



Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

Centro Interdisciplinario de Posgrados

Investigación y Consultoría

Maestría en Ingeniería Ambiental y Desarrollo Sustentable

**“PROTOTIPO DE ECOTECNIA DE CAPTACIÓN DE AGUA
PLUVIAL ACOPLADA A UN HUERTO URBANO
VERTICAL, EN CUMPLIMIENTO DE LOS ODS-2030, CASO
DE ESTUDIO: MUNICIPIO DE PUEBLA, MÉXICO ”**

Tesis para obtener el grado de
Maestra en Ingeniería Ambiental y Desarrollo Sustentable

Presenta:

Ing. Alejandra Torres Vivar

Director de tesis

Dr. Francisco Javier Sánchez Ruíz

Co-director

Mtro. José María Cunill Flores

Asesora

Mtra. Mariana Negrete Cardoso

Asesora

Dra. Genoveva Rosano Ortega

Puebla, México

abril, 2023



UPAEP – Secretaría General

Dirección General de Apoyos Académicos

Dirección del Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación.

Biblioteca Central - **Karol Wojtyła**

Tesis Digitales Restricciones de uso:

DERECHOS RESERVADOS ©

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

El uso de textos, imágenes, gráficas, 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 de donde la obtuvo mencionando el autor o autores involucrados en el documento.

Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



Maestría en Ingeniería Ambiental y Desarrollos Sustentable

Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla
Centro Interdisciplinario de Posgrado
Investigación y Consultoría
Decanato Ciencias Biológicas
Maestría en Ingeniería Ambiental y Desarrollo Sustentable

PROTOTIPO DE ECOTECNIA DE CAPTACIÓN DE AGUA PLUVIAL ACOPLADA A UN HUERTO URBANO VERTICAL, EN CUMPLIMIENTO DE LOS ODS-2030, CASO DE ESTUDIO: MUNICIPIO DE PUEBLA MÉXICO

Tesis para obtener el Grado de Maestra en Ingeniería Ambiental y Desarrollo
Sustentable

Alejandra Torres Vivar

Dr. Francisco Javier Sanchez Ruiz
Director

M.C José María Cunill Flores
Codirector

Dra. Genoveva Rosano Ortega

M.C Mariana Negrete Cardoso

Asesores

Puebla, México

Abril 2023

UPAEP
21 Sur 1103
Barrio de Santiago
Puebla, Pue. México
C.P. 72410

Tel: 01 (222) 229 9400
Fax: 01 (222) 232 5251
01 800 224 2200
www.upaep.mx



Puebla de Zaragoza, Pue., a 23 de marzo de 2023

Dra. Genoveva Rosano Ortega
Directora del Programa de Ingeniería Ambiental y Desarrollo Sustentable

Asunto: Revisión de plagio para proyecto de grado

Estimada Doctora Genoveva Rosano Ortega

Antes que nada, reciba un cordial saludo y nuestro apoyo y compromiso de colaboración con los requerimientos del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología para las actividades de aseguramiento de la calidad de consolidación del posgrado.

Derivado del proceso de revisión de la herramienta de anti-plagio **SafeAssign** se detectaron los siguientes hallazgos:

Coincidencia Promedio: 7%

Coincidencia Máxima: 7%

Por lo anterior se vislumbra un riesgo **BAJO** en el análisis del documento para la obtención del grado de la **alumna Alejandra Torres Vivar**, en donde se ha revisado el detalle y las citas al interior del documento. Las coincidencias se deben principalmente a la referenciación de normas.

Se anexa reporte del informe de la herramienta.

ATENTAMENTE

Dr. Francisco Javier Sanchez Ruiz
Director de Tesis

UPAEP
21 Sur 1103
Barrio de Santiago
Puebla, Pue. México
C.P. 72410

Tel: 01 (222) 229 9400
Fax: 01 (222) 232 5251
01 800 224 2200
www.upaep.mx



Originality Report de SafeAssign

Resumen del informe

Riesgo bajo

Estos documentos contienen una gran cantidad de material citado o parafraseado, y pueden constituir un plagio. Es recomendable realizar una revisión para determinar si el contenido que coincide se ha atribuido correctamente.

Similitud de texto general

7 %

Coincidencia promedio

7 %

Coincidencia máxima

Tesis Maestria Ale_Torres.docx

Originality Reports

UPAEP
21 Sur 1103
Barrio de Santiago
Puebla, Pue. México
C.P. 72410

Tel: 01 (222) 229 9400
Fax: 01 (222) 232 5251
01 800 224 2200
www.upaep.mx

AGRADECIMIENTOS

A mi comité sinodal, mi director de tesis el Dr. Francisco Javier Sánchez Ruiz, mi codirector el Mtro. José María Cunill Flores y mis asesoras la Mtra. Mariana Negrete Cardoso y la Dra. Genoveva Rosano Ortega por acompañarme en todo el trayecto de la maestría, gracias por brindarme su pleno apoyo en la generación de este proyecto de tesis; su conocimiento y experiencia fue indispensable para lograr los objetivos planteados; de igual manera, gracias por su tiempo y esfuerzo para seguir trabajando y contribuyendo a la producción científica de nuestro país.

Al CONACyT por el financiamiento de estudios de posgrados y por la oportunidad de permitirme estudiar en una universidad con un alto nivel académico.

A mis profesores de maestría, que me enseñaron que las clases teóricas también tienen una aplicación real en la industria y en la vida en general, ahora sé que todo el conocimiento que aprendo tiene una razón de ser.

Al personal de las instituciones UPAEP y UPMP por permitirme hacer uso de sus instalaciones de una manera cómoda y segura.

A mi familia por darme su amor y apoyo incondicional en todo momento, por ir a recogerme a la universidad cuando salía muy tarde, por escucharme hablar de mi proyecto de tesis por más de dos años, por prepararme comida cuando tenía que irme todo el día, sin ustedes no habría logrado estudiar una maestría dedicándole todo mi tiempo y esfuerzo a desarrollarla; por eso y mil cosas más que sería imposible redactar aquí los amo infinitamente. A mi mamá Irene Vivar Carmona por existir y ser la mejor mamá del mundo, estoy agradecida por todo lo que eres, lo que me enseñas y lo que has logrado; a mi papá Alejandro Torres Armenta por enseñarme que el carácter, la responsabilidad y el compromiso me llevarán lejos, gracias por tus pláticas y anécdotas al momento de desayunar y comer que me motivan cada día a emprender nuevos proyectos; a mi hermana Irene Torres Vivar por ser mi amiga incondicional, por ser la persona que tiene mi entera confianza; a mi hermano Josue David Torres Vivar por ser un excelente compañero de anécdotas, los planes contigo siempre son divertidos y extraordinarios; y a mi hermana Margarita Coyotl Vivar por ser ese ejemplo a seguir desde siempre, me motivas a continuar y a lograr tantas cosas como tú lo has hecho; por todo eso y más los amaré por siempre.

A mis mejores amigos, esas personas que han estado conmigo desde antes de la maestría y siempre me apoyan a lograr nuevas cosas; conforme pasan los años confirmo que tenerlos en mi vida es un privilegio con el que no todos cuentan; Fabiola mi mejor amiga de la universidad, la que podía ser desde la secundaria pero el tiempo tiene su momento perfecto, gracias por todo lo que hemos vivido; Jurgen mi mejor amigo del bachiller gracias por todos los abrazos y más; Uriel gracias por estas nuevas experiencias que vamos creando a lo largo de los años; Paola y Estela mejores amigas desde la secundaria, ustedes me enseñan que ni el tiempo ni el lugar puede destruir una buena amistad; a todos los quiero muchísimo de una manera muy particular.

Y gracias a todos los nuevos amigos que encontré en la maestría, cada vida tan diferente a la mía y aun así logramos unirnos en un solo sentimiento: la pasión por crear proyectos ambientalmente sostenibles, ha sido un placer compartir con ustedes una parte tan importante de mi vida.

Y a cada personita que contribuyó a que yo lograra terminar esta maestría y este maravilloso proyecto de tesis.

ÍNDICE

1. PROPÓSITO Y JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	9
1.1. Planteamiento del problema.....	9
1.2. Antecedentes de la investigación.....	12
1.3. Justificación de la investigación	14
1.4. Objetivos de la investigación.....	15
1.4.1. Objetivo general.....	15
1.4.2. Objetivos específicos	15
1.5. Hipótesis	16
1.6. Preguntas de investigación.....	16
2. MARCO TEÓRICO	17
2.1. Tipos de agricultura urbana	18
2.2. Fertilidad del suelo	20
2.3. Técnicas de análisis de suelo	21
3. METODOLOGÍA	23
3.1. Diseño del modelo de ecotecnia	23
3.2. Simulación del modelo de ecotecnia	25
3.3. Siembra de cultivos para evaluación con ley de Darcy	28
3.4. Modelo matemático de predicción pluvial.....	38
3.5. Importancia de la agricultura urbana en jóvenes universitarios	40
3.6. Indicadores de sostenibilidad para evaluar la ecotecnia	41
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	48
4.1. Modelo final de la ecotecnia.....	48
4.2. Simulación de los modelos de ecotecnia propuestos.....	51
4.3. Reproducción, desarrollo y análisis de cultivos específicos.....	58
4.4. Modelo matemático de predicción de agua pluvial para zona urbana de Puebla	75
4.5. Importancia de la agricultura urbana en jóvenes universitarios	78
4.6. Propuesta de indicadores sociales, ambientales y económicos.....	84
5. CONCLUSIONES.....	105
6. REFERENCIAS	107
7. ANEXOS.....	113

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Modelo de caja negra de la ecotecnia.....	23
Fig. 2. Vistas de las 3 piezas primordiales de la ecotecnia.....	24
Fig. 3. Malla discretizada de forma adaptativa en el modelo de ecotecnia	26
Fig. 4. Reducción de tamaño computacional del modelo de ecotecnia.....	26
Fig. 5. Objetivos de superficie del a) tercer modelo, b) quinto modelo y c) modelo final..	27
Fig. 6. Análisis de deformaciones unitarias y tensión de VonMises en la base de ecotecnia	27
Fig. 7. Referencias para graficar el comportamiento del fluido en el techo de la ecotecnia	28
Fig. 8. Sitio destinado para la implementación de prototipo	28
Fig. 9. Promedios del clima en la UPMP	29
Fig. 10. Protección de factores bióticos y abióticos en las plantas sembradas.....	30
Fig. 11. Composición del suelo óptimo para los cultivos.....	30
Fig. 12. Crecimiento de <i>Curcubita pepo</i> en la UPMP	30
Fig. 13. Método de cuarteo en planta de <i>Mentha × piperita</i>	33
Fig. 14 Registro del peso de cada parte de la planta.....	33
Fig. 15 Metodología de preparación de muestra de técnica de EAA	35
Fig. 16 Espectrofotómetro utilizado en la técnica	36
Fig. 17 Matrices de cada variable considerada.....	38
Fig. 18 Precipitación pluvial en mm en la ciudad de Puebla en el periodo enero 2019 – diciembre 2021	39
Fig. 19 Evaluación de la recta para el primer periodo de lluvia registrado	39
Fig. 20 Modelo final de la ecotecnia propuesta.....	48
Fig. 21 a) Primer y b) segundo modelo de ecotecnia	49
Fig. 22 Tercer y cuarto modelo de ecotecnia, a) y b) respectivamente	50
Fig. 23 Quinto (a) y sexto (b) modelo de ecotecnia propuesto.....	50
Fig. 24 Turbulencia del flujo en el segundo modelo	51
Fig. 25 Turbulencia del flujo en el cuarto modelo de ecotecnia.....	52
Fig. 26 Turbulencia del flujo en el sexto modelo de ecotecnia	52
Fig. 27 Turbulencia del flujo en el modelo final de la ecotecnia	53
Fig. 28 Simulación de velocidad y vorticidad de flujo en el modelo final.....	55
Fig. 29 Malla discretizada adaptativa en la base de la ecotecnia	56
Fig. 30 Simulación de VonMises en la base de la ecotecnia.....	56
Fig. 31 Simulación de fuerzas de resistencia en la base de la ecotecnia	57
Fig. 32 Número de Prandtl del modelo final	57
Fig. 33 Vorticidad del fluido en el techo del modelo final.....	58
Fig. 34 Desarrollo de planta de tomate verde (<i>Physalis philadelphica</i>)	59
Fig. 35 Transplante adecuado de calabaza redonda (<i>Cucurbita pepo</i>)	59
Fig. 36 Elaboración de lombricompostero en la UPMP para la producción de humus.....	60
Fig. 37 Huerto en la UPMP a diferentes etapas de desarrollo.....	60
Fig. 38 Propuesta de ordenamiento de plantas en el modelo óptimo de ecotecnia	61
Fig. 39 Concentración de Zn en diferentes cultivos	68
Fig. 40 Concentración de Pb en diferentes cultivos	69
Fig. 41 Concentración de Cu en diferentes cultivos.....	69

Fig. 42 Concentración de Mg en diferentes cultivos	70
Fig. 43 Concentración de Ca en diferentes cultivos	70
Fig. 44 Concentración de Ni en diferentes cultivos.....	71
Fig. 45 Grupos funcionales encontrados en muestra de lechuga por FTIR.....	72
Fig. 46 Grupos funcionales encontrados en muestra de brócoli por FTIR.....	73
Fig. 47 Grupos funcionales encontrados en muestra de tomate verde por FTIR	74
Fig. 48 Grupos funcionales encontrados en muestra de jitomate por FTIR.....	74
Fig. 49 Primera función temporal trapezoidal propuesta	75
Fig. 50 Segunda función temporal trapezoidal propuesta	76
Fig. 51 Expansión de la función senoidal $f(u)$ 1, 0.5, 100.....	77
Fig. 52 Expansión de la función senoidal $f(u)$ 1, 0.25, 100.....	77
Fig. 53 Expansión de la función senoidal $f(u)$ 1, 0.25, 50.....	78
Fig. 54 Estudiantes por área de conocimiento	79
Fig. 55 Gasto semanal por universitarios en compra de verduras	80
Fig. 56 Ecotecnias en las viviendas poblanas de jóvenes universitarios	80
Fig. 57 Beneficios ambientales percibidos al implementar la ecotecnia.....	81
Fig. 58 Beneficios sociales percibidos al implementar la ecotecnia	82
Fig. 59 Beneficios económicos percibidos al implementar la ecotecnia.....	82
Fig. 60 Frutas y verduras más consumidas por jóvenes universitarios	83
Fig. 61 Países con mayor producción científica en agricultura urbana e indicadores (2018-2022).....	85
Fig. 62 Palabras clave en el periodo 2018-2022.....	89

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Grados de libertad del modelo de caja negra.....	23
Tabla 2. Peso fresco de cultivos analizados en la UPMP	34
Tabla 3. Concentración de estándares utilizados en técnica de EAA.....	35
Tabla 4 Ecuaciones obtenidas por cada recta de periodo	40
Tabla 5 ODS y metas consideradas para el establecimiento de indicadores	44
Tabla 6 Metodología simplificada de propuesta de indicadores sostenibles	46
Tabla 7 Simulación de velocidad de flujo de los modelos evaluados.....	54
Tabla 8 Peso seco (P.S) y peso fresco (P.F) en gramos de cada cultivo.....	62
Tabla 9 Pendientes de calibración de cada elemento analizado en EAA	63
Tabla 10 Concentración en mg/L de Zn en los cultivos analizados	64
Tabla 11 Concentración en mg/L de Pb en los cultivos analizados.....	64
Tabla 12 Concentración en mg/L de Cu en los cultivos analizados	65
Tabla 13 Concentración en mg/L de Mg en los cultivos analizados	66
Tabla 14 Concentración en mg/L de Ca en los cultivos analizados	67
Tabla 15 Concentración en mg/L de Ni en los cultivos analizados.....	67
Tabla 16 Temas Documentos más citados en artículos de agricultura urbana e indicadores (2018-2022)	86
Tabla 17 Temas tendencia en el periodo 2018-2022	87
Tabla 18 Indicadores propuestos con ODS y meta de contribución.....	90
Tabla 19 Indicadores propuestos y la forma de evaluación.....	95

1. PROPÓSITO Y JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema

La población mundial está aumentando de una forma significativamente alta pues debido a los avances científicos y tecnológicos en la medicina y diversas áreas, la esperanza de vida de una persona aumentó considerablemente en los últimos años (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática [INEGI], 2020); las Naciones Unidas estiman un crecimiento poblacional de 2.000 millones de personas en los últimos 30 años llegando a ser 11.200 millones de habitantes para el 2100 (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2019). El problema principal del crecimiento poblacional es la actual distribución demográfica que genera movimientos migratorios y procesos acelerados de urbanización con consecuencias altamente notorias (ONU, 2020).

En primer lugar, una alta concentración de habitantes en las zonas urbanas trae consigo grandes repercusiones, en su mayoría negativas si el proceso de planeación de dicha urbanización desempeñó un papel escaso o nulo. Necesidades básicas de la población urbana como la construcción de edificios residenciales, el crecimiento económico y el consumo energético por persona contribuyen a la generación excesiva de emisiones de dióxido de carbono (CO₂) a la atmósfera (Zhang et al., 2021). La exigencia actual de edificaciones ha olvidado la importancia del involucramiento de la sociedad con áreas verdes, es muy común observar infraestructuras con espacios completamente aislados de vegetación. Autores como Ventriglio y colaboradores exponen diversos problemas sociales que aumentan en lugares urbanizados, concluyendo que las comunidades que habitan en zonas urbanas aisladas de espacios verdes reportan índices muy altos en relación al estrés y angustia mental; se registraron datos alarmantes asociados a problemas de depresión, inseguridad social, disparidades sociales y contaminación en habitantes de la zona urbana que no cuentan con acceso a vegetación y sistemas naturales (Ventriglio et al., 2021).

Buscando crear soluciones sostenibles para la población, se establecieron estándares internacionales como es el caso de la Agenda 2030, documento que insta un plan de acción conjunto de 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) con la finalidad de alcanzar el bienestar social de todos los países sin comprometer los recursos naturales disponibles para las generaciones futuras (ONU, 2015). Sin embargo, los reportes anuales exponen que se está

lejos de alcanzar las metas planteadas en la Agenda 2030, dado que el ODS 2: Hambre Cero pretende alcanzar la seguridad alimentaria de todos los países para el año 2030 el reporte anual de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo establece que para ese mismo año: “670 millones de personas seguirán padeciendo hambre, el mismo 8% de la población que padecía cuando se puso en marcha la Agenda 2030 en el año 2015” (FAO et al., 2022). No obstante, en muchas ocasiones la necesidad de alimentos no es resultado de la escasez del mismo, puesto que el informe del índice de desperdicio de alimentos 2021 expone que tan solo en el año 2019 se desperdició el 17% de la producción total de alimentos en el mundo siendo desaprovechados 931 millones de toneladas, en el caso de México cada consumidor desperdicia anualmente 94 kg de comida (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA], 2021). El desconocimiento en cuanto al actual desperdicio de alimentos por parte de la población urbana genera una demanda de comestibles desproporcional al número de habitantes debido al consumo descomedido y la basura generada de manera desmesurada que trae consigo consecuencias negativas para la población, la economía y el medio ambiente.

Por otro lado, la modificación de algunos sectores primarios como lo es la agricultura puede contribuir a la producción sostenible de alimentos y a su vez al aseguramiento de la seguridad alimentaria de muchos países. En la actualidad las actividades agrícolas son las responsables de la modificación de diferentes ecosistemas con la finalidad de obtener terrenos de cultivo para solventar la demanda de alimentos, sin embargo, el cambio de uso de suelo afecta de manera significativa a la sociedad, fauna y flora silvestre del sitio, contribuyendo a su vez al cambio drástico de procesos que impactan de manera positiva al cambio climático (Sahagún-Sánchez & Reyes-Hernández, 2018).

El concepto “Última milla” hace referencia al último trayecto que deben viajar los productos hasta llegar al consumidor, en el caso de productos perecederos es aquí en donde se realiza la gestión para que los alimentos lleguen a todos aquellos vendedores minoristas, encargados de vender los productos en los mercados locales (Botero Gómez, 2018; Jiménez Barrantes & Fonseca Laurent, 2018). El problema presente en la última milla es que se generan mayores emisiones de contaminantes a la atmósfera, un gran porcentaje de alimentos se pierden por el tiempo excesivo que tardan en llegar a los centros comerciales y mercados locales, y a

consecuencia del involucramiento de una gran cantidad de vendedores los productos llegan con precios bastante elevados al consumidor comparados con el precio que reciben los agricultores. La agricultura tradicional presenta un sinfín de problemas debido a las cadenas de suministros existentes por lo que buscar alternativas de agricultura sostenible en las zonas urbanas podría ser una opción para contribuir a la seguridad alimentaria y mejora de las dietas de la población de las zonas urbanas.

No obstante, si queremos alcanzar seguridad alimentaria en las ciudades, debemos considerar que el agua es un recurso indispensable; los cultivos al igual que las personas no pueden desarrollarse sin este recurso vital. En los últimos años se han experimentado problemas vinculados al estrés hídrico mundial ya que el agua dulce disponible en el planeta ha disminuido más de un 20% en los últimos 25 años (FAO, 2020), en ocasiones es difícil observar problemas de estrés hídrico mundial ya que observamos noticias de inundaciones en diversas partes del mundo, sin embargo, estos problemas son solo el resultado del cambio climático en donde a la par están ocurriendo sequías extremas que aumentan con rapidez; por tal motivo, es necesario aprovechar el agua pluvial de aquellos lugares que sufren de inundaciones a causa de las constantes lluvias.

De este modo los sistemas de captación de agua de lluvia son una alternativa viable para garantizar el acceso continuo de agua en los sistemas de agricultura urbana, al considerar la implementación de huertos urbanos vinculados a la captación pluvial se garantiza la obtención de verduras, frutas y diversas plantas indispensables para una alimentación saludable, sin comprometer el agua tradicionalmente destinada a las actividades diarias del hogar.

Actualmente se han desarrollado diversos modelos de sistemas de captación pluvial en el mundo; no obstante, tienen un objetivo muy particular: captar, recolectar y almacenar el agua para su futura utilización en actividades diarias, primordialmente en el uso de sanitarios y lavadoras (Alim et al., 2019); empero, se han reportado muy pocos artículos que vinculen los sistemas de captación de agua pluvial con sistemas de agricultura urbana.

Para el mejoramiento de incertidumbres actuales como las expuestas anteriormente es necesario incrementar proyectos científicos y tecnológicos mediante el involucramiento de instituciones educativas que busquen la mejora continua y el bienestar social; por esta razón,

el presente proyecto tiene la finalidad de innovar una ecotecnia de captación de agua de lluvia que acoplada a un huerto urbano vertical de cultivos alimentarios proporcione una fuente de alimento sustentable, en la zona metropolitana del estado de Puebla, México.

