo de (Costa & Giacomelli), en cuanto la tecnología media con el implemento de algunas características de tecnología alta, para la obtención de mayores rendimientos, en este caso el uso de cristal por su durabilidad y la reutilización de agua en los cultivos sin suelo –hidroponía-. Señalan considerar seriamente el diseño local con sus variaciones climáticas a largo plazo. Este estudio nos muestra como el uso de alta tecnología incrementa los costos de inversión y no crea un retorno de inversión a corto plazo.

Propiedades de las Envolventes en la Agricultura

Conociendo factores climáticos que influirán en el funcionamiento dentro y fuera de la envolvente podremos conocer las características de los distintos materiales en la elaboración de invernaderos. Ya que constituye el agente modificador del clima natural de la zona en donde se construya el invernadero. La elección del material depende de criterios que interaccionan entre si y nos ayudaran en la elección del material apropiado, se pueden resumir en:

1. Propiedades ópticas, térmicas y mecánicas
2. Estructura del invernadero, anclaje o sujeción
3. Respuesta agronómica debida al material empleado (precocidad, producción y calidad)

El material ideal sería el que tuviese el espesor y flexibilidad de los plásticos y las propiedades ópticas del vidrio. Es decir, el que sea muy permeable durante el día, a las radiaciones de longitud de onda inferiores a 2.500 nm y por la noche fuera lo más opaco posible a las radiaciones de longitud de onda larga, emitida por suelo y plantas, que son las que mantienen calientes a los invernaderos.

Plásticos

Los plásticos han permitido convertir las tierras en modernas explotaciones agrícolas, la elección de un material en la cubierta influye en el tipo de estructura del invernadero, peso que se debe soportar, distancia entre apoyos. Los plásticos tienen poco peso dentro del invernadero y están diseñados para transmitir una buena calidad y cantidad de luz para aumentar el desempeño y el rendimiento del cultivo, al mejorar la eficiencia de la fotosíntesis por el incremento en la

dispersión de luz, que se hace más importante en cultivos que causan sombra, cultivos altos como el jitomate.

La cubierta debe ser térmica ya que protege contra el frío al prevenir pérdidas de radiación de calor hacia la atmósfera, mantiene secos a los cultivos y mantiene una temperatura de follaje más alta, reduce la incidencia de daños por helada y puede contribuir al ahorro de costos de calefacción.

El plástico debe disminuir la tensión superficial de las gotas de agua que se depositan sobre el plástico como producto de la condensación, aumentando la transmisión de luz, impidiendo goteos sobre el cultivo. Mediante el uso de aditivos, se logra que el polietileno bloquee la entrada de la radiación UV al invernadero, lo cual ayuda a reducir: daños causados por insectos/plagas del cultivo, incidencia de enfermedades virales transmitidas a las plantas, proliferación de enfermedades del follaje, y en consecuencia minimizar el uso de fungicidas y pesticidas que se aplican al cultivo.

Algunas desventajas de los plásticos es el Envejecimiento que viene determinado por la degradación de sus propiedades físicas, radiométricas y mecánicas.

1. Envejecimiento Físico. La degradación física se puede realizar por observación del material que revela la aparición de desgarraduras en las láminas plásticas o mallas de sombreo, desprendimiento de la capa de aluminio en pantalla térmica, etc.
2. El Envejecimiento Radiométrico: Un procedimiento sencillo para determinar los cambios en la transmisión de luz de un material, debidos a la acción de los rayos solares, es medir periódicamente la radiación fotosintética activa (PAR) comprendida entre 400 y 700 nm, que es primordial para las plantas, ya que condiciona su rendimiento. Esta medida hecha tanto al aire libre como bajo el material de cubierta, nos informa de las variaciones en la capacidad de éste para transmitir el máximo de luz.

Policarbonato

Esta placa está protegida, por la parte que se expone al exterior, por una película que protege de los rayos UV al resto del material para evitar su degradación. La transformación a la luz de la

gama de radiaciones visibles e infrarrojos cortos es del 76-83%, según el grosor de la placa y paredes.

En los productos que lleven la protección en la parte exterior, para no dejar pasar a las radiaciones UV, éstas no pasan al exterior; esta propiedad, que presenta una ventaja para los cultivos que se hacen en invernaderos, resulta inconveniente cuando el invernadero está dedicado a producción de plantas hortícolas, que luego van a plantarse al aire libre, por efecto de choque que se produce, al recibir la luz directa del sol con todas las radiaciones UV. Las múltiples paredes de que consta la placa, forman una cámara de aire dentro de los canales internos que hacen aumentar el poder aislante en un porcentaje muy elevado, respecto al mismo material en placa sencilla.

El policarbonato tiene una gran resistencia al impacto (granizo, piedras, etc...). Estas placas pueden adaptarse en frío a estructuras con perfiles curvos de radio suave. En los fabricados actuales en la pared, que queda en el interior, puede llevar un tratamiento anti condensación y anti goteo, que permiten el deslizamiento de las gotas de agua, sin que llueva sobre el cultivo. La duración de las placas de policarbonato celular está garantizada por los fabricantes en 10 años. Se ralla con los objetos punzantes.

Vidrio

Este material fue el primero en utilizarse hasta la aparición de los materiales plásticos, Se emplea en zonas de clima extremadamente frío o en cultivos especializados que requieren una temperatura estable y elevada. El vidrio impreso, está pulido por una parte y por la otra está rugoso. En la colocación del cristal sobre la cubierta de la instalación, la cara rugosa quedará hacia el interior y la cara lisa hacia el exterior. Así recibirá por la parte exterior casi todas las radiaciones luminosas que al pasar a su través se difundirán en todas las direcciones al salir por la cara rugosa. El vidrio es el que presenta una transmisión óptica y térmica más óptima. Resistente a la radiación UV y a la polución manteniendo sus propiedades iniciales a lo largo de su vida.

El cristal tiene la propiedad de ser casi totalmente opaco a las radiaciones de longitud de onda larga, es decir, a las que emiten las plantas y el suelo por la noche; esta cualidad del vidrio

es muy interesante, ya que las pérdidas de calor durante la noche son mucho menores que las que ocurren con los demás materiales plásticos utilizados como cubierta. El utilizado para invernadero tiene un espesor de 2 a 4 mm con una densidad de 2.400 Kg/m³.

Dentro de las desventajas que presentan son:

1. Vulnerabilidad a los impactos, especialmente zonas con altas posibilidades de granizo
2. Peso y que se trata de unidades pequeñas necesitando por tanto estructuras sólidas
3. Elementos estructurales produzcan importantes sombras dentro del invernadero

Muchos productores en latitudes norteñas eligen cubiertas de vidrio para maximizar la penetración de la luz y emplean pantallas energéticas para maximizar la retención de calor durante la noche. Una termicidad superior al 75% sería lo óptimo. En el caso de la difusión, se permite la entrada de la totalidad de luz disponible pero es dispersada a través de una superficie amplia del invernadero. La difusión debe maximizarse de manera que la luz alcance las hojas inferiores así como las superiores. Se sugiere que haya menos de 25% de transmisión de luz directa y más de 70% de transmisión de luz difusa.

Propiedades anticondensantes: Propiedades anti condensantes son impregnadas en las cubiertas plásticas o bien aplicadas a la superficie interna del vidrio para reducir la condensación bloqueadora de luz y absorbente de calor en el interior, Por la mañana, cuando las plantas son más activas, se produce condensación, que puede bloquear hasta el 18% de la radiación global que incide en el invernadero.

Pantallas energéticas y mallas sombra: Las pantallas energéticas, diseñadas para retener calor en el invernadero durante la noche, son diferentes a las mallas de sombreo. Las pantallas energéticas son útiles para prevenir la pérdida de radiación IRL (existente en estructuras con calefacción) y por tanto mantienen algún calor en el invernadero durante la noche, reduciendo los costos energéticos. Se recomienda usar mallas de sombreo sólo para bloquear la intensidad de radiación, que provoca elevación de temperatura que cause estrés en el cultivo.

Se querrá optimizar es la penetración de la radiación fotosintéticamente activa (PAR) y la exclusión de radiación ultravioleta dañina (300 a 400 nm de longitud de onda) así como la radiación infrarroja cercana (IRC) (800 a 2500 nm) que causa el aumento de temperatura en el

invernadero. En términos generales, el vidrio de invernadero presenta transmisividad de luz de aproximadamente 75 a 80%.

La regla general (Experiencia Holandesa) es que 1% de pérdida de luz equivale a 1% de pérdida de producción. En regiones donde la luz es un limitante durante varios meses del año, tal como en latitudes norteañas en invierno, esta regla tiene mucho sentido. Sin embargo, en latitudes más al sur como donde nos encontramos, la luz es podría ser intensa. De hecho, bajo alta radiación, mayor de 800 W/m^2 , se requiere atención para proteger al cultivo.

Las temperaturas exteriores sufren un retraso y un decremento antes de llegar al interior. Esta variación depende de las propiedades térmicas de los materiales así como también de su espesor y de su densidad. Las propiedades térmicas de los materiales son su resistencia térmica y su capacidad para almacenar calor. Bajo condiciones de flujo de calor dinámico (Diseño Pasivo), las fluctuaciones de la temperatura son determinadas por el efecto combinado de las dos propiedades térmicas antes mencionadas

De las propiedades más importantes de los materiales transparentes o traslucidos como el vidrio o ciertos plásticos es su habilidad para transmitir un máximo de radiación solar (onda corta). El ángulo de incidencia regula la intensidad de la radiación solar así como también la habilidad del vidrio para reflejar, absorber y transmitir el rayo solar.

4.5 Análisis de Resultados

Al analizar las recomendaciones otorgadas para entender las características y conocimiento de los comportamientos del clima en la región obtenemos las siguientes gráficas. (Ver *figura 4.8* *figura 4.9*)

Es de notar el incremento de 3°C de la temperatura media anual de 14.3°C en 1968 a 17.3°C en 2015, como se muestra en la *figura 4.9*. Es importante para la investigación los datos que se tendrán que corroboraron con los de radiación, para la quincena más fría y la más cálida del año 2015, con lo que debemos tener contemplados medios de enfriamiento artificial dentro de las envolventes, para mantener la temperatura no más allá de los 35°C .

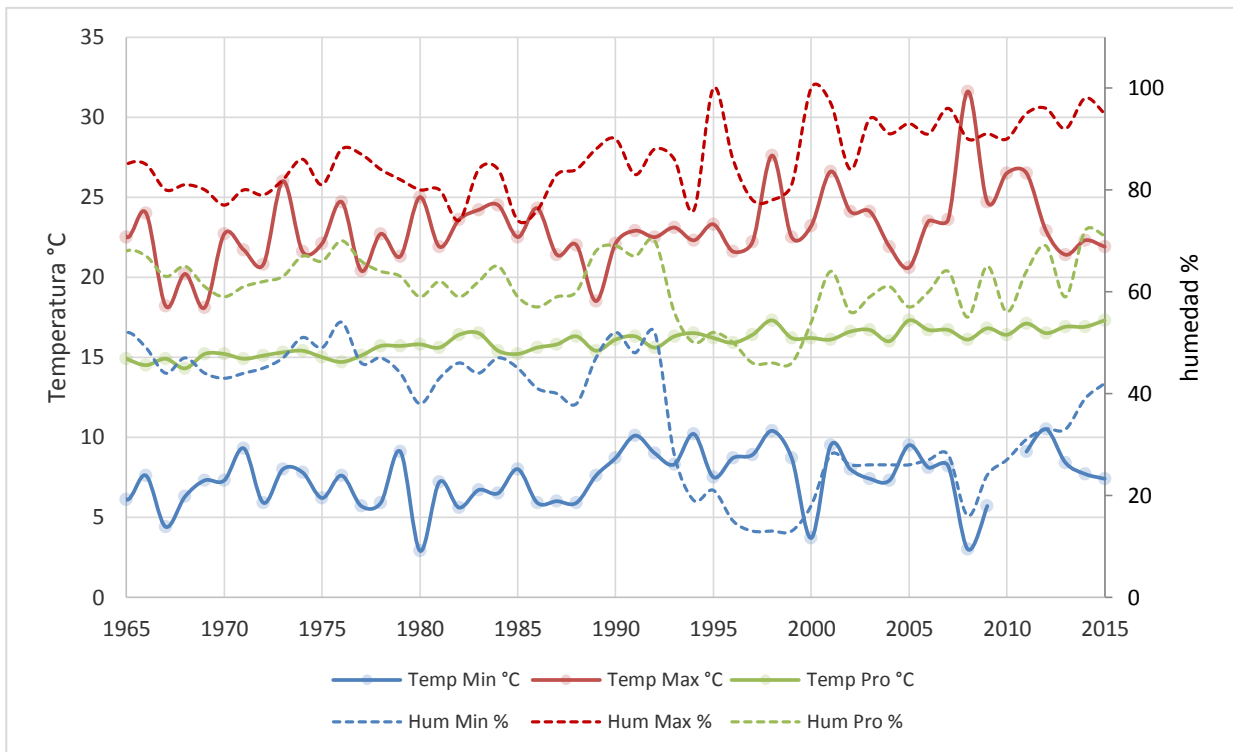


Figura 4. 9 Temperatura promedio, máximas y mínimas anuales 1965 – 2015

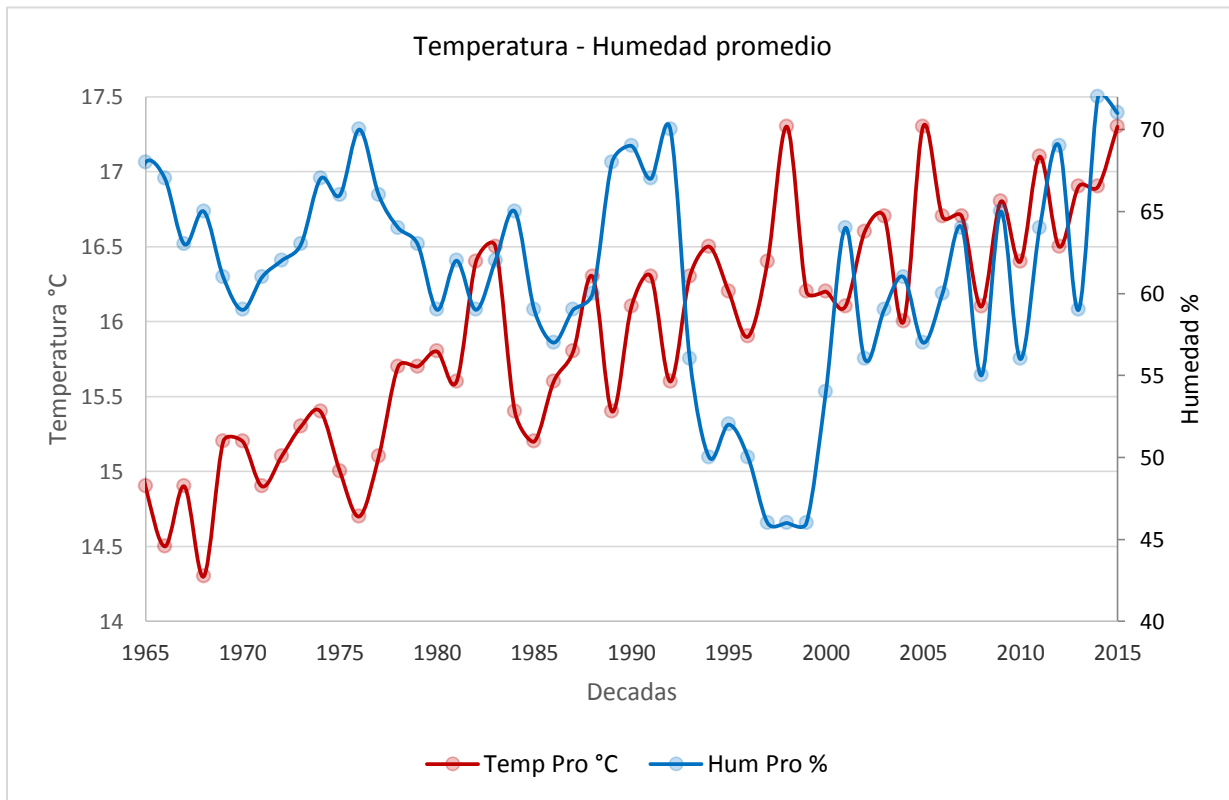


Figura 4. 8 Temperatura y humedad promedio anual 1965 - 2015

Las temperaturas promedio, máximas y mínimas se mantuvieron constantes hasta mediados de la década de los 90's, a partir de esa fecha se perciben variaciones. En 2008 se presenta el promedio de temperatura más bajo con 3°C y el promedio mayor con 31.6°C.

Aunque en el año 2015 no se superaron los 30°C, que es donde las hortalizas se ven afectadas, ya se rebaso en 2008 esta temperatura máxima y las tendencias de temperatura promedio anuales tienden a subir para los siguientes años por lo que el enfriamiento artificial es una condición a considerar en el diseño de la envolvente.

En la figura 4.10 se muestra el comportamiento de las temperaturas exteriores mensuales promedio en la Ciudad de México. Esto nos permite visualizar que tipo de control debe ejecutarse en función de las temperaturas. En el año se puede requerir calefacción solo en los meses de diciembre y enero, ya que nuestros cultivos necesitan temperaturas superiores a los 12°C, así como enfriamiento mediante ventilación natural.

Como se ve en los datos de temperaturas mínimas y máximas anuales (Ver figura 4.10), existe mucha información que no se representa de manera adecuada en los promedios mensuales, por lo que se toman los datos de promedios por hora proporcionados de la estación meteorológica ubicada en el Pedregal, Álvaro Obregón, por ser la más cercana al colegio de Geografía UNAM (AIRE, 2016). (Ver figura 4.11)

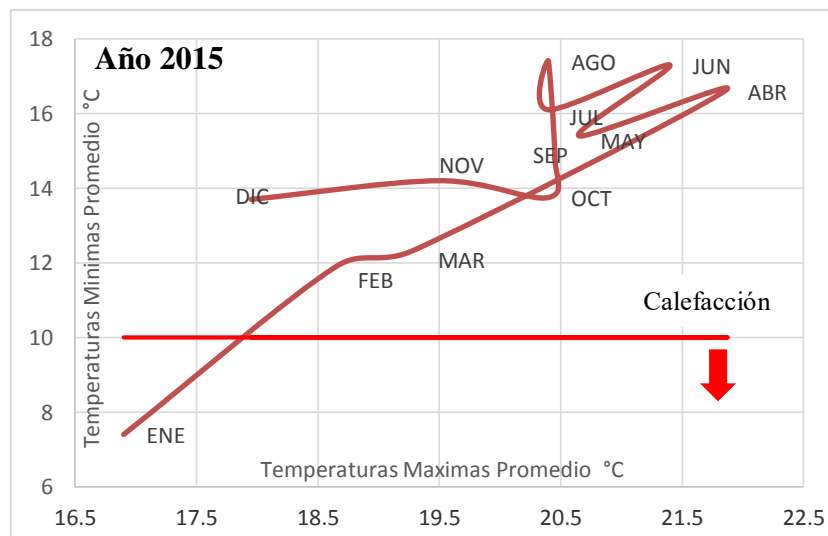


Figura 4. 10 Temperaturas promedio máximas y mínimas mensuales Cd Mx. año 2015

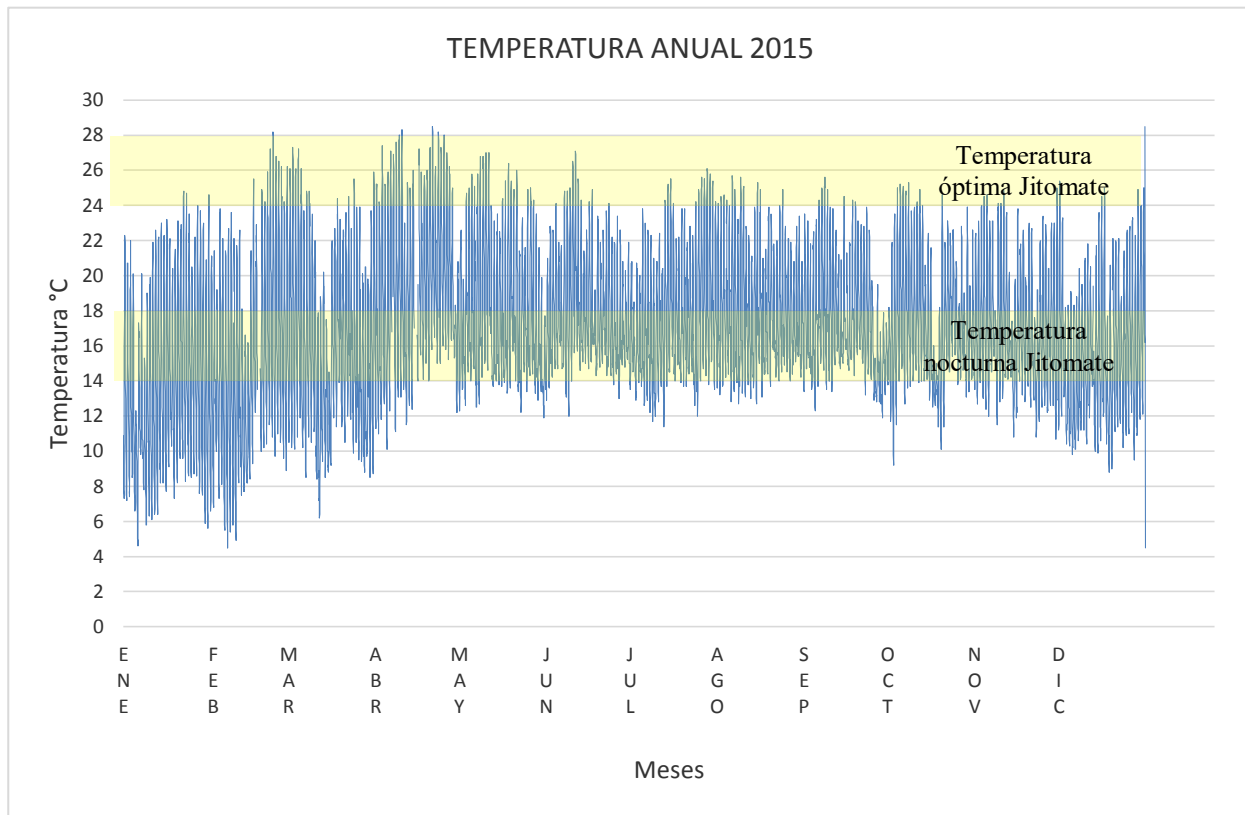


Figura 4. 11 Temperatura promedio por hora durante el año 2015

Es mejor si se consideran los datos del lugar donde se construirá la envolvente vertical y se construyen las gráficas de requerimientos de control de clima.

Esta grafica nos muestra las temperaturas promedio por hora y los cambios que sufre durante los 365 días del año. En general los requerimientos de control coinciden con las recomendaciones dadas por (Zabeltitz, 2011) e (Islas, 2016, págs. 4-6).

Se debe retener calor durante Invierno, meses de Diciembre, Enero, Febrero que se pueden extender hasta marzo, con riesgos dependiendo las condiciones, de tener heladas que afecten los cultivos. Si la temperatura promedio es menor a 12°C, las ventilas deben permanecer cerradas para mantener la temperatura interna. Con atención en el tomate, pimiento y pepino que requieren temperaturas alrededor de 15 a 18.5°C por la noche. El chile o la lechuga soportan temperaturas menores óptimas.

Para producir durante todo un año se deben considerar las variaciones de temperatura durante la noche y el día, en la *figura 4.12*, se muestran las variaciones de temperatura durante el periodo más frio del año 2015, primera quincena de Enero. Se observan que las bajas

temperaturas, inferiores a 12 °C, suceden durante la madrugada, incrementando desde que amanece hasta pasado del medio día donde vuelve a bajar la temperatura.

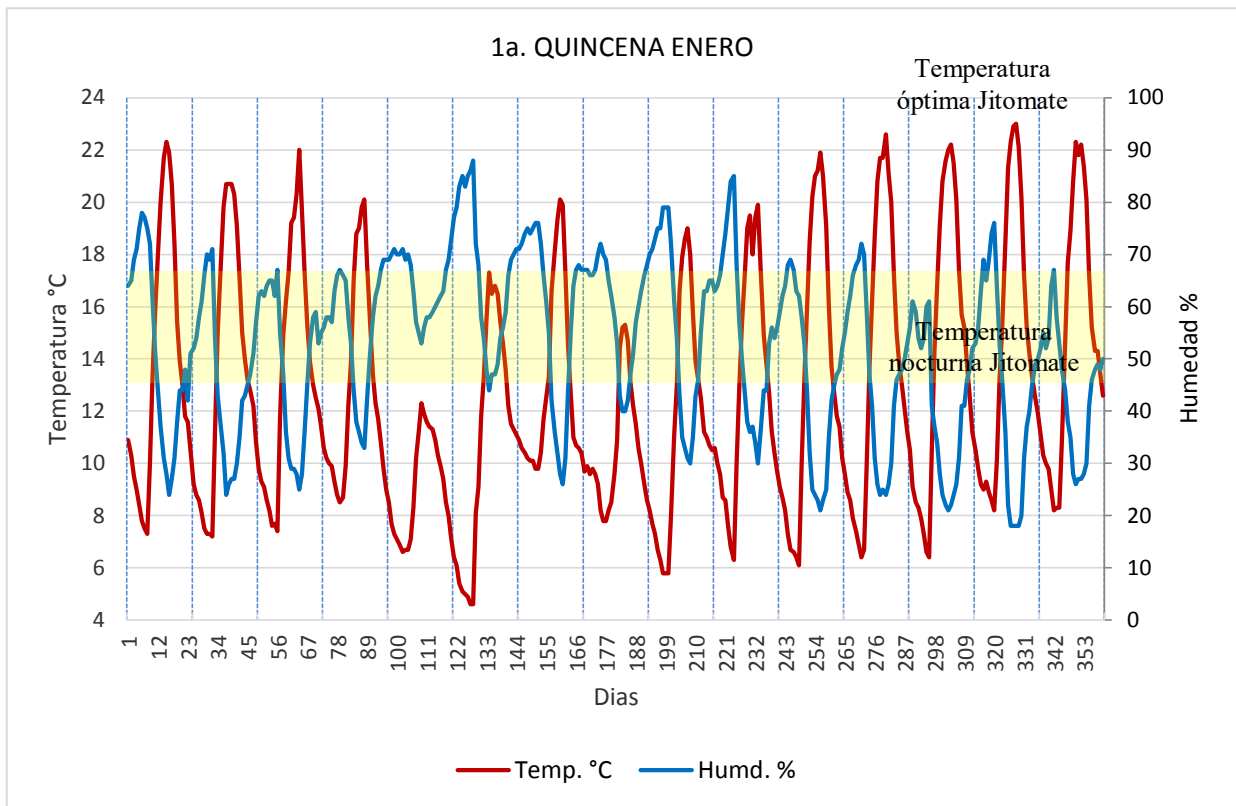


Figura 4. 12 Temperaturas y humedad durante la primera quincena de enero del año 2015

A partir del medio día nos encontramos dentro de los rangos de temperatura nocturna de 14°C a 18°C, por lo que elevar la temperatura al interior se hace necesario por medio del efecto invernadero durante el día, permitiendo el paso de radiación, las ventilas pueden permanecer cerradas para elevar la temperatura de 24 a 28°C durante el día y podrá ser necesario la ventilación. La *figura 4.12* muestra que es necesario elevar la temperatura en temporada invernal y por lo mismo se requiere de radiación solar.

Se necesitan hacer estudios precisos sobre el comportamiento de los cultivos ante temperaturas ya que la bibliografía varía mucho en cuanto a datos de temperatura.

Estrategia de Calentamiento:

Cuando los requerimientos de calor no pueden ser cubiertos totalmente por la radiación solar, los métodos activos o convencionales de calentamiento son necesarios, por lo que la estrategia es evitar pérdidas de calor durante la noche y madrugada como muestras las gráficas en la

temporada invernal, y minimizando la ventilación. Debemos considerar evitar pérdidas de calor durante la noche, la envolvente en este caso de vidrio permite que entre radiación para calentar el invernadero y evita que el calor se escape, con la ayuda de la doble capa con el cristal y pantallas térmicas en el área de cultivos que retengan el calor durante la noche cuando las temperaturas son más bajas.

Los sistemas para calentar el interior actualmente utilizado en los invernaderos son los sistemas de calefacción por medio de agua caliente o piso radiante, ya que se ha demostrado su efectividad en la distribución del calor al nivel radicular de la planta sin necesidad de calentar todo el aire del invernadero.

La *figura 4.13* muestra la segunda quincena de abril, que es la que presenta la mayor temperatura anual, al incrementar la temperatura mediante efecto invernadero arriba de 30°C se presentan fenómenos de sobre calentamiento y por lo tanto es necesario sombrear y ventilar para iniciar las estrategias de enfriamiento.

Estrategias de Enfriamiento:

Como marca la *figura 4.13* es importante utilizar sistemas de ventilación natural durante todo el año, o sistemas evaporativos, apoyados de ventilación mecánica para expulsar el aire caliente, esto puede mantener la temperatura adecuada al interior de un invernadero tradicional.

El enfriamiento evaporativo puede llegar a ser necesario arriba de los 36°C, aunque la ventilación mediante ventilas rígidas o en la parte superior en climas húmedos y cálidos puede ser suficiente, o el uso de sombreado al exterior.

Ventilación natural: es posible mantener el confort en el interior utilizando estrategias de ventilación, se logra el confort térmico por medio del movimiento del aire que remueve la humedad. Cuando la temperatura aumenta por nuestra estrategia de calentamiento fuera de los rangos establecidos podremos generar sombra a los cultivos por la incidencia directa. Otra estrategia son las pantallas sombra al interior con un alto grado de difusión de luz.

Los niveles de sombreo bajo luz difusa pueden ir de 30% a 69% y bajo luz directa de 37% a 72%. Este nivel de sombreo también lo podremos obtener de distintas clases de cristales.

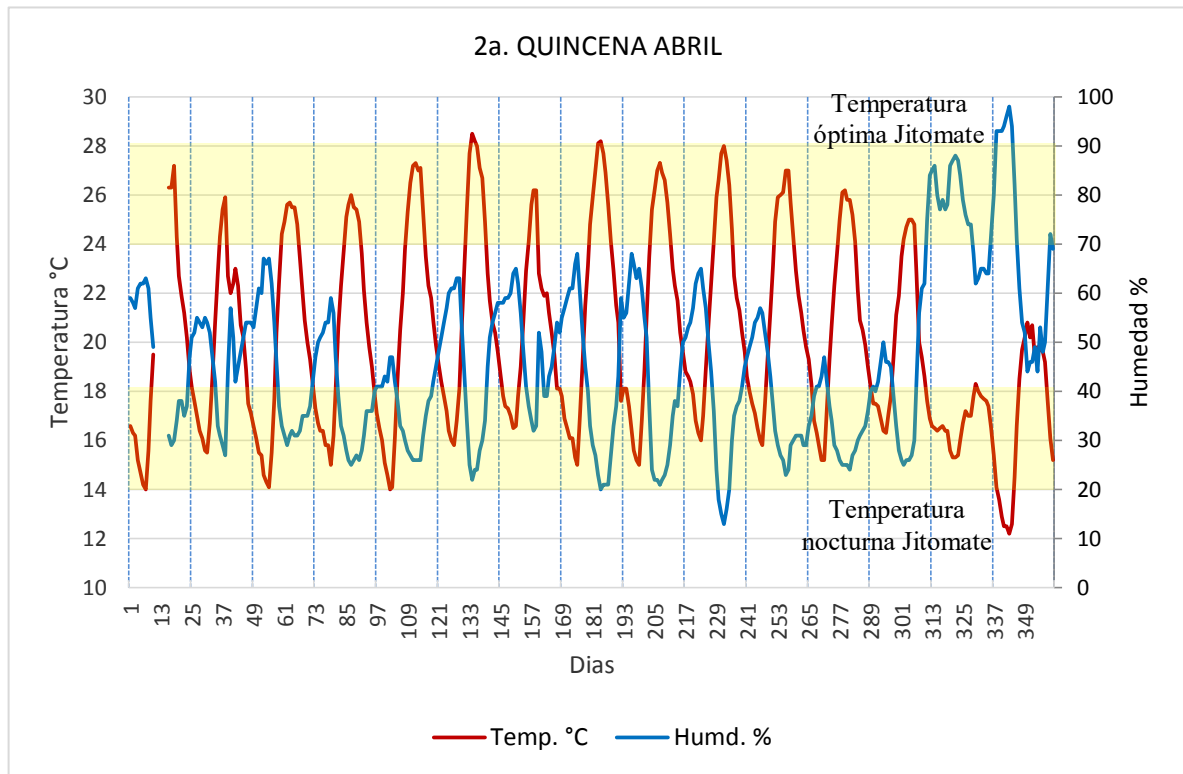


Figura 4. 13 Temperaturas durante la segunda quincena de Abril del año 2015

Vemos adecuado el implemento de dos características de los niveles de tecnología alto como son el manejo de cultivos sin suelo con la reutilización del agua, para estas torres de producción, por la problemática en el suministro de agua dentro de la Ciudad y que gracias a su reutilización podríamos ver beneficios rentables como lo muestra su estudios. Los contaminantes que los sustratos, el aire y el agua contienen en su composición es un tema de suma importancia que investigaciones desarrolladas en la Coordinación de la Investigación Científica, Ciudad Universitaria, UNAM, está analizando. La literatura marca viable el reaprovechamiento del agua en los sistemas hidropónicos, pero debemos evaluar la cantidad de agua que consume la planta, que se pierde por evaporación y que cantidad resulta al final del ciclo para poderla reutilizar. El uso de ventilas debe proveer filtros que retengan metales pesados.

De acuerdo con Zeveltitz, si la humedad relativa durante el día es <55 a 60%, la humedad interna debe incrementarse por sistemas nebulizadores o enfriamiento evaporativo. La Humedad relativa de 70 a 90% puede considerarse que está dentro de un rango seguro. (Ver figura 4.14)

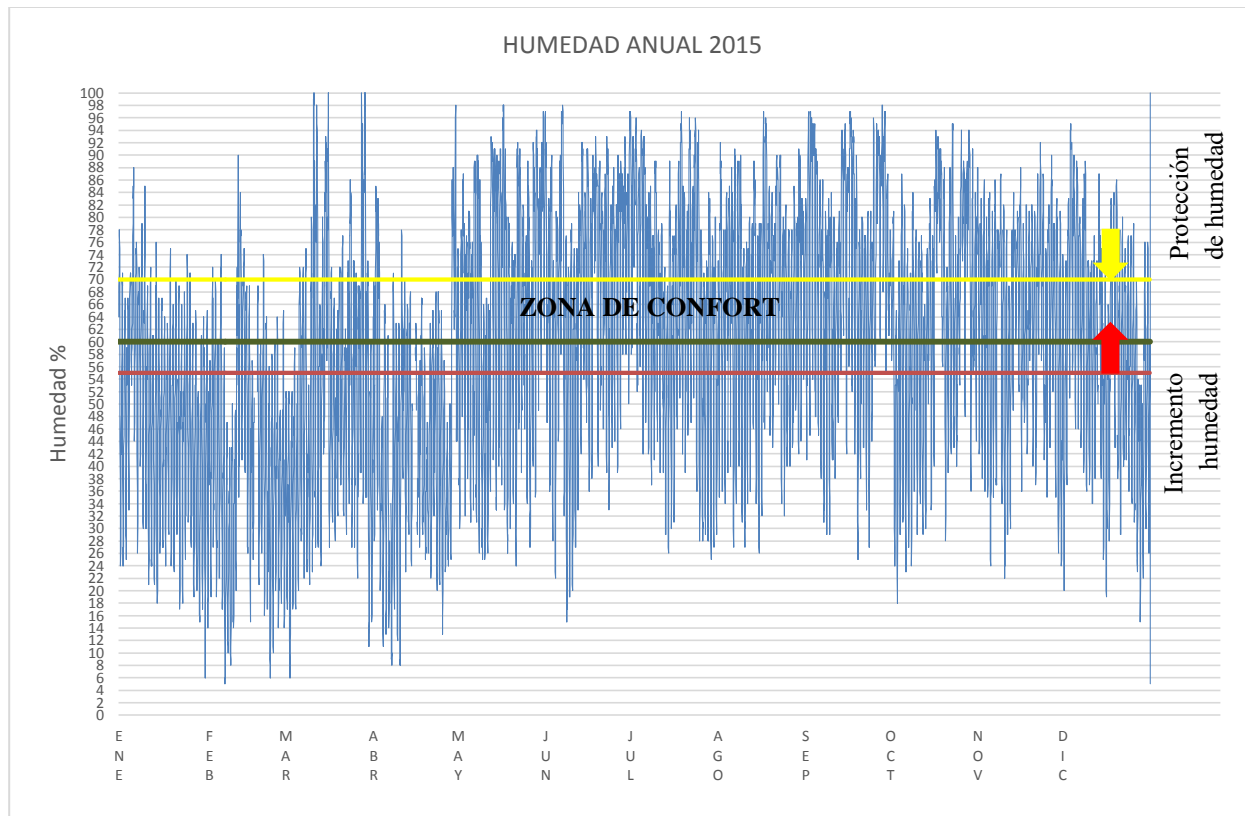


Figura 4. 14 Humedad Relativa promedio por hora durante el año 2015

Observamos que durante los cuatro primeros meses del año la humedad relativa se encuentra por debajo del rango que nos proporciona Zeveltitz, por lo que se deben integrar sistemas que incrementen la HR durante el día, que es cuando la temperatura es mayor y por lo tanto la humedad disminuye. Los datos de humedad anual marcan la segunda quincena de febrero, con el promedio anual menor con 39.26%. Durante la noche la humedad se mantiene por arriba de los rangos (figura 4.14) que disminuye durante el transcurso gracias a la radiación solar, y en la segunda quincena de Abril, en temporada seca (figura 4.13), la humedad se mantiene por debajo de los rangos establecidos de confort, por lo que se vuelve importante el uso de mecanismos que aumenten esta, desde el riego a sistemas nebulizadores.

En la figura 4.15 y 4.16 se muestran las gráficas de temperatura y radiación, donde se observa la relación que existe entre ambas variables y el efecto que causa la radiación directa, difusa y reflejada, a la temperatura con variación de sus picos de dos a tres horas al aumento de temperatura durante el día. Se debe poner atención cuando la radiación supere los 800 a 1000 w/m², y la consecuencia del aumento de la temperatura en la humedad.

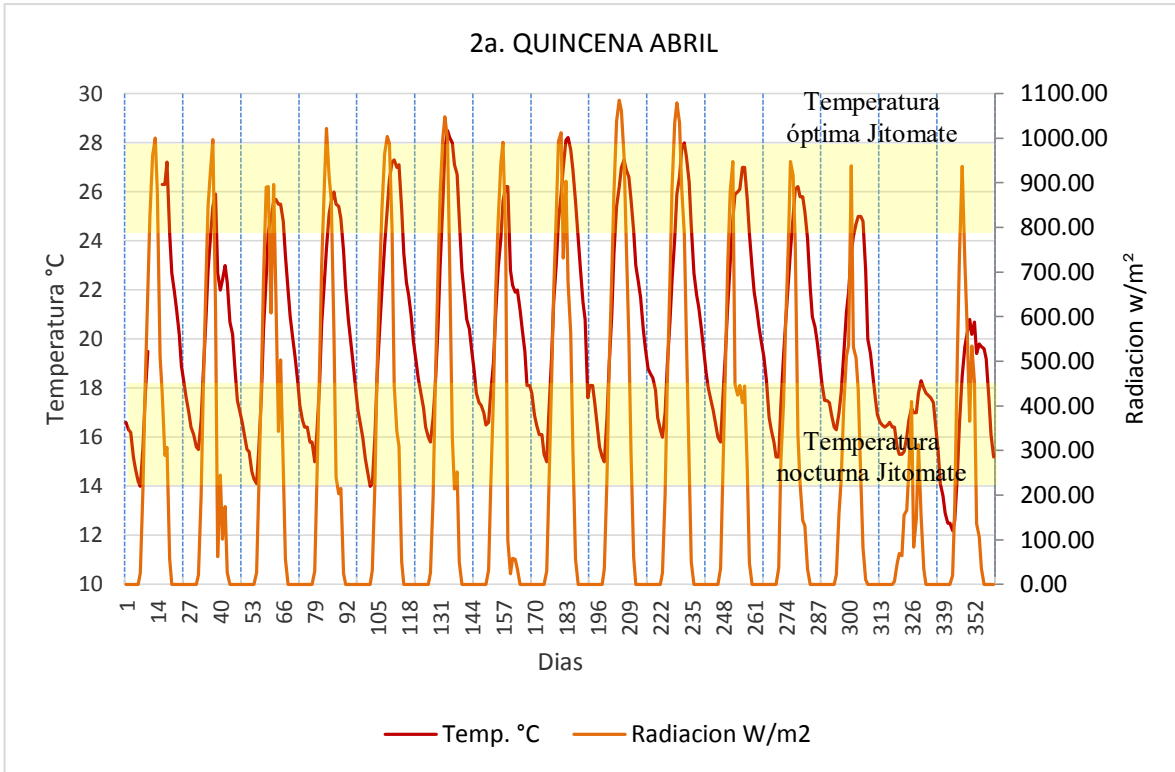


Figura 4. 15 Temperatura y radiación segunda quincena Abril 2015

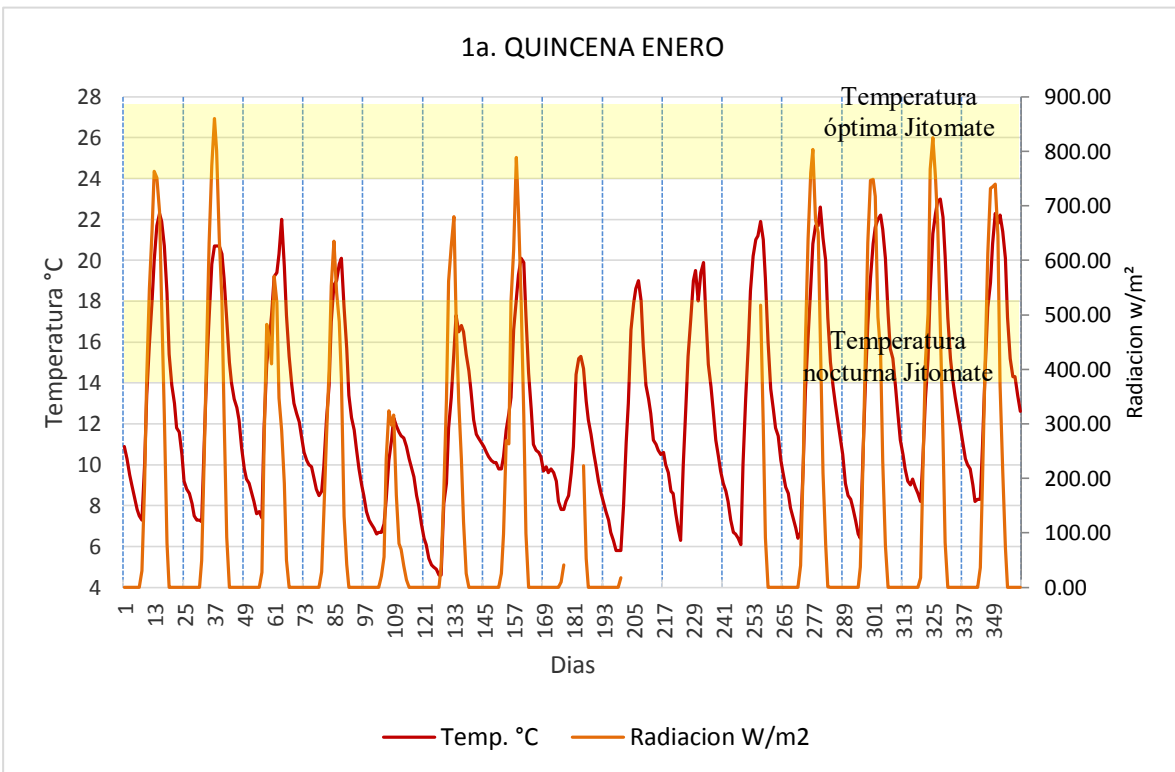


Figura 4. 16 Temperatura y radiación primera quincena Enero 2015

A causa del periodo de lluvias de Mayo a Noviembre notamos incremento en la Humedad Relativa, se selecciona la quincena con mayor promedio que es la segunda de Septiembre con un 72.59% (Ver figura 4.17). Existe mayor incremento durante la madrugada y la noche que va disminuyendo conforme la temperatura aumenta durante el transcurso del día, por lo que durante la noche será necesario proteger a los cultivos del exceso de humedad.

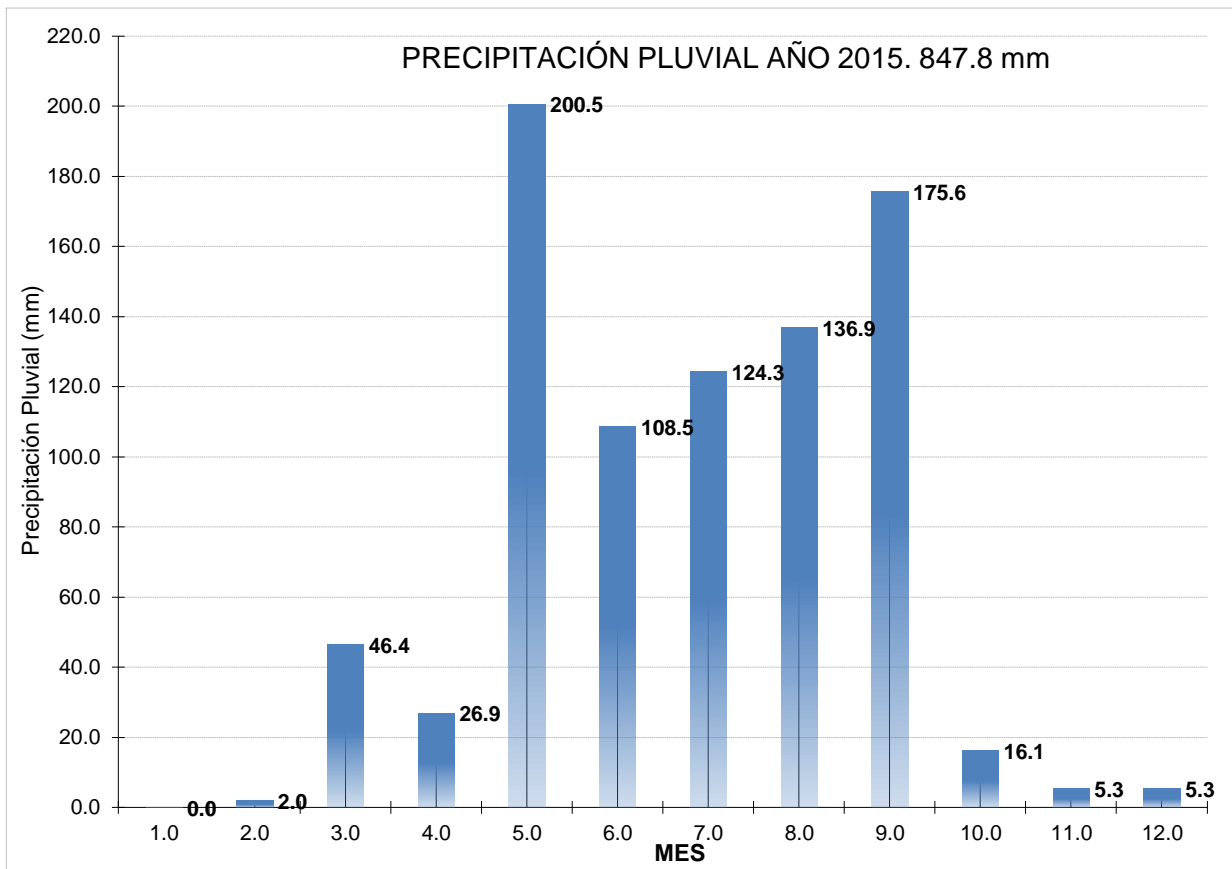


Figura 4. 17 Precipitación pluvial 2015

Ya que la temperatura y humedad son necesarias controlarlas, debemos conocer la dirección y velocidad del viento en la zona de estudio por lo que se obtienen sus datos, para permitir una ventilación optima, que deberá manejarse con ventilas que se orienten para permitir captar el viento, y en la misma proporción, permita salir el aire caliente del interior ubicadas al lado contrario de la dirección del viento que tengamos para incrementar la adecuada ventilación.

Conociendo las propiedades del viento podemos utilizarlo, este tiene inercia, masa y sigue un camino de mínimo esfuerzo. En la ciudad de México se dice que llega del norte, pero con los datos obtenidos por hora proporcionados de la estación meteorológica ubicada en el Pedregal,

Álvaro Obregón nos dan muestra que no es una constante, por lo que se requiere obtener mes con mes los datos de la zona. Durante el periodo 2015 existe predominio de los vientos dirección suroeste, con velocidades máximas de 3.3-4.3 m/s (*Ver figura 4.18*). Esta constante la encontramos durante los 7 primeros meses del año, en los siguiente tres que corresponde al mes de agosto, septiembre y octubre la dirección es nor-noroeste con velocidades de hasta 4.4-5.4 m/s (*Ver figura 4.19*), los siguiente meses de noviembre y diciembre su dirección vuelve a ser suroeste con la misma velocidad que los primeros meses. (*Ver anexo 2, análisis mensual*)

Por lo tanto la ventilación natural como estrategia de diseño es viable si se consideran fachadas ventiladas en la parte inferior y superior, buscando salida el aire en la parte alta del edificio que es donde el aire menos denso tendrá salida, por medio de ventilas que puedan regular la ventilación en la parte superior a manera de dientes de sierra, según la ASHARE en la parte alta del edificio el viento genera valores negativos, esto se traduce en que se crea succión, por lo tanto una adecuada ventilación, con la correcta orientación. Al colocar estas ventilas en el sentido contrario a la constante de la dirección del viento, podremos obtener una adecuada ventilación donde el aire caliente al ser menos denso pueda escapar del interior y proporcionar enfriamiento cuando se requiera bajar la temperatura al interior de la envolvente.

De manera indirecta, cuando la velocidad del viento sea menor podremos apoyarnos de extracción mecánica, y mover el aire del interior. Al crear una doble capa, entre nuestro techo y las pantallas sombra, provocaremos que el aire se mueva y cruce cuando sea necesario o cerrarlo en temporada invernal para mantener el aire caliente al interior sobre todo en las noches que son donde se encuentran nuestras bajas temperaturas como se analizó anteriormente.

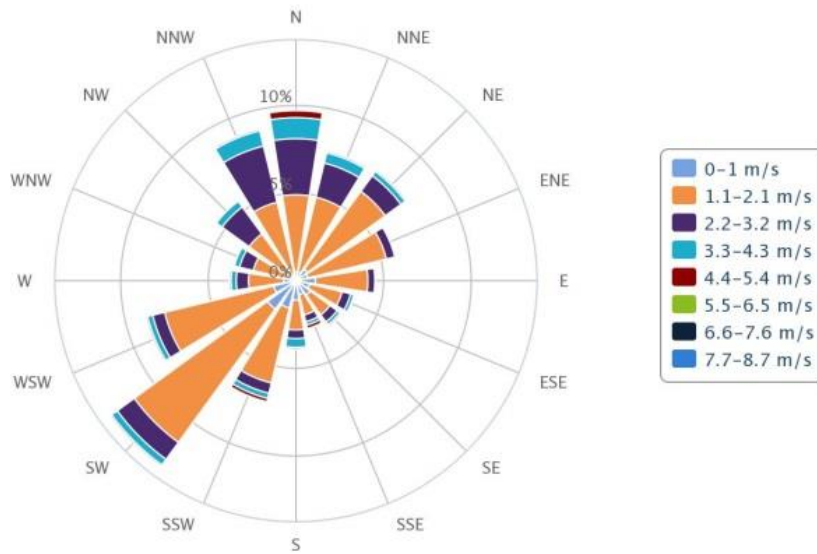


Figura 4. 18 Rosa de los vientos promedio año 2015

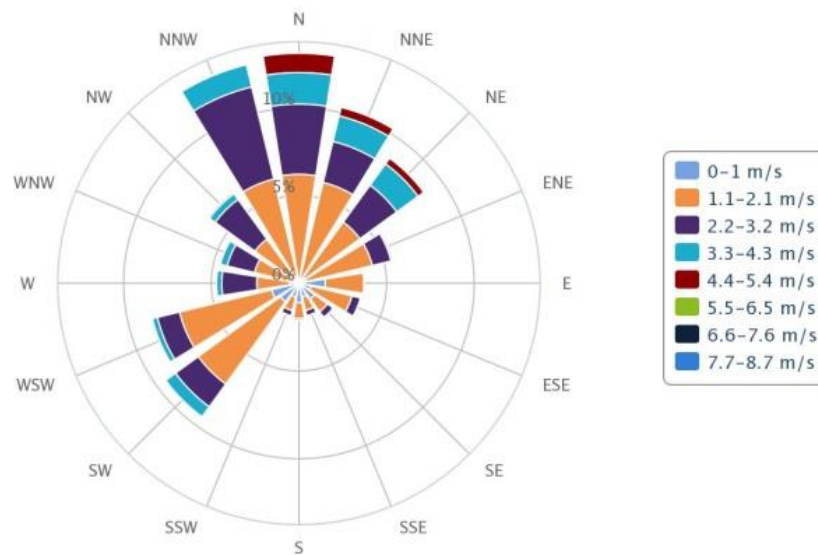


Figura 4. 19 Rosa de los vientos - Agosto año 2015

4.6 Alternativas y recomendaciones

La otra característica es el implemento de cristal difuso, ya que ofrece una máxima transmisión de luz aproximadamente del 75 a 89%, favoreciendo el proceso de fotosíntesis en

los cultivos y sus características de durabilidad en edificios de producción lo hace la opción a considerar. El estudio de las características ambientales y las propiedades del cristal nos guiara a soluciones con las que la envolvente deberá contar, como su capacidad de introducir luz, calor, proteger del medio, ventilar y probablemente transmitir energía para reutilizar como apoyo en los sistemas de enfriamiento o calentamiento que requieren las plantas en su proceso de crecimiento.

Ya que el cristal nos permite captar las emisiones de onda corta de la radiación solar para calentar y que la longitud de onda corta quede atrapada y evitar que el calor se escape, se elabora el cálculo térmico de distintos sistemas para conocer su transmitancia térmica o valor U. Para esto se necesita primero conocer el valor de conductividad térmica k , y espesor para obtener su resistencia térmica R del sistema al flujo de calor. Se utilizan las siguientes formulas (Ver figura 4.20), el valor k conductividad térmica lo dan los proveedores de los distintos sistemas constructivos⁵⁸. (Zeevaert Alcántara, 2014)

Conducción RESISTENCIA TERMICA			
	$R = e \times 1 / k$	$R = e / k$	$m^2 \text{ } ^\circ\text{C W}^{-1}$
	R = Resistencia Termica		
	e (mm) = espesor de sistema		
	k = es el coeficiente de conductividad térmica en $\text{W m}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$		
Conducción TRANSMITANCIA TERMICA			
	$U = 1 / \Sigma R$		$\text{W m}^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
	U = Transmitancia Termica		
	R = Resistencia Termica		
	FLUJO DE CALOR POR UNIDAD DE AREA		W m^{-2}
	$Q/A = U (t_{ae} - t_{ai})$		
	Q/A = Flujo de calor por unidad de area		
	U = Transmitancia Termica		
	t_{ae} = Temperatura Aire Exterior		
	t_{ai} = Temperatura Aire Interior		

Figura 4. 20 Fórmulas para calcular Resistencia Térmica y Transmitancia Térmica

⁵⁸ Zeevaert Alcántara, L. (2014). *Interaccion del medio ambiente y la envolvente Arquitectonica*. Ciudad de México.