1.2. Antecedentes de la investigación

La agricultura urbana surge después de que el aumento poblacional provoca una urbanización en todos aquellos lugares antiguamente destinados para la siembra de alimentos; en donde una parcela se convierte en viviendas para miles de habitantes. A falta de espacio suficiente y recursos disponibles para labranza, diversos artículos comienzan a surgir proporcionando las ventajas de la implementación de agricultura en las grandes ciudades y de esta manera garantizar la seguridad alimentaria en las familias (McClintock et al., 2018; Siegner et al., 2018).

Sin embargo, el suelo y el agua son dos recursos esenciales al momento de querer implementar la agricultura en las zonas urbanas, garantizar el acceso a los mismos, asegura la producción de alimentos y por consecuencia también asegura la alimentación de las personas que lo producen.

En la actualidad es necesaria la innovación de proyectos que busquen englobar la agricultura urbana con los recursos mencionados anteriormente, por esta razón las metodologías que buscan satisfacer la demanda de alimento mientras disminuyen los costos de producción han aumentado.

Países Europeos han focalizado sus investigaciones en sistemas instalados en las azoteas de las casas y edificios, conocidos como techos verdes. Monteiro y colaboradores presentaron un sistema de captación de agua de lluvia conectado a un techo verde en una universidad de Portugal, y de esta manera, satisfacer la demanda de agua en un jardín de plantas aromáticas (Monteiro et al., 2016).

Lupia e investigadores buscaron conocer la cantidad de agua pluvial captada en los techos de edificios de Roma, Italia para después conducir el recurso hídrico a 2631 verduras y frutas sembradas a las orillas de la ciudad (Lupia et al., 2017). Los techos verdes multicapa, que a diferencia de los tradicionales buscan captar el agua de lluvia en un tanque de almacenamiento e instalarlo por debajo del jardín, son ejemplos de otras propuestas que

buscan crear nuevas ciudades resilientes e inteligentes, relacionando a su vez, energía, agua, alimentación y ecosistemas (Cristiano et al., 2021). Otra alternativa de suelo para la agricultura en las ciudades son los jardines verticales, los cuales han sido descritos y desarrollados para minimizar diversos impactos negativos de la urbanización, así como equipar a las ciudades de espacios verdes (Başdoğan & Çiğ, 2016).

Existe una gran variedad de jardines y muros verdes, incluso se han reportado artículos de revisión con respecto a los mismos; englobando sistemas con características, limitantes y beneficios específicos dependiendo el escenario o necesidad de la población (Kalantari et al., 2018; Kim & Song, 2019).

Amos et al., 2016 realizaron un estudio para valorar económicamente los sistemas de captación de agua pluvial, este artículo fue el primero de un proyecto mayor, ya que en el 2018 se buscó la vinculación de los sistemas de captación de agua de lluvia con la agricultura urbana y se demostró que en proyecto con ese enfoque puede cumplir al menos 2 objetivos de la agenda 2030, “salud y bienestar” y “ciudades y comunidades sostenibles” (Amos et al., 2018).

Dos años después, Amos y colaboradores emplearon los dos artículos mencionados anteriormente para así, captar el agua pluvial en dos países con lluvia anual muy similar y direccionarla a campos de cultivo dentro de las ciudades; demostraron que se cumplían al menos 8 de los 17 objetivos de la Agenda 2030 (Amos et al., 2020).

Algunos autores como Gispert y colaboradores proponen captar el agua pluvial y tratarla para la obtención de agua purificada (Gispert et al., 2018), nombrar algunos: Italia busca almacenar y conocer el ahorro total de agua captada en los techos de un fraccionamiento algunos edificios de Roma, y de esa manera regar 2631 verduras y frutas de jardines que se encuentran en la zona urbana (Lupia et al., 2017). Otro caso es Australia que busca comprobar si la captación de agua pluvial en techos de viviendas en Kenia es una buena opción para regar campos de cultivo de vegetales y así combinar los dos sistemas (Amos et al., 2020).

En México no se han reportado proyectos vinculados a los sistemas de captación de agua pluvial directamente conectados a huertos verticales urbanos para consumo únicamente del hogar.

1.3. Justificación de la investigación

La agricultura y el agua son imprescindibles para la vida, es imposible imaginar un mundo en donde no hay suficiente alimento ni recurso hídrico; ambos son considerados derechos humanos pues está comprobando que sin ellos una persona podría morir en semanas o incluso días.

Sin embargo, debido a que la urbanización aumenta con rapidez, las tierras de cultivo son reemplazadas y convertidas en grandes ciudades, lo que provoca la necesidad de buscar nuevos espacios aptos para labranza, los cuales, a su vez, surgirán de la tala de bosques y selvas, que más adelante ocasionarán problemas ambientales aún mayores.

Por esta razón la presente investigación busca implementar nuevas ecotecnias sustentables que brinden seguridad alimentaria a las familias de la zona urbana, mediante huertos verticales que brinden asequibilidad a dietas más saludables aprovechando el agua pluvial para el riego de las hortalizas.

Este proyecto no solo aporta disponibilidad de alimentos frescos, sabiendo de donde provienen sus verduras y con qué tipo de agua se están regando; además proporciona una serie de beneficios económicos y ambientales.

Si bien la agricultura es una actividad que requiere bastante agua, al utilizar el agua pluvial en el huerto vertical se evita utilizar la destinada para otras actividades en la casa, y de esa manera la tarifa no aumenta gracias al recurso hídrico ahorrado.

De igual manera, el estado de la seguridad alimentaria y nutrición en el mundo manifestó que el 86% de la población no puede permitirse una dieta saludable por causa de los elevados costos y se requiere un consumo mínimo de 400 g de frutas y verduras por persona al día (FAO et al., 2020); con este proyecto se busca disminuir esos gastos, y a la vez, contribuir a la producción de frutas y verduras necesarias para una correcta alimentación mencionadas anteriormente.

Las dietas saludables pueden contribuir a la reducción de problemas cardiovasculares como la obesidad en niños y adultos que hasta el momento es un grave problema que va en aumento debido a que las personas solo pueden permitirse una dieta suficiente, la cual satisface únicamente las necesidades calóricas en lugar de consumir la cantidad recomendada de cada grupo de alimentos.

Por último, e igualmente importante, el desarrollo del presente proyecto ayudará a reducir costos sanitarios y en relación al cambio climático como lo es la reducción de huella de carbono de una familia completa. Estos gastos se conocen como “costos ocultos” y se encuentran presentes en cualquier actividad humana.

En conjunto a los beneficios mencionados anteriormente, la ecotecnia propuesta en esta investigación, permitirá contribuir al cumplimiento de al menos 4 Objetivos de Desarrollo Sostenible de la agenda 2030.

Al término de este proyecto se espera que la metodología pueda ser replicada en todo México, pues creemos que el acceso a este tipo de ecotecnias coadyuvará al desarrollo sostenible del país.

1.4. Objetivos de la investigación

1.4.1. Objetivo general

Desarrollar una ecotecnia de captación de agua pluvial acoplada a un huerto urbano vertical de cultivos alimentarios, implementando un prototipo para proporcionar una fuente de alimento sustentable, en cumplimiento de los ODS-2030. Caso de estudio: municipio de Puebla, Pue., México.

1.4.2. Objetivos específicos

1. Diseñar el sistema de captación de acuerdo a la revisión bibliográfica y datos técnicos de internet para identificar el más eficiente
2. Simular el sistema completo con un software de modelado en 3D para conocer y evaluar la efectividad del mismo
3. Implementar la siembra de cultivos específicos para evaluar su futura producción y el transporte de nutrientes de las plantas mediante la ley de Darcy para alimentos
4. Proyectar un modelo matemático mediante datos históricos de agua pluvial que faciliten la predicción de lluvia en los siguientes años
5. Evaluar la importancia de la agricultura urbana en jóvenes universitarios por medio de encuestas para advertir el grado de aceptación de la ecotecnia

-
6. Establecer los indicadores sociales, ambientales y económicos involucrados en la implementación del sistema completo mediante sus respectivas valoraciones.

1.5. Hipótesis

Se logra la seguridad alimentaria de 400 g de frutas y verduras diarias mediante el modelado e implementación de una ecotecnia de captación de agua pluvial acoplada a un huerto urbano vertical.

1.6. Preguntas de investigación

1. ¿Qué requerimientos necesitamos para satisfacer la demanda de alimentos frescos y agua y que así el diseño de un sistema de captación de agua pluvial acoplada a un huerto vertical sea óptimo?
2. ¿Cuáles son los factores a considerar en el modelado 3D de la ecotecnia de captación pluvial acoplada al huerto vertical?
3. ¿Cuáles son los análisis específicos de suelo y cultivo que permiten evaluar el transporte de nutrientes en una planta?
4. ¿Qué funciones matemáticas pueden utilizar datos históricos de lluvia y proyectar un modelo matemático de predicción de agua pluvial en un sitio?
5. ¿Cuáles son los beneficios ambientales, económicos y sociales de tener instalada una ecotecnia de captación pluvial acoplada a un huerto vertical?
6. ¿Cuáles son los indicadores ambientales, económicos y sociales que permiten conocer la viabilidad de la ecotecnia?
7. ¿Qué Objetivos de la Agenda 2030 se cumplen al momento de implementar la ecotecnia de captación pluvial acoplada al huerto vertical comestible?

2. MARCO TEÓRICO

En las últimas décadas la urbanización se convirtió en un estímulo para la generación de millones de propuestas tecnológicas y científicas. Zonas rurales con muy bajas densidades y el aumento de población en las ciudades trajo consigo una concentración demográfica muy notoria; se estima que esta tendencia continúe al 2050 en donde se prevé un aumento del 68% en los residentes de las zonas urbanas (United Nations Human Settlements Programme (UN-Habitat), 2022).

En 2020 el 81% de la población de América Latina y el Caribe habitaba en ciudades, de los cuales el 35% son zonas con más de un millón de habitantes; esta sobrepoblación urbana genera numerosas desigualdades sociales, ambientales y económicas, siendo la propagación de la actual pandemia por COVID 19 el ejemplo más perceptible (Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2022).

La Agenda 2030 es un documento creado por la asamblea general de la ONU con la finalidad de establecer un plan de acción internacional que garantice el bien común de todas las personas, esto mediante 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y 169 metas (ONU, 2015). El ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles tiene como propósito generar estrategias sostenibles en aquellas metrópolis que actualmente son generadoras de grandes cantidades de residuos sólidos urbanos, emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) así como también las responsables de la demanda de alimentos, requiriendo hasta un 70% del abastecimiento total de suministros (FAO, 2020).

Modificar sectores tradicionales es un nuevo reto para estas nuevas ciudades que buscan alinearse a los ODS de la Agenda 2030, tal es el caso de la agricultura, actividad que permitió que los antiguos pobladores se asentaran en espacios que pronto convirtieron en nuevas civilizaciones (Harari, 2022); actualmente la agricultura es un sector primario de las zonas rurales en donde se siembran diversos cultivos en grandes extensiones de terreno para luego ser transportados a las grandes ciudades con habitantes que compran sus productos en algún aparador de los centros comerciales. La dinámica actual de la agricultura es un proceso insostenible observado desde diferentes ámbitos: por un lado, el uso de suelo de grandes extensiones de terreno impide una concentración demográfica más equilibrada, y al mismo tiempo la tierra fértil es degradada a consecuencia de la producción excesiva de alimentos y

el uso incontrolado de fertilizantes y pesticidas (W. Wang et al., 2022). Por otro lado, la población de las ciudades se mantiene indiferente ante los problemas actuales de la producción de alimentos lo que genera un consumo irresponsable de productos que con el tiempo crea un alto desperdicio de alimentos y una mayor contaminación ambiental (Stancu & Lähteenmäki, 2022).

Actualmente se busca implementar sistemas urbanos sostenibles de producción de alimentos, estos sistemas brindan suministros nutritivos y seguridad alimentaria sin perjudicar los sectores ambientales, económicos y sociales; para que un sistema sea sostenible es necesario establecer sistemas que proporcionen agua, elemento esencial de cualquier cultivo (FAO, 2020).

El concepto de agricultura urbana (AU) es un concepto adaptable a diferentes áreas, sin embargo, de manera muy general, la AU hace énfasis a la producción de alimentos en las zonas urbanas y peri urbanas; las acciones realizadas pueden incluir actividades comerciales y no comerciales dependiendo el propósito y el lugar. Cada área involucrada en la agricultura urbana enfatizará su trabajo en algún proceso de la cadena de valor alimentaria (van Tuijl et al., 2018).

2.1. Tipos de agricultura urbana

Existen diferentes tipos de AU, diferentes autores como (Curan & Marques, 2021; Graefe et al., 2019; Pulighe & Lupia, 2016; Stein, 2021) exponen los siguientes tipos de agricultura urbana:

1. Jardines comunitarios

Este tipo de huertos tienen la finalidad de promover la salud mental de la población urbana, la participación de los involucrados y la inclusión social de las comunidades; los jardines comunitarios pueden ser con fines interculturales, horticultura, demostrativos, formación laboral entre otros.

2. Agricultura de guerrilla

Conocida muchas veces como “agricultura ilegal”, busca sembrar en espacios públicos o privados que se encuentran abandonados y con necesidad de cultivos y plantas; esta actividad se realiza con o sin permiso y pretende dar vida a aquellos sitios olvidados.

3. Huertos escolares

Son aquellas actividades de agricultura realizadas en instituciones o centros educativos con la finalidad de impulsar a los estudiantes a realizar prácticas sustentables y concientizar a todos los involucrados en las instituciones acerca de los beneficios de la AU.

4. Agricultura sin suelo

Se considera agricultura sin suelo a aquella forma de producción de cultivos sin la utilización de tierra, son alimentos que no se encuentran directamente sembrados en el suelo; esta forma es muy útil en las ciudades donde muchas veces la falta de espacio impide realizar prácticas de agricultura.

5. Agro parques

En estos espacios se busca disminuir los costos de producción de alimentos mientras se aplican actividades de ecología industrial en los sectores agrícolas. El objetivo principal es agrupar diversas actividades agroalimentarias en un solo espacio físico.

6. Agricultura vertical

Se busca cultivar de manera vertical con la finalidad de obtener una mayor producción de alimentos en un espacio reducido, este tipo de agricultura es fácilmente adaptable a viviendas, edificios e instituciones y se caracteriza por no utilizar tierra como sustrato principal. Los ejemplos más conocidos de agricultura vertical son las tecnologías como hidroponía, acuaponía y aeropónica.

7. Agroturismo

El agroturismo pretende atraer visitantes y turistas a diferentes agro parques o huertos con la finalidad de generar ingresos por medio de las visitas guiadas y actividades que permiten a su vez generar un impacto positivo en los usuarios, concientizando sobre las ventajas de involucrarse en proyectos de agricultura urbana.

8. Granjas urbanas

Estas son gestionadas por agricultores y granjeros profesionales con el fin de eficientizar los sistemas de producción agrícola en las zonas urbanas.

9. Sistemas de cultivos verticales en interiores

En los últimos años este tipo de agricultura ha generado un gran interés por parte de inversionistas y empresas que buscan producir una gran cantidad de cultivos en menos tiempo y con un mínimo espacio. Se hace uso de tecnologías que controlen los parámetros óptimos

de un determinado cultivo, de esta manera cada hortaliza o fruto recibe cantidades exactas de agua y nutrientes y es cultivada en un ambiente con luz artificial que optimiza el crecimiento y el sabor de cada planta.

Cualquier sistema de agricultura implementado en la zona urbana se fundamenta en procesos agroecológicos ampliamente conocidos por la población de la zona rural. La agroecología ofrece conocimientos culturales, ecológicos y económicos locales y regionales que faciliten la producción diversificada de alimentos que brinden a los usuarios seguridad alimentaria y nutrición. Se trata de integrar conocimientos locales del sitio a nuevos sistemas de producción agrícola, cuando se habla de agroecología se busca enfatizar la importancia de la relación humano naturaleza con la finalidad de implementar tecnologías innovadoras sin olvidar la biodiversidad de un agroecosistema (FAO, 2022).

Los sistemas agroecológicos integran a las plantas, los seres humanos, el medio ambiente y los animales de un sitio en específico con el fin de generar un sistema agrícola sostenible que promueva el consumo y la producción local, generando así, múltiples beneficios ambientales, sociales y económicos (González De Molina & Lopez-Garcia, 2021).

Las plantas de los diferentes cultivos son los principales actores de este proyecto, comprender las necesidades, el crecimiento que propicie un amplio desarrollo, así como el transporte de nutrientes de cada planta permitirá establecer teorías de producción de alimentos e indicadores de sustentabilidad del huerto específico.

2.2. Fertilidad del suelo

El suelo es una composición de microorganismos, materia orgánica y los propios minerales de la tierra, el correcto porcentaje de cada elemento brindará un suelo fértil con características físicas y químicas específicas (FAO, 1996).

Las **características físicas** incluyen buena retención de agua evitando acumulación de la misma gracias a la porosidad que permite la circulación y el drenaje de aire y agua. El suelo es una estructura estable que permite el sustento y la estructura de las raíces que a su vez brindan firmeza contra posibles erosiones. La observación y evaluación de la densidad, permeabilidad y consistencia del suelo serán necesarios para la textura óptima (Caballero, 2012).

Las **características biológicas** de un suelo fértil incluyen parámetros vinculados a la cuantificación de materia orgánica, biomasa y microorganismos desempeñando funciones específicas como mineralización de elementos, fijación de nitrógeno entre otros. El mutualismo entre los organismos presentes en el suelo beneficiará las interacciones de la planta propia, así como su relación con otros cultivos (Caballero, 2012; del Val & Dirzo, 2004).

Por último, las **características químicas** engloban aspectos como la capacidad de intercambio, el potencial redox, el pH y el porcentaje de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S) y micronutrientes (Fe, Mn, Zn, Cu, B, Cl, Mo); es necesario que la planta tenga acceso a estos nutrientes y los pueda utilizar para lograr un crecimiento óptimo y una buena producción de alimentos (Caballero, 2012).

2.3. Técnicas de análisis de suelo

El acceso y transporte de nutrientes en una planta puede ser evaluado por diferentes métodos de instrumentación de química analítica que permitirán obtener un análisis específico del suelo. La toma de muestra del suelo se realizará mediante el método del cuarteo, el cual consiste en tomar el suelo del cultivo a analizar y homogenizar en una lona o superficie, la muestra homogenizada se divide en cuatro partes iguales y se toma un cuarto la cual será la porción disponible para su análisis (Schweizer, 2011).

En el presente proyecto serán utilizados tres métodos instrumentales de química analítica con la finalidad de obtener el porcentaje de metales presentes en las plantas son los utilizados en el presente proyecto los cuales serán descritos a continuación.

- Espectroscopía de Absorción Atómica (EAA)

Es una técnica de análisis que permite identificar elementos de la tabla periódica primordialmente metales. La energía absorbida del elemento a analizar al momento de hacer incidir una llama nos brindará resultados específicos del elemento en cuestión ya que si la longitud de onda específica incide sobre un átomo que actualmente se encuentra en su estado fundamental, este se excitará absorbiendo energía. El proceso utilizado en el presente proyecto se realiza en un equipo de laboratorio (Figura. #) que utiliza una lámpara que cuenta con un cátodo hueco como fuente externa de energía. Esta técnica tiene una alta sensibilidad y especificidad (FAO, 1994; Martínez, 2020; Mendoza, 2015).

-
- Espectrometría de Masas con Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP-MS)

De igual manera que la EAA se refiere a una técnica de química analítica que tiene la finalidad de identificar elementos traza y sus isótopos presentes en una disolución, esta técnica cuenta con una mayor potencialidad debido a que se pueden analizar casi todos los elementos presentes en la tabla periódica (de la Cruz-Pons et al., 2012; Escamilla et al., 2021; Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, s/f).

- Espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)

Esta técnica usa energía del infrarrojo para el análisis de las muestras. Una molécula cuenta con diferentes enlaces que vibran a diferentes energías las cuales absorben distintas longitudes de onda de la radiación, cuando la luz infrarroja y la vibración de la molécula son equivalentes es posible identificar las características de la molécula (Hien et al., 2022; METTLER TOLEDO, 2022).

Las técnicas mencionadas anteriormente brindarán una caracterización de metales específicos presentes en el sustrato de las plantas de la ecotecnia, así como también proporcionarán las bases para el desarrollo de un modelo matemático que contemple el transporte de estos metales por la planta y al mismo tiempo evalúe el tiempo estimado de producción de alimentos y absorción de contaminantes para cada cultivo.

3. METODOLOGÍA

3.1. Diseño del modelo de ecotecnia

Con la finalidad de generar un diseño innovador de la ecotecnia fue indispensable realizar una investigación del estado del arte de proyectos reportados que estuvieran focalizados en huertos urbanos y captación de agua pluvial. En la plataforma Google Académico se estableció una búsqueda de documentos con las siguientes palabras claves: “captación agua pluvial”, “jardines comestibles”, “agricultura urbana”, “Agenda 2030”, “SCALL” y “ciudades sostenibles”. Con la información obtenida se generó una matriz de hallazgos que incluyera a) nombre de autor, b) fecha de publicación c) título del documento d) objetivo general y e) resultados relevantes; esto con la finalidad de obtener un panorama general de los diferentes diseños propuestos por diversos autores en los últimos cinco años.

La revisión literaria brindó las pautas para comenzar el diseño propio de una ecotecnia; se enlistaron parámetros indispensables en la optimización de los sistemas de captación de agua pluvial (Tabla.1) y se instauró el modelo de caja negra con 2 entradas y 4 salidas para identificar los grados de libertad del modelo. (Fig.1).

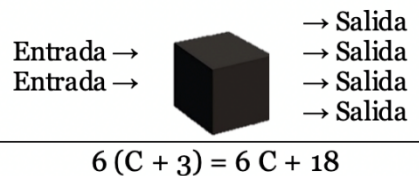


Fig. 1. Modelo de caja negra de la ecotecnia

Los grados de libertad se cumplirán con las ecuaciones de la siguiente tabla:

Tabla 1. Grados de libertad del modelo de caja negra

Energía Mecánica	1
Espesor Mecánico	1
Geometría de las placas	1
Volumen de la placa	1
Movimiento del techo	1
Flujo total de entrada	1
Flujo de salida	1
Equilibrio de flujo	C
Presión de la corriente de salida	1
Equilibrio termodinámico	C
Equilibrio de masas	C - 1
Presión de la corriente de salida	1
Composición de la alimentación	1

Composición de la salida	1
Igualdad de composición	C -1
	4C + 9

Una vez establecidos los parámetros para evaluar la viabilidad del modelo, se diseñó el CAD en tres dimensiones (Anexo 1). La ecotecnia se realizó mediante el ensamble de tres piezas primordiales: la base de la ecotecnia que brindará el espacio destinado para los cultivos, el techo de la ecotecnia la cual representa el área de captación de agua pluvial y las canaletas, medio por el cual será transportado el recurso hídrico para su posterior almacenamiento (Fig. 2).

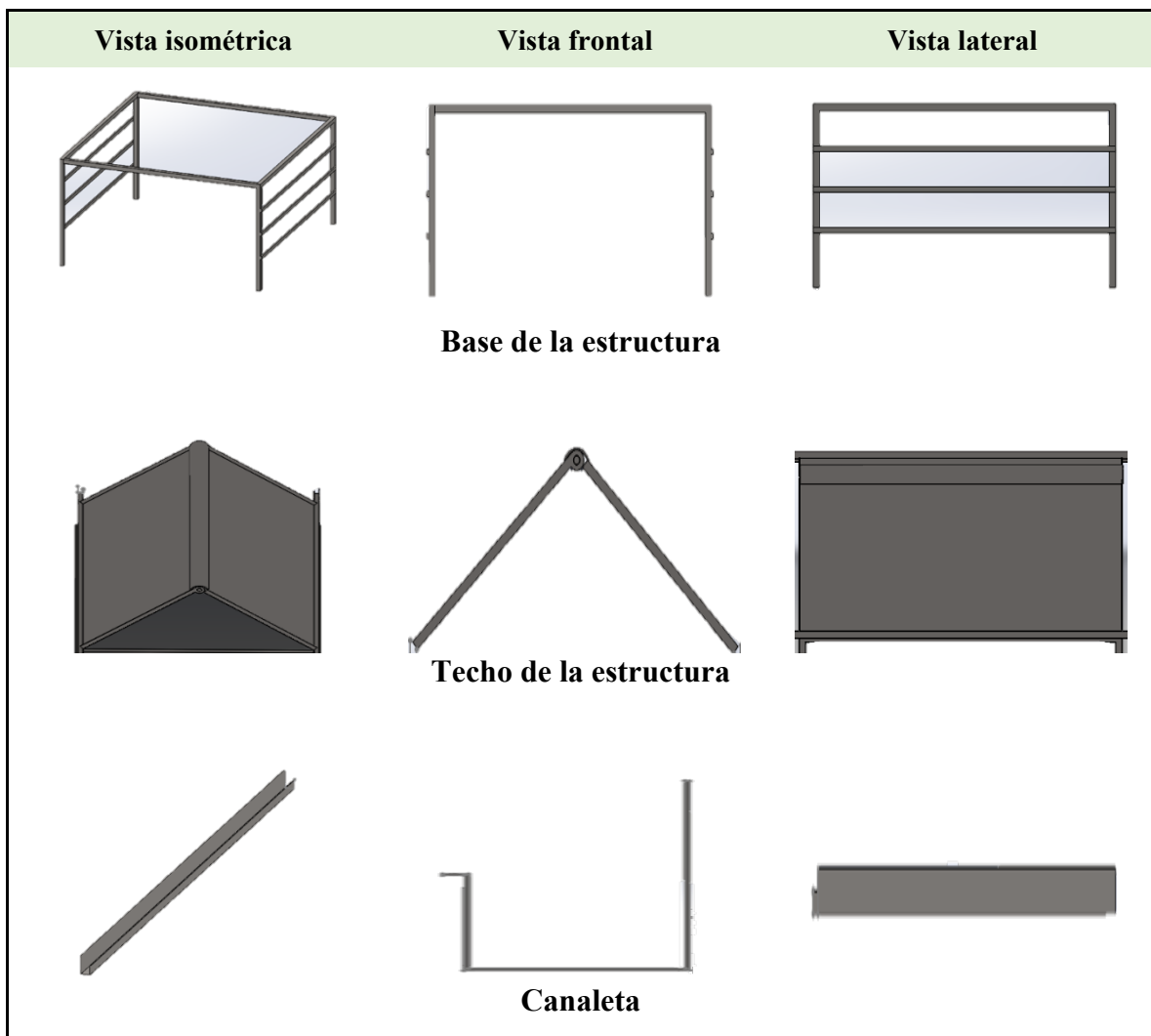


Fig. 2. Vistas de las 3 piezas primordiales de la ecotecnia

3.2. Simulación del modelo de ecotecnia

Una vez realizado el primer modelo de la ecotecnia se continuó con la simulación del mismo, esto con la finalidad de obtener resultados de la cantidad estimada de agua pluvial captada, así como la fuerza aplicada en la base de la estructura.

En relación a la captación de agua pluvial, será necesario considerar la geometría del techo de la ecotecnia, el objetivo de la simulación es identificar la estructura óptima para captar una mayor cantidad de agua en un espacio mínimo. La simulación se realizó con ayuda de la herramienta *Flow simulation* disponible en el software SolidWorks mediante un modelo probabilístico (Ec. 1).

$$P(\dot{Q}, t) = \sum_{i=1}^n e_i \times \nabla \cdot \dot{Q} \quad (1)$$

Donde e_i representa cada uno de los eventos de lluvia en la ciudad de Puebla, Q es el caudal probable de precipitación, se debe considerar que el caudal estará basado en la ecuación de Navier-Stokes (Ec. 2) para un fluido cuasi-perfecto. Esta última nos brindará información sobre el movimiento que hace el fluido en cada momento de su trayectoria.

$$\rho \left(\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla \mathbf{v} \right) = -\nabla \mathbf{p} + \nabla(\rho g \mathbf{v}) + \mathbf{f} \quad (2)$$

Con esta ecuación, es posible conocer los cambios del fluido dependiendo la cantidad de precipitación y altura de la ecotecnia usando números adimensionales como el número de Reynolds y el número de Prandtl que permitirá conocer la aceleración del fluido $\rho \left(\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla \mathbf{v} \right)$ y la resistencia de este por fuerzas externas aplicadas.

Para resolver ecuaciones como la planteada por Navier-Stokes se aplica el método del elemento finito por lo que es importante que al momento introducir los parámetros en la herramienta *Flow simulation* se establezcan los valores deseados de la malla discretizada de manera que sea una malla adaptativa que permita resolver las ecuaciones en cada nodo de la misma. En la Fig. 3. Se observa a) la vista lateral de la malla y b) la forma en que se adapta en el techo de la ecotecnia.

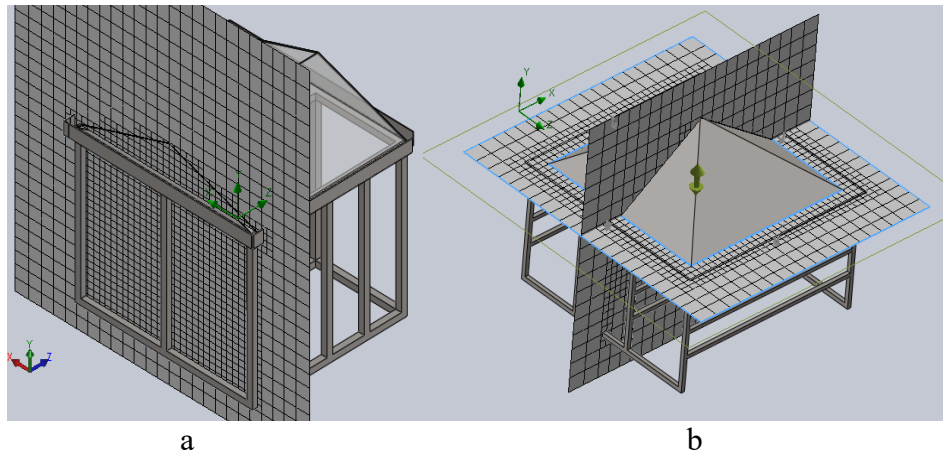


Fig. 3. Malla discretizada de forma adaptativa en el modelo de ecotecnia

La herramienta *Flow simulation* permite resolver las ecuaciones en cada nodo de la malla discretizada, sin embargo, es vital introducir los parámetros adecuados para la resolución de la misma. La simulación se realizó a) en sistema internacional considerando m/s los parámetros de velocidad, b) el análisis establecido fue “externo” excluyendo las cavidades sin flujo, c) el tamaño computacional fue reducido como se muestra en la Fig. 4. con la finalidad de evaluar la simulación específicamente en las dimensiones de la ecotecnia.

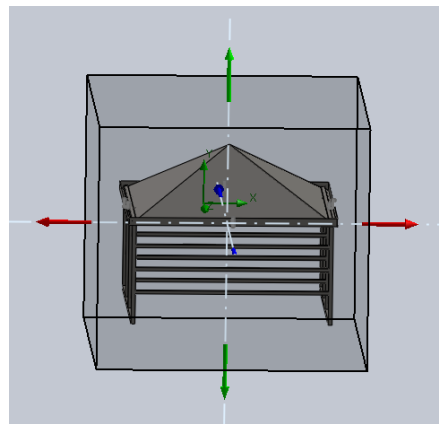


Fig. 4. Reducción de tamaño computacional del modelo de ecotecnia

El techo de la ecotecnia es el área de captación pluvial a evaluar ya que el objetivo principal es evaluar el comportamiento del agua al caer sobre la geometría del área de captación, por lo que es necesario insertar objetivos de superficies claves para la simulación y parámetro objetivo para la evaluación correspondiente de comportamiento de fluido (Fig. 5). Los parámetros a evaluar en la simulación fueron 1) densidad, 2) volumen de flujo, 3) velocidad de flujo, 4) intensidad de turbulencia, 5) fuerza normal y 6) viscosidad dinámica.

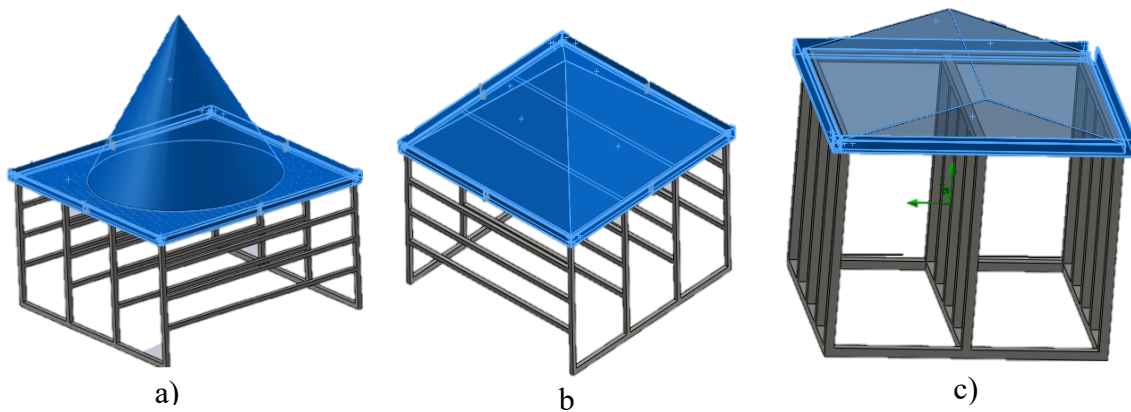


Fig. 5. Objetivos de superficie del a) tercer modelo, b) quinto modelo y c) modelo final

Para la simulación de fuerza aplicada se evaluó la Tensión de VonMises que permite conocer la fuerza máxima aplicada en la base, así como las deformaciones unitarias que brindarán respuesta a la resistencia del material seleccionado, este estudio permite evaluar que tanto peso soporta la estructura y brinda una estimación de la cantidad de cultivos disponibles en la ecotecnia. Es necesario establecer la geometría fija que evitará una deformación en la parte inferior de la ecotecnia (Fig. 6,a), así como el valor de fuerza aplicado en Newtons (N) sobre la parte superior de la misma con la finalidad de evaluar la resistencia de la base que sustentará los cultivos (Fig. 6,b). Se realizaron simulaciones a 100 N, 150 N y 200 N respectivamente.

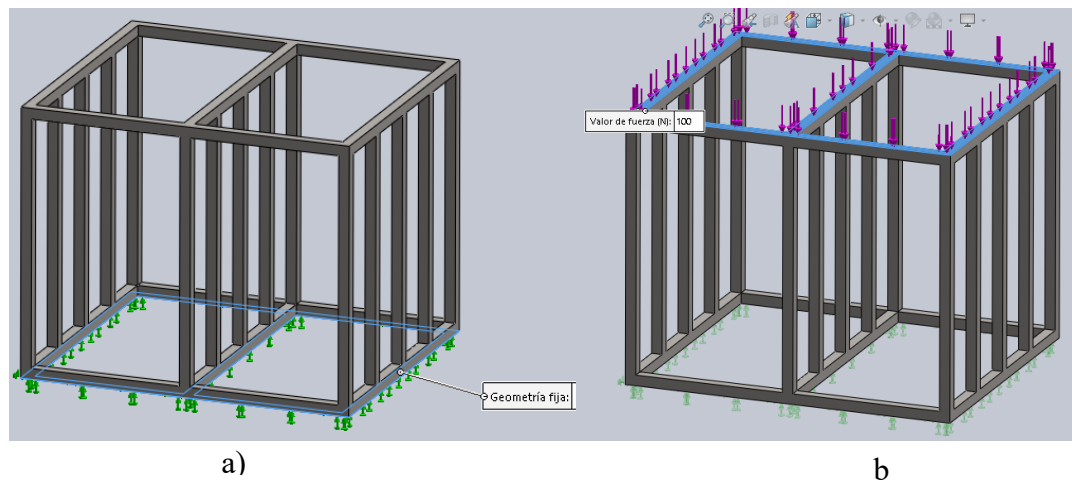


Fig. 6. Análisis de deformaciones unitarias y tensión de VonMises en la base de ecotecnia

Una vez realizadas las simulaciones de cada modelo propuesto se graficó la trayectoria del fluido sobre el techo de la ecotecnia; se establecieron dos líneas de referencia para graficar, la referencia: “techo” permitirá evaluar el comportamiento del fluido en la parte superior,

mientras que la referencia “canaleta” evaluará la trayectoria del fluido en la parte inferior del techo de la ecotecnia, momento en donde se recolectará el fluido para su futuro almacenamiento (Fig. 7).

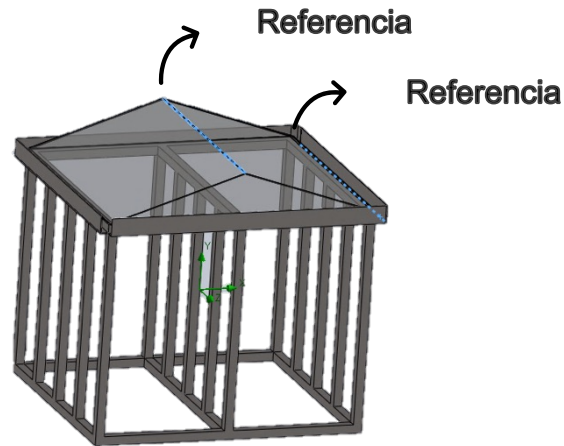


Fig. 7. Referencias para graficar el comportamiento del fluido en el techo de la ecotecnia

3.3. Siembra de cultivos para evaluación con ley de Darcy

Descripción del sitio

Para la implementación física del prototipo de ecotecnia se propuso una institución educativa. La Universidad Politécnica Metropolitana de Puebla (UPMP) fue el sitio destinado para la germinación y desarrollo de los diferentes cultivos (Fig. 8).



Fig. 8. Sitio destinado para la implementación de prototipo

La UPMP está situada en la zona urbana del municipio de Puebla, México, a 2153 m sobre el nivel del mar, el clima es templado subhúmedo, con temperaturas mínimas de 7.6 °C, máximas de 25.8 °C y temperatura promedio de 16.5 °C. La precipitación anual es de aproximadamente 955 mm al año con una diferencia de 184 mm entre el mes más seco: diciembre y el más húmedo: septiembre (Climate Data, 2023).

La figura 9 proporciona información específica de cada mes en cuanto a: a) temperatura promedio, b) temperatura mínima y máxima, c) precipitación promedio, d) Humedad y e) días lluviosos; los datos fueron recuperados de 1991-2021. De igual manera se brinda información del promedio de horas diarias de sol con datos recuperados de 1999-2019.

	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
Avg. Temperature °C (°F)	14 °C (57.2) °F	15.7 °C (60.3) °F	17.2 °C (62.9) °F	18.7 °C (65.6) °F	18.5 °C (65.4) °F	17.4 °C (63.3) °F	16.9 °C (62.4) °F	17.2 °C (63) °F	16.6 °C (61.8) °F	16 °C (60.9) °F	15.1 °C (59.3) °F	14.4 °C (57.9) °F
Min. Temperature °C (°F)	7.6 °C (45.6) °F	9 °C (48.2) °F	10.3 °C (50.5) °F	12.2 °C (54) °F	12.7 °C (54.9) °F	13 °C (55.4) °F	12.1 °C (53.8) °F	12.7 °C (54.8) °F	12.8 °C (55) °F	11.5 °C (52.8) °F	9.5 °C (49.1) °F	7.9 °C (46.2) °F
Max. Temperature °C (°F)	21.2 °C (70.2) °F	23.1 °C (73.6) °F	24.5 °C (76.1) °F	25.8 °C (78.4) °F	25 °C (76.9) °F	22.6 °C (72.7) °F	22.3 °C (72.1) °F	22.6 °C (72.8) °F	21.4 °C (70.6) °F	21.6 °C (70.9) °F	21.6 °C (71) °F	21.5 °C (70.6) °F
Precipitation / Rainfall mm (in)	9 (0)	10 (0)	19 (0)	39 (1)	96 (3)	182 (7)	148 (5)	153 (6)	190 (7)	81 (3)	22 (0)	6 (0)
Humidity(%)	49%	44%	42%	45%	57%	70%	71%	70%	76%	67%	57%	51%
Rainy days (d)	1	2	3	6	12	16	14	15	16	10	3	1
avg. Sun hours (hours)	9.4	10.0	10.4	10.9	10.5	9.3	9.8	9.7	8.4	8.8	9.2	9.4

Fig. 9. Promedios del clima en la UPMP

Con el fundamento del clima en Puebla, se comenzó la germinación de diferentes cultivos que crecieran de forma óptima en las instalaciones de la UPMP, se desarrolló una matriz de datos que enlistaban a) el nombre del cultivo, b) características óptimas del suelo, c) requerimientos específicos de sol y agua y d) plagas comunes en la planta.

Siembra de cultivos

Para la siembra de cultivos se destinó un espacio de 3.00 m² y 2.20 m de alto en las instalaciones de la UPMP en donde se colocaron germinadores etiquetados con semillas de 26 cultivos diferentes. El espacio fue cubierto con malla sombra para evitar la exposición excesiva de factores bióticos y abióticos como lluvia, radiación, viento y organismos que pudieran afectar la germinación y desarrollo de las plantas (Fig. 10). Se registró en bitácora a) Nombre del cultivo, b) fecha de siembra, c) mm de profundidad de la semilla sembrada, d) fecha de germinación de semilla.



Fig. 10. Protección de factores bióticos y abióticos en las plantas sembradas

Para la reproducción de semillas se utilizaron germinadores de plástico y cartones de huevo previamente humedecidos con germinador enraizador natural enriquecido en nitrógeno, fósforo y potasio. Para la generación del sustrato óptimo en los cultivos seleccionados se realizó una mezcla de abono orgánico, musgo y perlita en las proporciones observadas en la figura 11.

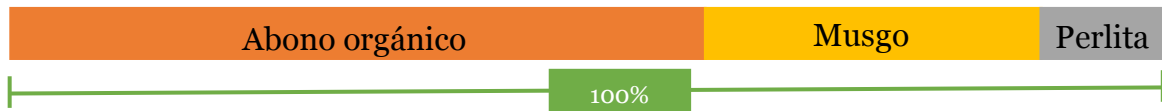


Fig. 11. Composición del suelo óptimo para los cultivos

Cuando las plantas germinaron se trasplantaron a huacales de madera para promover el desarrollo de raíz y por consiguiente el crecimiento de la planta obteniendo resultados favorables en el transcurso de pocas semanas (Fig. 12).



Fig. 12. Crecimiento de *Curcubita pepo* en la UPMP

Para el desarrollo del huerto se realizaron diferentes estrategias de propagación de plantas; por esqueje para plantas como la albahaca (*Ocimum basilicum*) y la menta (*Mentha piperita*), además, los primeros frutos cosechados de plantas de chile (*Capsicum spp*), jitomate (*Solanum lycopersicum*), tomate (*Physalis philadelphica*) entre otras, se reservaron para la obtención de semillas y siembra. De igual manera se implementaron estrategias como la utilización de residuos orgánicos en la generación de composta y lombricomposta; todo esto con la finalidad de establecer actividades que contribuyan a la circularidad y futuro mantenimiento autónomo del huerto.

Por otro lado, el ordenamiento de plantas en un espacio reducido será un factor relevante ya que es necesario considerar necesidades de riego y radiación de cada cultivo, así como también los requerimientos en cuanto a nutrientes y la posible adopción de plagas específicas. De tal forma, se generó una matriz sintetizada que incluía a) nombre común y científico de la planta, b) características óptimas del sustrato, c) requerimiento de agua y horas de sol por día, así como d) plagas reportadas en cada cultivo. Una vez establecida la matriz, fue más fácil diseñar el acomodo de los cultivos en el modelo de la ecotecnia, se establecieron ocho grupos de plantas cada uno con una función específica: 1) los laterales serán todos aquellos árboles frutales colocados en macetas que se posicionarán en las esquinas de la ecotecnia, este grupo se conforma por el durazno (*Prunus pérsica*), la granada (*Punica granatum*), el tejocote (*Crataegus mexicana*) y la guayaba (*Psidium guajava*). 2) cama de plantas estará conformado por aquellas especies de rápida germinación, en este grupo se encuentran principalmente hierbas como los quelites (*Amaranthus spp*), verdolagas (*Portulaca oleracea*), berros (*Nasturtium officinale*) y alaches (*Anoda cristata*). 3) el grupo enredaderas y/o colgantes está conformado por especies de plantas disponibles para su colocación en la parte superior de la ecotecnia, al grupo lo conforman plantas como pepino (*Cucumis sativus*), chayote (*Sechium edule*), calabaza (*Cucurbita pepo*), frambuesa (*Rubus idaeus*). 4) Los forrajes conformarán al grupo de pastos verdes como el cilantro (*Coriandrum sativum*), yerbabuena (*Mentha spicata*), espinaca (*Spinacia oleracea*), acelga (*Beta vulgaris*), apio (*Apium graveolens*), y epazote (*Dysphania ambrosioides*), para facilitar el ordenamiento y la clasificación, en este grupo se incluye la lechuga (*Lactuca sativa*). 5) El grupo de las plantas estructurales serán todas aquellas especies en las que se colocará un tutor para su crecimiento,

estás plantas estructurales se colocarán en el centro de la ecotecnia, los tomates (*Physalis philadelphica*), el jitomate (*Solanum lycopersicum*), una variedad de chiles (*Capsicum annuum*) como el chile poblano, chile jalapeño, chile tampico, chile habanero-manzano, y el brocoli (*Brassica oleracea var. italica*) serán las plantas de este grupo. 6) Las raíces será un pequeño grupo conformado por papas cambray (*Solanum tuberosum*), ajo (*Allium sativum*), cebolla (*Allium cepa*) rábano (*Raphanus sativus*) y jengibre (*Zingiber officinale*), plantas indispensables en una cocina mexicana. 7) Las aromáticas cumplirán una función dentro del huerto como repelentes naturales, sin embargo, también son especies de condimentos comúnmente utilizados, a este grupo pertenecen el orégano (*Origanum vulgare*), la menta piperita (*Mentha × piperita*), albahaca (*Ocimum basilicum*), romero (*Salvia rosmarinus*), tomillo (*Thymus citriodorus*) y manzanilla (*Chamaemelum nobile*). Por último, el grupo ocho de las plantas polinizadoras será destinado para aquellas especies que logren atraer a polinizadores al huerto, factores de suma importancia para algunas plantas en la producción de fruto; en este grupo se incluyen plantas del género *Zinnia*, *Lavandula* y *Lantana*.