Hasta el momento solo se ha considerado la transferencia de calor por medio de conducción. Se debe tomar en cuenta las diferencias de temperatura de un lado a otro de un muro, es necesario considerar el intercambio de calor que ocurre entre las superficies interior y exterior del sistema, si existen espacios de aire dentro del muro y el aire exterior e interior respectivamente, esos valores se obtienen de las siguientes tablas (Ver figura 4.21).

RESISTENCIA TERMICA DE LA SUPERFICIE INTERIOR				
	EMISIVIDAD	FLUJO DE CALOR	Rsi = m ² °C W ⁻¹	
MUROS	ALTA	HORIZONTAL	0.123	
	BAJA		0.304	
TECHOS Y PISO	ALTA	HACIA ARRIBA	0.106	
	BAJA		0.218	
TECHOS Y PISO	ALTA	HACIA ABAJO	0.150	
	BAJA		0.562	
RESISTENCIA TERMICA DE LA SUPERFICIE EXTERIOR				
	EMISIVIDAD	PROTEGIDO	NORMAL	SEVERO
MUROS	ALTA	0.08	0.055	0.03
	BAJA	0.11	0.067	0.03
TECHO	ALTA	0.07	0.045	0.02
	BAJA	0.09	0.053	0.02

Figura 4. 21 Resistencia Térmica de la superficie interior y exterior

La velocidad del viento puede tener un importante efecto sobre el flujo de calor de un sistema o elemento expuesto. Se consideran 3 categorías:

Protegido - Edificio bajos o pisos bajos en zonas urbanas.

Normal - Del 4° al 8° piso en zonas urbanas.

Severo - Arriba del 8° piso o a campo abierto

La resistencia térmica de un espacio con aire o cavidad depende del intercambio de calor entre las dos superficies paralelas dentro de la cavidad. El intercambio de calor se debe a fenómenos de radiación y convección. Los factores principales que afectan la resistencia térmica de la cavidad son:

1. radiación entre las 2 superficies opuestas.
2. ancho de la cavidad distancia entre las 2 superficies
3. movimiento del aire flujo y dirección del aire en la cavidad

Los valores típicos de resistencia térmica en cavidades no ventiladas con materiales de alta emisión se muestran en la figura 4.22.

RESISTENCIA TERMICA DE ESPACIOS DE AIRE NO VENTILADOS			
ANCHO DE CAVIDAD	EMISIVIDAD	FLUJO DE CALOR	FLUJO DE CALOR
		HORIZ Y ARRIBA	ABAJO
5 mm	ALTA	0.11	0.110
	BAJA	0.18	0.180
20 mm	ALTA	0.18	0.210
	BAJA	0.35	1.060
METAL CORRUGADO	ALTA	0.09	0.110
ALUMINIO DENTRO CAV.	BAJA	0.62	1.760

Figura 4. 22 Resistencia Térmica de espacios de aire no ventilados

Considerando que la resistencia térmica del cristal es 0, y por lo tanto la resistencia para una hoja de cristal es la suma de la resistencia externa y la interna bajo condiciones normales. Se toman los datos de las tablas anteriores para la resistencia térmica interior y exterior, para calcular la transmitancia térmica del material y obtenemos, para un vidrio sencillo, su valor U es de $5.60 \text{ Wm}^2\text{k}$.

El simple hecho de crear un doble acristalamiento con aire al interior nos permite obtener un valor más bajo en la transmitancia térmica y valores mayores en su resistencia térmica del sistema. (Ver Figura 4.23 y 4.24).

RESUMEN. Cristal			
Sistema	Ancho Sistema (m)	R (m^2kW)	U (Wm^2k)
Vidrio sencillo	0.006	0.178	5.604
Doble cristal - aire	0.017	0.358	2.790
Doble cristal - argon	0.017	0.461	2.171
Triplecristal - Aire	0.028	0.538	1.857

Figura 4. 23 Resistencia y transmitancia para diferentes sistemas de cristal

Vidrio sencillo			
MATERIAL	ESPESOR	COND. TERMICA	AISLANTE TERMICO
	(m)	(w/mK)	(m ² K/W)
Conveccion Exterior			0.055
Cristal Claro	0.006		0.000
Conveccion Interior	1.000	8.100	0.123
Ancho Total	0.006		R 0.178
			U 5.604
			m ² kW
			Wm ² k

Figura 4. 24 Valores de resistencia y transmitancia térmica del cristal sencillo de 6 mm.

El argón es un gas noble, incoloro e inerte, que no reacciona a altas temperaturas, que por la poca conductividad térmica se utiliza como aislante térmico dentro de dos cristales.

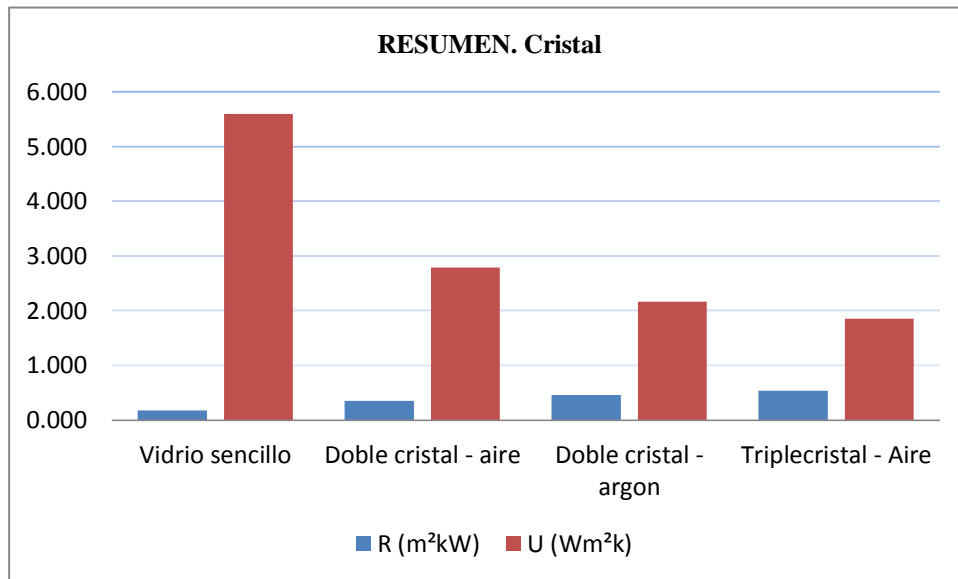


Figura 4. 25 Grafica aislamiento térmico de cristal.

Estas propiedades de aislamiento térmico, ópticas y mecánicas se utilizan en los sistemas doble capa de las principales compañías proveedoras de cristales con funciones específicas. Características como la resistencia, durabilidad, la permeabilidad durante el día a las radiaciones de onda corta, y el mantener las de onda larga durante la noche emitida por suelo y plantas hace que mantenga caliente al invernadero.

Los datos se corroboran en el Laboratorio de la Unidad de Posgrado de la UNAM, con muestras de doble acristalamiento con propiedades térmicas, contra cristales sencillos de 6 mm y su comportamiento ante la radiación solar. Se determina un día soleado, 22 de Noviembre de

2016, y mediante solarímetro que mide la intensidad de la radiación solar global, nos otorgan datos de energía solar sin cristal de 1,037 w/m². Se determina la altitud del día seleccionado que es de 50.4°, por lo que el cristal se coloca perpendicular a los rayos del sol a medio día, esto es a 40° sobre la horizontal de esta manera se determina el paso de radiación solar gracias a las propiedades de los cristales. (Ver figura 4.26).

VIDRIO	ESPESOR	RADIACION
Sin cristal	(m)	1,037 w/m ²
SGG STADIP CLARO	0.006	834 w/m ²
SGG STADIP VERDE	0.006	456 w/m ²
SGG STADIP NIEBLA	0.006	732 w/m ²
SGG DIAMANT EXTRA CLARO	0.006	873 w/m ²
SGG BIOCLEAR	0.006	768 w/m ²
SGG COOL-LITE 60/28	612)6	282 w/m ²
SGG COOL-CLIMAPLUS	612)6	424 w/m ²




Figura 4. 26 Resultados estudio de cristal

El cristal claro reduce en un 20% la cantidad de radiación, es de notar el comportamiento del cristal con la película verde reduce en 55%, muy similar al comportamiento de doble acristalamiento del cristal SGG COOL-CLIMA PLUS. El cristal Saint Gobain SGG COOL-LITE 60/28 6(12)6, de control solar y aislamiento térmico reforzado con argón en su interior, reduce en un 72% la intensidad de radiación de energía solar.

TL: Transmisión luminosa: %de luz visible que pasa a través del vidrio

RLe: Reflexión luminosa exterior: % de luz visible reflejada hacia el exterior

RLi: Reflexión luminosa interior: % de luz visible reflejada hacia el interior

TE: Trasmisión energética: % de energía solar transmitida a través del vidrio

AE: Absorción energética: % de energía solar absorbida por el vidrio

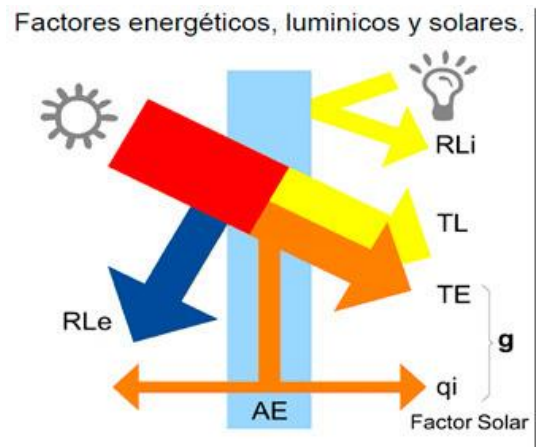


Figura 4. 27 Propiedades ópticas solares del cristal

g: factor solar: Energía solar total que pasa al interior. A menor valor mayor eficacia de control

SC: Coeficiente de sombra: protección solar referida a un vidrio incoloro de 3 mm.

U: transmitancia térmica: cantidad de calor transmitida a través del vidrio de acuerdo con la diferencia de temperatura.

El cálculo anterior y el experimento muestra que la envolvente doble capa podrá prevenir la entrada de calor en el interior en los meses que presentan temperaturas más altas en el exterior, lo que podría perjudicar al no permitir calentar el invernadero y permitir temperaturas arriba de 24°C, que es donde algunas hortalizas encuentran confort, además los niveles de iluminación bajan lo que se traduce en pérdidas de producción. Cristales de alta transmisión de luz, son necesarios.

Selección de cristal SGG COOL-LITE 60/28, con reducido factor solar y bajo coeficiente de sombra hacen que tenga una alta transmisión de luz y un buen aislamiento térmico con valor U 1.0 W/ (m².K) que disminuye el paso de calor, durante los días de temperatura mayor. Por lo que la recomendación otorgada por productores y especialistas, en materiales que permitan mayor transmisión de luz, mayor flujo de calor para calentar el interior y mantener al cultivo del jitomate a temperatura mayor a 24°C, se selecciona el cristal claro, y la doble capa se complementa con pantallas energéticas elaboradas de tiras de aluminio, que por una lado tienen la función de controlar la radiación para que el interior no exceda su temperatura, y durante las noches en temporada invernal, estas tienen la función de retener el calor, gracias a no permitir la radiación de onda larga y mantener de esta forma la temperatura ideal.

Durante invierno que los rayos solares están más inclinados llegando a 47.10°, se propiciara la ganancia de calor durante el día para cerrarse y almacenar el calor durante la noche, las ventilas deberán cerrarse para cumplir el objetivo, almacenando en la parte superior el aire caliente y transmitiendo el calor paulatinamente durante la y mantendrá una temperatura cálida que ayuda a mantener las raíces a temperatura ideal y reducir costos energéticos.

Deberemos considerar una protección que vaya actuando dependiendo la época y mediante un control automatizado que ayude al manejo de los rangos de temperatura variantes. La superficie interior del vidrio debe contener una película anti condensante para reducir esta ya que podrá bloquear hasta el 18% de radiación global.

A pesar de que no parece necesario implementar luz artificial, en el momento de tener varios pisos para producción de alimentos, y estancias de considerable altura, hace falta hacer el análisis de sombras que causen estos, así como sistemas en la transmisión de luz natural que nos otorguen datos sobre la intensidad de estos hacia los cultivos. García Alcántara⁵⁹ concluye en su análisis de luz natural que existe en la región, 100,000 lx promedio, tiene el suficiente nivel de transmisión de irradiancia e iluminancia que favorecen el sistema mediante tubos transmiten la iluminación natural hacia el interior, mediante tubos con una superficie interna altamente reflectiva. Pero deberá contemplarse un sistema de luz artificial debido a la variación del recurso natural, en los meses de mayor nubosidad que afectan su disponibilidad. En el invierno la captación a 45° respecto de la horizontal y orientado al sur presento los mejores resultados, ya que el número de rebotes dentro del tubo provoca la disminución en la transmisión de luz.

En resumen con estos datos seleccionamos el día más frío del año 2015 que fue el 5 de Enero con una temperatura promedio de 9.04°C y humedad relativa promedio de 64.25%, durante la madrugada del 6 de enero a las 7:00 am se registró la temperatura más baja del año con 4.6°C y humedad relativa de 86%. El día más cálido del año fue el 21 de Abril con una temperatura promedio de 21.7°C y humedad relativa promedio de 58%, se registra la máxima temperatura a las 14:00 horas con 28.5°C y humedad relativa de 22%. Estos datos junto con las temperaturas óptimas del jitomate durante el día y la noche se grafican en la *figura 4.28*, mediante el software gratuito Sicro v2.1.2. Con una altitud promedio de 2250.

Por lo que las estrategias se sitúan en aumentar la temperatura durante el invierno, y por tal bajar la humedad relativa, con la que debemos tener especial atención, y durante época cálido seca, se requiere subir la humedad, por lo que la temperatura nos podría disminuir, sin parecer un problema ya que se encuentra en los rangos óptimos del cultivo.

⁵⁹ García Alcántara, Miriam. (2012). Luz natural. sistema de Captación, Transmisión y Distribución. Programa de Maestría y Doctorado, Ciudad Universitaria, México. D.F.

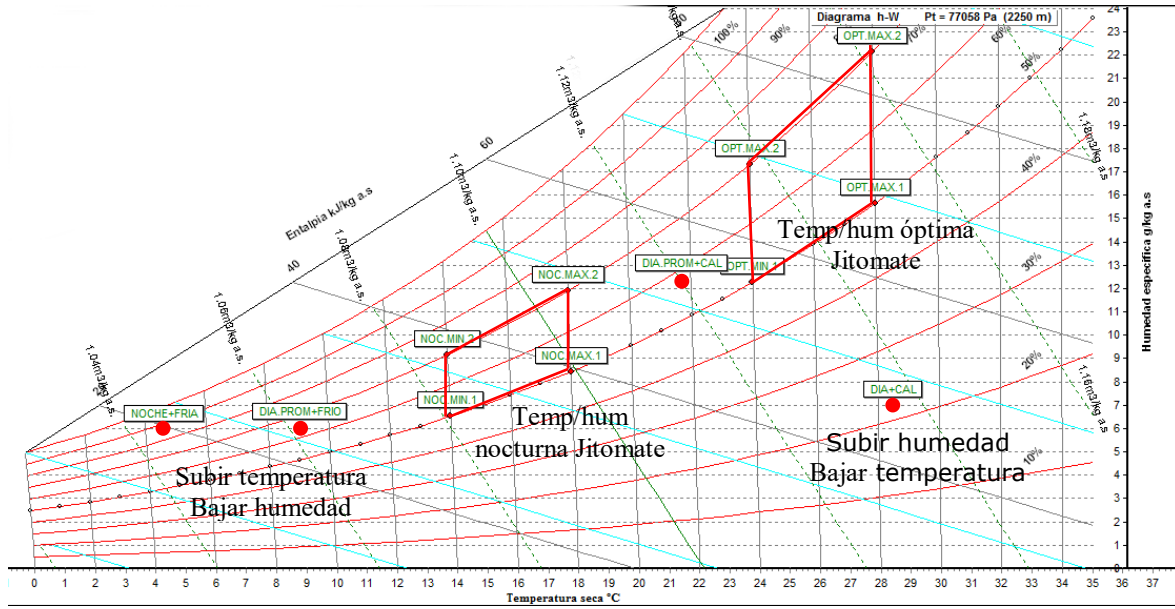


Figura 4. 28 Diagrama psicrométrico, temperatura y humedad óptima

5. APLICACIÓN MODULO BASE

La etapa de análisis se realiza paralelamente a la del diseño conceptual. Una informa a la otra de los posibles cambios necesarios para lograr un punto de partida; diversos parámetros son estudiados, como la cantidad y tipo de luz natural que entra en el edificio, la temperatura máxima y mínima, el uso del agua, la operatividad del edificio por parte de sus usuarios, el nivel de aislamiento térmico/acústico, la toxicidad de los materiales y un sinnúmero de elementos más. Generalmente estos valores se encuentran consensados por alguna institución regulatoria, como en EUA por el USGBC (*Consejo de Edificación Verde de los Estados Unidos*⁶⁰). En México, la Asociación Civil CASEDI⁶¹, se interesa en promover construcciones de calidad que contribuyan al desarrollo sustentable en las ciudades, promoviendo el desarrollo, actualización y difusión de códigos, normas, productos y servicios que protejan la seguridad de las edificaciones y salud de los usuarios, elevando su bienestar y reduciendo el impacto al medio ambiente.

5.1 Descripción del funcionamiento

Una vez analizado el clima, las características de los cultivos y temperaturas rango, así como las características de la envolvente óptima se desarrolla una propuesta que responda a las distintas épocas del año, y que tome en cuenta en su diseño lo que pasa en el día y la noche.

Se parte de la generación de un módulo de 20.89 mts por 12.20 mts, según referencias anteriores donde la captación de energía es viable en estas dimensiones, con orientación este-oeste en su dimensión menor. El módulo surge a partir del funcionamiento que tienen los invernaderos, con áreas de producción limitadas por pasillos donde se hacen las labores de siembra, cosecha o mantenimiento; al implementar sistemas verticales para los cultivos, pensamos en la utilidad que tiene el mobiliario tipo rack⁶², modulables tanto en horizontal como vertical, podremos adecuarnos a cualquier espacio o crecer tanto como se requiera.

Estos sistemas de almacenamiento, al ser de acero galvanizado permiten mayor resistencia dentro de estos sistemas de producción, ya que la humedad, asoleamiento, y cambios de temperatura puede corroer otros sistemas, y lo vemos idóneo para el manejo de cultivos en ambiente controlado. El módulo principal es de 2.25 mts. Por 0.90 mts., los pasillos se hacen de 0.915 para el correcto mantenimiento de una persona, este mismo pasillo podría permitir colocar

⁶⁰ US Green Building Council, fundada en 1993, Washington D.C. <https://new.usgbc.org/>

⁶¹ CASEDI. Calidad y sustentabilidad en la Edificación, A.C. <http://www.casedi.org.mx/>

⁶² <http://www.pmsteele.com.mx/racks>

otro modulo y obtener aun mayor rendimiento con la eliminación de áreas de circulación, de igual manera nos permite modular en pies la estructura del edificio. (Ver figura 5.1)

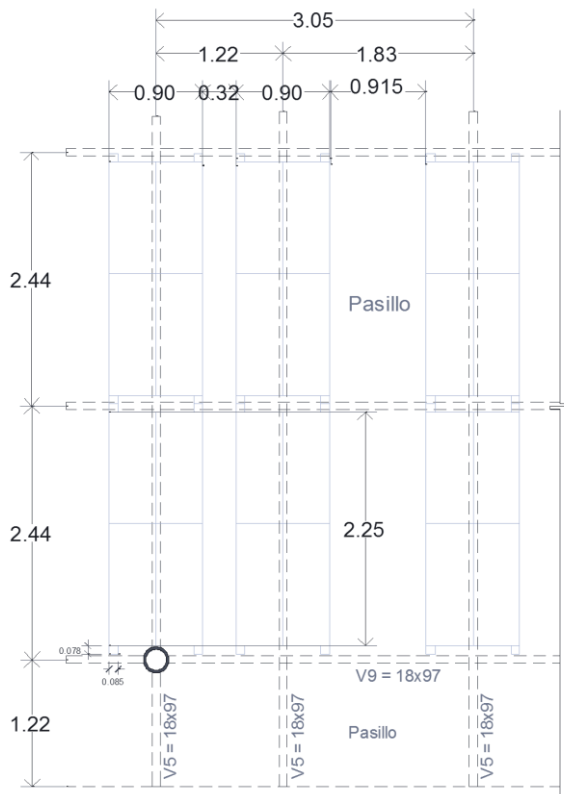


Figura 5. 1 Sistemas de almacenamiento

No existe en el RCDF referencias a este tipo de uso de suelo por lo que nos apegamos al uso de suelo industrial, ya que vemos viable este edificio como tal. Su ubicación hace referencia al perfil socio-económico de la ciudad, en este caso delegaciones como Benito Juárez, Cuajimalpa, Miguel Hidalgo, Coyoacán y Tlalpan tienen el PIB per capita más alto⁶³, es un tema importante ya que la producción que se genere podría tener un costo mayor al generado en campo; Coyoacán se encuentra dentro de las 5 delegaciones de mayor población, mayor desigualdad y mayor pobreza⁶⁴.

Seleccione la delegación Coyoacán por este motivo, además de que existe mayor información de datos meteorológicos, analizados en el capítulo anterior, en temperaturas, radiación o dirección del viento que nos ayuda para un análisis de nuestra envolvente.

⁶³ CEFP (2014) Perfil Socioeconómico del Distrito Federal

⁶⁴ CONEVAL (2012). Informe de pobreza y evaluación en el Distrito Federal.

De acuerdo al RCDF⁶⁵ (Arnal Simon, 2005) y apoyado en la “certificación servicio nacional de sanidad registro unidad productiva, (SENASICA)⁶⁶, propongo un prototipo arquitectónico que detallo a continuación:

Ubicación

Este módulo se ubicara en la Delegación Coyoacán, es una de las 16 delegaciones de la Ciudad de México y se encuentra en el centro geográfico de este. Su territorio abarca 54.4 kilómetros cuadrados que corresponden al 3.6% del territorio de la capital del país (Ciudad de México), y está ubicado al sureste de la cuenca de México. (Ver figura 5.2)

El territorio de Coyoacán es plano en lo general, y se encuentra a una altitud promedio de 2240 metros sobre el nivel del mar (msnm), que es la altitud del valle de México. Pequeñas variaciones se presentan en San Francisco Culhuacán, la Ciudad Universitaria y Santa Úrsula Coapa, con altitudes de 2250 msnm. Sus coordenadas geográficas son: Latitud norte 19°26'05'' y longitud oeste -99°09'42''.

<https://es.wikipedia.org/wiki/Coyoac%C3%A1n>



Figura 5. 2 Ubicación Delegación Coyoacán

Exposición a la luz

Las respuestas a la duración diaria de la luz de diversos fenómenos del crecimiento y desarrollo (germinación, estolonización, bulbación, elongación de tallos, floración, etc.) están ya definidas, el cultivo de jitomate tiene un fotoperiodo neutro, como se muestran sus características señaladas en la Figura 4.2, esto es que no le afecta el largo del día, sus necesidades de luz oscilan entre las 8 y 16 horas, requiere buena iluminación.

Uso anual de la edificación

La envolvente arquitectónica doble capa, deberá ser capaz de crear un micro clima con el ambiente optimo necesario para que las hortalizas crezcan, y obtener de esta manera hasta tres ciclos de producción anual, pudiéndose incrementar en algunos casos a cuatro, con el manejo

⁶⁵ Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal 2005

⁶⁶ Servicio Nacional de Sanidad, inocuidad y Calidad Agroalimentaria

hidropónico adecuado de los cultivos, los nutrientes, controles climáticos en la parte aérea que pueden llevar un manejo óptimo en las hortalizas. A diferencia de los sistemas tradicionales donde se obtiene un ciclo anual⁶⁷. (Ver Figura 4.3)

Ya que se busca la mayor exposición a los rayos del sol, la orientación del área productiva será este, sur, oeste, con mayor exposición en la fachada sur. En la parte norte se ubican los servicios como núcleos de comunicación vertical, montacargas y elevadores, área de nutrición y bombeo, servicios sanitarios en planta baja y en primer y segundo nivel las áreas referentes al control del área productiva, como el control de clima, propagación, áreas de bodegas donde se almacenan fertilizantes, abonos orgánicos, que por sus características, no deben estar expuestos a la radiación directa, por lo que este bloque de servicios está cerrado y ventilado, a diferencia del área productiva que tiene un tratamiento distinto en su envoltente mediante el cristal.