Con la clasificación de las plantas será más sencillo imaginar el acomodo de cada una y debido a que cada ejemplar se encuentra colocado en contenedores separados no existirá un problema mayor en la disposición de nutrientes en el suelo para cada una.

De esta manera se realizaron actividades de reproducción y mantenimiento de los diferentes cultivos del huerto propuesto por un periodo total de seis meses entre febrero 2022 y julio 2022, una vez que cada planta logró desarrollarse y fue posible cosechar frutos se comenzó la preparación para el análisis del transporte de nutrientes del sustrato a todas las partes de la planta.

Evaluación de cultivos

Para el análisis de los cultivos se utilizó la técnica de espectroscopía de absorción atómica (EAA), que permitió conocer el grado de absorbancia de seis elementos (Pb, Cu, Ca, Mg, Ni, y Zn). De cada planta se analizó la sección foliar, la raíz, el fruto y el sustrato para evaluar el transporte de nutrientes, se analizaron un total de 16 cultivos.

Con la finalidad de obtener una muestra homogénea de sustrato, se realizó la técnica de “cuarteo”, en donde es necesario colocar todo el sustrato de la planta en una superficie plana, dividir en cuatro partes iguales y conservar una cuarta parte para el análisis (Fig. 13).



Fig. 13. Método de cuarteo en planta de *Mentha × piperita*

Para la selección de plantas se buscaron aquellas que tuvieran las partes mencionadas anteriormente (sustrato-sección foliar- raíz- fruto), hubo algunas excepciones como en el caso de la menta y el cilantro que no cuentan con fruto, para el caso de la papa no contaba con sección foliar debido a que los frutos ya se encontraban en el sustrato. Cada planta seleccionada fue retirada del sustrato, mismo que se utilizó en la técnica de cuarteo; las partes necesarias fueron pesadas y etiquetadas por separado registrando su peso (Fig. 14). El siguiente paso es colocar cada muestra en la estufa de calentamiento a 45 °C por un periodo de 5 días con la finalidad de eliminar la humedad de cada una, pulverizarse y realizar la hidrólisis.

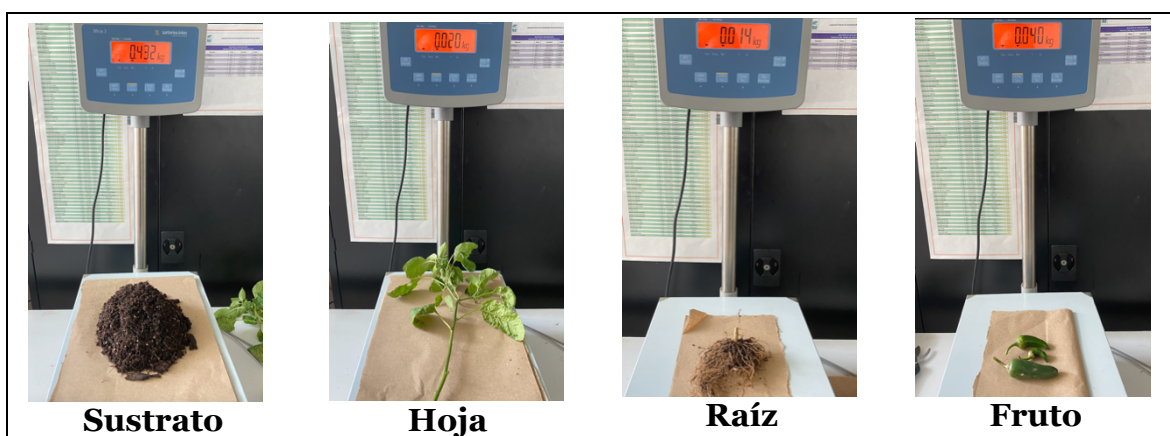


Fig. 14 Registro del peso de cada parte de la planta

La Tabla 2 enlista el peso en fresco de los 16 cultivos antes de su secado en la estufa de calentamiento, se estableció un clave para cada cultivo considerando el número de planta y

las dos primeras letras del nombre del cultivo, clave indispensable para el ingreso de datos en el espectrofotómetro. Fue necesario colocar un guion en aquellas partes de la planta que no se utilizaron en el análisis.

Tabla 2. Peso fresco de cultivos analizados en la UPMP

No.	Nombre de cultivo	Clave	Peso fresco en gramos			
			Hojas	Raíz	Fruto	Sustrato
1	Menta	S1ME	9.0	2.9	-	326.4
2	Chile jalapeño	S2JA	20.0	14.0	40.0	432.6
3	Chile poblano	S3PO	32.0	12.0	36.0	392.1
4	Cilantro	S4CI	34.0	8.0	-	512.3
5	Apio	S5AP	58.0	32.0	-	464.0
6	Acelga	S6AC	70.0	42.0	-	420.0
7	Espinaca	S7ES	30.0	6.0	-	352.0
8	Lechuga	S8LE	31.0	12.2	-	251.7
9	Brócoli	S9BR	82.5	70.9	-	322.7
10	Ajo	S10AJ	12.5	38.8	6.9	338.2
11	Calabaza	S11CA	85.0	16.9	-	375.8
12	Verdolagas	S12VE	84.4	29.9	-	389.6
13	Cebolla	S13CE	-	-	18.9	290.9
14	Papa	S14PA	-	-	74.6	330.5
15	Tomate	S15TO	65.3	83.0	83.1	336.8
16	Jitomate	S16JI	83.0	15.9	98.9	296.3

Una vez que los elementos de la planta se encontraban deshidratados se registró su peso en seco y se realizó una hidrólisis de cada muestra con solución de HNO_3 al 5% (Ec. 3).

$$C_1V_1 = C_2V_2 \quad (3)$$

$$100\% \ 25 \ mL = 70\% \ V_2$$

$$V_2 = \frac{100 \cdot 25}{70} = 35.7 \ mL \ HNO_3$$

En tubos de polipropileno para centrifuga se colocaron 15 mL de la solución anterior por cada 5 g de muestra; la hidrólisis se realizó a 150 rpm durante 48 h a una temperatura de 45

°C. Una vez concluida, se filtraron las muestras y se realizaron diluciones 1:10 con agua desionizada, fue necesaria una segunda filtración con papel filtro para eliminar los sedimentos de la primera filtración.

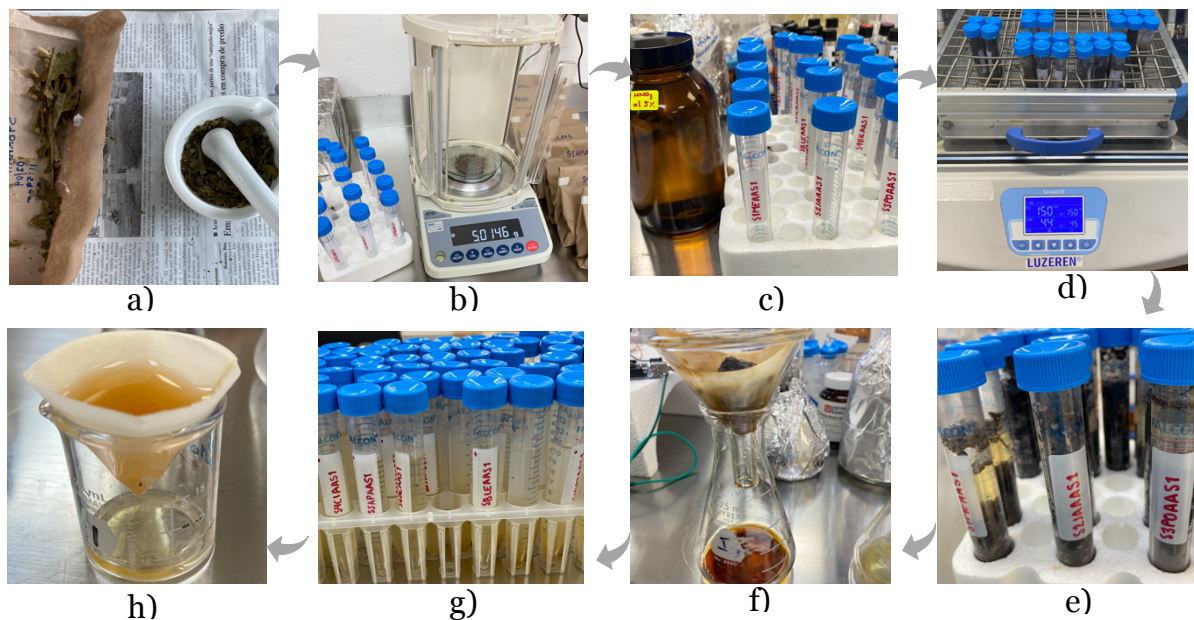


Fig. 15 Metodología de preparación de muestra de técnica de EAA

La figura 15 ilustra la metodología de preparación de muestra descrita anteriormente: a) pulverización de la muestra, b) peso en seco, c) colocación de solución HNO_3 al 5% en tubos falcon, d) hidrolisis, e) obtención de muestra, f) primera filtración, g) sedimentación de residuos, h) segunda filtración y obtención de la muestra final.

Para la técnica de EAA se utilizaron seis estándares a diferentes concentraciones (Tabla. 3) en solución HNO_3 al 1% de los seis elementos objetivo respectivamente.

Tabla 3. Concentración de estándares utilizados en técnica de EAA

ppm	mL	uL
0.1	0.005	5
0.5	0.025	25
2.5	0.05	50
5.0	0.125	125
10.0	0.250	250

El espectrofotómetro de absorción atómica utilizado fue el modelo: AAnalyst 200 (Fig. 15). Se colocaron los estándares del primer elemento para su calibración y obtención de la pendiente y el coeficiente de calibración, esto con la finalidad de comprobar la fiabilidad del análisis, una vez obtenida la gráfica de calibración se fueron analizando cada una de las muestras.

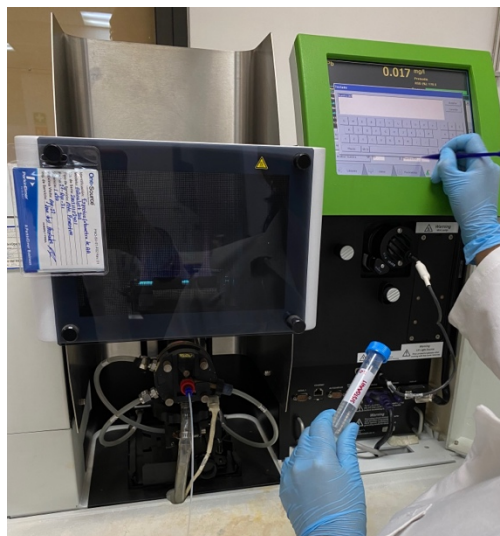


Fig. 16 Espectrofotómetro utilizado en la técnica

Modelo matemático de transporte de nutrientes

Para la propuesta del modelo matemático se parte de la ecuación de transporte de la Ley de Darcy en su forma diferencial, se sabe que existe un transporte de elementos en la planta a causa de la deformación existente en el hoja, y debido a que el transporte de materia se sitúa sobre la superficie de la misma, se estableció una coordenada cilíndrica (x,y,z) y se consideró un elemento finito de cada parte de la planta.

A partir de la matriz de superficie se planteó un modelo generalizado para el transporte de nutrientes en x planta resultando la ecuación 3.

$$\varepsilon \frac{\partial C_{i,g}}{\partial t} + \nabla(\varepsilon V_g C_{i,g}) = \nabla(\varepsilon D_i) \nabla C_{i,g} \quad (3)$$

Donde ε es el coeficiente de permeabilidad, i es cada elemento analizado, de igual manera se considerará la concentración C_i , la velocidad de transporte V_g y la difusión D_i de cada uno. Para considerar todos los elementos analizados con la técnica de EAA dentro de la ecuación

3 es necesario establecer la sumatoria de las expansiones particulares de cada elemento (Ec. 4).

$$\varepsilon \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial C_i, g}{\partial t} \right) + \sum_{i=1}^n [\nabla(\varepsilon \mathcal{V}_g, C_i, g)] \right] = \left[\sum_{i=1}^n \nabla(\varepsilon D_i, g) \nabla(C_i, g) \right] \quad (4)$$

Debido a que trabajamos con una superficie y material específico es necesario establecer las integrales sustanciales a partir de $\sum^* \nabla$ obteniendo las ecuaciones 5 y 6.

$$\varepsilon \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial C_i, g}{\partial t} \right) + \oint (\varepsilon, \mathcal{V}_g C_i, g) d\varepsilon d\mathcal{V} dC \right] = \oint \oint (\varepsilon D_i) d\varepsilon dD * (C_i, g) dC \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial C_i, g}{\partial t} \right) = \left[\oint \oint (\varepsilon D_i) d\varepsilon dD * (C_i, g) dC - \oint (\varepsilon, \mathcal{V}_g C_i, g) d\varepsilon d\mathcal{V} dC \right] \frac{1}{\varepsilon} \quad (6)$$

Para el planteamiento de la ecuación general y que esta englobe cada uno de los elementos, es indispensable realizar la expansión de cada elemento analizado, resultando las ecuaciones 7-12.

$$\frac{\partial C_{Pb}}{\partial t} = \frac{1}{\varepsilon} [\nabla(\varepsilon D_{Pb}) * \nabla C_{Pb} - \nabla(\varepsilon \mathcal{V}_{Pb} C_{Pb})] \quad (7)$$

$$\frac{\partial C_{Mg}}{\partial t} = \frac{1}{\varepsilon} [\nabla(\varepsilon D_{Mg}) * \nabla C_{Mg} - \nabla(\varepsilon \mathcal{V}_{Mg} C_{Mg})] \quad (8)$$

$$\frac{\partial C_{Zn}}{\partial t} = \frac{1}{\varepsilon} [\nabla(\varepsilon D_{Zn}) * \nabla C_{Zn} - \nabla(\varepsilon \mathcal{V}_{Zn} C_{Zn})] \quad (9)$$

$$\frac{\partial C_{Ni}}{\partial t} = \frac{1}{\varepsilon} [\nabla(\varepsilon D_{Ni}) * \nabla C_{Ni} - \nabla(\varepsilon \mathcal{V}_{Ni} C_{Ni})] \quad (10)$$

$$\frac{\partial C_{Cu}}{\partial t} = \frac{1}{\varepsilon} [\nabla(\varepsilon D_{Cu}) * \nabla C_{Cu} - \nabla(\varepsilon \mathcal{V}_{Cu} C_{Cu})] \quad (11)$$

$$\frac{\partial C_{Ca}}{\partial t} = \frac{1}{\varepsilon} [\nabla(\varepsilon D_{Ca}) * \nabla C_{Ca} - \nabla(\varepsilon \mathcal{V}_{Ca} C_{Ca})] \quad (12)$$

Para la discretización y resolución del elemento finito es necesario realizar una matriz para cada variable considerada 1) difusividad, 2) concentración y 3) velocidad, y una vez resueltas (Fig. 17) incluir los valores en la expansión general. La ecuación 13 brindará un panorama concreto de como se comportan cada uno de los metales analizados sobre la membrana de las plantas de los cultivos.

$$\begin{array}{c} Pb \\ Mg \\ Zn \\ Ni \\ Cu \\ Ca \end{array} \begin{array}{c} \left[\begin{array}{ccccc} D_{Pb-Mg} & D_{Pb-Zn} & D_{Pb-Ni} & D_{Pb-Cu} & D_{Pb-Ca} \\ & D_{Mg-Zn} & D_{Mg-Ni} & D_{Mg-Cu} & D_{Mg-Ca} \\ & & D_{Zn-Ni} & D_{Zn-Cu} & D_{Zn-Ca} \\ & & & D_{Ni-Cu} & D_{Ni-Ca} \\ & & & & D_{Cu-Ca} \end{array} \right] \\ \\ \\ \\ \\ \\ \end{array} \begin{array}{c} Pb \\ Mg \\ Zn \\ Ni \\ Cu \\ Ca \end{array} \begin{array}{c} \left[\begin{array}{ccccc} C_{Pb-Mg} & C_{Pb-Zn} & C_{Pb-Ni} & C_{Pb-Cu} & C_{Pb-Ca} \\ & C_{Mg-Zn} & C_{Mg-Ni} & C_{Mg-Cu} & C_{Mg-Ca} \\ & & C_{Zn-Ni} & C_{Zn-Cu} & C_{Zn-Ca} \\ & & & C_{Ni-Cu} & C_{Ni-Ca} \\ & & & & C_{Cu-Ca} \end{array} \right] \\ \\ \\ \\ \\ \\ \end{array} \begin{array}{c} Pb \\ Mg \\ Zn \\ Ni \\ Cu \\ Ca \end{array} \begin{array}{c} \left[\begin{array}{ccccc} \mathcal{V}_{Pb-Mg} & \mathcal{V}_{Pb-Zn} & \mathcal{V}_{Pb-Ni} & \mathcal{V}_{Pb-Cu} & \mathcal{V}_{Pb-Ca} \\ & \mathcal{V}_{Mg-Zn} & \mathcal{V}_{Mg-Ni} & \mathcal{V}_{Mg-Cu} & \mathcal{V}_{Mg-Ca} \\ & & \mathcal{V}_{Zn-Ni} & \mathcal{V}_{Zn-Cu} & \mathcal{V}_{Zn-Ca} \\ & & & \mathcal{V}_{Ni-Cu} & \mathcal{V}_{Ni-Ca} \\ & & & & \mathcal{V}_{Cu-Ca} \end{array} \right] \\ \\ \\ \\ \\ \\ \end{array} \begin{array}{c} Pb \\ Mg \\ Zn \\ Ni \\ Cu \\ Ca \end{array} \quad \begin{array}{c} 1) \\ \\ \\ \\ \\ \\ \end{array} \quad \begin{array}{c} 2) \\ \\ \\ \\ \\ \\ \end{array} \quad \begin{array}{c} 3) \\ \\ \\ \\ \\ \\ \end{array}$$

Fig. 17 Matrices de cada variable considerada

$$\begin{aligned} & \left(\frac{\partial C_{Pb}}{\partial t} \right) + \left(\frac{\partial C_{Mg}}{\partial t} \right) + \left(\frac{\partial C_{Zn}}{\partial t} \right) + \left(\frac{\partial C_{Ni}}{\partial t} \right) + \left(\frac{\partial C_{Cu}}{\partial t} \right) + \left(\frac{\partial C_{Ca}}{\partial t} \right) = \left[\oint \oint (\varepsilon D_{Pb-Mg} \varepsilon D_{Pb-Zn} \right. \\ & \varepsilon D_{Pb-Ni} \varepsilon D_{Pb-Cu} \varepsilon D_{Pb-Ca} \varepsilon D_{Mg-Zn} \varepsilon D_{Mg-Ni} \varepsilon D_{Mg-Cu} \varepsilon D_{Mg-Ca} \varepsilon D_{Zn-Ni} \varepsilon D_{Zn-Cu} \varepsilon D_{Zn-Ca} \\ & \varepsilon D_{Ni-Cu} \varepsilon D_{Ni-Ca} \varepsilon D_{Cu-Ca}) d\varepsilon dD * (C_{Pb-Mg} C_{Pb-Zn} C_{Pb-Ni} C_{Pb-Cu} C_{Pb-Ca} C_{Mg-Zn} \\ & C_{Mg-Ni} C_{Mg-Cu} C_{Mg-Ca} C_{Zn-Ni} C_{Zn-Cu} C_{Zn-Ca} C_{Ni-Cu} C_{Ni-Ca} C_{Cu-Ca}) dC - \oint (\varepsilon \mathcal{V}_{Pb-Mg} \\ & C_{Pb-Mg}) (\varepsilon \mathcal{V}_{Pb-Zn} C_{Pb-Zn}) (\varepsilon \mathcal{V}_{Pb-Ni} C_{Pb-Ni}) (\varepsilon \mathcal{V}_{Pb-Cu} C_{Pb-Cu}) (\varepsilon \mathcal{V}_{Pb-Ca} C_{Pb-Ca}) (\varepsilon \mathcal{V}_{Mg-Zn} C_{Mg-Zn}) \\ & (\varepsilon \mathcal{V}_{Mg-Ni} C_{Mg-Ni}) (\varepsilon \mathcal{V}_{Mg-Cu} C_{Mg-Cu}) (\varepsilon \mathcal{V}_{Mg-Ca} C_{Mg-Ca}) (\varepsilon \mathcal{V}_{Zn-Ni} C_{Zn-Ni}) (\varepsilon \mathcal{V}_{Zn-Cu} C_{Zn-Cu}) \\ & (\varepsilon \mathcal{V}_{Zn-Ca} C_{Zn-Ca}) (\varepsilon \mathcal{V}_{Ni-Cu} C_{Ni-Cu}) (\varepsilon \mathcal{V}_{Ni-Ca} C_{Ni-Ca}) (\varepsilon \mathcal{V}_{Cu-Ca} C_{Cu-Ca}) dC \end{aligned} \quad (13)$$

3.4. Modelo matemático de predicción pluvial

Se obtuvieron los datos de precipitación pluvial en la ciudad de Puebla en el periodo 01/enero/2019 al 31/diciembre/2021 del observatorio meteorológico de Puebla ubicado al norte de la ciudad: 21065 PUEBLA (OBS) latitud 98 longitud 10 0W 19 3 0N altura 2179 m. Los datos obtenidos fueron graficados con la finalidad de visualizar el comportamiento de la

lluvia y establecer las ecuaciones de la recta que demuestren el comportamiento entre el valor mínimo y el máximo (Fig. 18).

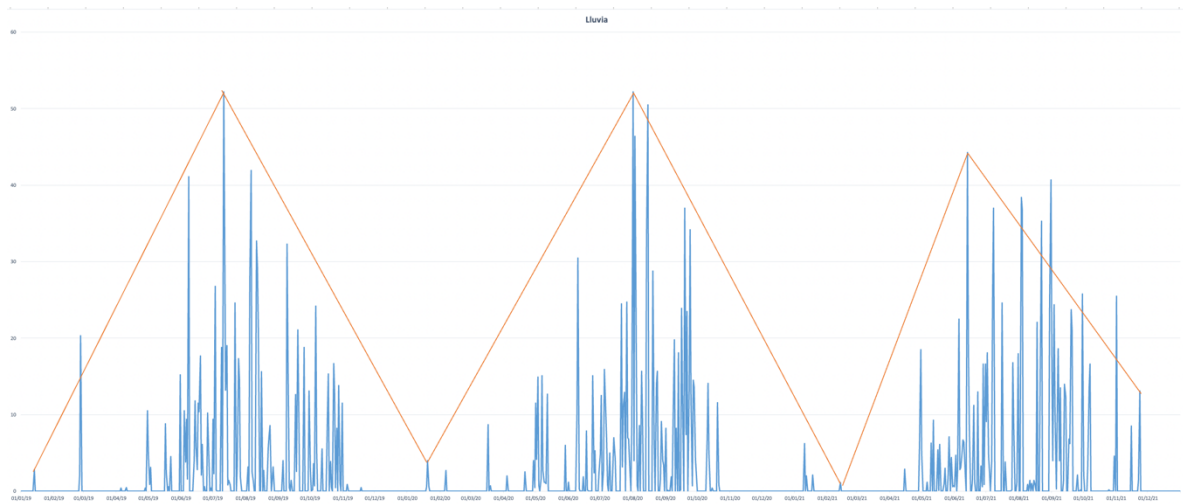


Fig. 18 Precipitación pluvial en mm en la ciudad de Puebla en el periodo enero 2019 – diciembre 2021

Los datos graficados se encuentran en mm y es posible observar que siguen un ciclo similar cada año con algunos datos atípicos.

Se establecieron seis ecuaciones para cada periodo observado con líneas naranjas en la figura 18; se dispone como periodo a los datos que se encuentran entre la fecha con menos precipitación pluvial: 13 de enero de 2019 con 2.8 mm y el día con una mayor cantidad de lluvia: 11 de julio de 2019 con 52.2 mm y viceversa.

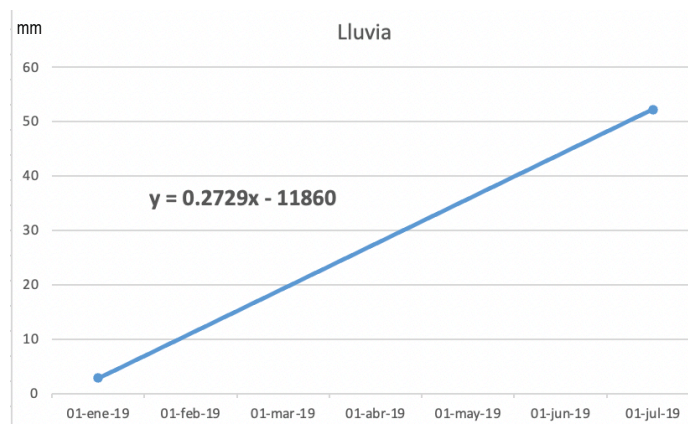


Fig. 19 Evaluación de la recta para el primer periodo de lluvia registrado

La figura 19 expone la primera ecuación del primer periodo; se realizó lo mismo para los 5 periodos restantes y las ecuaciones obtenidas se observan en la tabla 4. Es importante

mencionar que la última fecha del primer periodo es el inicio del segundo periodo y así sucesivamente.

Tabla 4 Ecuaciones obtenidas por cada recta de periodo

Periodo	Fecha min.	Lluvia (mm)	Fecha máx.	Lluvia (mm)	Ecuación obtenida
1	13/01/19	2.8	11/07/19	52.2	$y = 0.2729x - 11860$
2	11/07/19	52.2	20/01/20	4	$y = -48.2x + 100.4$
3	20/01/20	4	01/08/20	52.2	$y = 48.2x - 44.2$
4	01/08/20	52.2	13/02/21	1.1	$y = -51.1x + 103.3$
5	13/02/21	1.1	13/06/21	44.3	$y = 43.2x - 42.1$
6	13/06/21	44.3	23/11/21	13.1	$y = -31.2x + 75.5$

Una vez obtenidas las ecuaciones se estableció una función que lograra representar una lista de datos con el mismo comportamiento que los datos reportados por el observatorio y de esta manera predecir el comportamiento de las precipitaciones en los próximos años.

3.5. Importancia de la agricultura urbana en jóvenes universitarios

Se aplicó una encuesta a estudiantes universitarios de la zona urbana de Puebla en los meses de julio a octubre del 2022 (Anexo 2). El cuestionario aplicado fue previamente validado por investigadores expertos en temas de “agricultura urbana”.

El tamaño de la muestra fue de 318 estudiantes de diferentes universidades de la ciudad: 1) Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla (UPAEP), 2) Universidad Politécnica Metropolitana de Puebla (UPMP), 3) Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP), 4) Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey campus Puebla (ITESM), 5) Universidad de las Américas Puebla (UDLAP), y 6) Universidad Iberoamericana Puebla (IBERO). El cuestionario elaborado en la plataforma de “Google Forms” consta de 24 preguntas abiertas, de selección múltiple y de escala Likert que buscan conocer el nivel de conocimiento de cada estudiante en temas de agricultura urbana, en la frecuencia de consumo de frutas y verduras, así como la disposición de cada encuestado para implementar la ecotecnia propuesta en sus hogares. Por último, se establece una serie de beneficios sociales,

ambientales y económicos obtenidos al implementar la ecotecnia y se solicita identificar a aquellos más importantes con la finalidad de conocer la perspectiva del grupo de estudio.

El cuestionario se compone de tres secciones, la primera sección consiste en ocho preguntas de escala Likert; el objetivo principal de esta sección es obtener información del nivel socioeconómico de los encuestados. Es importante recolectar información sobre el nivel de escolaridad, número de personas viviendo en el hogar, ingresos destinados en la compra de frutas y verduras, así como la cantidad de desperdicios orgánicos generados por la descomposición de alimentos.

En esta sección es abordado el concepto general de ecotecnia y se recolectan datos sobre las ecotecnia más utilizadas por parte de los encuestados. En esta primera sección se pretende reconectar a los estudiantes universitarios con conceptos básicos de soluciones sustentables en las ciudades.

La segunda parte del cuestionario evalúa la disposición de la agricultura urbana y los indicadores específicos que permiten conocer los beneficios de adquirir la ecotecnia propuesta.

La última sección del cuestionario pretende recolectar información sobre la disposición de adquirir una ecotecnia de huertos urbanos y captación pluvial en sus hogares, se solicita información relacionada al lugar disponible para la instauración del huerto, la disposición en horas para el mantenimiento del mismo, así como datos técnicos indispensables como el número de horas diarias de sol directo recibido en el lugar propuesto, esto debido a que los cultivos requieren de sol, nutrientes y recurso hídrico para su desarrollo.

Se realizan preguntas abiertas con el objetivo de conocer las razones específicas de los encuestados para adquirir o no la ecotecnia propuesta.

3.6. Indicadores de sostenibilidad para evaluar la ecotecnia

Previo la instauración de indicadores de sustentabilidad que permitan evaluar la ecotecnia propuesta es necesario realizar un análisis bibliométrico de los conceptos que engloban este tema con la finalidad de conocer de manera cuantitativa el desarrollo y la importancia de la metodología establecida y publicada en diversos documentos escritos.

El primer paso fue realizar una búsqueda de documentos en la plataforma SCOPUS; las condiciones de búsqueda fueron establecidas con los parámetros: (*TITLE-ABS-KEY* ("Indicator")) AND *TITLE-ABS-KEY* ("Urban agriculture")) AND *PUBYEAR* > 2017. La búsqueda pretende encontrar información del estado del arte de estos conceptos por lo que únicamente se concentró en el periodo enero 2018 a septiembre 2022. Se obtuvieron un total de 111 documentos en inglés, de 462 autores de diferentes países; con excepción de un artículo en el idioma español. Los documentos encontrados correspondieron en su mayoría a artículos con un total de 96, seguido por 7 artículos de revisión, 4 documentos provenientes de conferencias, 1 capítulo de libro, y revisión de sesiones (3).

Para el análisis verídico de los datos obtenidos en SCOPUS, se recuperó el documento .cvs que fue ejecutado en el software estadístico R-3.6.2 con la finalidad de obtener tablas y representaciones gráficas de los datos más importantes. La información analizada se centra en: conocer aquellos países que cuentan con una mayor producción científica en cuanto la agricultura urbana y los indicadores de evaluación; conocer los documentos más citados en el periodo de tiempo para identificar aquellos indicadores de mayor frecuencia y los posibles parámetros a utilizar según la literatura; por último, se destacan los temas tendencia a lo largo de los años; así mismo, a través de la estructura conceptual de los principales temas y conceptos en la investigación científica, se identificaron las redes de co-ocurrencia de palabras clave para la comprensión del tema y la visualización de futuras líneas de investigación.

Para la red de co-ocurrencia de palabras clave se establecieron 25 nodos con 25 etiquetas de palabras clave que permitieran visualizar todas las líneas de conexión entre los conceptos. Las palabras destacadas en círculos más grandes indican temas de mayor relevancia y frecuencia entre los autores, de igual manera las líneas más gruesas demuestran una vinculación mayor, facilitando la identificación de aquellos conceptos de mayor influencia en el tema.

Para establecer los indicadores específicos en la ecotecnia propuesta, se analizaron los artículos derivados de la búsqueda de SCOPUS, considerando aquellos documentos que establecieran indicadores basados en los Objetivos de Desarrollo sostenible de la Agenda 2030 con relación a los huertos urbanos a pequeña escala. A partir de la base de datos de los

111 artículos encontrados en SCOPUS; que contiene la información respecto a: (a) título del artículo, (b) nombre de autores, (c) año de publicación, (d) DOI o URL de acceso, y (e) el resumen de cada documento, f) palabras clave, g) país de publicación, entre otras; se establecieron una serie de criterios para la clasificación de los documentos y su posterior análisis. Mediante un sistema de semaforización, se identificaron los artículos que evaluaban y exponían indicadores focalizados en los tres sectores de la sostenibilidad: social, ambiental y económico. La selección y semaforización de los artículos consideró los siguientes criterios:

- 1) Los artículos marcados con verde correspondieron a todos aquellos documentos que evaluaron sistemas de agricultura urbana mediante indicadores basados en los tres sectores de la sostenibilidad; siendo este el criterio principal.
- 2) Los artículos marcados de color naranja fueron aquellos documentos que evaluaban únicamente uno o dos sectores de la sostenibilidad siendo artículos con enfoque socio-ambiental y/o socio-económico;
- 3) Por último, los documentos marcados en rojo fueron reportes que no evaluaban los sistemas de agricultura mediante indicadores sostenibles.

De un total de 111 artículos, se obtuvieron 28 artículos verdes, 38 naranjas, y 45 rojos.

El siguiente paso fue recabar los extensos con el propósito de identificar los indicadores de mayor frecuencia propuestos por los diferentes autores. Los documentos fueron consultados mediante la plataforma SCOPUS (11), la biblioteca digital de UPAEP (6), GOOGLE Académico (8) y la plataforma Web of Science (3). Un artículo fue descartado debido a que no se encontró en acceso libre o en las plataformas mencionadas anteriormente.

Una vez identificados los artículos que evaluaron los sistemas de agricultura urbana mediante indicadores basados en los tres sectores de la sostenibilidad (ambiental, económico y social), se hizo una vinculación de éstos con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y las metas específicas de cada ODS para desarrollar la evaluación del proyecto mediante el establecimiento de indicadores específicos.

Se encontró que la ecotecnia se relaciona directamente con ocho ODS y 11 metas específicas, las cuales se describen en la tabla 5, resaltando en negritas el beneficio particular que la ecotecnia propuesta pretende cumplir.

Tabla 5 ODS y metas consideradas para el establecimiento de indicadores

ODS	Meta que aplica al proyecto
2.- Hambre cero	<p>2.2 Para 2030, poner fin a todas las formas de malnutrición, incluso logrando, a más tardar en 2025, las metas convenidas internacionalmente sobre el retraso del crecimiento y la emaciación de los niños menores de 5 años, y abordar las necesidades de nutrición de las adolescentes, las mujeres embarazadas y lactantes y las personas de edad</p> <p>2.4 Para 2030, asegurar la sostenibilidad de los sistemas de producción de alimentos y aplicar prácticas agrícolas resilientes que aumenten la productividad y la producción, contribuyan al mantenimiento de los ecosistemas, fortalezcan la capacidad de adaptación al cambio climático, los fenómenos meteorológicos extremos, las sequías, las inundaciones y otros desastres, y mejoren progresivamente la calidad del suelo y la tierra</p>
3.- Salud y bienestar	3.9 Para 2030, reducir sustancialmente el número de muertes y enfermedades producidas por productos químicos peligrosos y la contaminación del aire, el agua y el suelo
4.- Educación de Calidad	4.7 De aquí a 2030, asegurar que todos los alumnos adquieran los conocimientos teóricos y prácticos necesarios para promover el desarrollo sostenible , entre otras cosas mediante la educación para el desarrollo sostenible y los estilos de vida sostenibles, los derechos humanos, la igualdad de género, la promoción de una cultura de paz y no violencia, la ciudadanía mundial y la valoración de la diversidad cultural y la contribución de la cultura al desarrollo sostenible
5.- Igualdad de género	5.5 Asegurar la participación plena y efectiva de las mujeres y la igualdad de oportunidades de liderazgo a todos los niveles decisorios en la vida política, económica y pública
6.- Agua limpia y saneamiento	6.4 De aquí a 2030, aumentar considerablemente el uso eficiente de los recursos hídricos en todos los sectores y asegurar la sostenibilidad de la extracción y el abastecimiento de agua dulce para hacer frente a la escasez de agua y reducir considerablemente el número de personas que sufren falta de agua.
11.- Ciudades y comunidades sostenibles	11.3 De aquí a 2030, aumentar la urbanización inclusiva y sostenible y la capacidad para la planificación y la gestión participativas, integradas y sostenibles de los asentamientos humanos en todos los países

	11.7 De aquí a 2030, proporcionar acceso universal a zonas verdes y espacios públicos seguros, inclusivos y accesibles , en particular para las mujeres y los niños, las personas de edad y las personas con discapacidad
12.- Producción y consumo responsable	12.3 De aquí a 2030, reducir a la mitad el desperdicio de alimentos per cápita mundial en la venta al por menor y a nivel de los consumidores y reducir las pérdidas de alimentos en las cadenas de producción y suministro, incluidas las pérdidas posteriores a la cosecha 12.8.a Ayudar a los países en desarrollo a fortalecer su capacidad científica y tecnológica para avanzar hacia modalidades de consumo y producción más sostenibles
13.- Acción por el clima	13.3 Mejorar la educación, la sensibilización y la capacidad humana e institucional respecto de la mitigación del cambio climático , la adaptación a él, la reducción de sus efectos y la alerta temprana

El siguiente paso consistió en relacionar cada meta específica de la Agenda 2030 con la contribución de la ecotecnia propuesta, una vez establecidas las contribuciones de la ecotecnia, se generó una matriz de hallazgos con todos los indicadores recabados de los artículos seleccionados anteriormente, esto con el propósito de identificar aquellos que permitieran evaluar y comprobar la contribución propuesta de la tabla 5.

De los 27 artículos seleccionados se identificaron un total de 415 indicadores de los tres sectores de sostenibilidad propuestos por diversos autores, siendo así, 150 indicadores ambientales, 175 sociales y 90 económicos.

Cabe mencionar que, los indicadores de sostenibilidad aplicados a un sistema de agricultura urbana dependerán de la etapa de cada proyecto. El equipo de HoffmanHayes establecen que el desarrollo de un huerto urbano requiere aproximadamente 5 años desde la generación de ideas hasta la evaluación de un sistema en cuánto a su producción de alimentos y la influencia del mismo en la sociedad y medio ambiente (HOFFMANNHAYES, s/f).

Por tal motivo, se consideraron únicamente aquellos indicadores que evalúan la generación de ideas, la planeación y la implementación a nivel prototipo de un sistema de agricultura urbana vinculado a captación pluvial, etapa actual en la que se encuentra el presente proyecto. De esta manera se establecieron los indicadores específicos clasificados en nueve diferentes categorías: 1) seguridad alimentaria, 2) biodiversidad, 3) producción y alimento sostenible, 4) residuos y fertilización, 5) educación ambiental, 6) socioterritorial, 7) agua, 8) estética del

diseño y 9) calidad del aire, con la finalidad de conocer la orientación principal de cada indicador y facilitar el entendimiento en cuanto al cumplimiento del ODS y meta particular.

La tabla 6 describe de manera simplificada la metodología redactada anteriormente, exponiendo la semaforización propuesta y el número de documentos para cada grupo clasificado, de igual manera, enuncia a los autores que proponen indicadores para el cumplimiento del ODS y la meta específica seleccionada.

Tabla 6 Metodología simplificada de propuesta de indicadores sostenibles

Análisis bibliométrico		
111 documentos		
Tipo de documento	Número de documentos	
artículos	96	
artículos de revisión, conferencias	7	
capítulo de libro	4	
revisión de sesiones	1	
	3	
Criterios de semaforización		
Color de clasificación	Criterio	Núm. de publicaciones
Verde	Indicadores basados en los tres sectores de la sostenibilidad	28
Naranja	Evaluación de uno o dos sectores sostenibles	38
Rojo	Sin evaluación de algún sector de la sostenibilidad	45
Relación de los 28 documentos “verdes” con ODS y meta específica		
ODS	Meta específica	Autores que proponen indicadores para el cumplimiento del ODS
ODS 2. Hambre cero	Meta 2.2	Gómez-Villarino & Ruiz-García, 2021 Toboso-Chavero et al., 2021 Wang et al., 2021

	Meta 2.4	Artmann & Sartison, 2018 Fernández et al., 2020 Gómez-Villarino & Ruiz-García, 2021 Toboso-Chavero et al., 2021
ODS 3. Salud y bienestar	Meta 3.9	Buscaroli et al., 2021 Chiappe Hernández, 2019 Nie et al., 2022 Zasada et al., 2020
ODS 4. Educación de calidad	Meta 4.7	Artmann & Sartison, 2018 Hong et al., 2020
ODS 5. Igualdad de género	Meta 5.5	Caneva et al., 2020 Fernández et al., 2020 Nie et al., 2022 Zhao & Zhang, 2019
ODS 6. Agua limpia y saneamiento	Meta 6.4	Mino et al., 2021 Nadal et al., 2018 Valencia et al., 2022
ODS 11. Ciudades y comunidades sostenibles	Meta 11.3	Hong et al., 2020 Miller, 2019 Tehiesen et al., 2022
	Meta 11.7	Gómez-Villarino & Ruiz-García, 2021 Thiesen et al., 2022
ODS 12. Producción y consumo responsable	Meta 12.3	Artmann & Sartison, 2018 Gómez-Villarino & Ruiz-García, 2021 Ilieva et al., 2022
	Meta 12.8.a	Artmann & Sartison, 2018 Liang et al., 2019 Thiesen et al., 2022
ODS 13. Acción por el clima	Meta 13.3	Thiesen et al., 2022

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Modelo final de la ecotecnia

Se realizaron seis diferentes modelos de ecotecnia cada uno evaluando factores indispensables para la obtención de una mayor cantidad de agua pluvial en un espacio reducido. El modelo final consiste en una estructura de 3.10 m de largo x 2.70 m de ancho y 2.50 m de alto con un techo a dos aguas de 0.50 m de alto. Cuenta con quince soportes verticales, destinados para la colocación de los diferentes cultivos, y de igual manera brindan estabilidad al sistema completo. En la parte inferior del techo se colocaron cuatro canaletas de 0.20 m de alto que guiarán el fluido captado en el techo a los respectivos tanques de almacenamiento (Fig. 20).

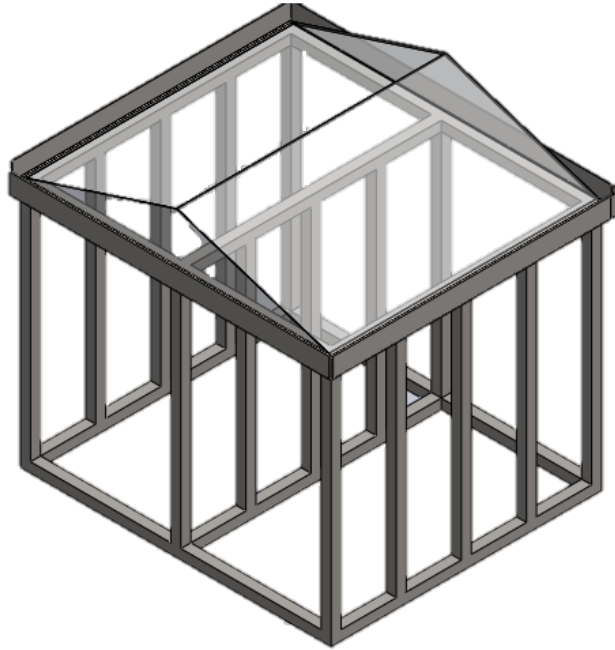


Fig. 20 Modelo final de la ecotecnia propuesta

Para el primer modelo de ecotecnia se diseñó un sistema de captación con techo a dos aguas y soportes horizontales por ambos lados de la ecotecnia, al realizar la simulación del comportamiento del fluido se concluyó que a pesar de ser a dos aguas la altura del mismo no era la adecuada ya que una gran cantidad de agua se perdía antes de llegar a las canaletas. Las simulaciones de fuerza realizadas en la base de la ecotecnia comprobaron que la estructura sufría deformaciones con un peso mínimo por lo que fue necesario considerar las

modificaciones pertinentes para el segundo modelo. Para el segundo modelo se modificó la geometría del techo, implementando una estructura cónica con la finalidad de evaluar si el fluido recorría el techo con mayor facilidad. Sin embargo, la altura del mismo se convirtió de nuevo en un impedimento para una mayor captura de agua pluvial. En relación al soporte de la base, se implementaron dos crucetas en ambos lados de la ecotecnia para brindar una mayor estabilidad empero el espacio destinado para los cultivos fue reducido y las crucetas no brindaron la resistencia deseada (Fig. 21).