-PLANTA BAJA (Ver Figura 5.3)

Nutrición y bombeo
Comedor
Área venta
Enseñanza
Montacargas / Sanitarios

-PRIMER NIVEL (Ver Figura 5.4)

Propagación
Control de Clima
Área de producción
Montacargas / Lockers

-SEGUNDO NIVEL (Ver Figura 5.5)

Propagación
Área de producción
Bodegas

-PLANTA AZOTEA (Ver Figura 5.6)

Estación Meteorológica

⁶⁷ SAGARPA (2016) Servicio de información Agroalimentaria y Pesquera. <http://www.gob.mx/siap/documentos/siembras-y-cosechas>



Figura 5. 3 Planta Baja Modulo de producción



Figura 5. 4 Primer Nivel Modulo de producción

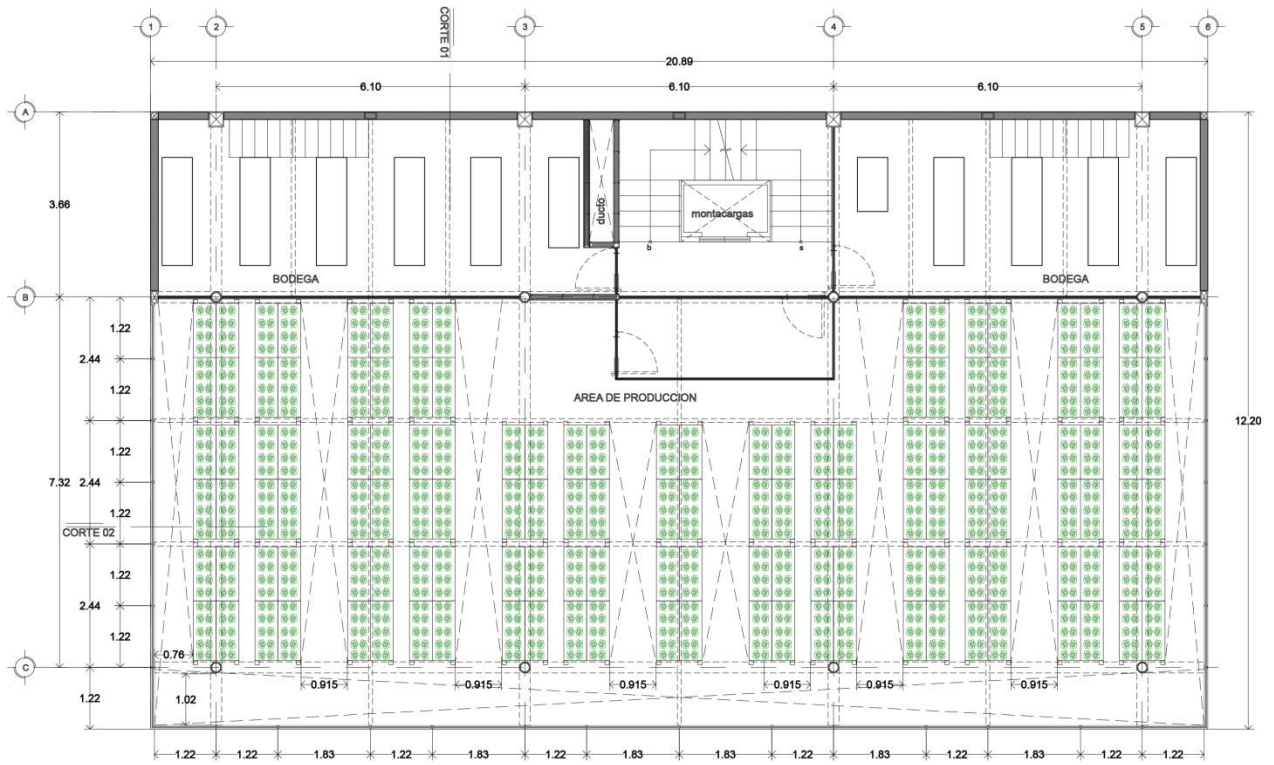


Figura 5. 5 Planta Segundo nivel Modulo de producción

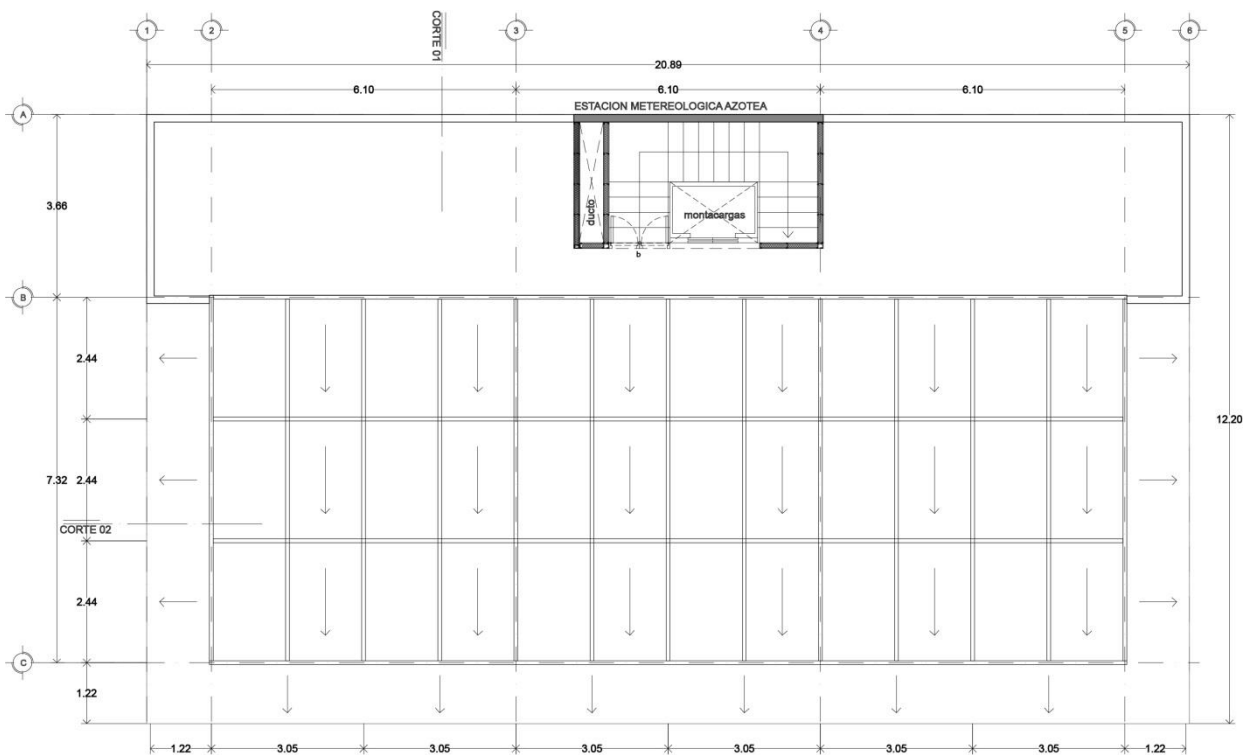


Figura 5. 6 Planta Azotea Módulo de producción

Se desarrolla un ejercicio de aplicación, mediante la proyección cilíndrica de la gráfica solar, de esta manera se hace el análisis de horas y del comportamiento que el sol tiene en el edificio. Por lo que se toma de base sus coordenadas geográficas Latitud norte 19°26'05'', para empezar el desarrollo. (Ver figura 5.7)

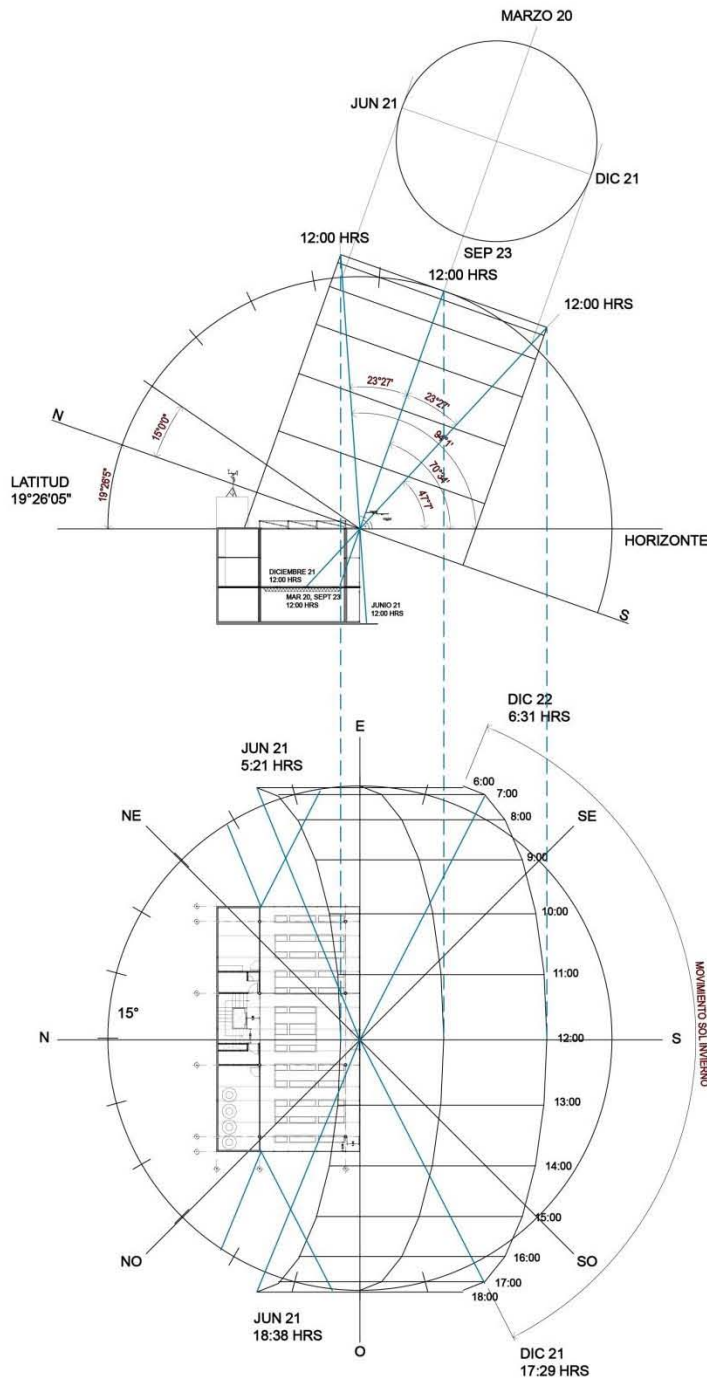


Figura 5. 7 Proyección Cilíndrica módulo de producción

De esta forma se busca la máxima captación de radiación en temporada invernal desde el amanecer hasta el atardecer, ya que en esta época existen menos horas de luz; mediante hojas de cálculo desarrolladas por el Mtro. Leonardo Zeevaert, con la ubicación precisa de la zona de estudio y la fecha de análisis obtenemos, el día juliano, el tiempo solar verdadero y las horas de luz en un día en específico desde su amanecer hasta el atardecer, por lo que obtenemos 11 horas de luz durante el invierno (*Ver figura 5.8*), en comparación con verano que tiene 13 horas (*ver figura 5.9*). Ya que el fotoperiodo del jitomate es neutro, el estar expuesto a menos horas de luz no representaría problemas. El factor a tomar en cuenta es la sombra provocada en el contexto donde se ubique, debido a edificaciones vecinas, o al mismo sistema de cultivo en vertical que provocaría sombras durante el transcurso del día.

LOCALIDAD		MEXICO D.F.			
LATITUD:	19.26	GRADOS	FECHA	22-dic-15	
LONGITUD:	99.1	GRADOS	DIA JULIANO	356	
MERIDIANO DE REFERENCIA	90.0	GRADOS			
DECLINACION	-23.46	TIEMPO SOLAR VERDADERO	12.0000	12:00:00	
ECUACION DEL TIEMPO	2.05	AJUSTE EN MINUTOS	35	36.6	
DISTANCIA MEDIA	1.03	HORA LOCAL	12:34 p.m.		
PLANO VERTICAL					
AZIMUT	180.0	AMANE CER	06:31:00	TSV	
VERTICAL	90.0	ATARDECER	17:29:00	TSV	

Figura 5. 8 Horas luz en invierno

LOCALIDAD		MEXICO D.F.			
LATITUD:	19.26	GRADOS	FECHA	21-jun-15	
LONGITUD:	99.1	GRADOS	DIA JULIANO	172	
MERIDIANO DE REFERENCIA	90.0	GRADOS			
DECLINACION	23.44	TIEMPO SOLAR VERDADERO	12.0000	12:00:00	
ECUACION DEL TIEMPO	-1.48	AJUSTE EN MINUTOS	38	36.6	
DISTANCIA MEDIA	0.97	HORA LOCAL	12:38 p.m.		
PLANO VERTICAL					
AZIMUT	180.0	AMANE CER	05:21:15	TSV	
VERTICAL	90.0	ATARDECER	18:38:45	TSV	

Figura 5. 9 Horas luz en verano

De esta manera tenemos la mayor exposición a los rayos solares durante el invierno, están expuestas la fachada este desde que amanece a las 6.31 am, y a partir de las 10:00 deja de recibir los rayos solares, la fachada sur desde que amanece empieza a calentar el interior. Hacia la fachada poniente no se recibe carga térmica hasta después de las 14:00 horas y hasta las 17.31 horas que es cuando se oculta el sol, durante todo el día se estará calentando el interior, para subir la temperatura a la zona de confort de 24°C a 28°C, por la noche o cuando se considere necesario, mediante las pantallas térmicas cerrar el área de cultivos generando un pasillo entre

estos y la fachada de cristal donde una persona puede caminar y desarrollar cualquier trabajo de mantenimiento. El área de servicios ubicados al norte, no tendrá demasiada incidencia solar solo por la parte de arriba en el sistema en donde se forman dientes de sierra, de esta manera se podrá transferir el calor al lado norte durante esta época.

Durante el verano, los servicios no permitirán el paso directo de radiación durante la mañana, lo que permitirá el control durante la mañana y tarde en la fachada norte, el sistema constructivo en esta zona a base de muros de tabique rojo recocido, con aplanado en ambas caras permitirán transferencia de calor paulatinamente. Se tendrá la máxima incidencia solar en verano por lo que las fachadas ventiladas y el sistema de dientes de sierra permitirán un adecuado flujo de aire, permitiendo la entrada de este en la parte baja y alta de las fachadas verticales, creando un flujo donde el aire caliente que se encuentra en la parte superior salga del interior por medio de los dientes de sierra.

Estudio de sombras

Existe un método analítico para determinar la altura y acimut, desarrollado por el Arq. Héctor Ferreiro León para Arquitectura Bioclimática basado en el método de Szokolay⁶⁸, donde tenemos que conocer (L) q es la latitud del lugar, (D) la declinación solar que define la posición angular solar sobre el plano del ecuador al medio día solar, su valor no puede crecer más de 23.5° hacia el norte o hacia el sur. (n) es el número del día del cual se quiere obtener la declinación solar. (AH) es el ángulo horario, es la forma que se utiliza para expresar nuestra hora en una medida angular. Para el medio día es 0, y el de cada hora es de 15°, siendo positivo en la mañana y negativo en la tarde (*Ver figura 5.10*). Con este análisis podremos conocer la sombra proyectada para el día 5 de Enero (*figura 5.11*) y para el día 21 de Abril (*Ver figura 5.12*), el cual se dibujó mediante el software AutoCad 2014.

Delegación Coyoacán. Latitud norte 19°26'05''

Calculo de alturas y azimut para los días: 5 de Enero de 2015 y 21 de Abril de 2015

Declinación solar: 5 de Enero = -22.66

Datos de proyecto: 5 de Enero de 2015

⁶⁸ Szokolay, Steven V. (1996). Solar geometry PLEA Note 1. Passive and Low Energy Architecture International in association with Department of Architecture. University of Queensland.

1.- DATOS						
1.1.- Latitud		GRADOS	RADIANES	NORTE		
		19.46	0.339641072	L		
1.2.- Declinación para el día			DÍA	MES	GRADOS	RADIANES
			5	enero	-22.66	-0.39549161
1.3.- Horas solicitadas para proyección de sombra						D
	HORA		HORA			
A)	8.00	D)	14.00			
B)	10.00	E)	16.00			
C)	12.00	F)	18.00			

1.4.- Angulo Horario = AH							
		12:00	Hora Solicitada	Resta 12-Hora Solicitada	x	GRADOS	RADIANES
A)	8.00	12.00	8.00	4.00	15.00	60.00	1.05
B)	10.00	12.00	10.00	2.00	15.00	30.00	0.52
C)	12.00	12.00	12.00	0.00	15.00	0.00	0.00
D)	14.00	12.00	14.00	-2.00	15.00	-30.00	-0.52
E)	16.00	12.00	16.00	-4.00	15.00	-60.00	-1.05
F)	18.00	12.00	18.00	-6.00	15.00	-90.00	-1.57

$$\text{Sen A} = \cos L * \cos D * \cos AH + \text{sen L} * \text{sen D}$$

2.- Alturas solares = A												
senA = CosL cosD cosAH + SenL SenD												
HORA	Sen A=	Cos L	Cos D	Cos AH	=	+	Sen L	Sen D	=	Resultado cos+sen	RESULTADO EN GRADOS	RADIANES
8.00	Sen A	0.942874303	0.923545226	0.5	0.435393531	+	0.33314869	-0.38348952	-0.12775903	0.3076345	17.9167	0.31270597
10.00	Sen A	0.942874303	0.923545226	0.866025404	0.754123716	+	0.33314869	-0.38348952	-0.12775903	0.62636468	38.7824	0.67688095
12.00	Sen A	0.942874303	0.923545226	1	0.870787061	+	0.33314869	-0.38348952	-0.12775903	0.74302803	47.9900	0.83758351
14.00	Sen A	0.942874303	0.923545226	0.866025404	0.754123716	+	0.33314869	-0.38348952	-0.12775903	0.62636468	38.7824	0.67688095
16.00	Sen A	0.942874303	0.923545226	0.5	0.435393531	+	0.33314869	-0.38348952	-0.12775903	0.3076345	17.9167	0.31270597
18.00	Sen A	0.942874303	0.923545226	6.12574E-17	5.33422E-17	+	0.33314869	-0.38348952	-0.12775903	-0.12775903	-7.3401	-0.12810917

3.- AZIMUT =AZ										
Sen AZ = CosD * SenAH * / Cos A										
	HORA	Senaz	Cos D	Sen AH	=	Cos A	=	RESULTADO	RADIANES	
A)	8.00	Senaz	0.923545226	0.866025404	0.799813628	0.951504606	0.840577778	57.2011819	0.99834896	
B)	10.00	Senaz	0.923545226	0.5	0.461772613	0.779530168	0.592372986	36.3255839	0.63400104	
C)	12.00	Senaz	0.923545226	0	0	0.669260299	0	0	0	
D)	14.00	Senaz	0.923545226	-0.5	-0.461772613	0.779530168	-0.592372986	-36.3255839	-0.63400104	
E)	16.00	Senaz	0.923545226	-0.866025404	-0.799813628	0.951504606	-0.840577778	-57.2011819	-0.99834896	
F)	18.00	Senaz	0.923545226	-1	-0.923545226	0.991805238	-0.931175992	-68.618879	-1.19762537	

4.- LONGITUD DE SOMBRA = LS					
LS = H / Tan A			H = ALTURA DEL EDIFICIO		
4.1.- EDIFICIO		ALTURA METROS	8.84		
	HORA	LS	H	Tan A	=
A)	8.00	LS	8.84	0.323313725	27.34186435
B)	10.00	LS	8.84	0.803515643	11.00165265
C)	12.00	LS	8.84	1.110222778	7.96236591
D)	14.00	LS	8.84	0.803515643	11.00165265
E)	16.00	LS	8.84	0.323313725	27.34186435
F)	18.00	LS	8.84	-0.128814638	-68.62574126

Figura 5. 10 Método Analítico altura, acimut y estudio de sombra

Desarrollado en hoja de cálculo por Arquitecto Jorge Antonio Martínez Olvera

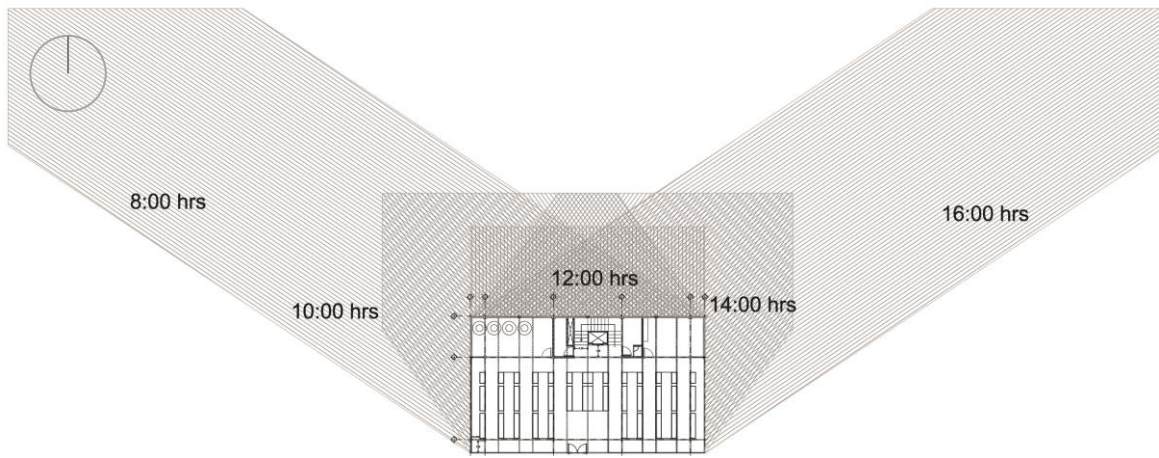


Figura 5. 12 Sombra proyectada durante el día 5 de Enero de 2015

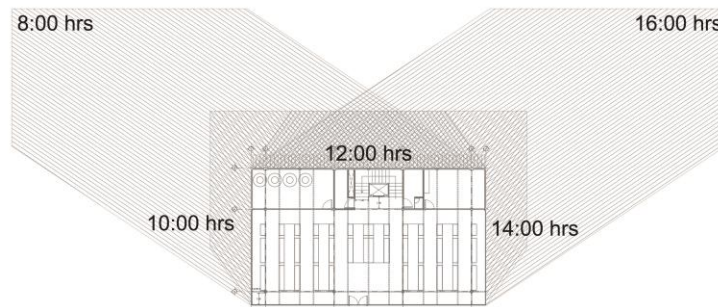


Figura 5. 11 Sombra proyectada durante el día 21 de Abril de 2015

Presión del viento sobre el edificio

Quando el viento sopla contra el edificio, el movimiento del aire es turbulento y desviado por encima y alrededor del edificio. La presión del aire en la fachada que da el viento (sur), es mayor que la presión atmosférica (zona de presión positiva), y en la fachada opuesta la presión es negativa (zona de succión). Cuando el viento sopla perpendicularmente sobre una fachada estará sujeta a presión mientras que los laterales y la cara posterior estarán bajo succión.

Esta diferencia de presión entre dos puntos de la envolvente determina las potenciales fuerzas impulsoras para la ventilación, cuando las aberturas están ubicadas en esos puntos, la contribución del viento sobre la diferencia de presión se calcula con la siguiente expresión⁶⁹:

$$\Delta P_w = 0.5 C_p \rho U^2$$

⁶⁹ Mermet, Alejandro G. (2005). Ventilación Natural de edificios. Buenos Aires. Eduardo Yarke. Pag. 52.

Donde la presión inducida por el viento es resultado del coeficiente de presión (C), multiplicado por la densidad del aire (p) en kg/m³, por la velocidad del viento (U) a la altura de referencia, usualmente tomada como la altura del edificio.

En la parte alta del edificio el viento genera valores negativos, esto se traduce en que se crea succión, por lo tanto una adecuada ventilación, con la correcta orientación. Al colocar estas ventilas en el sentido contrario a la constante de la dirección del viento, podremos obtener una adecuada ventilación donde el aire caliente al ser menos denso pueda escapar del interior y proporcionar enfriamiento cuando se requiera bajar la temperatura al interior de la envolvente. Se desarrolla la siguiente simulación de túnel del viento virtual mediante software Flow Design de Autodesk, que describe el flujo de aire promedio durante el año 2015 alrededor de nuestro edificio, considerando su orientación y velocidad del viento presentadas en la gráfica 4.18. De esta manera encontramos que nuestro flujo de aire laminar cambia a turbulento cuando encuentra un obstáculo como es nuestro edificio, se muestra de manera gráfica la presión positiva a la que se encuentra la fachada sur, suroeste de la envolvente y la presión negativa o de succión en la parte norte, que es donde se proponen nuestras ventilas, que provocaran un adecuado movimiento de aire al interior del módulo de producción. (Ver figura 5.13)

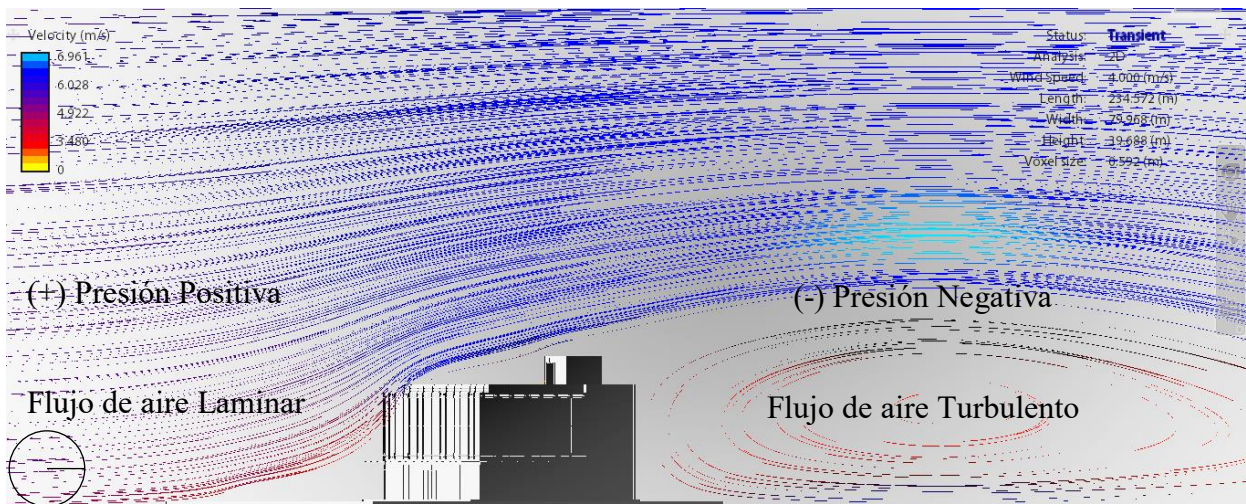


Figura 5.13 Corte Arquitectónico. Presiones positiva y negativa en la envolvente

Se propone una estructura de acero modulable para que este edificio se pueda replicar y/o crecer en distintas zonas de la ciudad, al tener estructuras tipo rack para el cultivo de distintas hortalizas podremos de igual forma aumentar tanto en base como altura la estructura para obtener mayor producción o podemos adaptarla a edificios construidos. El contar con sistemas de entrepiso permeables como las rejillas Irving permitirá el adecuado mantenimiento en la parte superior del cultivo, además de permitir la ventilación en toda el área de producción.

Así se crea una envolvente que responda no solo a las variaciones de temperatura del exterior sin sacrificar los requerimientos interiores, sino que además considera estas variaciones durante el día y la noche; esta envolvente tendrá la capacidad de captar agua de lluvia para reutilizarla ya sea en el proceso productivo de los cultivos, en los sanitarios o sirva como almacén que por medio de las ventilas en la parte superior e inferior del cristal ayude a generar humedad como lo hacen las paredes húmedas al transmitirla al interior.

Estrategias Época cálido seca

En primavera se alcanzan las mayores temperaturas, siendo el mes de abril el más crítico con un promedio de 19.43° , y un promedio de 20.22° en su segunda quincena, que se relacionan con los datos registrados de radiación para este mes son de $1,074 \text{ w/m}^2$ promedio, con la máxima el día 24 de abril a la 1:00 pm con $1,084 \text{ w/m}^2$. Por lo que se presenta un déficit de humedad relativa, con un promedio de 45.55%; el dato con menor humedad relativa registrada en el año, esta se encuentra en el mes de febrero con 41.28%.

Las estrategias se enfocan en mantener la temperatura en los rangos de las hortalizas, ya que la temperatura exterior se mantiene en los rangos óptimos durante el día y la noche (*Ver figura 4.13*). El efecto invernadero provocado por el cristal puede aumentar la temperatura al interior, mientras las plantas gracias a que toman energía de su ambiente puede llegar a regular la temperatura del invernadero y bajar hasta 3°C ; el riego es otro factor que incrementa la humedad o el uso de depósitos de agua gracias a su captación pluvial, pueden funcionar como medios que evaporen el agua bajo las ventilas y de esta manera generar un ambiente húmedo.

El análisis de radiación sobre las superficies, a fin de disminuir la captación de las mismas mediante pantallas térmicas elaboradas de tiras de aluminio, que tienen la función de controlar la

radiación cuando se necesite, considerando la temperatura variable dependiente de la radiación y la humedad relativa relacionada inversamente con la temperatura.

Los cristales difusos están diseñados para transmitir una buena calidad y cantidad de luz para aumentar el desempeño y el rendimiento del cultivo, al mejorar la eficiencia de la fotosíntesis por el incremento en la dispersión de luz, que se hace más importante en cultivos que causan sombra como cultivos altos como el jitomate. Se propone utilizar pantallas reflectantes que de sombra al usuario que transita por la planta baja, y que reflejen luz natural a los cultivos en la parte superior. (Ver figura 5.14)

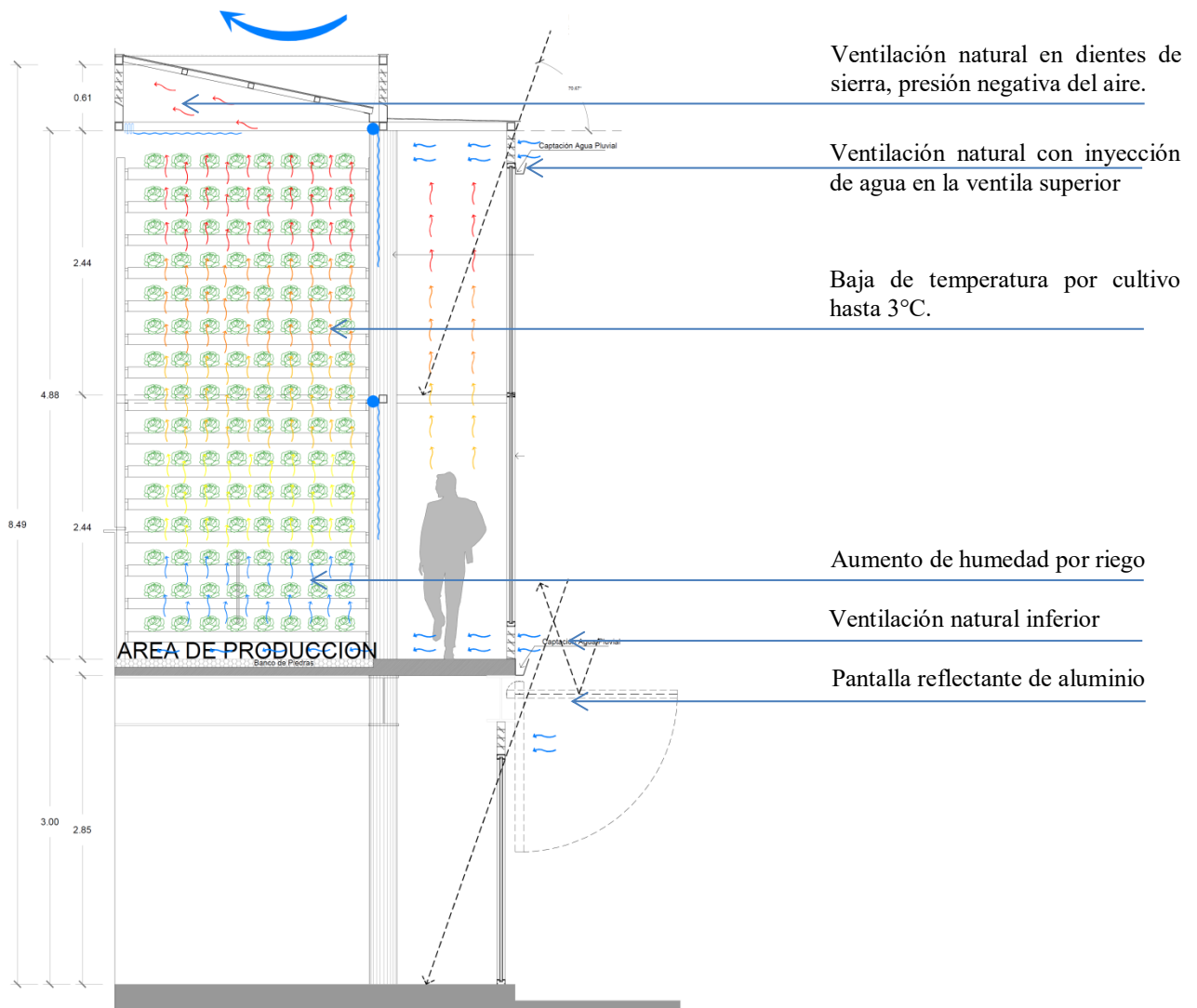


Figura 5. 14 Propuesta Estrategia época cálido - seca

Incremento de la humedad

La norma NMX-E-255-CNCP-2013⁷⁰, para la construcción y diseño de invernaderos marca como área de ventilación del 15 al 30% del área de piso ocupado.

Tenemos un área de producción de 254.85 m², debemos cumplir con el 30% que son 76.45m²; al tener ventilación en la parte superior e inferior del módulo en las tres fachadas acristaladas, más la ventilación que se genera con los dientes de sierra obtenemos 100 m², arriba de lo requerido.

Si se aprovecha el recurso viento, de esta forma ayudaríamos a la polinización natural, al tener un espacio completamente ventilado considerando la densidad de producción que tenemos.

Se propone que los depósitos de captación de agua pluvial, puedan funcionar como depósitos de agua que evaporen el agua bajo las ventilas de la parte baja, en la época cálida seca la incidencia de la radiación sobre el deposito se lleva a cabo en los meses de Febrero, Marzo y Abril, antes del inicio de la temporada de lluvias.

Estrategias Época cálido húmeda (fachadas ventiladas)

Esta temporada se caracteriza por el incremento de la radiación con relación al aumento de temperatura, que se abate por la presencia de nubes y precipitación pluvial, la llamada temporada de lluvias, que por lo general abarca 6 meses del año entre Mayo y octubre.

Esto provoca un incremento en la humedad relativa que excede el límite que requiere el cultivo, esto se nota con mayor frecuencia durante las tardes que es cuando se tiene presencia de lluvias, incrementándose durante la noche. El aumento de la humedad relativa en el invernadero alcanzando los niveles entre el 80 y 85% deben ser evitados debido a que este nivel de humedad puede causar enfermedades en las plantas y reduce su transpiración, así también pueden generar precipitaciones que no son deseadas en el interior causando que este se puede inundar.

Las estrategias durante esta temporada, es ventilando todo el ambiente abriendo ventanas y permitir el paso de aire sin tanta humedad, apoyada con sistemas mecánicos que ayuden a mover el aire caliente y evitar el aumento de humedad al interior del módulo.

⁷⁰ NMX-E-255-CNCP-2013. Invernaderos de cubiertas plásticas-diseño y construcción-especificaciones.

Otra forma si existe humedad en el aire exterior es aumentando la temperatura dentro del módulo y evitando el exceso de humedad en el suelo del mismo. (Ver figura 5.14)

En los meses de Junio y Julio con incidencia solar en la fachada norte, esta albergara zona de servicios por lo que los muros macizos ayudaran a mitigar la incidencia.

Época invernal

Se propone una doble capa, formada por el cristal en la cara exterior y al interior por medio de pantallas energéticas, estas tienen la función de retener el calor durante la noche, donde encontramos menores temperaturas, y provocar la ganancia de calor durante el día.

Con las pantallas energéticas se consigue regular la radiación y las altas temperaturas durante el día. Durante la noche, refleja la radiación de onda larga de las plantas hacia el interior. El número de tiras de aluminio determina la eficacia del sombreado y la capacidad de ventilación de la pantalla ya que el aire caliente fluye a través de las bandas de aluminio. (Ver figura 5.15)

La fachada oriente recibirá la misma radiación que la poniente, con la diferencia que cuando el sol este al poniente, el modulo se abra calentado como consecuencia del paso del sol durante todo el día, por lo que las pantallas energéticas se vuelven importantes, además debemos considerar que al estar en un entorno urbano factores como el pavimento o la radiación reflejada de construcciones vecinas, ayudara al incremento de temperatura al interior, por lo que capas vegetales podrán ayudar a controlar este factor; de igual forma las sombras de envolventes vecinas podrán ayudar al evitar sobre calentamientos o perjudicar al tener menos horas de luz natural hacia el cultivo.

Eje de orientación este-oeste la incidencia de radiación directa es menor en un 38% que en una relación 1:1. Un eje de orientación norte sur recibe 15% más radiación directa que en un eje este-oeste.

Las Fachadas este y oeste tienen una menor exposición con lo que se puede obtener reducción de radiación en estas fachadas, como se observa en el desarrollo de la proyección cilíndrica de la *Figura 5.7*.

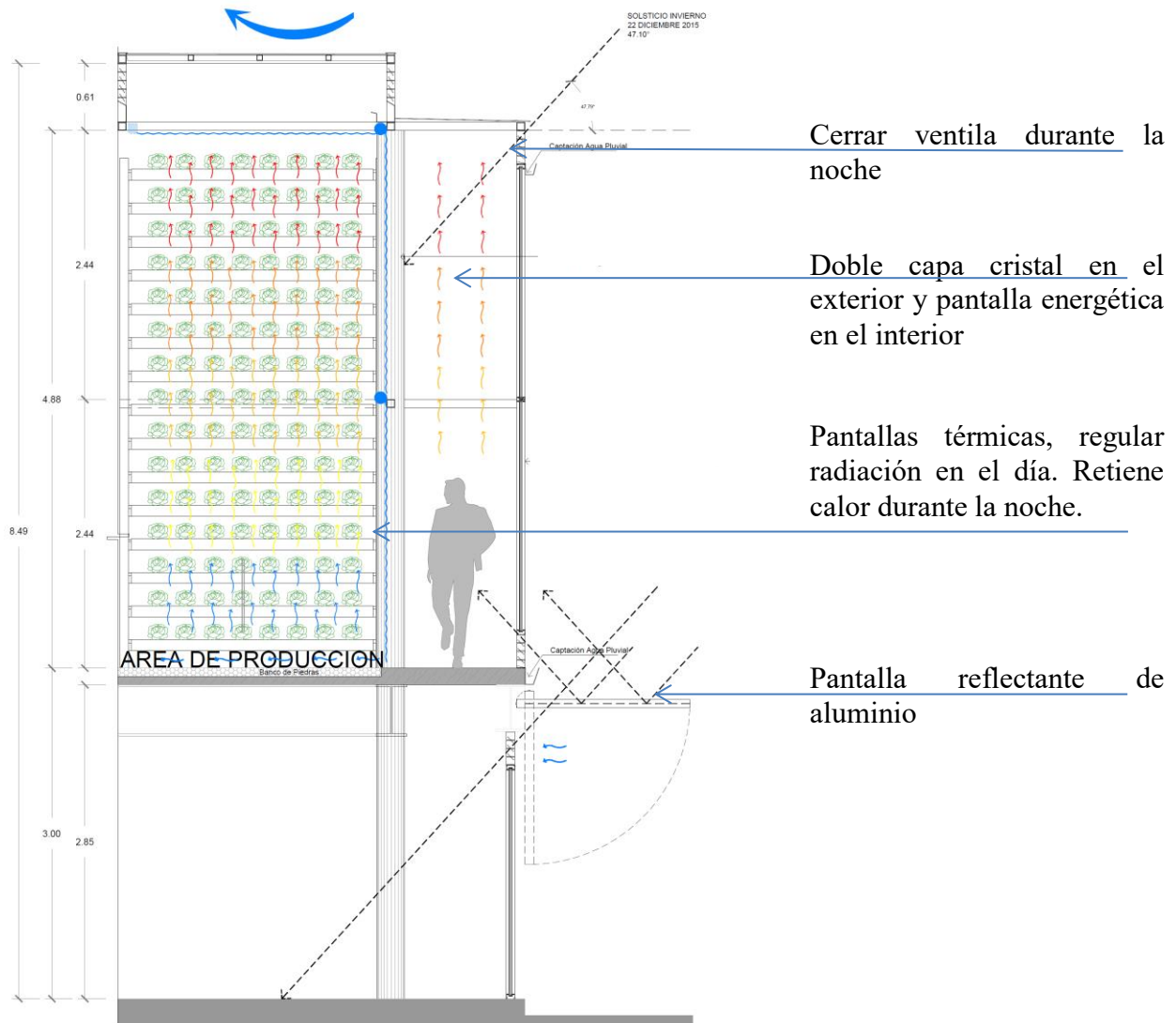


Figura 5. 15 Estrategia, ganancia de calor durante el día y retención de este en la noche

Estudios a futuro deberán considerar una protección que vaya actuando dependiendo la época, ya sea mediante control automatizado o mediante programación de horarios muy bien definido, que ayude al manejo de los rangos de temperatura variantes. Así se crea una envolvente que responda no solo a las variaciones de temperatura del exterior sin sacrificar los requerimientos interiores, sino que además considera estas variaciones durante el día y la noche, el sistema de entepiso, podrá constituir un beneficio al diseñar un sistema de transmisión, que permita ventilar mediante rejillas irving, la envolvente tendrá la capacidad de captar agua de lluvia para reutilizarla en el proceso productivo en los cultivos o sirva para almacenarla y por

medio de las ventilas en la parte superior del cristal ayude a generar humedad como lo hacen las paredes húmedas al transmitirla al interior.

5.2 Simulación Iluminación y Radiación

Se desarrolla el modelo 3D del módulo de producción y se somete a simulación de iluminación y radiación, mediante el plug-in Autodesk Insight 360 para el software Revit 2017, que otorga resultados y recomendaciones de rendimiento de diseño energético, considerando los datos meteorológicos descritos anteriormente para la zona sur de la Ciudad de México. Como se mencionó antes existen muchas variables que el software no permite manipular como es el nuevo uso de estos edificios y rangos energéticos para procesos productivos, sus características de transpiración y necesidad de luz, calor y sistemas de calefacción y enfriamiento que usan comúnmente los invernaderos, aun así obtuvimos los siguientes resultados considerando un tipo de edificación de Fabrica, que nos otorgan parámetros de análisis.

Al ser una edificación donde se tiene por objetivo conseguir mayor ganancia de calor por medio de su envolvente acristalada en el 100% del área de producción gracias al efecto invernadero, los resultados esperados son altos en comparación con edificaciones que pretenden limitar esta ganancia para el confort de los habitantes.

La primer tarea es el desarrollo del modelo de la propuesta 3D con el software Revit 2017, es importante durante el proceso crear la masa del edificio seleccionando el tipo de materiales a utilizar como los muros de ladrillo aplanado en ambas caras de 15 cm de espesor, el cristal claro de 6 mm, o las losas a base de losacero y firme de concreto de 15 cm; el software nos permite configurar las partes de la envolvente, donde podemos obtener y modificar datos de sus aspectos térmicos, como conductividad térmica, calor específico, densidad, emisividad, permeabilidad, porosidad, reflexividad o resistencia eléctrica. (*Ver figura 5.16*), de esta forma nos otorga resultados de Resistencia térmica (R) y transmitancia térmica (U).

El siguiente paso es localizar nuestra envolvente en este caso la zona sur dentro de Ciudad Universitaria, que es donde hemos obtenido nuestras variables climáticas, el software localiza la estación meteorológica más cercana (*Ver figura 5.17*), ubicada en Col. Jardines del Pedregal de la Delegación Álvaro Obregón y obtiene datos de clima temperatura, humedad, radiación que soportaran los resultados de una fuente confiable.

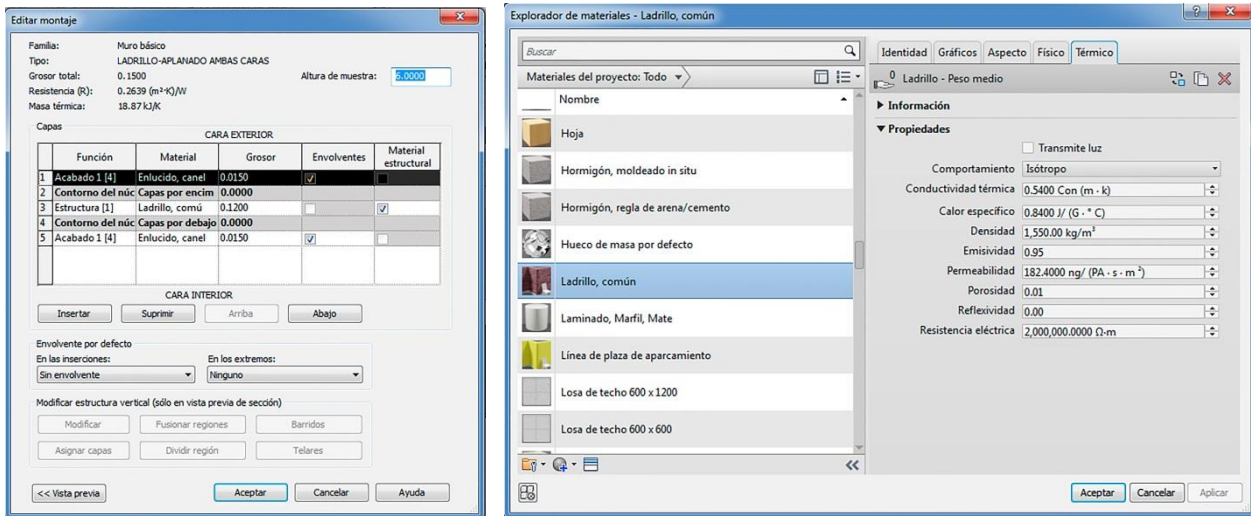


Figura 5. 16 Características Térmicas de la parte de la envolvente

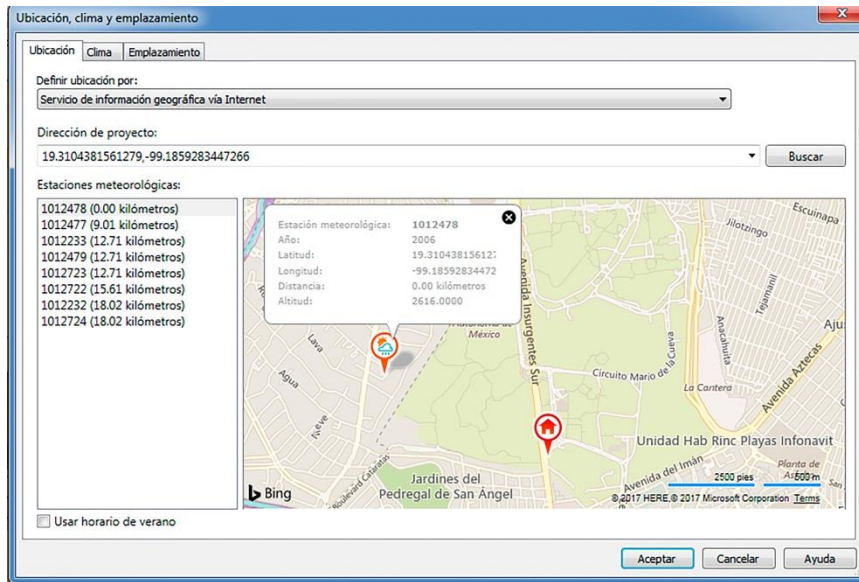


Figura 5. 17 Ubicación de la envolvente.

Los datos de tipo de edificación para instalación de manufactura o fabrica como se caracteriza en Revit, ofrecen detalles sobre los supuestos utilizados durante un análisis energético para cada tipo de edificio, y estos se basan en las normas ASHRAE⁷¹.

De acuerdo con la norma ASHRAE el tipo de edificio requiere 14 watts/m² de densidad de potencia eléctrica para alumbrado, así mismo se recomienda usar en oficinas 23.68 watts/m² de

⁷¹ American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado)

potencia eléctrica para equipos. Otro dato que nos proporciona Autodesk basado en la ASHRAE son los rangos de ganancia de calor de gente para espacios acondicionados con 183.17 watts de calor latente y 190.90 watts de calor sensible. Estos son los datos que maneja Revit 2017.

Se utilizan los horarios de ocupación durante el día que otorga el ASHRAE, para días típicos de uso de oficina, que es el que se utilizara en el módulo, y por medio de las herramientas tecnológicas llevar un control de monitoreo durante la noche. Así como los horarios de iluminación y los horarios de uso de equipos eléctricos de 9 a.m. a 6 p.m. y durante la noche para monitoreo, datos que se introducen al Software para desarrollar el cálculo. (Ver figura 5.18)

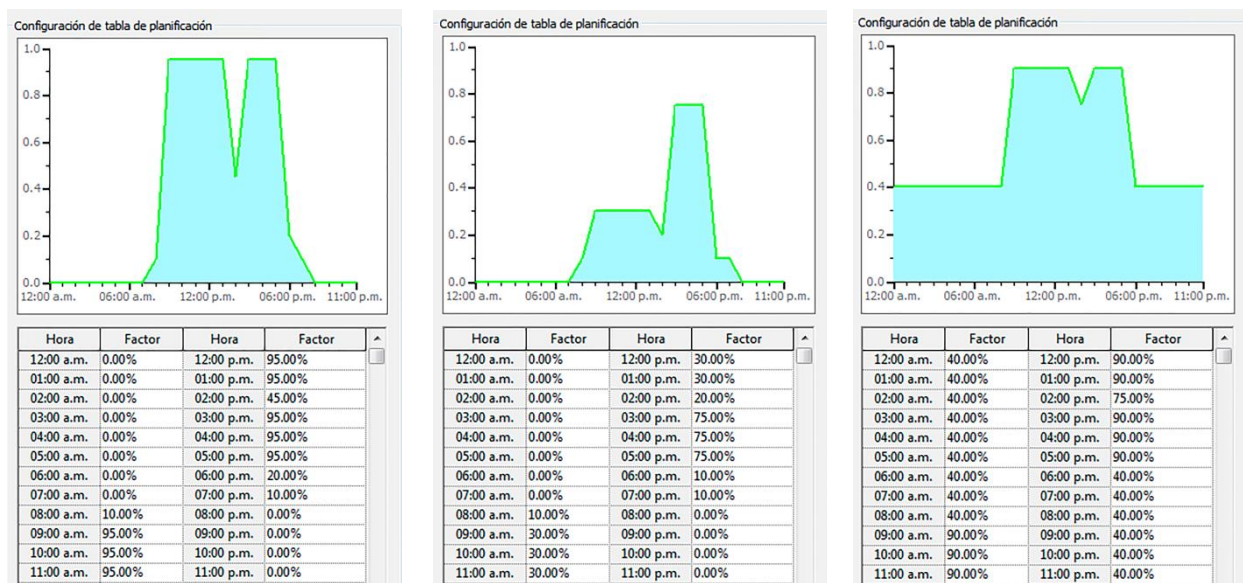


Figura 5. 18 Horario de ocupación / Horario de iluminación / horario uso equipo eléctrico

Resultados de Iluminación: Se desarrolló el modelo en 3 niveles, los resultados que se obtienen de iluminación son: en planta baja rangos de 3,000 lx cerca de las fachadas acristaladas reduciéndose a 2,000 y 1,000 lx al interior del módulo, las áreas de nutrición - bombeo y comedor alcanzan menos de 500 lx y los servicios cuentan con nula iluminación natural, por lo que el uso para venta y enseñanza es suficiente con apoyo de iluminación artificial para estas funciones; en primer nivel tendremos un comportamiento similar ya que al colocar anaqueles para el cultivo de las plantas en forma vertical obtenemos rangos de 3,000 lx en las fachadas reduciéndose al centro (Ver figura 5.19), mientras que el segundo nivel al tener la cubierta acristalada se alcanzaran como mínimo los 3,000 lx transmitiendo luz y energía a los cultivos, lo

que indica que el uso de sistemas que transmitan luz al interior o sistemas de iluminación artificial son necesarios, para obtener los rangos óptimos de producción (Ver figura 5.20).

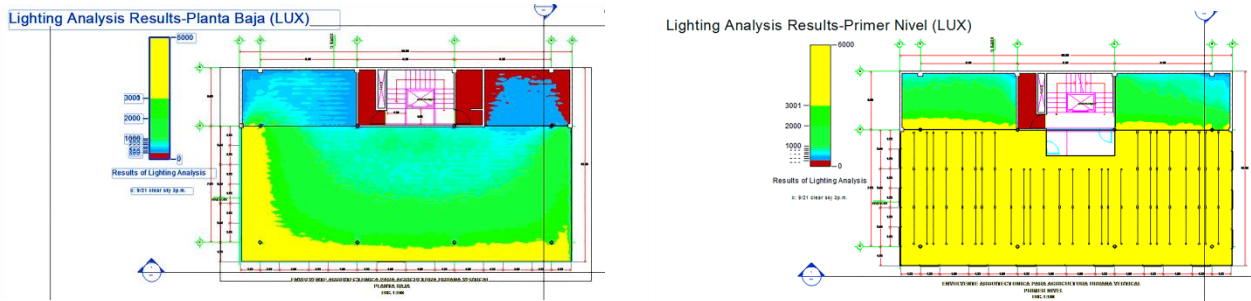


Figura 5. 19 Módulo de Producción Planta Baja y Primer Nivel

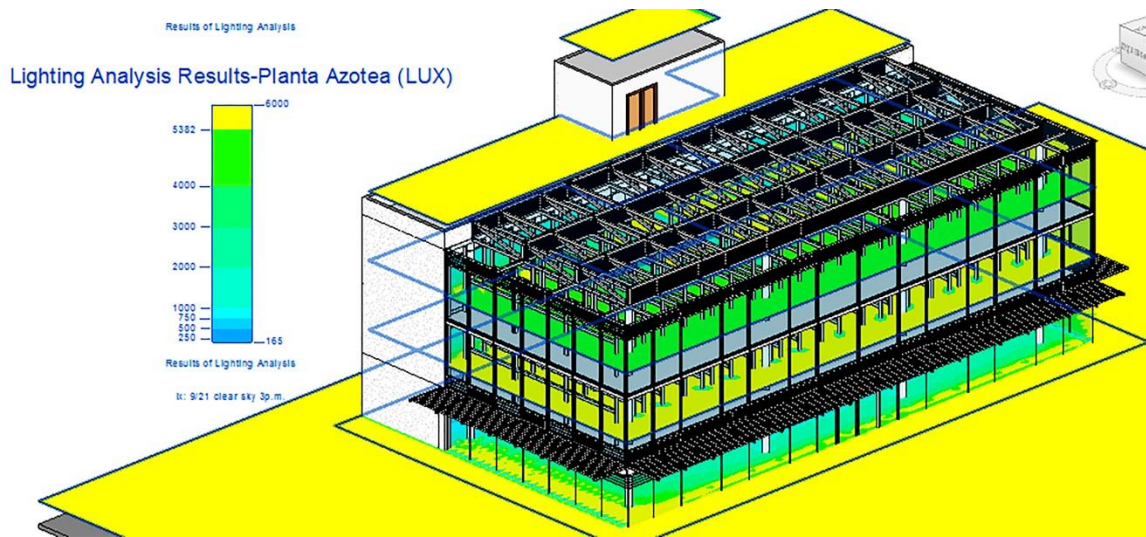


Figura 5. 20 Resultados simulación de Iluminación de la envolvente

Resultados de radiación: los resultados que nos arroja el análisis son que las superficies verticales y horizontales tienen una incidencia mayor de 1,000 w/m² que coincide con la que tomamos en las mediciones de 1,037 w/m² del día 22 de Noviembre de 2016, por lo que el sistema propuesto podrá contribuir al control del ambiente interior mediante sistemas de captación de energía como el uso de cristales fotovoltaicos.

En la figura 5.21 se muestran los resultados de radiación sobre la envolvente y entresijos, el resultado en primer y segundo nivel muestra datos similares al de iluminación con mayor incidencia en las áreas cercanas al cristal y que va disminuyendo conforme llegamos a la parte central del edificio hasta 500 w/m² producto de los sistemas de racks, que irán reduciéndose aún más debido al follaje de los cultivos en vertical.

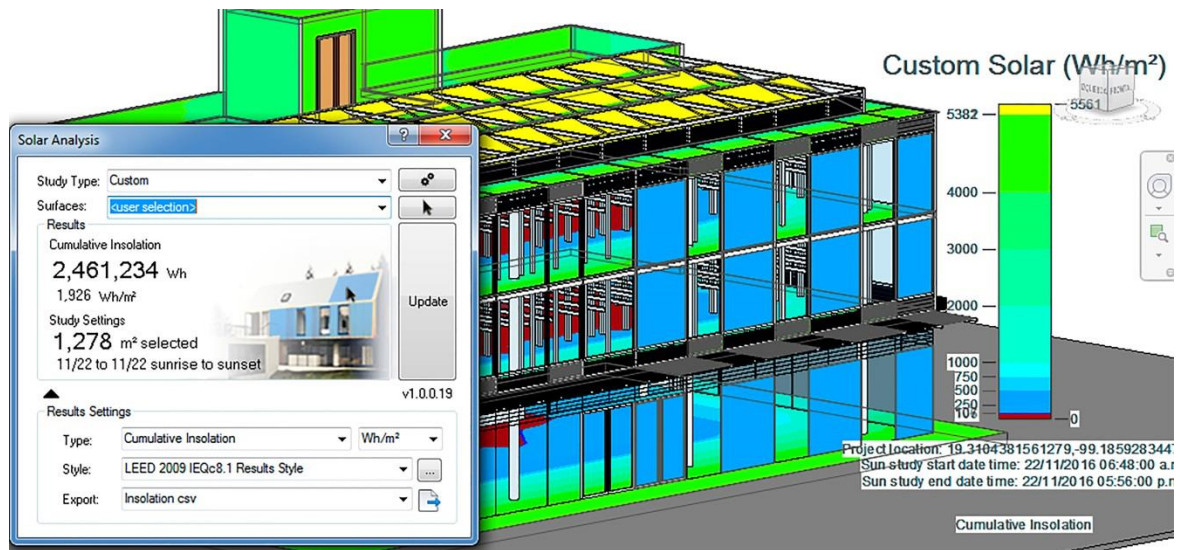


Figura 5. 21 Resultados simulación de radiación de la envolvente

En este tipo de industria, la iluminación como se analizó se puede apoyar en luces artificiales tipo LED que permitirán ahorro de energía, además de dotarle a las plantas lo necesario para su crecimiento. Actualmente se utiliza este sistema de iluminación por sus ventajas de ahorro en el consumo eléctrico de hasta un 70%, no emiten mucho calor, emiten luz en los espectros de radiofrecuencia que las plantas necesitan de 400 – 700 nm (Ver figura 5.22), correspondientes a las longitudes de onda azules y rojas. Están dadas por recetas donde 1/3 de luz es azul y 2/3 de luz es roja, son las proporciones para fomentar la fotosíntesis, la foto morfogénesis que se refiere a todas las respuestas no fotosintéticas de las plantas a la luz, el fototropismo que hace referencia al crecimiento de la planta hacia la luz, y mejora su alargamiento.