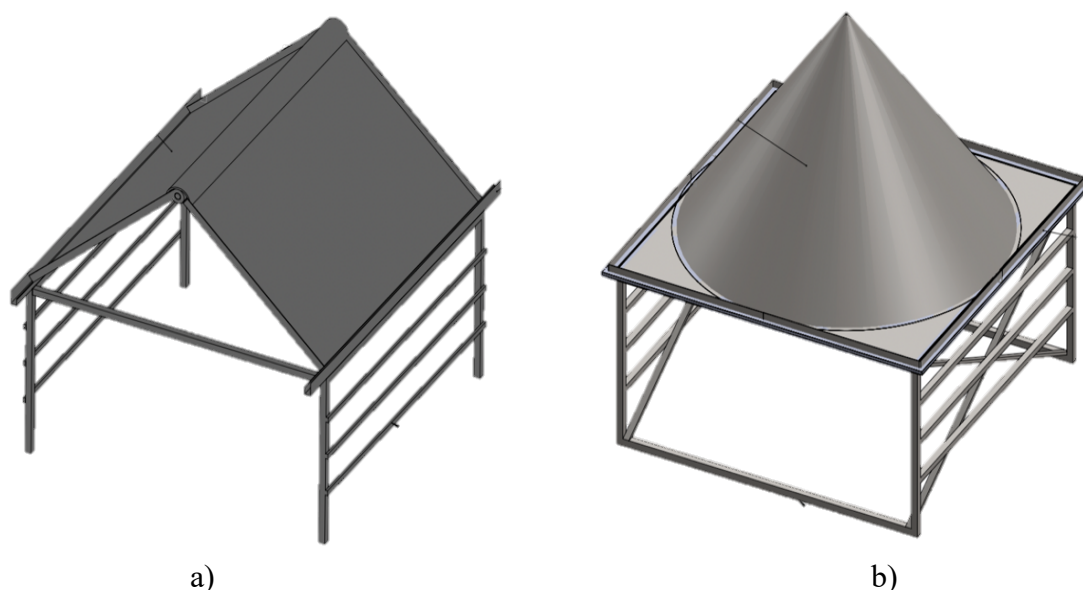


Fig. 21 a) Primer y b) segundo modelo de ecotecnia

En el tercer modelo se modificó la estructura de la base y se colocaron dos divisiones al centro de la base con el objetivo de establecer una mayor área destinada para las plantas, de igual manera se modificó el techo reduciendo la anchura del cono para recolectar más agua pluvial en los espacios planos del techo; el pico del techo provocaba salpicaduras imposibles de recolectar por lo que se determinó un cono medio para el cuarto modelo de la ecotecnia. La cantidad de agua pluvial que se desperdiciaba en los modelos con techo cónico era mayor que aquella que se perdía en el techo a dos aguas por lo que se determinó modificar la estructura del techo a cuatro aguas con el propósito de obtener una mejor captación (Fig. 22).

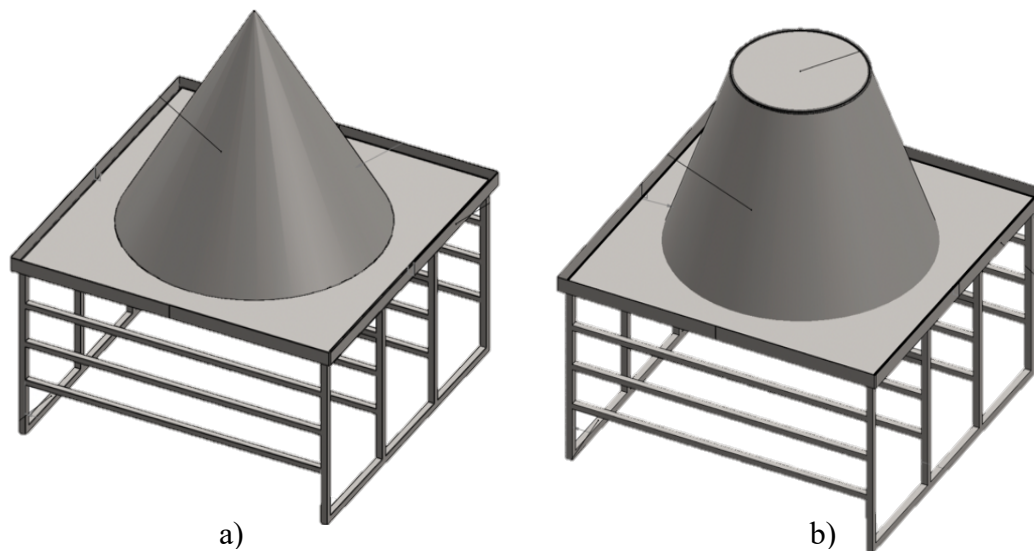


Fig. 22 Tercer y cuarto modelo de ecotecnia, a) y b) respectivamente

En el quinto y sexto modelo permaneció la estructura de la base de la misma manera que en el tercer modelo, sin embargo, el techo modificado captó una mayor cantidad de agua que en los techos cónicos. El último pico del techo del quinto modelo ocasionaba una pérdida de agua que se intentó solucionar con el sexto modelo al colocar una geometría en forma de cúpula en la parte superior, desafortunadamente el resultado obtenido no fue satisfactorio (Fig. 23).

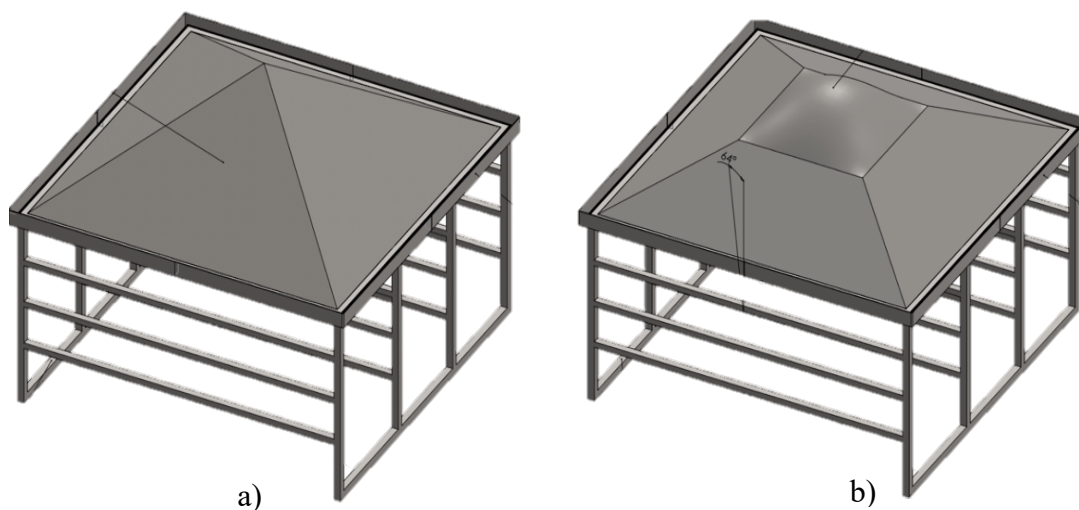


Fig. 23 Quinto (a) y sexto (b) modelo de ecotecnia propuesto

En el séptimo y último modelo de la ecotecnia se modificó el techo, regresando a la estructura a dos aguas, pero disminuyendo la altura del mismo, de igual manera, se modificó la

estructura de la base implementando soportes de manera vertical para tener una óptima estructura para el sostén de los cultivos, de esta manera era posible colocar un mayor número de plantas por cada soporte vertical.

Es posible consultar las dimensiones específicas de cada uno de los modelos propuestos en el anexo 3.

4.2. Simulación de los modelos de ecotecnia propuestos

Con las simulaciones realizadas fue posible observar el comportamiento del fluido sobre el techo de la ecotecnia, se obtuvieron datos de velocidad y vorticidad de flujo, número de Prandtl y número de Reynolds; En la figura 24 se observa el comportamiento del fluido al caer en el techo de la ecotecnia, la intensidad de turbulencia es adecuada, sin embargo, es observable que al llegar a las canaletas el fluido se pierde y no sigue la dirección de los canales para su futura recolección.

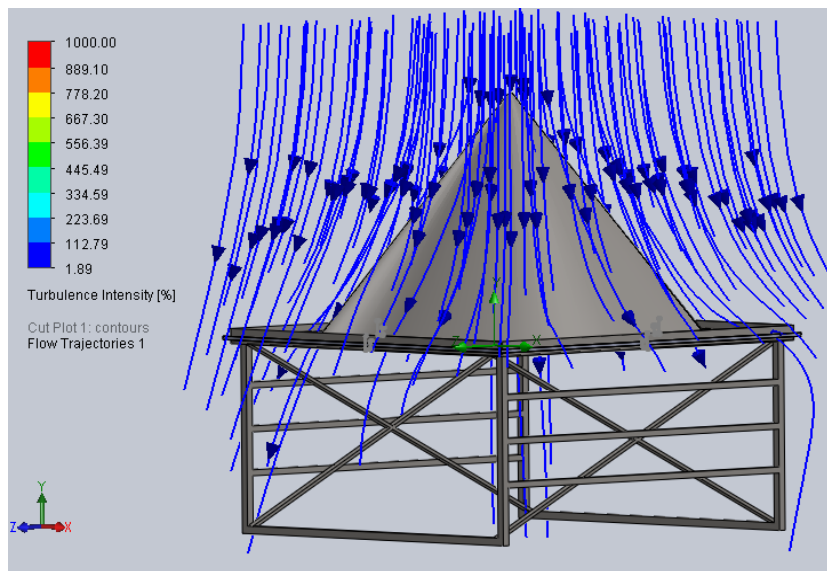


Fig. 24 Turbulencia del flujo en el segundo modelo

En el cuarto modelo (Fig. 25) la geometría del techo de la ecotecnia impide recolectar el fluido, ya que casi toda el agua que cae se pierde sin llegar a las canaletas, el modelo 4 es un diseño poco óptimo para la recolección del agua de lluvia.

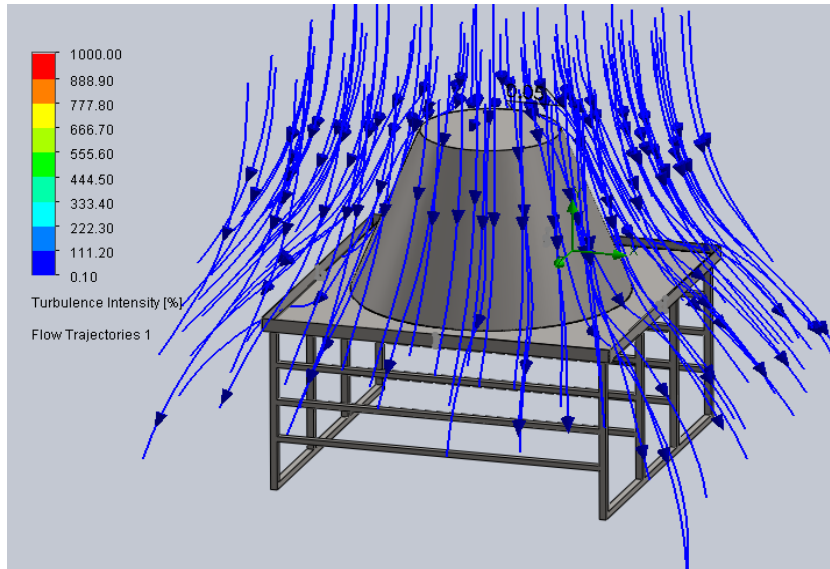


Fig. 25 Turbulencia del flujo en el cuarto modelo de ecotecnia

En la figura 26 se observa el sexto modelo propuesto, se esperaría que al ser una geometría de cuatro aguas y con una forma cóncava en la parte superior se recolectaría una mayor cantidad de agua que el modelo anterior, sin embargo, es posible observar que se pierde una gran cantidad de fluido; es probable que la parte superior del techo brinde una mayor velocidad al fluido generando una vorticidad más alta en la parte inferior lo que ocasiona que el fluido salga del techo sin tener la oportunidad de recorrer las canaletas para su recolección y almacenamiento.

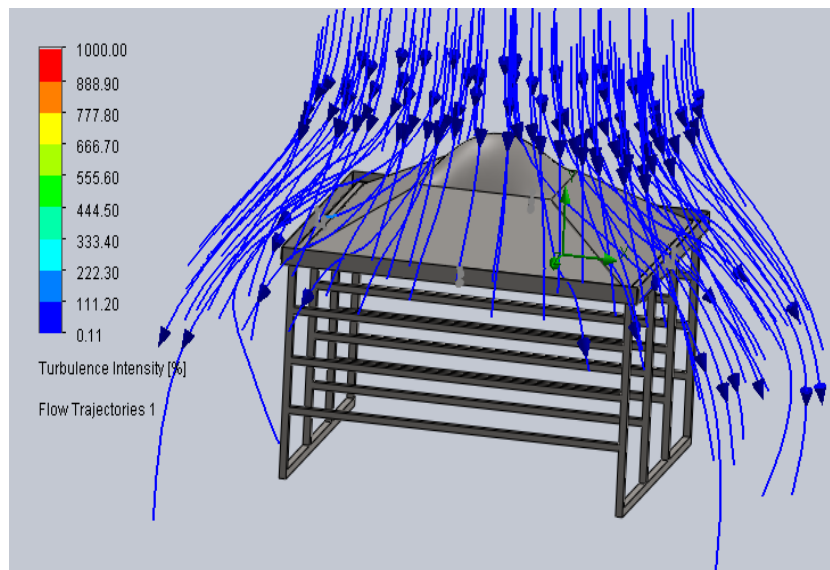


Fig. 26 Turbulencia del flujo en el sexto modelo de ecotecnia

Con el modelo final propuesto se observa únicamente la geometría a dos aguas en donde la velocidad del fluido es menor y por la tanto se genera una menor turbulencia, en la imagen 27a se puede observar que una parte del fluido se pierde, sin embargo, si observamos la ecotecnia desde la parte superior (Fig.27b) podemos percibir que gran parte del fluido se logra recolectar por las canaletas, fenómeno que no sucedió con los seis modelos anteriores.

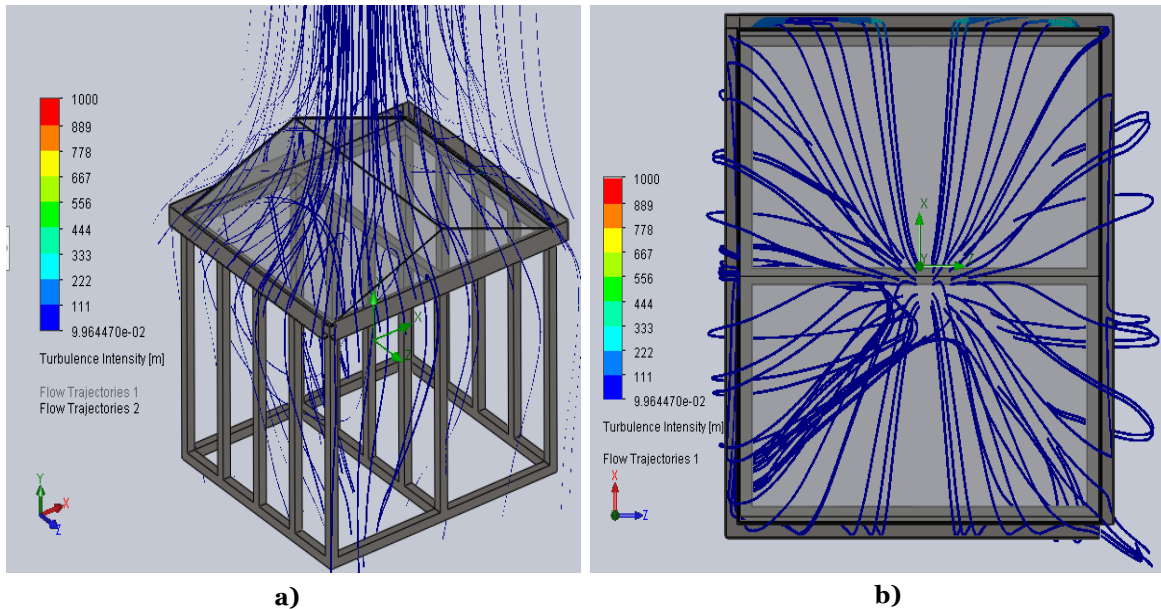


Fig. 27 Turbulencia del flujo en el modelo final de la ecotecnia

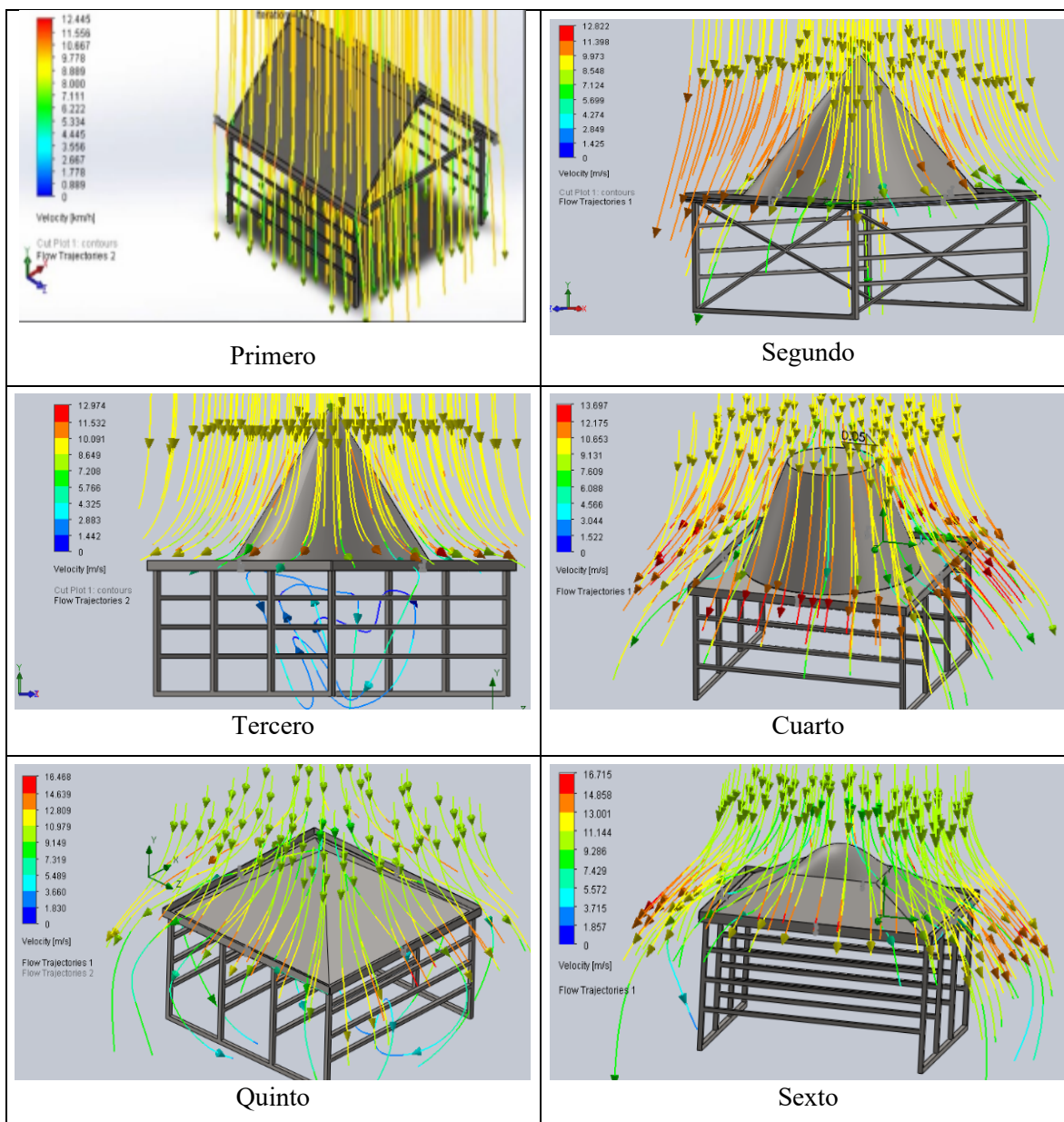
La velocidad de flujo fue una variable importante para la selección del modelo óptimo; en la tabla 7 se ilustran los modelos iniciales y se observa una velocidad inicial de aproximadamente 10 m/s para todas las simulaciones, cuando el fluido desciende y toca la superficie de la ecotecnia aumenta su velocidad provocando el esparcimiento del mismo fuera del techo; en algunos casos la velocidad disminuye lo que facilita su transporte por la canaleta para su futura recolección.

Es posible observar que el cuarto modelo propuesto cuenta con la geometría menos óptima para la captación y aprovechamiento de agua de lluvia ya que las flechas rojas se intensifican en la parte inferior del techo de la ecotecnia lo que nos indica que existe una velocidad de 13 m/s aprox. causando la pérdida de la mayor parte del fluido.

Los techos cónicos como es el caso del modelo 2 y 3 facilitan la trayectoria del fluido, pero debido a la altura inicial de la geometría del techo se genera un aumento de velocidad en la

parte inferior lo que provoca perdidas de agua. Para evitar la pérdida del recurso por el aumento de velocidad en la parte inferior, sería necesario aumentar la altura externa de las canaletas que interrumpiría el trayecto del fluido, sin embargo, generaría una mayor vorticidad.

Tabla 7 Simulación de velocidad de flujo de los modelos evaluados



En el primer modelo diseñado a dos aguas se observa una disminución de velocidad de flujo, este modelo es óptimo, sin embargo, con las herramientas de SolidWorks que permiten

observar la trayectoria completa del fluido se visualizó que la altura del mismo impedía la recolección final del recurso por lo que se diseñaron nuevas geometrías para comprobar que el techo holandés o a dos aguas es la geometría óptima para la captación de agua pluvial.

Para el quinto modelo se propuso un techo con geometría de cuatro aguas, es posible observar que la velocidad inicial disminuye a 7 m/s en la parte superior del techo y después aumenta de 12 m/s a 14 m/s en la parte inferior de la misma. Se consideró que añadiendo una geometría cóncava en el sexto modelo era posible disminuir la velocidad del flujo, sin embargo, esta aumentó considerablemente alcanzando los 16 m/s en algunas partes de la ecotecnia por lo que la geometría final regresó a un modelo de dos aguas.

Para el modelo final se estableció una altura del techo de 0.50 m con geometría a dos aguas, en la figura 28,a se visualiza la velocidad de flujo del fluido con colores verdes y azules que representan una velocidad de entre 1 m/s y 6 m/s. En este modelo la velocidad disminuye considerablemente en comparación con los primeros seis modelos propuestos. De igual manera en la figura 28,b se observa la trayectoria del fluido y la vorticidad generada en el techo de la ecotecnia en donde la cantidad de agua que se pierde es mínima debido a la presencia de un flujo tipo laminar en las canaletas.