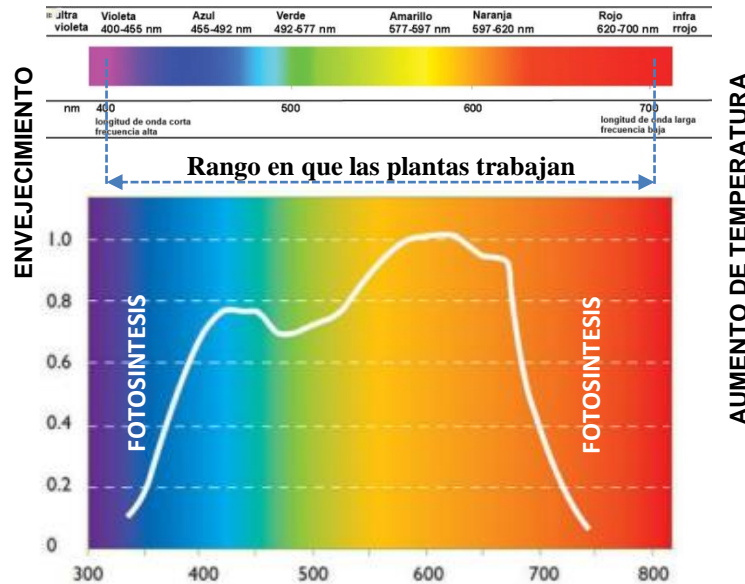


Figura 5. 22 Espectros de luz que las plantas necesitan

5.3 Sistema estructural

Se desarrolla un ejercicio de aplicación, con el módulo propuesto de producción de alimentos, su ubicación será en la Delegación Coyoacán dentro de la CDMX.

Según el art. 139 del RCDF el modulo se encuentra dentro del Grupo B, subgrupo B2, como construcción con función comercial e industrial, en donde su falla no podría constituir un peligro significativo para personas o por contener sustancias toxicas o explosivas, además de no ser área de reunión que cuente con más de 200 personas. Aunque podría constituir un medio de generación de alimentos, en casos de desastres.

Art. 165. Se analizara bajo la acción de dos componentes horizontales ortogonales no simultáneos, mediante modelos tridimensionales.

Normas técnicas complementarias para diseño por sismo

Según las características de nuestra estructura podremos aplicar el método sísmico estático DEL RCDF, para la zona I donde se ubica nuestro proyecto, que por sus características se encuentra en suelo firme, formada por rocas depositados fuera del ambiente lacustre, pero en los que puede existir depósitos arenosos, cavernas o túneles.

Según NTC diseño por sismo, podremos utilizar el método estático para analizar estructuras de altura no mayor de 30 m, para edificios ubicados en la zona I, los limites anteriores se amplían a 40m, con condiciones de regularidad y con las siguientes características:

- Planta simétrica con respecto a dos ejes ortogonales.
- Relación de altura a la dimensión menor de su base no pasa de 2.5
- La relación de largo y ancho de la base no excede de 2.5.
- En planta no tiene entrantes ni salientes con dimensión mayor de 20%
- Cada nivel tiene un sistema de techo o piso rígido resistente
- El peso de cada nivel incluyendo la carga viva que se considera para diseño sísmico no es mayor que 110% del correspondiente piso inferior
- Todas las columnas están restringidas en todos los pisos en dos direcciones ortogonales por diafragmas horizontales, trabes y losas planas.

El huerto Urbano propuesto tiene Planta simétrica y una altura de 8.49 mts (*Ver figura 5.3 a 5.6*), su dimensión menor base es de 12.20mts por lo que su resultado es 0.69, menor al que nos pide el RCDF, lo mismo pasa con su Largo de 20.89 mts entre su ancho 12.20 mts = 1.71, por lo que usaremos el método estático sísmico.

Para el análisis estático que consiste en someter a la estructura ante cargas horizontales distribuidas a lo alto del edificio, para su cálculo se supone un conjunto de fuerzas horizontales actuando sobre cada punto donde se supongan concentradas las masas. Estas fuerzas toman en cuenta el peso de la masa multiplicado por el coeficiente proporcional a h (altura sobre el desplante), a partir del cual las deformaciones estructurales pueden ser apreciables.

El coeficiente sísmico C, se refiere a la fuerza cortante que actúa en la base de la edificación por efecto del sismo, el coeficiente sísmico para las edificaciones del grupo B, del reglamento se tomara igual a 0.16 en la zona I.

Para calcular el peso total se tomaran en cuenta las cargas muertas y vivas “Normas técnicas complementarias sobre criterios y acciones para el diseño estructural de las edificaciones”. Las cargas muertas se refieren al peso propia de la estructura, losacero, concreto, recubrimientos, instalaciones, más la carga adicional que se refiere a losas de concreto coladas en el lugar, más el mortero considerado del pre colado.

La aplicación de cargas vivas deberá tomar en consideración la carga viva máxima (W_m), para diseño estructural de fuerzas gravitacionales. La carga instantánea (W_a), para diseño sísmico y por viento.

Como lo indica la tabla 6.1 del RCDF, para comercios, oficinas y bodegas la carga viva máxima W_m no será inferior a 350 kg/m^2 y W_a se calcula con 0.90 kg/m^2 . Para cubiertas con pendiente no mayor a 5%, estos valores se modifican $W_m = 100 \text{ kg/m}^2$ y $W_a = 0.70 \text{ kg/m}^2$.

Por lo que para el cálculo se desarrolló una hoja de cálculo en Excel, con los pesos y espesores de cada material para obtener los valores de carga muerta, carga viva máxima (W_m) e instantánea (W_a). Para las losas de entrepiso del primer nivel y área de tapanco se propone losacero, la parte de la cubierta en la zona de producción se propone a base de cristal claro de 6

mm y en el área de bodegas se propone a base de losacero de 15 cm de espesor, donde se aplica la carga viva e instantánea que marca el RCDF, en cada caso. (Ver figura 5.23)

MODULO HUERTO URBANO				
CARGAS MUERTAS	Pesos Kg/m ³	espesor (cm)	Total Kg/m ²	
Losa entrepiso				
losacero				
Seccion 4 Cal. 20		6.35	9.54	
Concreto 8 cm/ cresta		8.00	285.54	
Recubrimientos			64.00	
Instalaciones			35.00	
carga adicional			40.00	
		Total	434.08	Kg/m ²
Carga viva maxima Wm	Pesos Kg/m ³	Wm maxima	Total Kg/m ²	
Comercio, fabrica, bodega		3.50	500.00	Kg/m ²
Carga viva Instantanea Wa	Pesos Kg/m ³	Wa Instantanea	Total Kg/m ²	
Comercio, fabrica, bodega		0.90	90.00	Kg/m ²

CARGAS MUERTAS	Pesos Kg/m ³	espesor (cm)	Total Kg/m ²	
Cubierta Cristal				
SGG COOL-LITE 60/28			30.40	
Instalaciones			40.00	
carga adicional			40.00	
		Total	110.40	Kg/m ²
Carga viva maxima Wm	Pesos Kg/m ³	Wm maxima	Total Kg/m ²	
Cubiertas		1.00	100.00	Kg/m ²
Carga viva Instantanea Wa	Pesos Kg/m ³	Wm maxima	Total Kg/m ²	
Cubiertas		0.70	70.00	Kg/m ²

CARGAS MUERTAS	Pesos Kg/m ³	espesor (cm)	Total Kg/m ²	
Cubierta				
Seccion 4 Cal. 20		6.35	9.54	
Concreto 8 cm/ cresta		8.00	285.54	
Instalaciones			35.00	
carga adicional			40.00	
		Total	370.08	Kg/m ²
Carga viva maxima Wm	Pesos Kg/m ³	Wm maxima	Total Kg/m ²	
Cubiertas		1.00	100.00	Kg/m ²
Carga viva Instantanea Wa	Pesos Kg/m ³	Wm maxima	Total Kg/m ²	
Cubiertas		0.70	70.00	Kg/m ²

Figura 5. 23 Calculo de carga muerta, carga viva y carga viva instantánea

Para el cálculo de análisis estático, se utiliza el factor de comportamiento sísmico Q, que pueden variar de 1 a 4, dependiendo de la resistencia a fuerzas laterales de la estructura, se utilizaran valores bajos para toda la estructura en la dirección de análisis, por lo que tomamos de referencia el valor 2, ya que no conocemos de que estará hecha la envolvente ni su comportamiento.

Para el cálculo de las fuerzas se toma el peso de la masa por entrepiso, multiplicado por el coeficiente proporcional a la altura de los entrepisos desde el nivel de banqueta, el coeficiente sísmico nos lo proporciona el RCDF al igual que el factor de comportamiento sísmico. (Ver figura 5.24)

$$F_i = \frac{c}{Q'} W_i h_i \frac{\sum W_i}{\sum W_i h_i}; \quad \frac{c}{Q'} \geq a_o$$

Dónde:

Wi = peso de la masa, suma de carga muerta y carga viva instantánea.

hi = altura del entrepiso sobre el desplante

C = Coeficiente sísmico

Q' = factor de comportamiento sísmico

Por lo que tenemos los siguientes valores, que son los resultados de la fuerza lateral que actúa en el edificio dado en kilogramos y transformamos en toneladas. (Ver figura 5.24)

ANÁLISIS SISMICO ESTÁTICO				V1	0.16	400,697.94	234,868.98	6,837.04	Kg	6.84
Nivel	Hi	Wi	Hi Wi							
1	3.00	133,565.98	400,697.94	V2	0.16	217,979.68	234,868.98	3,719.35	Kg	3.72
2	5.44	40,069.79	217,979.68							
3	7.88	27,585.83	217,376.34	V3	0.16	217,376.34	234,868.98	3,709.06	Kg	
3	7.88	33,647.37	265,141.30							
	Total	234,868.98	1,101,195.26	V3	0.40	265,141.30	234,868.98	11,310.16	Kg	15.02
					2	1,101,195.26				

Figura 5.24 Análisis sísmico estático

El siguiente paso es obtener la distribución de cargas en las plantas arquitectónicas (ver figura 5.3, 5.4 y 5.5), calcular las áreas que soportara cada viga de acero, multiplicarlas por la carga muerta más la carga viva máxima que obtenemos de las tablas anteriores (ver figura 5.23), y dividirla entre el claro de cada viga correspondiente, el resultado nos proporciona el valor en kg por metro y que convertiremos a tonelada sobre metro.

Desarrollando el cálculo anterior obtenemos los siguientes resultados (ver figura 5.25), por viga de cada nivel. Hacemos la misma operación para el análisis dinámico sísmico, por columna lo cual obtenemos multiplicando el área tributaria que cargara cada columna por la suma de la carga muerta más la carga viva máxima que nos otorga el RCDF, dividido entre la fuerza de gravedad en cms/m², de este cálculo obtenemos los siguientes valores (ver figura 5.26).

	PRIMER NIVEL				AZOTEA				TAPANCO					
V1	1,175.26	Kg/m	1.18	T/m	V25	457.02	Kg/m	0.46	T/m	V50	1,709.37	Kg/m	1.71	T/m
V2	1,424.09	Kg/m	1.42	T/m	V26	641.55	Kg/m	0.64	T/m	V51	1,702.90	Kg/m	1.70	T/m
V3	1,709.93	Kg/m	1.71	T/m	V27	136.24	Kg/m	0.14	T/m	V52	1,173.98	Kg/m	1.17	T/m
V4	604.86	Kg/m	0.60	T/m	V28	457.02	Kg/m	0.46	T/m	V53	1,424.09	Kg/m	1.42	T/m
V5	1,174.57	Kg/m	1.17	T/m	V29	641.55	Kg/m	0.64	T/m	V54	1,709.93	Kg/m	1.71	T/m
V6	1,424.47	Kg/m	1.42	T/m	V30	136.24	Kg/m	0.14	T/m	V55	1,209.71	Kg/m	1.21	T/m
V7	1,709.37	Kg/m	1.71	T/m	V31	384.93	Kg/m	0.38	T/m	V56	1,200.14	Kg/m	1.20	T/m
V8	604.86	Kg/m	0.60	T/m	V31'	513.58	Kg/m	0.51	T/m					
V9	3,988.98	Kg/m	3.99	T/m	V32	383.58	Kg/m	0.38	T/m					
V10	3,973.43	Kg/m	3.97	T/m	V32'	511.43	Kg/m	0.51	T/m					
V11	5,128.25	Kg/m	5.13	T/m	V33	1,116.63	Kg/m	1.12	T/m					
V12	4,168.14	Kg/m	4.17	T/m	V34	1,112.71	Kg/m	1.11	T/m					
V13	5,108.70	Kg/m	5.11	T/m	V35	860.25	Kg/m	0.86	T/m					
V14	1,173.98	Kg/m	1.17	T/m	V36	856.99	Kg/m	0.86	T/m					
V15	1,424.09	Kg/m	1.42	T/m	V37	590.81	Kg/m	0.59	T/m					
V16	826.89	Kg/m	0.83	T/m	V38	716.68	Kg/m	0.72	T/m					
V17	1,025.96	Kg/m	1.03	T/m	V39	416.14	Kg/m	0.42	T/m					
V18	1,713.91	Kg/m	1.71	T/m	V40	516.32	Kg/m	0.52	T/m					
V19	1,422.54	Kg/m	1.42	T/m	V41	862.53	Kg/m	0.86	T/m					
V20	604.86	Kg/m	0.60	T/m	V42	715.90	Kg/m	0.72	T/m					
V21	1,709.37	Kg/m	1.71	T/m	V43	608.79	Kg/m	0.61	T/m					
V22	1,702.90	Kg/m	1.70	T/m	V44	128.31	Kg/m	0.13	T/m					
V23	1,200.14	Kg/m	1.20	T/m	V45	127.86	Kg/m	0.13	T/m					
V24	569.79	Kg/m	0.57	T/m										
V24'	567.63	Kg/m	0.57	T/m										

Figura 5. 25 Tabla de resultados distribución de cargas en vigas

ANALISIS DINAMICO SISMICO				
Nivel	Area	Carga	FG cms/m ²	
1 - C1	21.3	934.08	981.00	20.28
1 - C2	29.77	934.08	981.00	28.35
1 - C3	23.86	934.08	981.00	22.72
1 - C4	33.49	934.08	981.00	31.89
1 - C5	7.96	934.08	981.00	7.58
1 - C6	11.17	934.08	981.00	10.64
2 - C1	21.3	210.40	981.00	4.57
2 - C2	29.77	210.40	981.00	6.38
2 - C3	7.96	470.08	981.00	7.22
	15.9	210.40		
2 - C4	11.16	470.08	981.00	10.14
	22.326	210.40		
2 - C5	7.96	470.08	981.00	3.81
2 - C6	11.17	470.08	981.00	5.35

Figura 5. 26 Tabla de resultados distribución de cargas en columnas

Con estos valores, utilizamos el software SAP2000 v18.2.0 (Structural Analysis Program, Programa de Análisis Estructural), es un programa comercial de cálculo de estructuras, basado en el método de los elementos finitos (MEG), con interfaz gráfico 3D orientado a objetos, realiza de forma integrada, la modelación, análisis, y dimensionamiento.

Como primer paso dibujamos nuestro modelo, columnas empotradas y vigas propuestas, en seguida con los cálculos desarrollados asignamos los valores correspondientes a las cargas distribuidas que obtuvimos del análisis de cargas en vigas de cada nivel (*Ver figura 5.25*), a continuación se asignan las cargas por sismo estático con los valores de la figura 5.24. Por ultimo asignamos las masas en cada columna que obtenemos de la figura 5.26.

En el software asignamos los valores de carga, con el espectro de respuesta correspondiente para X y Y, en la zona I donde nos ubicamos con un factor de escala de 0.5. Con estos valores podemos obtener las deformaciones (*Ver figura 5.27*), y fuerzas (*Ver figura 5.28*), que actúan por carga muerta o por sismo.

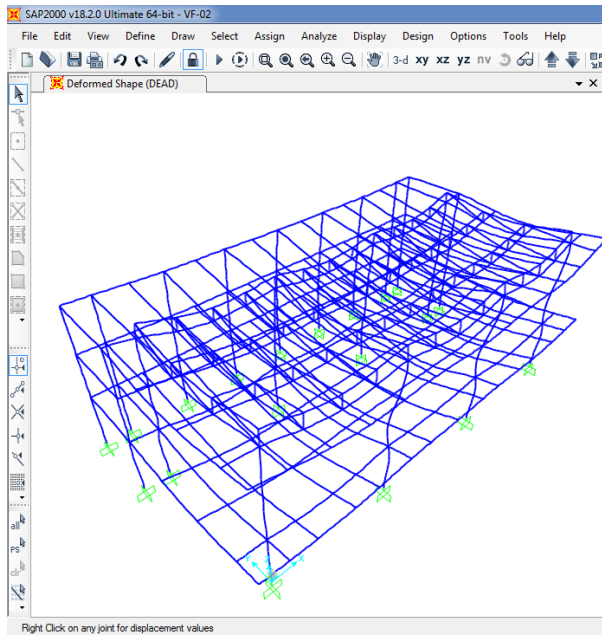


Figura 5. 27 Deformación por carga muerta

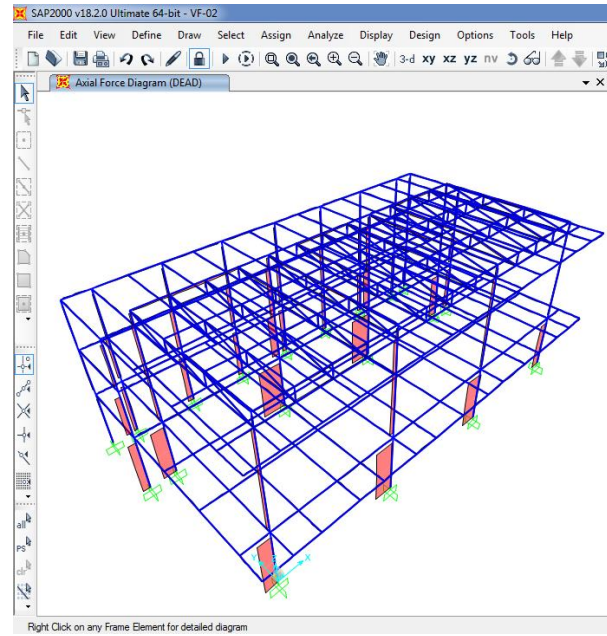


Figura 5. 28 Fuerzas por carga muerta

Con esta información la tarea siguiente es asignar el tipo de vigas o columnas que proponemos y correr los análisis correspondientes para verificar que nuestras secciones son idóneas, tanto en acero, (*ver figura 5.29*), como en las columnas de concreto (*ver figura 5.30*), ubicadas en el área de servicios al norte de la envolvente. Debemos tener cuidado de cuando los valores estén en color rojo, eso significa que nuestra sección es insuficiente para soportar las cargas calculadas.

Así obtenemos del análisis de estructura de acero, que con 6 columnas (COL-01 PXX8 de 0.219 x 0.022 m espesor), con una altura de 7.88 mts desde nivel de piso a nivel bajo de cubierta, que se distribuyen en módulos de 7.32 mts por 6.10 mts, para tener mayor área libre de producción; con vigas principales (VIG-01 W18X283 = 0.555 x 0.302 m) que libran los claros de 7.32 mts y vigas secundarias (VIG-02 W18X211 = 0.525X 0.293 m) que libran los claros de 6.10 en planta baja, nuestro módulo de producción se comporta de manera óptima. En el nivel de tapanco y segundo nivel donde ubicamos áreas de bodegas, el análisis arroja que vigas de acero principales (VIG-02 W18X211 = 0.525X 0.293 m) y vigas secundarias (VIG-03 W18X97 = 0.472 X 0.283 m), podrán soportar las cargas calculadas para estas áreas. En los volados de la estructura de segundo nivel, donde se propone una cubierta de cristal, la VIG-04 W10X77 de 0.269x0.258 m, resulta suficiente para las cargas del cristal que formaran los dientes de sierra.

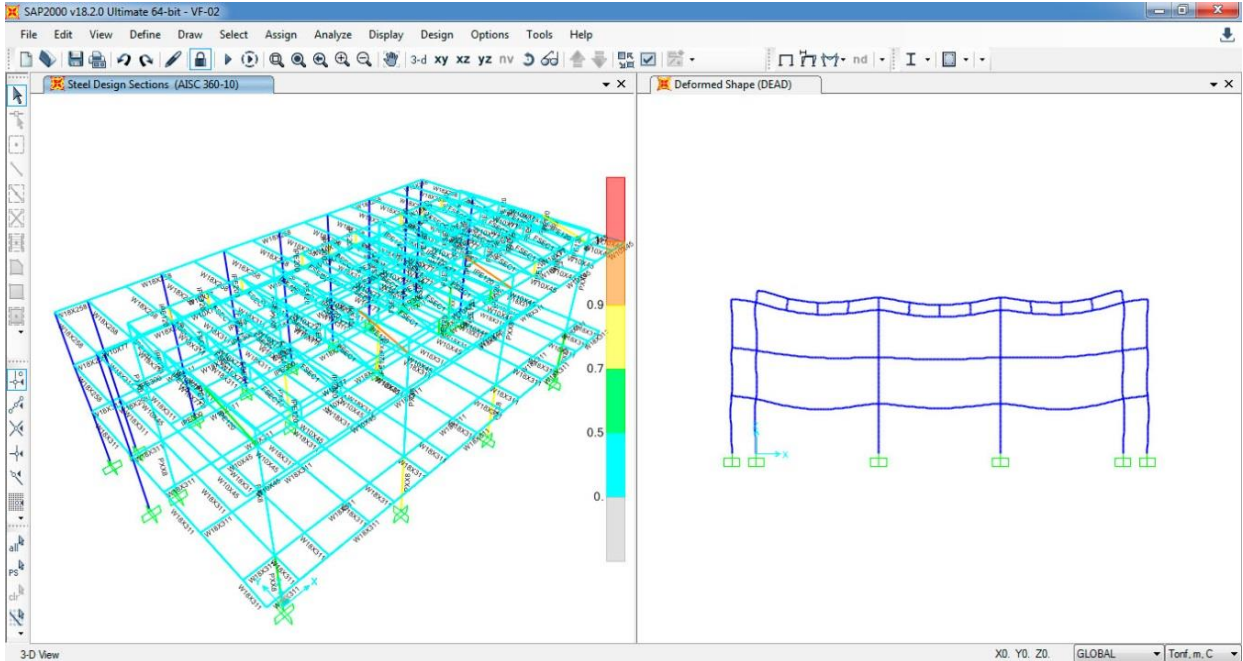


Figura 5. 29 Análisis en estructura de acero

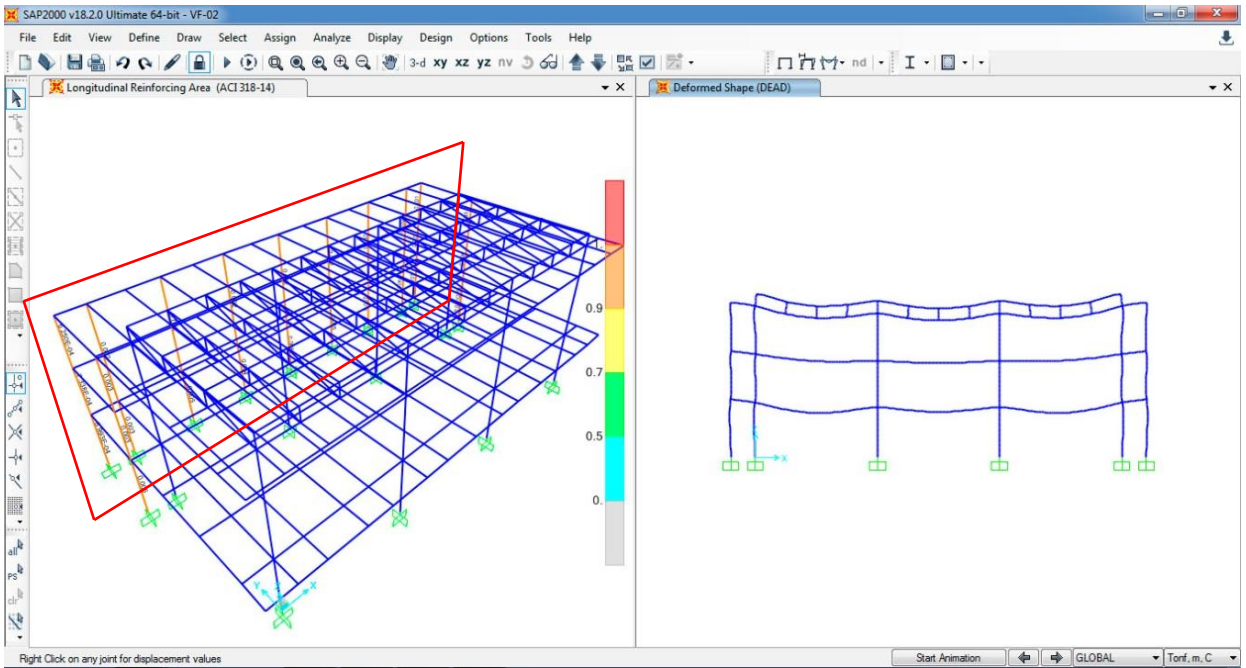


Figura 5. 30 Análisis en columnas de concreto en área de servicios

En la zona norte donde se alojan los servicios se proponen columnas de concreto, donde la sección de las columnas principales será de 0.40x0.40 mts, y las intermedias o secundarias de 0.30x0.30 mts.

5.4 Producción

Un primer ejercicio como modelo para determinar el volumen de producción con su correspondiente población se hace en la Col. Campestre de la Delegación Coyoacán, ya que es una muestra característica del desarrollo de la ciudad, por el paulatino proceso de urbanización. De esta manera podremos obtener la relación entre rendimientos y densidad de población, para hacer el análisis correspondiente a la producción que tendrá nuestro modulo respecto a la población que atenderá que deberá ser preferentemente a pie, en un radio determinado para compra o entrega de la producción en el sitio de 1 km.

La Delegación cuenta con 608,479 habitantes, en una superficie de 54.40 km², y la colonia Campestre cuenta con 2,931 habitantes en una superficie de 97.18 km²; por lo que consideramos que nuestro modulo atienda este número de personas, considerando el rendimiento en sistemas de alta tecnología con una producción anual de hasta 90 kg/ km² o 900 ton/año (ver figura 5.31); obtenemos que nuestro modulo tendrá una producción de 45,000 kg/año, al considerar dos niveles de 5 mts altura total, se duplica la producción, con rendimientos por densidad como se muestra en la figura 5.32, de 4.09 kg/hab/ km², corroboramos al hacer este ejercicio que el jitomate tiene mejor rendimiento, como nos lo marca la bibliografía consultada y las entrevistas a los investigadores especialistas de la UACH, (Universidad Autónoma de Chapingo), comparada con las otras hortalizas, y por lo que se vuelve competitiva en relación al producto obtenido del campo.

CULTIVO	Produccion	Produccion Ton/Ha.		CULTIVO	Produccion		
	Kg/m ² /año	Kg/Ha/año	Ton/año		Hectarea	kilos/año	Kilos/Dia
Jitomate	90	900,000.00	900	Jitomate	0.05	45,000.00	123.29
Pepino	42	420,000.00	420	Pepino	0.05	21,000.00	57.53
Pimiento	63	630,000.00	630	Pimiento	0.05	31,500.00	86.30
Chile		0.00	0	Chile	0.05	0.00	0.00
Papa		0.00	0	Papa	0.05	0.00	0.00
Cebolla		0.00	0	Cebolla	0.05	0.00	0.00
Calabaza	10	100,000.00	100	Calabaza	0.05	5,000.00	13.70
Lechuga		0.00	0	Lechuga	0.05	0.00	0.00
Fresa		0.00	0	Fresa	0.05	0.00	0.00

Figura 5. 31 Producción anual jitomate

Coyoacán. Col. Campestre			CULTIVO	Produccion			Rendimiento	
				Hectarea	kilos/año	Kilos/Dia	kg/Hab/km ²	Kg/Hab/Ha
Poblacion Total	608,479	Habitantes	Jitomate	0.05	45,000.00	123.29	4.09	408.77
Superficie Total	54.40	Km ²	Pepino	0.05	21,000.00	57.53	1.91	190.76
Densidad	11,185.28	Hab/Km ²	Pimiento	0.05	31,500.00	86.30	2.86	286.14
Localidad -Centro-	2,931	Habitantes	Chile	0.05	10,000.00	27.40	0.91	90.84
Superficie -Centro-	97.18	Km ²	Papa	0.05	6,000.00	16.44	0.55	54.50
Densidad	30.16	Hab/Km ²	Cebolla	0.05	6,000.00	16.44	0.55	54.50
Habitantes/Ha	0.30		Calabaza	0.05	5,000.00	13.70	0.45	45.42
			Lechuga	0.05	12,500.00	34.25	1.14	113.55
			Fresa	0.05	5,000.00	13.70	0.45	45.42

Figura 5. 32 Relación Densidad población y producción

Con estos datos se obtuvieron costos por kilo de las distintas hortalizas, enfocándonos en el jitomate obtenemos que el SNIIM⁷², marca el precio para el mes de Junio de 2017 en \$14.28, su producto cosechado en invernaderos procedente de Toluca en \$13.00, la central de abastos de la CDMX en \$20.00, y el Mercado 100⁷³ en \$30.00. (Ver figura 5.33), se desarrolla un análisis en general de los costos.

CULTIVO	SNIIM		CENTRAL A.	Organico
	ECA-DF	TOL-MEX		
Jitomate	\$14.28	\$13.00	\$20.00	\$30.00
Pepino	\$7.73		\$14.00	
Pimiento	\$20.00			
Chile	\$17.00		\$20.00	
Papa	\$9.00		\$11.00	
Cebolla	\$9.67		\$8.00	
Calabaza	\$5.73		\$10.00	
Lechuga	\$11.00		\$8.00	\$18.20
Fresa	\$24.00			

Figura 5. 33 Precios por kg de hortalizas

Por referencias de la UACH, se tiene conocimiento que los sistemas de invernaderos de alta tecnología tiene precio de 400 dls aproximadamente; al desarrollar un presupuesto paramétrico para uso industrial obtenemos un costo por metro cuadrado para nuestro módulo de \$12,903.46, con un área de 593.93 m² de nuestro modulo considerando Planta Baja, Primer Nivel, y Segundo

⁷² Sistema Nacional de Información e integración de Mercados, es un servicio de la Secretaría de Economía que tiene el propósito de ofrecer información sobre el comportamiento de los precios al por mayor de los productos agrícolas, pecuarios y pesqueros que se comercializan en los mercados nacionales e internacionales.

⁷³ Mercado de productos orgánicos, ubicado en Jardines del Pedregal.

Nivel, obtenemos una inversión de \$7,664,084.88 de pesos (Ver Figura 5.34). Al obtener el costo del producto del jitomate de los mercados orgánicos con \$30.00 por kilo de jitomate, por la producción total de 45,000 kg anuales que producirá nuestro modulo, obtenemos \$1,350,000.00 pesos.

Presupuesto Paramétrico			
MODULO DE PRODUCCIÓN			
Resumen			
partida	área	\$/ m2	monto parcial
Planta Baja	254.86	\$ 11,560.00	\$ 2,946,158.48
Nivel 1	254.86	\$ 13,800.00	\$ 3,517,040.40
Mezzanine	84.24	\$ 14,255.53	\$ 1,200,886.00
		sub-total edificación	\$ 7,664,084.88
		superficie total	593.96
precio paramétrico por m2 de construcción	\$ 12,903.46		
		costo global / m2 tot:	\$ 12,903.46

Figura 5. 34 Presupuesto Paramétrico módulo de producción

Como vemos en la figura 5.35, la inversión hecha tendrá retorno en 5.68 años, ese comportamiento es el mejor que se tiene en las hortalizas analizadas, si obtenemos una producción anual con los sistemas de alta tecnología, que podría aun mejorar como el estudio desarrollado por Elings, en la Huerta de Aguascalientes con una producción anual de hasta 130kg/ km² y obtener un retorno de inversión en 3.93 años.

	\$ m ²	AREA m ²	INVERSION	Kg/m ² /año	\$/jitomate	R.Inversion
Jitomate	\$12,903.46	593.93	\$7,663,752.00	45,000.00	\$1,350,000.00	5.68
Pepino	\$12,903.46	593.93	\$7,663,752.00	42,000.00	\$588,000.00	13.03
Pimiento	\$12,903.46	593.93	\$7,663,752.00	63,000.00	\$1,260,000.00	6.08
Chile	\$12,903.46	593.93	\$7,663,752.00	0.00	\$0.00	-----
Papa	\$12,903.46	593.93	\$7,663,752.00	0.00	\$0.00	-----
Cebolla	\$12,903.46	593.93	\$7,663,752.00	0.00	\$0.00	-----
Calabaza	\$12,903.46	593.93	\$7,663,752.00	10,000.00	\$100,000.00	76.64
Lechuga	\$12,903.46	593.93	\$7,663,752.00	0.00	\$0.00	-----
Fresa	\$12,903.46	593.93	\$7,663,752.00	0.00	\$0.00	-----

Figura 5. 35 Inversión

Hace falta desarrollar un análisis más profundo de los gastos energéticos, de luz, agua, calefacción, refrigeración, de la envolvente, costos del personal, de materiales, mano de obra, para obtener resultados fidedignos que otorguen parámetros para su corrida financiera.

El agua necesaria que demandara un edificio de producción de 594 m² y 2 niveles, cada nivel de 2.44 mts altura, requerirá 2.5 lts/día/planta o 3, 241,200 lts de consumo de agua al año. Este dato considera solo el agua necesaria para producción de plantas. Se debe considerar la utilizada para los sistemas de calentamiento o enfriamiento del módulo. La producción preliminar anual que tendrá nuestra envolvente será de 45,000 kg/año. Tenemos que evaluar nuestro edificio y analizar usos de suelo que nos permita el uso de industria o comercio que proponemos, así como el desplante de terreno al que nos tendremos que adecuar y sus alturas.

CONCLUSIONES

Ya que comienza a abonarse con propuestas de desarrollos verticales como en USA, o interés de investigación en países desarrollados como Alemania, Japon o Corea, en países como México estos temas no presentan aun mayor relevancia, concluimos por la creencia de localizarnos en una zona en donde obtenemos los recursos fácilmente. Por ello es importante registrar un trabajo que aborde con seriedad los datos obtenidos en otras disciplinas para que la tecnología en la arquitectura aporte ideas, métodos e interpretaciones originales y sean llevados a la práctica por otras personas; al desarrollar un trabajo empírico que no se ha llevado a cabo previamente en esta latitud, con referencia en dos investigaciones que se han mencionado con anterioridad y que creemos necesaria llevarla a cabo aquí, aportando nuevas pruebas y análisis al satisfacer la demanda real del mercado, utilizando distintas metodologías. Explorando áreas en donde la Arquitectura no ha examinado a profundidad:

1. Someter a prueba las ideas de otros.
2. Realizar un trabajo que no se había hecho en México.
3. Ensayar en el país algo que solo se hizo en otros países.
4. Utilizar diferentes metodologías.
5. Incrementar conocimiento en una dirección no explorada.

Nuestro ideal es crear ciudades sustentables que mediante la integración e incorporación de granjas verticales como parte del diseño urbano y arquitectónico, puedan acortar la distancia física entre nosotros y nuestra alimentación; de esta manera pueda resistir sus amenazas cultivando sus propios alimentos para el abasto de su población, en consecuencia crear lo que llamamos ciudades Resilientes.

Otra oportunidad al generar la Granja Vertical y autosuficiente, dentro de la ciudad de México, es que se creara una actividad que había estado olvidada como es la agrícola, y al compararla con los usos de suelo urbanos actuales, se completara el cuadro de crecimiento: de esta manera podríamos abrir un campo de investigación que no se ha explorado, que origine diagnósticos y corrijan problemas. Como en áreas de normatividad, ya que no existen lineamientos que nos guíen para estos modelos de producción, solo los referentes en materia de exportación que se utilizan actualmente, son los que nos guiara reglamentariamente.

Existen cinco temas fundamentales que se han identificado para lograr la construcción sustentable. Es muy importante tomar estos pilares en cuenta:

1) Innovación y transferencia. La propuesta presenta innovaciones de vanguardia en la construcción sustentable al generar la misma energía que consumirá, no solo donde las personas hacen uso de él, sino al integrar a la huerta en su interior y dotarles los requerimientos que estos necesitan. Por tanto este tipo de estructuras pueden adaptarse para la aplicación al interior de distintas tecnologías, tener entresijos diferentes y sistemas de rotación o adaptación para diferentes cultivos, la propuesta se plantea a edificios nuevos con uso específico de producción de alimentos, pero puede ser adaptada con base al análisis desarrollado aquí, a edificios existentes gracias a los sistemas propuestos que crecerán tanto en vertical como horizontal al ser un módulo replicable, que además generaran nuevas ideas considerando las mejoras en sistemas tecnológicos como la hidroponía.

2) Ética y equidad social. El proyecto se apoya de la innovación con especialistas para dar servicio a la comunidad, con la participación de ambos actores en cualquier etapa de su realización, capacitando a las personas y otorgando beneficios a la sociedad. La idea que el productor y consumidor estén presentes en el proceso productivo y exista competitividad entre los sectores.

3) Calidad ambiental y eficiencia de recursos. Hacer un manejo sustentable de los recursos en el edificio es fundamental en estos momentos, el manejo de energías limpias para proporcionar productos de calidad, manejo de residuos, etc. a lo largo de todo el proceso de operación del edificio es de vital importancia para su funcionamiento.

4) Económicamente viables e innovadores en cuanto a sus fuentes de financiamiento: es la búsqueda de la viabilidad económica y energética la que la investigación nos proporcionara, obteniendo fuentes de financiamiento necesarias para la generación de esta tecnología, ya sea pública o privada.

5) Tomar en cuenta el impacto estético en el contexto que se desarrollan. Tener un sentido de belleza y pertenencia, desde el punto de vista estético y funcional. Estamos seguros que las ideas surgirán y existirán propuestas de diseño que se sigan adaptando a su medio climático, urbano y económico.

Dentro de los beneficios que pienso que podríamos obtener con el desarrollo dentro de la Arquitectura con ideas de este tipo enumero:

1. La transformación de las ciudades a partir de sólo los consumidores de alimentos a los generadores de productos agrícolas contribuye a la sostenibilidad, la mejora de la salud, y el alivio de la pobreza.
2. Ayuda para cerrar el sistema abierto en zonas urbanas caracterizadas por la importación de alimentos procedentes de las zonas rurales y la exportación de residuos a las regiones fuera de la ciudad o pueblo.
3. Las aguas residuales y los residuos sólidos orgánicos pueden ser transformados en recursos para el cultivo de productos agrícolas: el primero puede ser utilizada para el riego, este último como fertilizante.
4. Zonas urbanas vacantes se pueden utilizar para la producción de la agricultura.
5. Mejora la calidad del medio ambiente urbano a través de reverdecimiento y, por tanto, una reducción de la contaminación.
6. Es una herramienta muy eficaz para luchar contra el hambre y la desnutrición, ya que facilita el acceso a los alimentos por un sector pobre de la población urbana.
7. Reducción de la pobreza: Se sabe que una gran parte de las personas involucradas en la agricultura urbana es la población urbana pobre. En los países en desarrollo, la mayoría de la producción agrícola urbana es para el autoconsumo, con los excedentes que se venden en el mercado. Según la FAO, los consumidores urbanos pobres gastan entre el 60 y el 80% de sus ingresos en alimentos, lo que son muy vulnerables a los precios de los alimentos.
8. Centros comunitarios y jardines educan a la comunidad para ver la agricultura como parte integral de la vida urbana, acerca de la alimentación saludable y la actividad física significativa, además de formar parte integral de la vida urbana.

El análisis de problemas regionales y la solución a los mismos es necesario que se realice en la zona de estudio, hemos identificado dudas y preguntas en temas como el agua, su abasto y saneamiento en un futuro, es de vital importancia para el uso del hombre y de su alimentación; de igual forma sus contaminantes, los metales pesados de nuestro ambiente están presentes en los productos que consumimos que se traduce en salud. El análisis del medio que habitamos, sus contaminantes y su influencia en los seres vivos es un tema a tratar en el futuro en la producción de alimentos en las ciudades. La propuesta de envolvente es una solución parcial a un problema específico regional.

Productividad en la Agricultura: Uno de los problemas en México es su baja productividad, la producción en México está disminuyendo, señal que se debe elaborar más productos requeridos en el mercado.

Emigración: la emigración demanda oportunidades en México, empleando el sistema por ejemplo, se pueden generar muchos empleos y dado que la producción puede ser continúa al diseñarla bajo un ambiente controlado. Se estima que 1 ha en este sistema generaría 10 empleos directos permanentes solo para atención de cultivos. 1000 m² es suficiente para dar trabajo a un jefe de familia, amortizarse en 5 ciclos la inversión y generar ganancias suficientes mensuales para procurar un ingreso adecuado a la familia.

Minifundio: las tierras se distribuyen entre los hijos, de tal forma que la agricultura es cada vez menor, menos rentable; si se opta por cultivos con hidroponía en ambientes controlados, una ha podría generar ingresos que darían 10 ha y si son dos o tres cosechas por año, incrementa la producción.

Cultura ecológica en las ciudades: En las ciudades con alto índice de contaminación es una alternativa, que se produzca en azoteas o jardines pequeñas huertas de autoconsumo y contribuyan a la producción de oxígeno y consumo de CO₂.

Terapias Ocupacionales: En jubilados o personas que necesitan una actividad para ocupar tiempos libres. Se considera este trabajo como una solución parcial ya que hace falta la etapa experimental, la cual permitirá evaluar diferencias cuantitativas y cualitativas en la producción y con ello conocer aspectos a detalle como la rentabilidad, utilidad y costo.

Al llevar a cabo la etapa experimental a escala real es necesario considerar el aspecto de iluminación al ser un sistema híbrido, conocer los porcentajes de luz natural que penetra al interior y porcentajes de sombra causados por los racks verticales o los mismos cultivos, que nos dará parámetros reales de cantidades de luz artificial que necesitara nuestra envolvente. El tema de ventilación se tendrá que evaluar con el mismo rigor, ya que concentrar demasiado la producción puede provocar el uso sistemas artificiales y en consecuencia la polinización natural al no tener corrientes de aire adecuadas puede perjudicar.

No existen estudios sobre los requisitos técnicos o uso de determinadas instalaciones especiales, así como la falta de normatividad para estas estructuras de producción de alimentos, ni un análisis financiero que nos de parámetros sobre su rentabilidad; por lo que esta investigación pretende generar los primeros diagnósticos que evolucionen y mejoren los sistemas de producción, dar lineamientos para mejorar las normas existentes en materia de alimentación y otorgar los primeros resultados sobre su viabilidad económica y energética.

Aún falta analizar los contaminantes del medio con los datos generados en la Coordinación de la Investigación Científica UNAM, ya que al proveer de ventilación natural, del agua de riego, así como los sustratos que se utilicen, podemos suministrar metales pesados que intervienen en la calidad del producto, como se han encontrado hasta el momento con plantas ornamentales e implementar propuestas de sistemas de filtración en la envolventes que protejan aún más de estos factores.

En la próxima etapa se espera su construcción del prototipo vía financiamiento otorgado por organizaciones interesadas, a efecto de llevar a cabo la experimentación, que proporcionara información para realizar evaluaciones sobre producción y aspectos económicos.

La clasificación de nivel tecnológico de los invernaderos es un tema aun no resuelto, por una parte la clasificación simple de baja, media y alta tecnología no provee información adicional para entender el tipo de invernadero ideal en cada escalón. Existe una diversidad de equipos para el control pudiendo tener en un invernadero sencillo un equipo de control sofisticado complicando la clasificación.

“No será suficiente diseñar edificios que no contaminen o que “conserven el medio ambiente”, sino que estos tendrán la obligación de contribuir al enriquecimiento de los ecosistemas. Nuestros diseños se verán informados de diversas estrategias que busquen un “metabolismo prodigioso” y generador de abundancia, tal cual como lo hacen todos los medios naturales de producción del planeta y de los que depende nuestra existencia”⁷⁴. (Cremoux W.)

⁷⁴ Cremoux W., P. (s.f.). *El futuro del diseño*. Recuperado el 14 de 04 de 2016, de <http://www.acmoderna.com/el-futuro-del-diseno-by-paul-cremoux-w/>

REFERENCIAS

- Adenaueer, L. (2013). Up, Up and Away! The Economics of Vertical Farming. *Journal of Agricultural Studies*, Vol. 2. No. 1.
- AIRE. (2016). *CDMX Ciudad de México*. Retrieved 01 06, 2016, from <http://www.aire.cdmx.gob.mx/default.php>
- Al- Chabali, M. (2015). Vertical Farming: Skyscraper Sustainability? *Sustainable Cities and Society*, 74-77.
- Alter , L. (2011, 06 08). *Gordon Graff Demonstrates That Vertical Farms Can Actually Work*. Retrieved 08 2015, from TreeHugger: <http://www.treehugger.com/green-food/gordon-graff-demonstrates-that-vertical-farms-can-actually-work.html>
- Arnal Simon, L. (2005). *Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal. Comentado*. Ciudad de México: Ed. Trillas.
- Bailkey , M., & Nasr , J. (2000). *From Brownfields to Greenfields: Producing Food in North American Cities*. Community Food Security News.
- BBC, N. (2009, 09 30). *Vertical crop system is piloted*. Retrieved 09 2015, from BBC News: http://news.bbc.co.uk/2/hi/uk_news/england/devon/8282288.stm
- Bell. (2011). Los efectos de la contaminación del aire en los ecosistemas urbanos y la agricultura. *Revista Internacional de Desarrollo Sustentable y Ecología Mundial*, 226-236.
- Buscador de Arquitectura. (n.d.). *Arquitectura: 2001 a 2010: 2009: Granja Vertical de agua marina*. Retrieved 10 2015, from Buscador de Arquitectura: <http://noticias.arq.com.mx/Detalles/10245.html#.VwiZ5fnhDcf>
- CEFP. (2014). *Perfil Socioeconomico del Distrito Federal*. Ciudad de México: Centro de Estudios de las Finanzas Públicas.
- CONEVAL. (2012). *Informe de pobreza y evaluación en el Distrito Federal* . Ciudad de México.
- Cooper, A. (2009, Mayo 19). *Going up? Farming in High Rises Raises Hopes*. Retrieved 2015, from Miller-mccune: Miller-mccune.com
- Costa, P., & Giacomelli, G. (n.d.). *Ensuring success, Protected horticulture: productivity based on levels of technology*.
- Cremoux W., P. (n.d.). *El futuro del diseño*. Retrieved 04 14, 2016, from <http://www.acmoderna.com/el-futuro-del-diseno-by-paul-cremoux-w/>

- Davis, N. (2014, 02 06). *Vertical farming explained: how cities could be food producers of the future*. Retrieved 10 2015, from The Guardian: <https://www.theguardian.com/science/2014/feb/06/vertical-farming-explained-erik-murchie>
- Despommier, D. (2010). *The Vertical Farm*. New York: Thomas Dunne Books.
- Durand, J. (1974). *Historical Estimates of World Population: An Evaluation*. Philadelphia: University of Pennsylvania.
- Elings, A., Campen, J., Nieves Garcia, V., & Van der Valk, O. (2013). *A greenhouse design for Mexico. The case of La Huerta, Aguascalientes*. La Haya: Landbouw Economisch Instituut.
- FAO. (1996). *Enseñanzas de la revolución verde: hacia una nueva revolución verde*. Retrieved 09 2015, from FAO. Documentos tecnicos de referencia: <http://www.fao.org/docrep/003/w2612s/w2612s06.htm>
- FAO. (2014). *Perdidas y desperdicios de alimentos en el mundo. Estudio realizado para el congreso Internacional SAVE FOOD*. Alemania: FAO.
- FAO. (2015, Mayo). *Alimentar a las personas, nutrir al planeta*. Retrieved 04 2016, from <http://www.fao.org/>: http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/mdg/doc/12._agricultura_es-1.pdf
- FAO. (n.d.). *food And Agriculture Organization of the United Nations*. Retrieved from <http://www.fao.org/home/en/>
- Farms, G. U. (n.d.). *Grow Up. Urban Farm*. Retrieved 07 2015, from Grow Up. Urban Farm: <http://growup.org.uk/>
- García Alcántara, M. (2012). *Luz natural. sistema de Captación, Transmisión y Distribución*. Ciudad Universitaria, México. D.F.: Programa de Maestría y Doctorado.
- García, E. (2004). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen*. México: UNAM, Instituto de Geografía.
- Gay y Garcia, C., & Rueda Abad, J. (2015). *Reporte Mexicano del cambio climatico*. Mexico, D.F.
- Gould. (2012). Building-integrated agriculture: a new approach to food production. *Metropolitan Sustainability*, 147–170.
- Grow Up. Urban Farm*. (n.d.). Retrieved from <http://growup.org.uk/>

- Hernández , R., & Kubota, C. (2015, 11 12). *Respuesta de plántulas de tomate a luces LED*. Retrieved 11 2015, from Hortalizas: http://www.hortalizas.com/cultivos/respuesta-de-plantulas-de-tomate-a-luces-led/?utm_source=knowledgemarketing&utm_medium=newsletter&utm_campaign=pdhe-news+11122015&omhide=true
- INEGI. (2010). *Instituto Nacional de Estadística y Geografía* . Retrieved 09 09, 2016, from <http://www.inegi.org.mx/>
- INEGI. (2015). *Informacion por entidad*. Retrieved 08 2015, from <http://www.cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/df/territorio/clima.aspx?tema=me&e=09>
- Islas, J. O. (2016). *Análisis de un modelo matematico como base de un simulador de clima de invernaderos*. Chapingo, Estado de México: Posgrado en Ingeniería Agrícola y uso integral del agua.
- KONODESIGNS. (n.d.). Retrieved from <http://konodesigns.com/portfolio/Urban-Farm/>
- KonoDesigns. (n.d.). *KONODESIGNS*. Retrieved 10 2015, from <http://konodesigns.com/portfolio/Urban-Farm/>
- Koolhaas , R. (2004). *Delirio de Nueva York*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili.
- Lufa Farms. (n.d.). Retrieved from <http://lufa.com/en/>
- Lufa Farms Inc. (n.d.). *Lufa Farms*. Retrieved 07 2015, from <http://lufa.com/en/>
- Marchetti, C. (1979). A check on the earth-carrying capacity for man. *Energy Vol.4*, 1107-1117.
- María Madaleno, I., & Armijo, G. (2004, 08). *Agricultura urbana en metrópolis iberoamericanas: estudio de casos en Santiago de Chile y Lisboa, Portugal*. Retrieved 09 2016, from *Investigaciones Geograficas*: <http://www.revistas.unam.mx/index.php/rig/article/view/30131>
- McClintock, N. (2012). Evaluación de la contaminación por plomo en múltiples escalas en Oakland, California: implicaciones para la agricultura urbana y la justicia ambiental. *Geografía Aplicada*, 460-473 .
- Meadows, D. (1972). *Los límites del crecimiento*. Massachusetts : MIT.
- Miranda Velázquez, I., Gil Vázquez, I., Morales Parada, J., Reyes Ramírez, D., Ramírez Arias, A., Hernandez Ortiz, J., et al. (2013). *Introduccion a la Hidroponia*. México: AGRIBOT.
- Mobile, S. (2009). *Seawater Vertical Farm*. Retrieved 08 2015, from STUDIO MOBILE: <http://www.studiomobile.org/Seawater-Vertical-Farm>

- Morales Parada, J., Miranda Velázquez, I., Reyes Ramirez, D., Gil Vázquez, I., Ramirez Arias, A., Hernández Ortiz, J., et al. (2014). *Manejo de Cultivos Hidropónicos bajo Invernadero*. México: AGRIBOT.
- Nations, U. (1966). *World Population Prospects as Assessed in 1963*. New York: United Nations.
- Nations, U. (1973). *The Determinants and Consequences of Population Trends, Vol. 1*. New York: United Nations.
- Nations, U. (1992). *Long-range World Population Projection: Two Centuries of Population Growth, 1950-2150*. New York: United Nations.
- Ng, J. (2014). *Agrocropolis. Vertical Farming in Toronto's Distillery District*. Ottawa, Ontario: Carleton University.
- Parfitt, J., Barthel, M., & Macnaughton, S. (2010, 08 16). *Food waste within food supply chains: quantification and potential for change to 2050*. Retrieved 04 2016, from Philosophical Transactions of the royal society B: <http://rstb.royalsocietypublishing.org/content/365/1554/3065>
- Pérez-Silva García, M. D., Belmonte Cortés, S., & Martínez Corral, J. (n.d.). *Estudio microbiológico de los alimentos elaborados en comedores colectivos de alto riesgo*. Retrieved 10 2016, from Revista Española de salud pública: http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1135-57271998000100008
- Pesquera, S. d. (2015). *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola*. Retrieved 09 15, 2016, from http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/icultivo/
- Ponce Cruz, P. (2013). *Producción de tomates en invernadero en México*. Retrieved 11 2015, from (3) <http://www.hortalizas.com/horticultura-protegida/produccion-de-tomates-en-invernadero-en-mexico/>
- Rifkin, J. (2007, 01 21). *Nos conviene un menú cada vez más vegetariano*. Retrieved 10 2015, from Clarin: <http://edant.clarin.com/suplementos/zona/2007/01/21/z-03103.htm>
- Roubelat Marques, L., & Armijo Plaza, G. (2012). Urban Agriculture in the Metropolitan Area of Santiago de Chile. *PLEA2012 - 28th. Conference, Opportunities, Limits & Needs Towards an environmentally responsible architecture*. Lima, Perú.
- SAGARPA. (2016, 06 27). *Servicio de información Agroalimentaria y Pesquera*. Retrieved from Servicio de información Agroalimentaria y Pesquera: <http://www.gob.mx/siap/documentos/siembras-y-cosechas>

- Santos, M. (2000). *La naturaleza en el espacio. Técnica y tiempo. Razón y emoción*. Barcelona: Ariel.
- Savinio. (2012, 11 05). <http://www.aryse.org/>. Retrieved 11 2015, from <http://www.aryse.org/http://www.aryse.org/es-la-agricultura-vertical-el-futuro-para-la-produccion-urbana-de-alimentos/>
- SENASICA. (n.d.). *Servicio Nacional de Sanidad, inocuidad y Calidad Agroalimentaria*. Retrieved 11 9, 2016, from <http://www.gob.mx/senasica>
- Sharanbir, G., & Parwinder, G. (2012). Can cities become self-reliant in food? *Cities*, 1-11.
- Sky Greens*. (n.d.). Retrieved from <http://www.skygreens.com/>
- Sky Greens. (n.d.). *Sky Greens*. Retrieved 07 2015, from <http://www.skygreens.com/>
- Szokolay, S. (1996). *Solar geometry. PLEA Note 1. Passive and Low Energy Architecture International in association with Department of Architecture*. Brisbane: University of Queensland.
- tm, V. (n.d.). *VertiCrop*. Retrieved 08 2015, from <http://www.verticrop.com/>
- Vertical Harvest. (n.d.). *Vertical Harvest*. Retrieved 08 2015, from <http://verticalharvestjackson.com/>
- White, J. (2009). *SKY-FIELD*. New York: School of Architecture, Art and Historic Preservation.
- Zabeltitz, C. V. (2011). *Integrated Greenhouse systems for Mild climates. Climate conditions, design, construction, maintenance, climate control*. Germany: Springer.
- Zeevaert Alcántara, L. (2014). *Interaccion del medio ambiente y la envolvente Arquitectonica*. Ciudad de México.