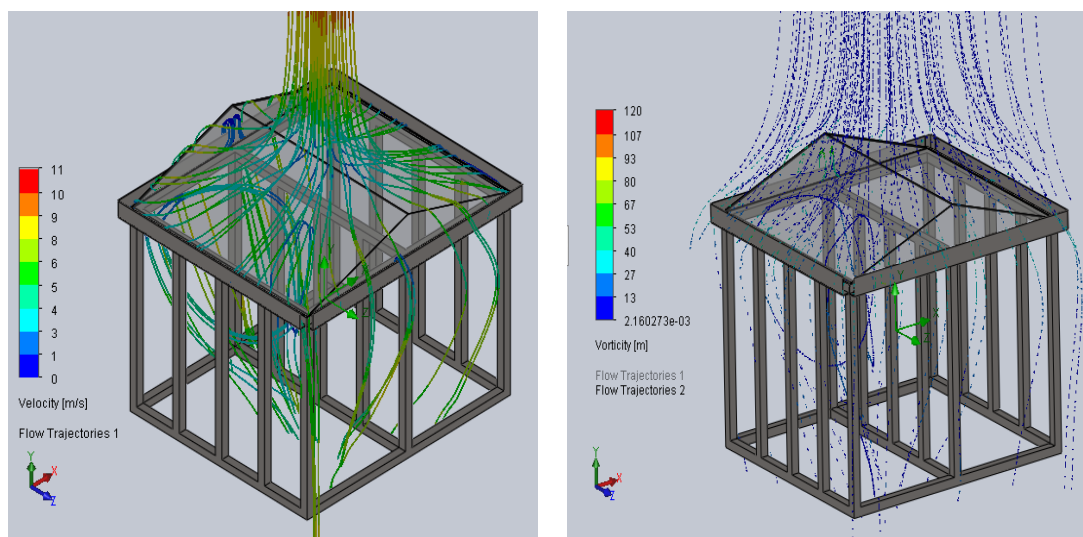


Fig. 28 Simulación de velocidad y vorticidad de flujo en el modelo final

Una vez establecido el modelo final en función a la geometría del techo y la mayor obtención de agua pluvial, se realizó el análisis de resistencia de fuerza en la base de la ecotecnia debido a que era la pieza que cargaría todos los cultivos. Con la simulación se comprobó que era

posible colocar un peso de hasta 200 N sin sufrir deformaciones considerables que pudieran afectar la estabilidad de la misma. En la figura 29 se observa la malla discretizada establecida para el análisis, donde se consideró una forma adaptativa con la finalidad de obtener resultados concretos, de igual manera se observa la dirección de la fuerza con las flechas moradas y la superficie fija marcada con las flechas verdes que evitarán que exista un movimiento en la parte inferior de la base ya que la ecotecnia se mantendrá anclada al sitio final destinado.

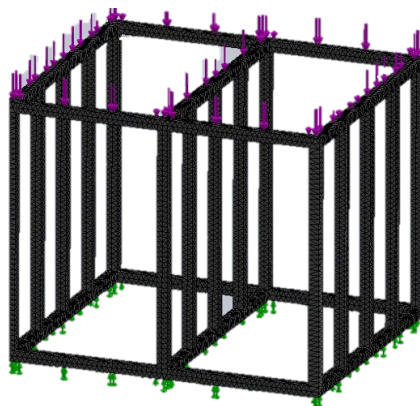


Fig. 29 Malla discretizada adaptativa en la base de la ecotecnia

La figura 30 muestra la simulación de VonMises realizada a la base, es posible observar que la ecotecnia sufre una tensión mayor en la parte superior horizontal, sin embargo, en los soportes verticales de la misma no se observó alguna tensión mayor.

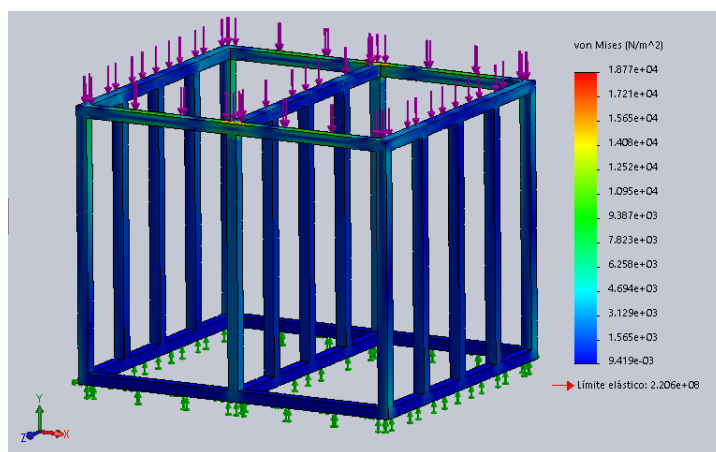


Fig. 30 Simulación de VonMises en la base de la ecotecnia

Las fuerzas de resistencia ilustradas en la figura 31 representan la estabilidad de la ecotecnia y el estiramiento máximo del material antes de su posible ruptura. El material establecido para todas las simulaciones fue acero al carbón y es posible observar una mayor tensión en la parte superior. Para este caso particular, la tensión se concentra en el soporte vertical central de la ecotecnia.

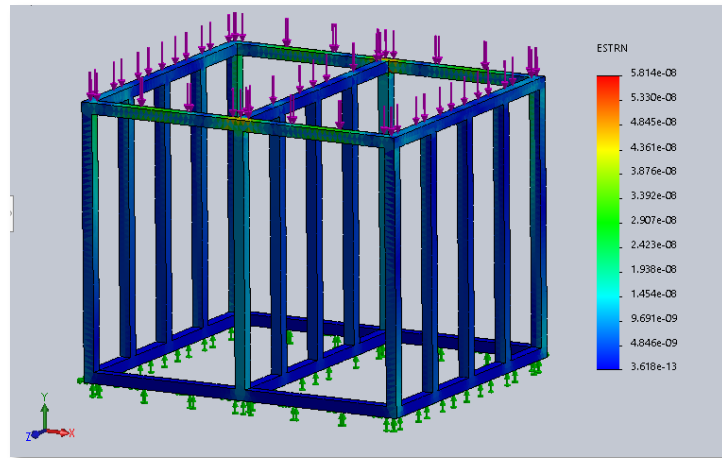


Fig. 31 Simulación de fuerzas de resistencia en la base de la ecotecnia

Con cada simulación se graficaron los datos obtenidos para visualizar los resultados de una manera más concreta y evaluar la mecánica de fluidos en cada modelo. La figura 32 expone la gráfica del número de Prandtl a diferentes alturas del techo en el modelo final de ecotecnia, estos valores son directamente proporcionales con la velocidad de flujo de entrada descrita anteriormente.

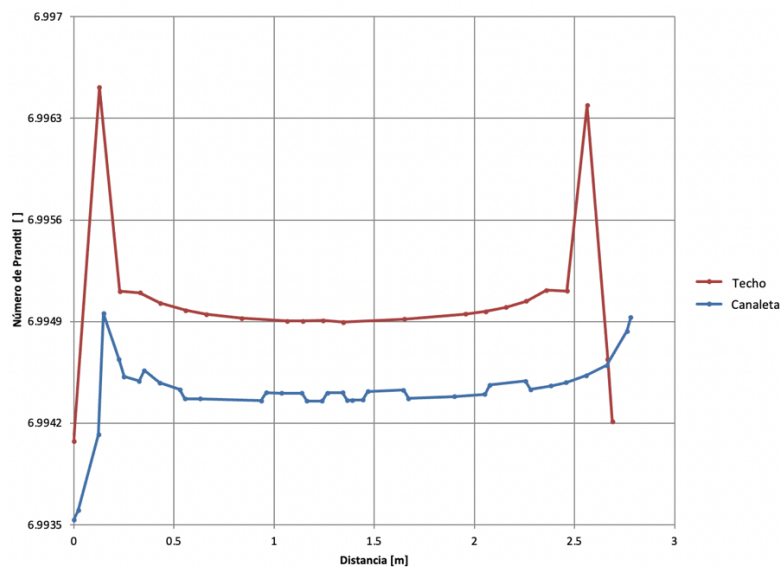


Fig. 32 Número de Prandtl del modelo final

La vorticidad del fluido está directamente relacionada con el número de Reynolds que nos indicará si el flujo es laminar o turbulento. En la figura 33 se visualiza la dinámica del fluido al recorrer el techo del modelo óptimo propuesto, en la parte superior existe un flujo laminar que da como resultado una menor vorticidad, por el contrario, cuando el fluido llega a la canaleta se genera una mayor turbulencia y por lo tanto el número de Reynolds corresponderá a un flujo turbulento.

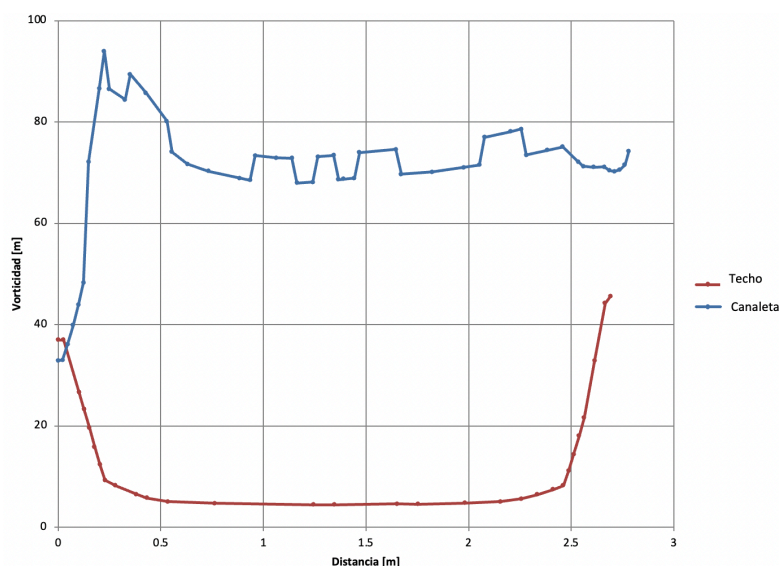


Fig. 33 Vorticidad del fluido en el techo del modelo final

4.3. Reproducción, desarrollo y análisis de cultivos específicos

En la segunda semana de febrero 2022 se sembró un total de siete germinadores con la finalidad de tener las primeras germinaciones en un periodo máximo de 20 días. Factores abióticos como la temperatura del lugar contribuyeron al óptimo crecimiento de los cultivos, sin embargo, aunque las plantas son similares en cuanto al clima del lugar, el tipo de suelo y el periodo de germinación y crecimiento varía en cada planta, por tal motivo es importante registrar todo en una bitácora, así como destinar un análisis muy específico para cada especie. En la fig 34 se observa el crecimiento y desarrollo de la planta de tomate verde, desde a) su siembra el 11 de febrero de 2022, b) la germinación de algunas plantas el 25 del mismo mes, c) el trasplante de las los brotes a huacales de madera para promover su crecimiento, d) el crecimiento esperado en la planta e) la floración de la planta el 20 de junio y f) la obtención

de frutos. Es importante etiquetar macetas y germinadores, así como mantener un registro del crecimiento y uso de abono y promotores de crecimiento.

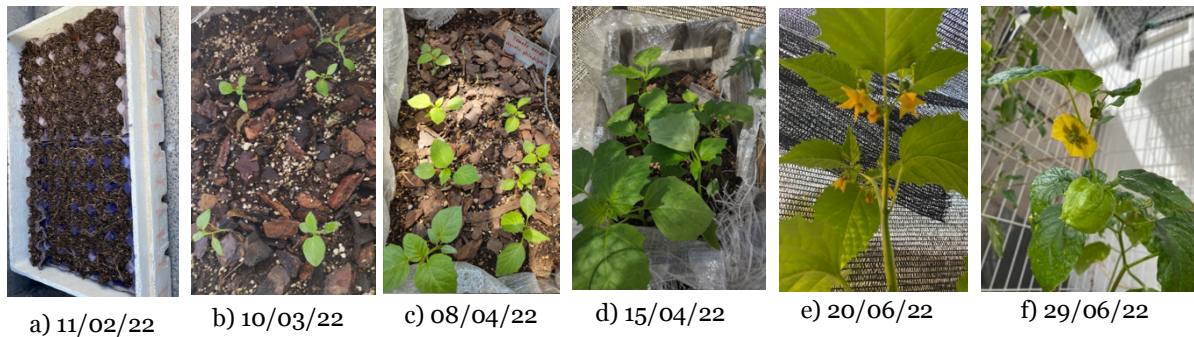


Fig. 34 Desarrollo de planta de tomate verde (*Physalis philadelphica*)

Es importante considerar que cuando se trasplanta un brote a un espacio más amplio es porque la planta ya cuenta con al menos dos hojas desarrolladas y la raíz de la planta logrará desarrollarse en el nuevo sustrato, de igual manera se debe conocer el espacio adecuado entre cada planta y los centímetros de profundidad para colocar la raíz ya que al no considerarse podrían quedar expuestas provocando la muerte temprana del cultivo (Fig. 35).



Fig. 35 Transplante adecuado de calabaza redonda (*Cucurbita pepo*)

Algunas plantas como la lechuga y la espinaca que cuentan con hojas verdes necesitan de una mayor cantidad de horas de sol al día, por lo que considerando el modelo de la ecotecnia será necesario colocarlas en las laterales orientadas hacia una mayor radiación por la mañana y el medio día. Otras como el pepino requieren un riego en horas completamente aisladas de los rayos más intensos del sol por lo tanto es recomendable regarlo después de las 7 de la noche. Además de los cuidados específicos para cada una de las plantas, el huerto requiere en general de actividades cotidianas como el retiro de hierbas espontáneas, el acolchar el

suelo para evitar que el agua de riego se evapore por la intensidad de los rayos del sol, y la generación de composta y lombricomposta para la producción de abono para los cultivos. La figura 36 ilustra una forma sencilla de realizar lombricomposteros, los cuales mediante desechos orgánicos obtenidos de los residuos de cocina y lombrices serán capaces de producir abono para todo el huerto.



Fig. 36 Elaboración de lombricompostero en la UPMP para la producción de humus

Conforme el huerto va creciendo es necesario considerar un espacio especial para el almacenamiento de germinadores, y herramienta utilizada en el mantenimiento cotidiano, de preferencia encontrar un lugar cercano al huerto pero que cuente con una protección contra los rayos del sol y la lluvia para evitar la corrosión y gastos extras.

Las actividades del huerto comenzaron la segunda semana de febrero, la figura 37,a ilustra la primera semana de siembra de semillas, en la figura 37,b tomada en el mes de junio podemos observar una gran diferencia debido a la variedad de plantas presentes. En el momento de la segunda fotografía se contaban con al menos 190 plantas de diferentes cultivos.



a)

b)

Fig. 37 Huerto en la UPMP a diferentes etapas de desarrollo

El anexo 4 brinda una tabla resumida de las necesidades básicas de riego, suelo, clima y algunas plagas reportadas de los cultivos seleccionados en la instalación de la ecotecnia.

Al momento de comenzar las actividades de siembra y cultivo en la UPMP la selección del modelo óptimo de la ecotecnia no era decidida, por lo que el huerto era compuesto de macetas en mesas y algunos cultivos colocados en el suelo. Debido al alcance de los objetivos de la presente tesis el modelo establecido como óptimo no fue instalado y probado, sin embargo, se comenzaron actividades de ordenamiento de cultivos, así como prueba del prototipo de macetas del mismo. Para la colocación de cada una de las plantas se consideró un modelo como el ilustrado en la figura 38 en donde se establece una lateral del modelo de ecotecnia seleccionado y se ordenan los cultivos con la finalidad de conocer el número de plantas que se podrían instalar en todo el modelo.

Se observa que en las esquinas se colocan plantas pertenecientes al grupo a) laterales, colocando a manera de ejemplo un durazno y un limonero, ambos árboles frutales se colocarían en macetas grandes de al menos 20 L y servirían como un soporte extra en la ecotecnia.

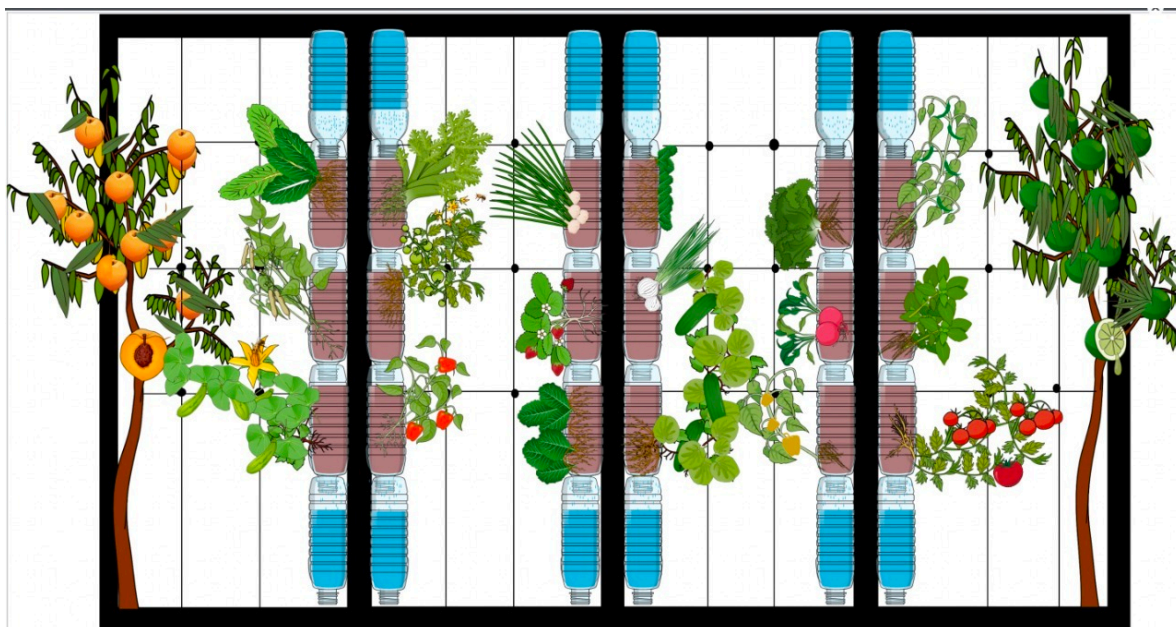


Fig. 38 Propuesta de ordenamiento de plantas en el modelo óptimo de ecotecnia

Las plantas serán colocadas de manera vertical como se ilustra, y debido a que cada soporte es un perfil c-150 calibre 18 es posible colocar plantas en los cuatro lados del perfil. Para el riego óptimo y el ahorro del recurso hídrico es necesario colocar un contenedor dispensador

de agua en la parte superior de cada columna; la altura del modelo nos facilita colocar tres macetas seguidas una de otra para diferentes cultivos y en la parte inferior de cada columna se colocará un contenedor captador del recurso hídrico sobrante con la finalidad de recuperar y utilizar de nuevo en la parte superior. Debido a que cada cultivo se siembra en contenedores individuales es complicado que exista una competencia de nutrientes, sin embargo, es posible la transferencia de algunas plagas en las hojas como el caso de los pulgones. De tal manera, es importante el correcto ordenamiento de cultivos para evitar colocar plantas incompatibles en una misma columna o a una distancia muy cercana.

Algunas plantas como el jitomate bola, requieren de tutores para su crecimiento por lo que es indispensable la colocación de soportes que direccionen y sostengan a cultivos específicos.

Análisis de cultivos por Espectroscopia de Absorción Atómica (EAA)

Una vez que las partes de cada cultivo fueron secadas en la estufa de calentamiento se registró el peso seco de cada una y se preparó las muestras para el análisis por EAA. La tabla 8 registra el nombre de los cultivos analizados, así como su peso al momento de recolectar la muestra y su peso en seco, es posible observar que la muestra recolectada disminuye más del 50% al secarse.

Tabla 8 Peso seco (P.S) y peso fresco (P.F) en gramos de cada cultivo

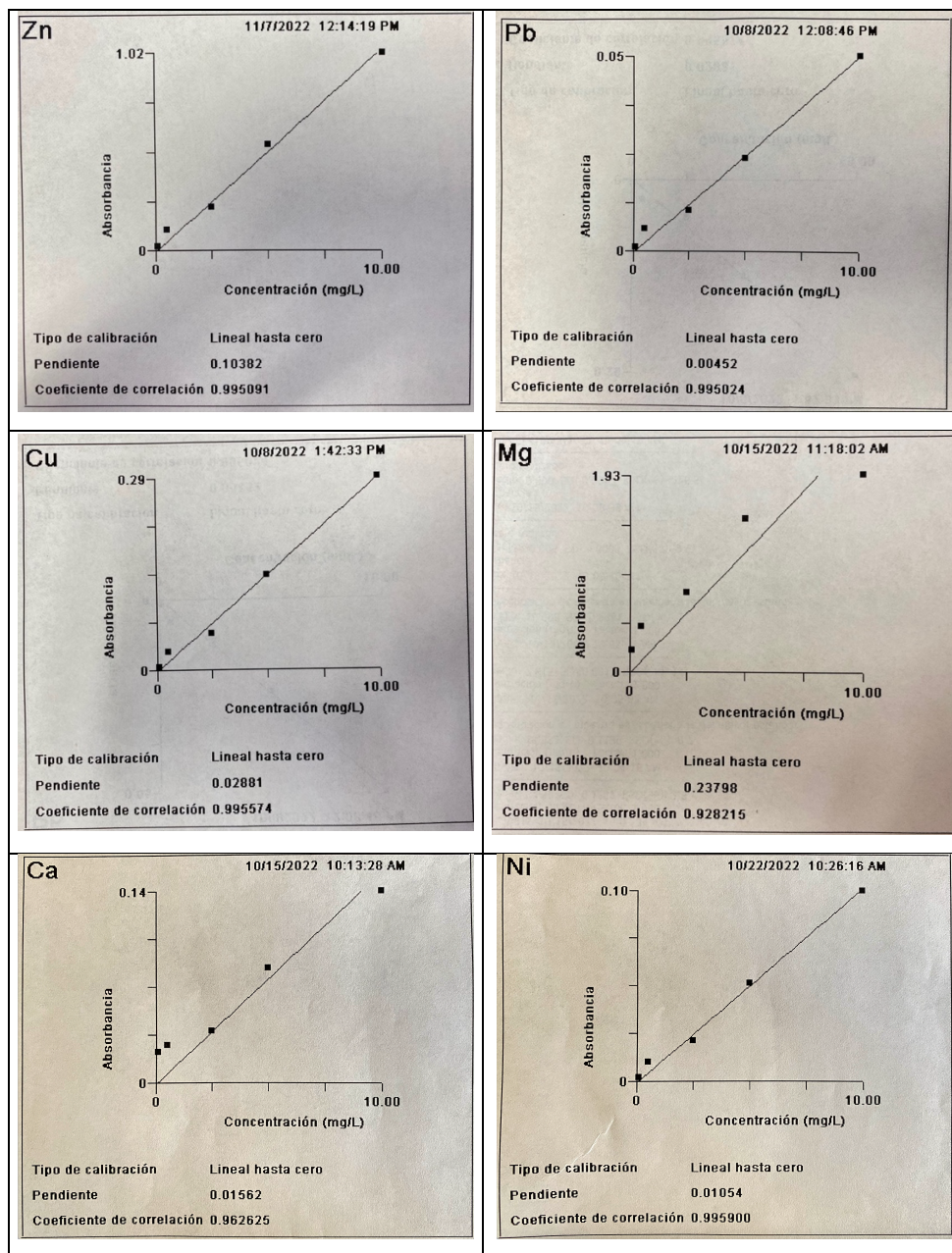
CULTIVO	CLAVE	Sustrato		Hojas		Raiz		Fruto	
		P.F	P.S	P.F	P.S	P. F	P. S	P. F	P. S
Menta	S1ME	326.4	152.4	9	1.3	2.9	2.4	s/d	s/d
Chile jalapeño	S2JA	432.6	188.5	20	3.4	14	4.1	40	3.8
Chile poblano	S3PO	392.1	187.8	32	6.2	12	4	36	3.2
Cilantro	S4CI	512.3	181.6	34	13.1	8	6.1	s/d	s/d
Apio	S5AP	464	265.5	58	5.6	32	7.7	s/d	s/d
Acelga	S6AC	420	193.9	70	7.2	42	9.8	s/d	s/d
Espinaca	S7ES	352	201.4	30	4.5	6	2	s/d	s/d
Lechuga	S8LE	251.7	49	31	7.9	12.2	2.6	s/d	s/d
Brocoli	S9BR	322.7	136.6	82.5	17	70.9	28	s/d	s/d
Ajo	S10AJ	338.2	151	12.5	1.9	38.8	9.1	6.9	1.3
Calabaza	S11CA	375.8	188	85	14.3	16.9	3.4	s/d	s/d
Verdolagas	S12VE	389.6	189.7	84.4	11	29.9	12.2	s/d	s/d
Cebolla	S13CE	290.9	110.5	s/d	s/d	s/d	s/d	18.9	3.6
Papa	S14PA	330.5	162.2	s/d	s/d	s/d	s/d	74.6	15
Tomate	S15TO	336.8	123.9	65.3	12.1	83	26.4	83.1	5.5
Jitomate	S16JI	296.3	153	83	10.2	15.9	4.4	98.9	13.5

s/d= sin datos registrados

En el análisis de EAA es necesario evaluar los estándares y establecer una pendiente de calibración que permita evaluar cada elemento de manera concisa, teniendo la certeza de la

obtención de resultados válidos. La tabla 9 ilustra el coeficiente de correlación de cada elemento analizado.