REFERENCIA DE FIGURAS

<i>Figura 1. 1 Evolución de la población mundial</i>	13
<i>Figura 1. 2 Modelo de Análisis. Desarrollado por autor</i>	27
<i>Figura 1. 3 Matriz FODA</i>	28
<i>Figura 2. 1 FAO, Perdidas y desperdicios de alimentos en el mundo 2014</i>	38
<i>Figura 2. 2 Requerimientos de cultivo, medio ambiente y medio hidropónico</i>	41
<i>Figura 3. 1 Sistemas de cultivo rotante</i>	47
<i>Figura 3. 2 Sistema de cultivo vertical</i>	47
<i>Figura 3. 3 Lula Farms. https://lufa.com/en/</i>	48
<i>Figura 3. 4 Vertical Harvest http://verticalharvestjackson.com/</i>	49
<i>Figura 3. 5 Análisis Vertical Farming</i>	51
<i>Figura 3. 6 Análisis Unidades de Producción</i>	51
<i>Figura 3. 7 Optimización de modelo agricultura vertical</i>	55
<i>Figura 4. 1 Fuente anuario estadístico de producción Agrícola (Pesquera, 2015)</i>	65
<i>Figura 4. 2 Requerimientos de Hortalizas</i>	66
<i>Figura 4. 3 Ciclos de siembra y cosecha de los cultivos</i>	67
<i>Figura 4. 4 Niveles de tecnología</i>	70
<i>Figura 4. 5 Uso de agua</i>	72
<i>Figura 4. 6 Uso de energía</i>	72
<i>Figura 4. 7 Producción de Tomate</i>	72
<i>Figura 4. 8 Temperatura y humedad promedio anual 1965 - 2015</i>	78
<i>Figura 4. 9 Temperatura promedio, máximas y mínimas anuales 1965 – 2015</i>	78
<i>Figura 4. 10 Temperaturas promedio máximas y mínimas mensuales Cd Mx. año 2015</i>	79
<i>Figura 4. 11 Temperatura promedio por hora durante el año 2015</i>	80
<i>Figura 4. 12 Temperaturas y humedad durante la primera quincena de enero del año 2015</i>	81
<i>Figura 4. 13 Temperaturas durante la segunda quincena de Abril del año 2015</i>	83
<i>Figura 4. 14 Humedad Relativa promedio por hora durante el año 2015</i>	84
<i>Figura 4. 15 Temperatura y radiación segunda quincena Abril 2015</i>	85
<i>Figura 4. 16 Temperatura y radiación primera quincena Enero 2015</i>	85
<i>Figura 4. 17 Precipitación pluvial 2015</i>	86
<i>Figura 4. 18 Rosa de los vientos promedio año 2015</i>	88
<i>Figura 4. 19 Rosa de los vientos - Agosto año 2015</i>	88
<i>Figura 4. 20 Fórmulas para calcular Resistencia Térmica y Transmitancia Térmica</i>	89
<i>Figura 4. 21 Resistencia Térmica de la superficie interior y exterior</i>	90
<i>Figura 4. 22 Resistencia Térmica de espacios de aire no ventilados</i>	91
<i>Figura 4. 23 Resistencia y transmitancia para diferentes sistemas de cristal</i>	91

<i>Figura 4. 24 Valores de resistencia y transmitancia térmica del cristal sencillo de 6 mm.</i>	92
<i>Figura 4. 25 Grafica aislamiento térmico de cristal.</i>	92
<i>Figura 4. 26 Resultados estudio de cristal</i>	93
<i>Figura 4. 27 Propiedades ópticas solares del cristal</i>	93
<i>Figura 4. 28 Diagrama psicrométrico, temperatura y humedad óptima</i>	96
<i>Figura 5. 1 Sistemas de almacenamiento</i>	99
<i>Figura 5. 2 Ubicación Delegación Coyoacán</i>	100
<i>Figura 5. 3 Planta Baja Modulo de producción</i>	102
<i>Figura 5. 4 Primer Nivel Modulo de producción</i>	102
<i>Figura 5. 5 Planta Segundo nivel Modulo de producción</i>	103
<i>Figura 5. 6 Planta Azotea Módulo de producción</i>	103
<i>Figura 5. 7 Proyección Cilíndrica módulo de producción</i>	104
<i>Figura 5. 8 Horas luz en invierno</i>	105
<i>Figura 5. 9 Horas luz en verano</i>	105
<i>Figura 5. 10 Método Analítico altura, acimut y estudio de sombra</i>	107
<i>Figura 5. 11 Sombra proyectada durante el día 21 de Abril de 2015</i>	108
<i>Figura 5. 12 Sombra proyectada durante el día 5 de Enero de 2015</i>	108
<i>Figura 5. 13 Corte Arquitectónico. Presiones positiva y negativa en la envolvente</i>	109
<i>Figura 5. 14 Propuesta Estrategia época cálido - seca</i>	111
<i>Figura 5. 15 Estrategia, ganancia de calor durante el día y retención de este en la noche</i>	114
<i>Figura 5. 16 Características Térmicas de la parte de la envolvente</i>	116
<i>Figura 5. 17 Ubicación de la envolvente</i>	116
<i>Figura 5. 18 Horario de ocupación / Horario de iluminación / horario uso equipo eléctrico</i>	117
<i>Figura 5. 19 Módulo de Producción Planta Baja y Primer Nivel</i>	118
<i>Figura 5. 20 Resultados simulación de Iluminación de la envolvente</i>	118
<i>Figura 5. 21 Resultados simulación de radiación de la envolvente</i>	119
<i>Figura 5. 22 Espectros de luz que las plantas necesitan</i>	119
<i>Figura 5. 23 Calculo de carga muerta, carga viva y carga viva instantánea</i>	122
<i>Figura 5.24 Análisis sísmico estático</i>	123
<i>Figura 5. 25 Tabla de resultados distribución de cargas en vigas</i>	124
<i>Figura 5. 26 Tabla de resultados distribución de cargas en columnas</i>	125
<i>Figura 5. 27 Deformación por carga muerta</i>	126
<i>Figura 5. 28 Fuerzas por carga muerta</i>	126
<i>Figura 5. 29 Análisis en estructura de acero</i>	127
<i>Figura 5. 30 Análisis en columnas de concreto en área de servicios</i>	127
<i>Figura 5. 31 Producción anual jitomate</i>	128
<i>Figura 5. 32 Relación Densidad población y producción</i>	129
<i>Figura 5. 33 Precios por kg de hortalizas</i>	129
<i>Figura 5. 34 Presupuesto Paramétrico módulo de producción</i>	130
<i>Figura 5. 35 Inversión</i>	130

GLOSARIO

- **AGRICULTURA:** actividad que desarrolla el hombre, por medio de técnicas y conocimiento apropiado, con propósito de cultivar la tierra para alimentarse o el mismo o el ganado. Incluyen alimentos vegetales como cereales, frutas, hortalizas, pastos, forrajes, fibras utilizadas por la industria textil.
- **AGRICULTURA DE RIEGO:** consiste en el suministro de importantes cantidades de agua a los cultivos a través de diversos métodos artificiales de riego. Requiere inversión e infraestructura hídrica: canales, acequias, aspersores y un desarrollo técnico avanzado.
- **AGRICULTURA DE TEMPORAL:** tipo de agricultura que depende de la temporada de lluvias (precipitación pluvial) para producir, no cuenta con infraestructura para riego, y no es competente en el mercado debido a los bajos rendimientos. Es propia de sistemas poco tecnificados.
- **AGRICULTURA URBANA:** puesta en práctica de la agricultura dentro o a las orillas de las áreas urbanas como las ciudades.
- **AGROQUIMICOS:** Sustancias o productos químicos aplicados en las actividades agrícolas, con el objetivo de optimizar el rendimiento y favorecer el crecimiento más rápido al luchar contra plagas y enfermedades.
- **AMBIENTE CONTROLADO:** Sistema de producción cerrado donde se aplican herramientas tecnológicas que permiten el control de condiciones ambientales de la parte aérea y subterránea, de un cultivo, dentro de los límites considerados como adecuados.
- **AUTOSUFICIENCIA:** acto en el que una persona, comunidad o sociedad puede satisfacer sus necesidades básicas y abastecerse por sí misma.
- **CONDUCTIVIDAD TERMICA:** Valor k , es una forma de propagación del calor dentro de un material. Es la medida de flujo de calor por unidad de área y espesor.
- **DESPERDICIOS DE ALIMENTOS:** descenso del volumen de alimentos comestibles en cualquier etapa de su producción, desde el procesamiento, distribución, manejo, almacenamiento y consumo.
- **EFICIENCIA ENERGETICA:** uso eficiente de la energía, con el objeto de reducir su consumo, optimiza procesos productivos y el empleo de la energía utilizando lo mismo o menos para producir más bienes y servicios.
- **ENERGIA RENOVABLE:** se refiere al tipo de energía que se obtiene de fuentes naturales, que se consideran inagotables por su inmensa cantidad de energía que contienen, o porque son capaces de regenerarse por medios naturales.

- **ENVOLVENTE ARQUITECTONICA:** se puede definir como la membrana exterior o la piel del edificio, que protege y aísla del medio que lo rodea y contribuye a controlar las variables micro ambientales exteriores para lograr condiciones de habitabilidad al interior de las mismas, al tiempo actúa como sistema de comunicación con el entorno.
- **FOTOPERIODO:** conjunto de procesos de las especies vegetales mediante los cuales regulan sus funciones biológicas (reproducción y crecimiento) usando como parámetros la alternancia de los días y las noches del año y su duración según las estaciones y el ciclo solar.
- **HIDROPONIA:** técnica agrícola que permite cultivar plantas utilizando como sustento sustratos, en lugar de suelo agrícola, más la incorporación de los nutrientes necesarios mediante una solución nutritiva a través del riego.
- **HORTALIZAS:** son aquellas verduras y demás plantaciones comestibles cultivadas generalmente en huertos, consumidas ya sea de forma cruda o preparada culinariamente, y que incluye las verduras y las legumbres verdes, excluyendo a las frutas y cereales.
- **HUERTO:** terreno de regadío de pequeña extensión donde se plantan verduras, legumbres y a veces árboles frutales.
- **MINIFUNDIO:** Trozo de terreno o propiedad agrícola de pequeña extensión que resulta poco rentable porque no puede dar el fruto suficiente para pagar el trabajo que exige su explotación.
- **NUTRICION:** es el proceso biológico en el que los organismos asimilan los alimentos y los líquidos necesarios para el funcionamiento, el crecimiento y el mantenimiento de sus funciones vitales. Ingesta de alimentos en relación con las necesidades dietéticas del organismo.
- **PERDIDAS DE ALIMENTOS:** la disminución de la masa de alimentos comestibles en la parte de la cadena de suministro que conduce específicamente a los alimentos comestibles para el consumo humano.
- **RESISTENCIA TERMICA:** es la capacidad de un material de oponerse al flujo de calor, es el producto entre su espesor y su conductividad térmica, valor R.
- **REVOLUCION VERDE:** es la denominación usada internacionalmente para describir el importante incremento de la productividad agrícola y por tanto de alimentos entre 1960 y 1980, gracias a los avances tecnológicos.
- **SEGURIDAD ALIMENTARIA:** hace referencia a la disponibilidad de alimentos, el acceso físico, social y económico de todas las personas a ellos y el aprovechamiento biológico de los mismos.

- **SUSTENTABILIDAD:** Se refiere a la acción y armonía que tiene el hombre con los recursos de su entorno.
- **TECNOLOGIA:** es la aplicación de un conjunto de conocimientos técnicos, científicamente ordenados, que permiten conseguir soluciones que permiten al ser humano resolver un problema o satisfacer una necesidad.
- **TRANSMITANCIA TERMICA:** o valor U, es la medida de flujo de calor que fluye por unidad de tiempo y superficie, trasferido a través del sistema constructivo, formado por una o más capas de material.
- **URBANO:** es aquello que pertenece o es relativo a la ciudad.
- **VERTICAL FARMING:** es un concepto de la agricultura para cultivar plantas aprovechando su espacio en tres dimensiones, largo, ancho y alto, puede ser por medio de charolas sobre puestas una encima de otra, y/o aplicando esos conceptos dentro de edificios de varios pisos o rascacielos.

ANEXOS

Anexo 1. Estudios de caso

GROWUP Londres, Inglaterra. 2013: (Farms)



Unit 84



GrowUp Box



Pasona, Urban Farm, Tokio, Japón.

Tesis Desarrolladas



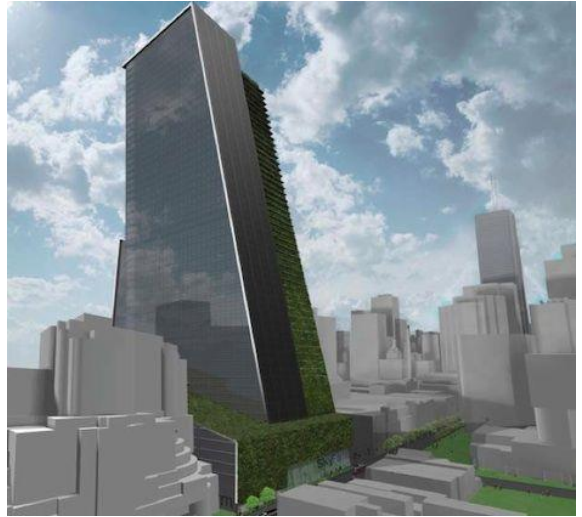
148
Agropolis



SKY-FIELD

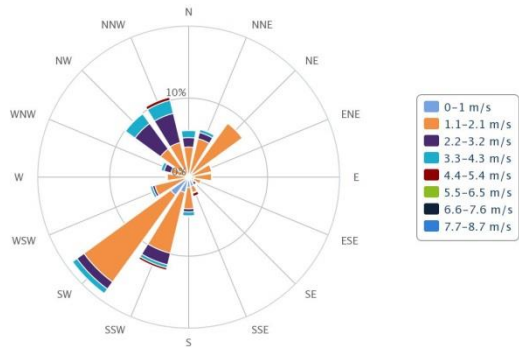


Sea Water farm, gordon Studio mobile

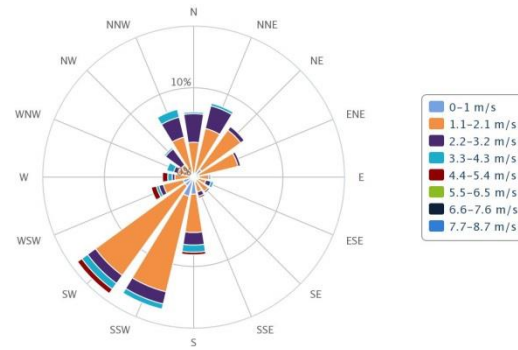


The Vertical farm, Gordon Graff

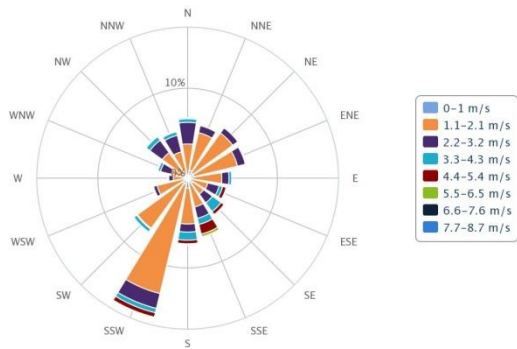
Anexo 2. Rosas de los vientos. Promedios mensuales año 2015



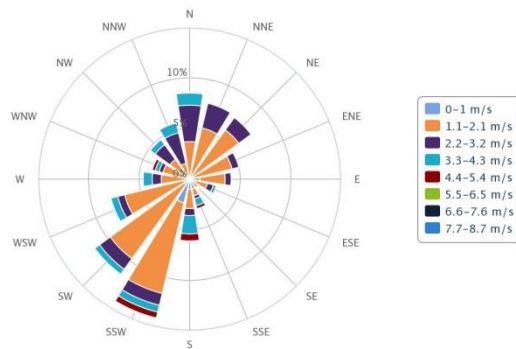
Enero



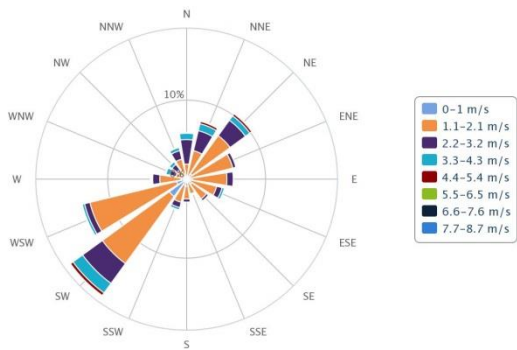
Febrero



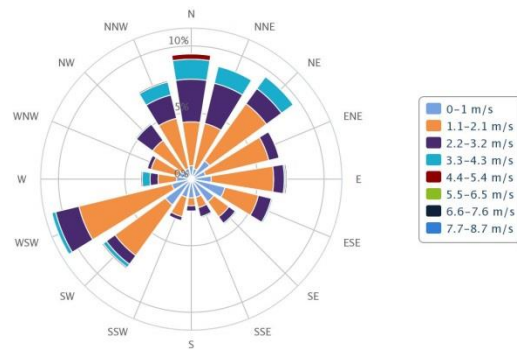
Marzo



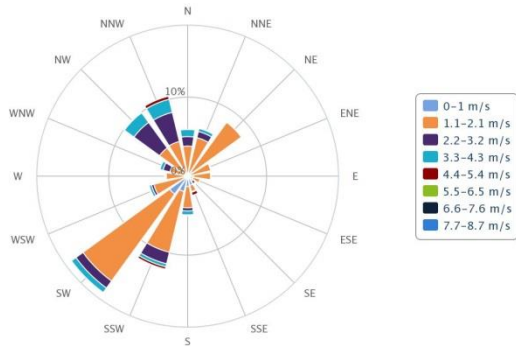
Abril



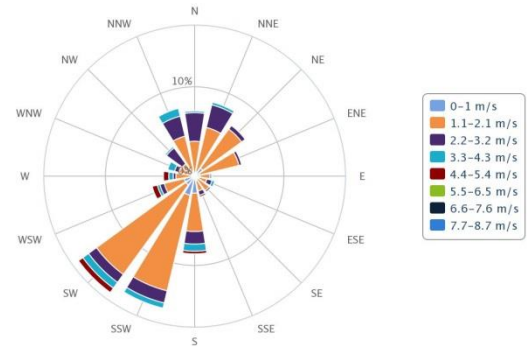
Mayo



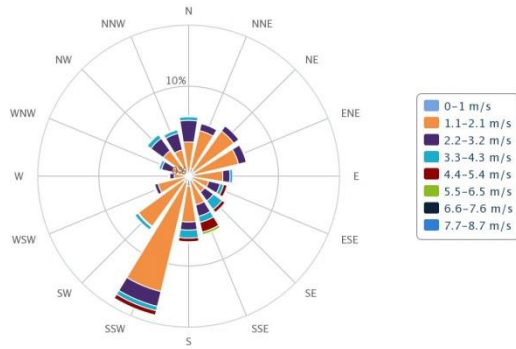
Junio



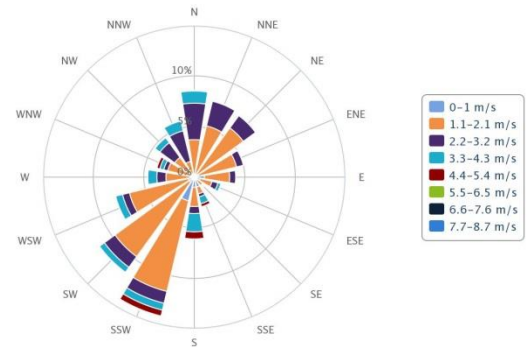
Julio



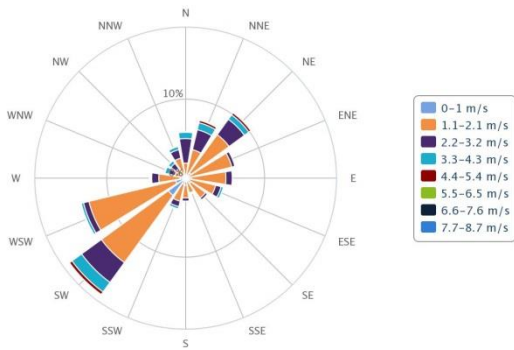
Agosto



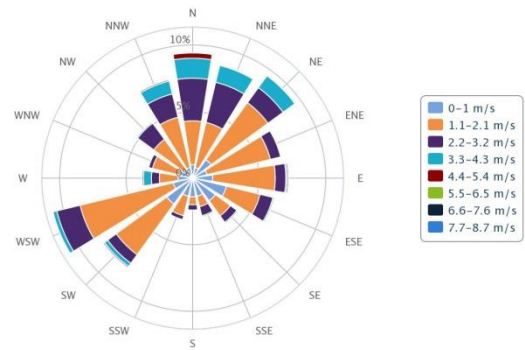
Septiembre



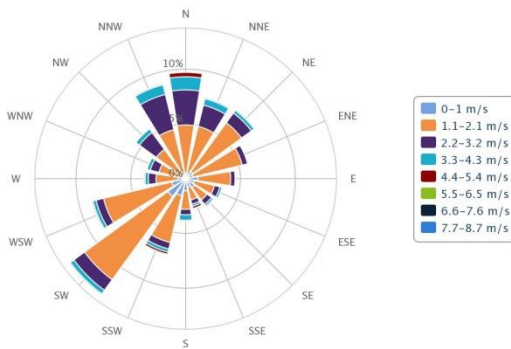
Octubre



Noviembre



Diciembre



Promedio Anual 2015

Anexo 3. Presupuestos Paramétricos

MODULO DE PRODUCCIÓN			
Planta Baja			
partida	área	\$ / m2	monto parcial
Estructura (cimentación, losas, columnas, traves y vigas)	254.86	\$ 3,400.00	\$ 866,517.20
Muros y acabados (mampostería durock y tablaroca, aplanados y pintura)	254.86	\$ 2,100.00	\$ 535,201.80
Pisos (concreto pulido, selladores)	254.86	\$ 450.00	\$ 114,686.10
Carpinterías	254.86	\$ 100.00	\$ 25,485.80
Cancelerías	254.86	\$ 1,400.00	\$ 356,801.20
Herrerías	254.86	\$ 1,500.00	\$ 382,287.00
Inst. Eléctricas (Alumbrado Contactos y Equipos)	254.86	\$ 1,200.00	\$ 305,829.60
Inst. Hidrosanitarias (Instalaciones y Equipos)	254.86	\$ 740.00	\$ 188,594.92
Sistema de Captación Pluvial	254.86	\$ 200.00	\$ 50,971.60
Inst. Especiales (CCTV, Alarma y detección de Incendio, Voz y Datos)	254.86	\$ 250.00	\$ 63,714.50
Inst. Seguridad (Sistema Contra Incendio)	254.86	\$ 100.00	\$ 25,485.80
Señalización (Corporativa, Protección Civil)	254.86	\$ 100.00	\$ 25,485.80
limpiezas	254.86	\$ 20.00	\$ 5,097.16
		sub-total edificación	\$ 2,946,158.48
precio paramétrico por m2 de construcción	\$ 11,560.00	superficie total	254.86
		costo global / m2 tot:	\$ 11,560.00

MODULO DE PRODUCCIÓN			
Nivel 1			
partida	área	\$ / m2	monto parcial
Estructura (losas, columnas, traves y vigas)	254.86	\$ 2,500.00	\$ 637,145.00
Muros y acabados (mampostería durock y tablaroca, aplanados y pintura)	254.86	\$ 2,100.00	\$ 535,201.80
Pisos (concreto pulido, tezontle, selladores)	254.86	\$ 450.00	\$ 114,686.10
Carpinterías	254.86	\$ 100.00	\$ 25,485.80
Cancelerías	254.86	\$ 1,400.00	\$ 356,801.20
Herrerías (racks)	254.86	\$ 2,600.00	\$ 662,630.80
Inst. Eléctricas (Alumbrado Contactos y Equipos)	254.86	\$ 2,400.00	\$ 611,659.20
Inst. Hidrosanitarias (Instalaciones y Equipos)	254.86	\$ 980.00	\$ 249,760.84
Sistema de calefacción (piso radiante)	254.86	\$ 550.00	\$ 140,171.90
Sistema de Captación Pluvial	254.86	\$ 250.00	\$ 63,714.50
Inst. Especiales (CCTV, Alarma y detección de Incendio, Voz y Datos)	254.86	\$ 250.00	\$ 63,714.50
Inst. Seguridad (Sistema Contra Incendio)	254.86	\$ 100.00	\$ 25,485.80
Señalización (Corporativa, Protección Civil)	254.86	\$ 100.00	\$ 25,485.80
limpiezas	254.86	\$ 20.00	\$ 5,097.16
		sub-total edificación	\$ 3,517,040.40
precio paramétrico por m2 de construcción	\$ 13,800.00	superficie total	254.86
		costo global / m2 tot:	\$ 13,800.00

MODULO DE PRODUCCIÓN			
Mezzanine			
partida	área	\$ / m2	monto parcial
Estructura (losas, columnas, trabes y vigas)	84.24	\$ 2,500.00	\$ 210,600.00
Muros y acabados (mampostería durock y tablaroca, aplanados y pintura)	84.24	\$ 2,100.00	\$ 176,904.00
Pisos (concreto pulido, tezontle, selladores)	84.24	\$ 450.00	\$ 37,908.00
Azoteas (impermeabilizantes, chaflanes, rellenos, entortados)	84.24	\$ 350.00	\$ 29,484.00
Cancelerías	254.86	\$ 1,400.00	\$ 356,801.20
Herrerías	84.24	\$ 1,500.00	\$ 126,360.00
Inst. Eléctricas (Alumbrado Contactos y Equipos)	84.24	\$ 2,400.00	\$ 202,176.00
Sistema de Captación Pluvial	84.24	\$ 250.00	\$ 21,060.00
Inst. Especiales (CCTV, Alarma y detección de Incendio, Voz y Datos)	84.24	\$ 250.00	\$ 21,060.00
Inst. Seguridad (Sistema Contra Incendio)	84.24	\$ 100.00	\$ 8,424.00
Señalización (Corporativa, Protección Civil)	84.24	\$ 100.00	\$ 8,424.00
limpiezas	84.24	\$ 20.00	\$ 1,684.80
		sub-total edificación	\$ 1,200,886.00
precio paramétrico por m2 de construcción	\$ 14,255.53	superficie total	84.24
		costo global / m2 tota	\$ 14,255.53