Tabla 9 Pendientes de calibración de cada elemento analizado en EAA



En el análisis del Zn se obtuvieron valores máximos de absorbancia en el sustrato de 3.237 mg/L para la calabaza y mínimos de 0.279 mg/L para la lechuga, en la raíz el brócoli obtuvo la concentración máxima de 1.775 mg/L y la lechuga la mínima con 0.473 mg/L; la hoja de la calabaza registró los valores máximos con 1.336 mg/L mientras que las hojas del cilantro

con 0.352 mg/L fueron el valor mínimo registrado. En el caso del fruto, la papa registró valores de 0.802 mg/L y el chile poblano el valor mínimo con 0.347 mg/L. La tabla 10 presenta los resultados de concentración (mg/L) de Zn en las partes de la planta de cada cultivo, para el sustrato se evaluó con dos muestras por lo cual se obtuvieron dos resultados.

Tabla 10 Concentración en mg/L de Zn en los cultivos analizados

muestra	SUSTRATO		RAÍZ	hoja	FRUTO
S1ME	2.444	1.940	1.550	0.857	*
S2JA	0.913	1.238	0.720	0.811	0.416
S3PO	1.005	0.928	0.704	1.130	0.347
S4CI	1.035	1.046	1.453	0.352	*
S5AP	2.121	1.251	0.923	0.797	*
S6AC	1.423	1.376	1.322	1.336	*
S7ES	2.392	3.320	1.197	1.052	*
S8LE	0.279	0.279	0.473	0.436	*
S9BR	1.312	1.274	1.775	0.415	*
S10AJ	1.402	1.178	1.445	0.615	0.56
S11CA	2.597	3.237	1.320	0.597	*
S12VE	1.780	1.630	1.408	1.035	*
S13CE	1.490	1.274	*	*	0.424
S14PA	1.976	2.192	*	*	0.802
S15TO	1.314	0.886	0.596	0.380	0.545
S16JI	1.628	1.098	0.853	0.630	0.405

*sin muestra analizada

Los datos de la tabla 11 muestran los resultados del análisis de Pb, en donde se obtuvieron valores máximos de 0.655 mg/L y 0.601 mg/L para el sustrato en donde se encontraba la menta, los valores mínimos en esta sección fueron de 0.006 mg/L en el cilantro. En la raíz se obtuvieron valores máximos de 0.442 mg/L en el brócoli y mínimos en la raíz del jalapeño. Cuando se analizaron las muestras de las hojas de obtuvieron una gran cantidad de resultados negativos, el valor máximo se encontró en la calabaza con 0.086 mg/L, en el fruto solo el chile jalapeño presentó un valor de 0.011 mg/L en este análisis es necesario considerar el medio por el cual el cultivo podría obtener el plomo, así como también realizar un segundo análisis para confirmar que no existe un transporte de plomo debido a la acumulación del mismo en el organismo de las personas.

Tabla 11 Concentración en mg/L de Pb en los cultivos analizados

muestra	sustrato		raiz	hoja	fruto
S1ME	0.655	0.601	0.083	0.014	*
S2JA	0.495	0.116	-0.001	-0.018	0.011
S3PO	0.512	0.043	0.003	0.023	-0.023
S4CI	0.512	0.006	0.006	-0.031	*

S5AP	0.577	0.030	0.087	0.012	*
S6AC	0.569	0.186	0.089	-0.013	*
S7ES	0.337	0.349	0.113	0.015	*
S8LE	0.440	0.059	0.051	0.004	*
S9BR	0.592	0.196	0.442	0.041	*
S10AJ	0.545	0.095	0.260	-0.065	-0.013
S11CA	0.617	0.246	0.076	0.086	*
S12VE	0.555	0.121	0.158	0.017	*
S13CE	0.474	0.037	*	*	-0.014
S14PA	0.546	0.140	*	*	-0.019
S15TO	0.526	0.030	0.009	-0.044	-0.020
S16JI	0.526	0.057	0.025	-0.006	-0.038

*sin muestra analizada

En el análisis del tercer elemento (Cu), se obtuvieron valores muy bajos ya que todos fueron inferiores a 1 mg/L de concentración; para el sustrato se obtuvieron valores máximos de 0.512 mg/L para la espinaca y mínimos de 0.052 mg/L para el tomate verde. En la raíz el cultivo con mayor concentración fue el brócoli con 0.725 mg/L y el menor fue de nuevo el tomate verde con 0.050 mg/L. Los valores obtenidos en las hojas fueron aún más pequeños, siendo el valor más alto de 0.095 mg/L para las acelgas y el mínimo de 0.020 mg/L para el brócoli; por último, la papa obtuvo una concentración máxima de 0.179 mg/L mientras que el chile poblano fue el valor mínimo con 0.020 mg/L. La tabla 12 presenta el total de los datos obtenidos en relación al análisis de cobre.

Tabla 12 Concentración en mg/L de Cu en los cultivos analizados

muestra	sustrato	raíz	hoja	fruto	
S1ME	0.356	0.252	0.348	0.039	*
S2JA	0.116	0.086	0.199	0.045	0.018
S3PO	0.102	0.078	0.191	0.082	0.020
S4CI	0.134	0.077	0.127	0.034	*
S5AP	0.160	0.125	0.108	0.053	*
S6AC	0.185	0.065	0.139	0.095	*
S7ES	0.512	0.495	0.110	0.069	*
S8LE	0.084	0.066	0.123	0.044	*
S9BR	0.198	0.108	0.725	0.020	*
S10AJ	0.150	0.106	0.262	0.036	0.043
S11CA	0.214	0.178	0.132	0.054	*
S12VE	0.286	0.190	0.178	0.066	*
S13CE	0.135	0.087	*	*	0.045
S14PA	0.216	0.126	*	*	0.179
S15TO	0.147	0.052	0.050	0.029	0.084
S16JI	0.160	0.147	0.118	0.038	0.076

*sin muestra analizada

El Mg fue el cuarto elemento analizado por EAA, este elemento se encuentra en mayor concentración en las plantas por lo que se esperaban valores altos; se obtuvieron resultados entre 8 – 9 mg/L. Para el sustrato se obtuvieron valores máximos de 9.641 mg/L para la espinaca y 9.316 mg/L para el jitomate. En la raíz la menta obtuvo el valor máximo con 9.040 mg/L mientras que el mínimo fue 8.605 mg/L perteneciente a la lechuga. Las hojas de la calabaza registraron el valor máximo con 9.030 mg/L y las hojas de cilantro presentaron la menor concentración con 8.201 mg/L. El valor máximo en los frutos correspondió al jitomate con una concentración de 8.863 mg/L, los demás frutos analizados obtuvieron valores similares con excepción del chile poblano que obtuvo 4.948 mg/L. La tabla 13 registra los valores de todos los cultivos analizados.

Tabla 13 Concentración en mg/L de Mg en los cultivos analizados

muestra	sustrato		raíz	hoja	fruto
S1ME	-0.173	8.965	9.040	8.766	*
S2JA	2.770	9.168	8.927	8.724	8.804
S3PO	8.897	9.110	8.845	8.880	4.948
S4CI	8.998	8.347	9.072	8.201	*
S5AP	9.135	9.115	8.908	8.910	*
S6AC	9.206	9.033	8.907	8.871	*
S7ES	9.641	8.950	8.841	8.852	*
S8LE	9.126	9.093	8.605	8.795	*
S9BR	9.218	8.947	8.925	8.705	*
S10AJ	9.097	9.192	8.724	8.574	8.481
S11CA	9.085	8.950	8.717	9.030	*
S12VE	8.852	9.086	1.377	8.835	*
S13CE	9.171	9.126	*	*	8.441
S14PA	8.970	9.226	*	*	8.676
S15TO	9.117	9.072	8.786	8.606	8.718
S16JI	9.260	9.316	8.771	8.815	8.863

*sin muestra analizada

El calcio (Ca) es un elemento benéfico para las plantas y en los cultivos analizados fue el elemento con mayor concentración, en el sustrato se obtuvieron valores mayores a 100 mg/L siendo los máximos de 103.345 mg/L en la espinaca y 102.113 mg/L en la menta, el ajo con 30.512 mg/L y la acelga con 33.366 mg/L fueron las concentraciones mínimas encontradas en el sustrato. En la raíz se obtuvo un valor máximo de 89.373 mg/L y un mínimo de 11.098 mg/L en la calabaza y la espinaca respectivamente. Las hojas de la calabaza contenían una mayor concentración de Ca obteniendo un valor de 87.444 mg/L; por otro lado, las hojas de espinaca resultaron con una concentración mínima de 1.560 mg/L. Por último, el chile

jalapeño presentó el valor máximo de concentración con 18.098 mg/L y la papa el mínimo con 3.188 mg/L. En este análisis es posible observar que la calabaza fue el cultivo con las concentraciones más altas en diferentes partes de la planta. La tabla 14 muestra los valores obtenidos en todos los cultivos analizados.

Tabla 14 Concentración en mg/L de Ca en los cultivos analizados

muestra	sustrato		raíz	hoja	fruto
S1ME	102.113	87.666	36.315	9.019	*
S2JA	58.095	49.450	40.554	9.578	18.098
S3PO	61.537	49.021	22.176	11.063	7.815
S4CI	25.270	38.343	52.735	5.961	*
S5AP	55.895	54.325	26.199	22.070	*
S6AC	33.366	58.773	15.753	2.322	*
S7ES	103.345	50.642	11.098	1.560	*
S8LE	57.721	62.443	16.827	27.810	*
S9BR	53.060	101.648	51.237	35.806	*
S10AJ	56.106	30.512	21.153	10.603	7.884
S11CA	73.908	44.581	89.373	87.444	*
S12VE	73.225	60.244	31.566	5.208	*
S13CE	66.924	40.992	*	*	9.931
S14PA	44.378	53.740	*	*	3.188
S15TO	64.580	40.236	28.157	5.539	4.884
S16JI	67.599	55.446	22.557	15.382	5.456

*sin muestra analizada

La tabla 15 registra los datos del análisis de concentración del Ni, sexto y último elemento, las concentraciones obtenidas son valores muy pequeños inferiores a 1 mg/L con excepción de las hojas de espinacas que registraron 1.238 mg/L. En el sustrato los valores más altos fueron de 0.615 mg/L para la menta y 0.504 mg/L en las espinacas. En la raíz el valor máximo obtenido fue de 0.405 mg/L perteneciente al brócoli mientras que en el fruto se obtuvo un valor máximo de 0.051 mg/L correspondiente a la papa.

Tabla 15 Concentración en mg/L de Ni en los cultivos analizados

muestra	sustrato		raíz	hoja	fruto
S1ME	0.615	0.592	0.302	-0.035	*
S2JA	0.181	0.269	0.143	-0.092	0.042
S3PO	0.149	0.157	0.065	-0.054	0.030
S4CI	0.188	0.153	0.212	0.180	*
S5AP	0.417	0.276	0.141	0.508	*
S6AC	0.210	0.226	0.131	-0.072	*
S7ES	0.504	0.576	0.045	1.238	*
S8LE	0.310	-0.022	0.044	0.017	*
S9BR	0.300	0.298	0.405	0.724	*

S10AJ	0.228	0.224	0.191	0.015	0.028
S11CA	0.267	0.299	0.085	0.535	*
S12VE	0.516	0.442	0.519	0.058	*
S13CE	0.398	0.273	*	*	0.023
S14PA	0.472	0.380	*	*	0.051
S15TO	0.294	0.175	0.071	0.022	-0.003
S16JI	0.361	0.264	-1.549	0.280	0.014

*sin muestra analizada

Al momento del análisis, solo cinco de los 16 cultivos contaban con todas las partes de la planta (sustrato, raíz, hoja y fruto) por lo que es posible realizar un análisis completo del transporte de nutrientes en las plantas específicas seleccionadas: 1) chile jalapeño, 2) chile poblano, 3) ajo, 4) tomate verde y 5) jitomate.

La figura 39 muestra el transporte del Zn en diferentes partes de la planta, con excepción del ajo todos muestran un descenso de concentración del sustrato a la raíz, en el caso del chile poblano ocurre una concentración mayor en las hojas, sin embargo, disminuye por completo en el fruto convirtiéndose en el de menor concentración. Es posible observar que en todos los cultivos se disminuye la concentración de Zn en el fruto.

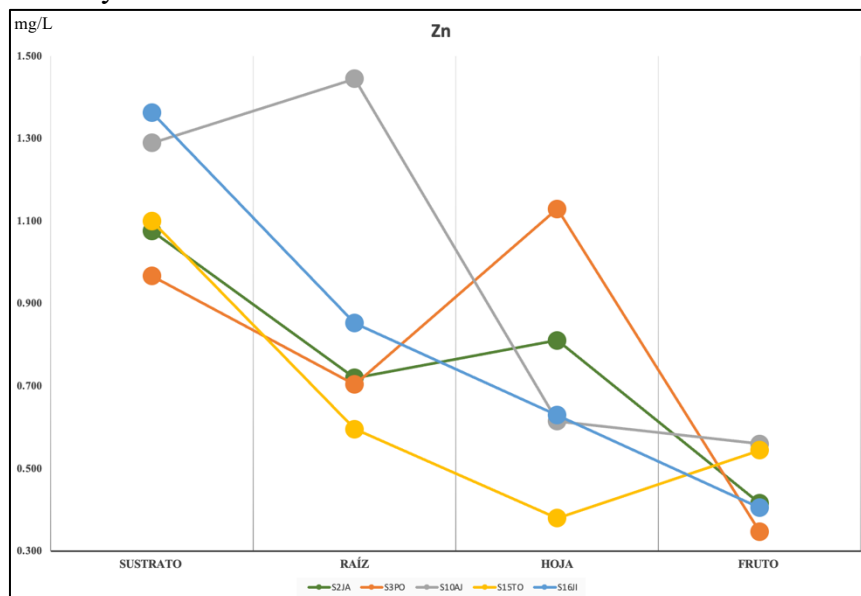


Fig. 39 Concentración de Zn en diferentes cultivos

En el análisis del Pb (Fig. 40) es posible observar un comportamiento similar en el transporte de los diferentes cultivos; en el sustrato es posible observar una concentración más alta de 0.3 mg/L aprox. Sin embargo, después disminuye hasta valores de 0.015 mg/L, en el caso de la hoja y el fruto se obtuvieron valores negativos con excepción del jalapeño que presenta un

valor muy pequeño, pero de cualquier manera positivo por lo que es necesario realizar otro análisis para corroborar los resultados y aplicar las medidas necesarias.

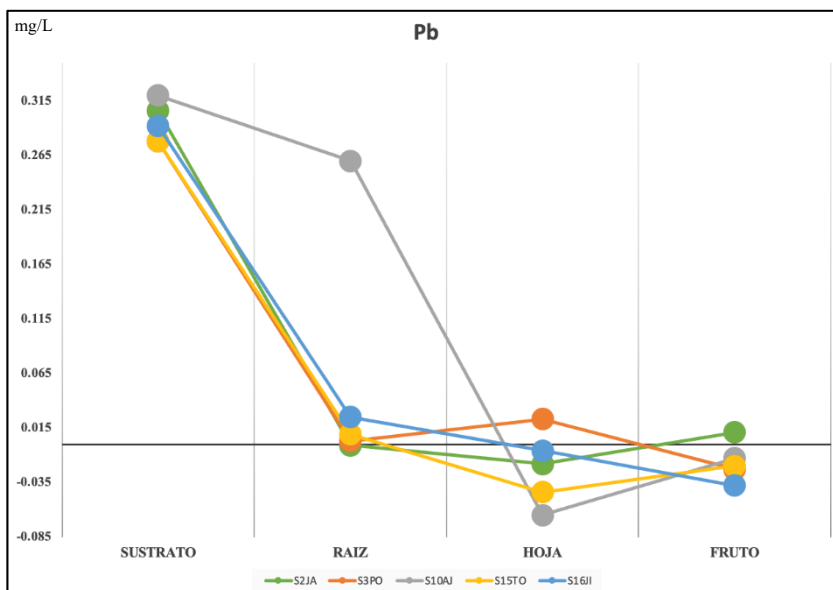


Fig. 40 Concentración de Pb en diferentes cultivos

La figura 41 presenta la concentración de Cu en los cultivos, para el caso del chile jalapeño, el poblano y el ajo se observan comportamientos muy similares, en donde la concentración más alta se encuentra en la raíz y las hojas son las partes con menos cobre. A pesar de que los frutos son las partes en donde la concentración aumenta de nuevo, los valores se mantienen muy bajos siendo máximos de 0.084 mg/L.

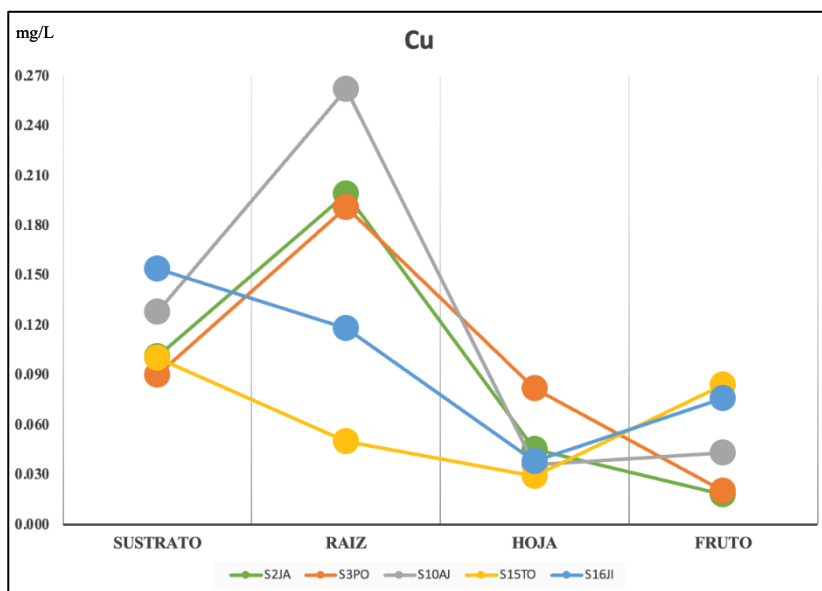


Fig. 41 Concentración de Cu en diferentes cultivos

La concentración de Mg en las plantas se mantiene constante con valores más altos a los analizados anteriormente, se encuentran entre intervalos de 8.5 mg/L – 9.5 mg/L en todas las partes de la planta; es evidente la menor concentración de Mg en el sustrato del chile jalapeño, así como también en el fruto de chile poblano (Fig. 42).

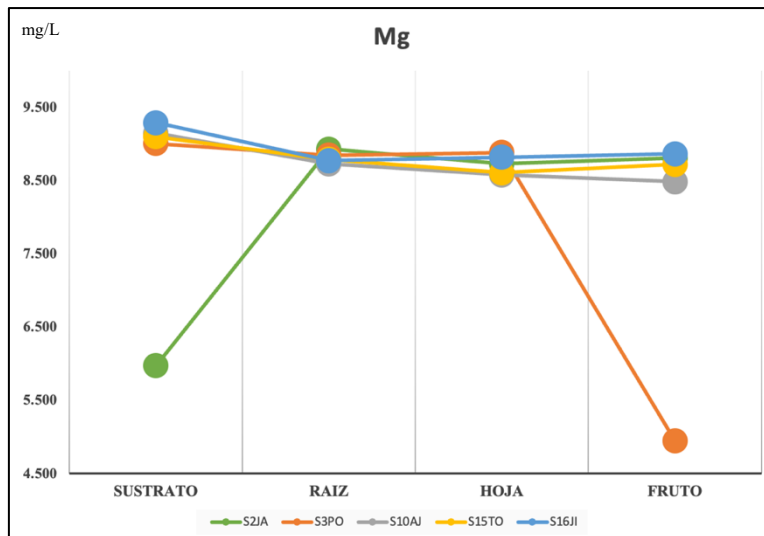


Fig. 42 Concentración de Mg en diferentes cultivos

En la figura 43 se observa sustratos ricos en calcio, todos los cultivos reflejan un comportamiento similar en las concentraciones y debido a que en el sustrato la concentración es abundante la raíz mantiene concentraciones superiores; sin embargo, la concentración disminuye en la hoja y si mantiene en el fruto con valores de 4 mg/L aprox.

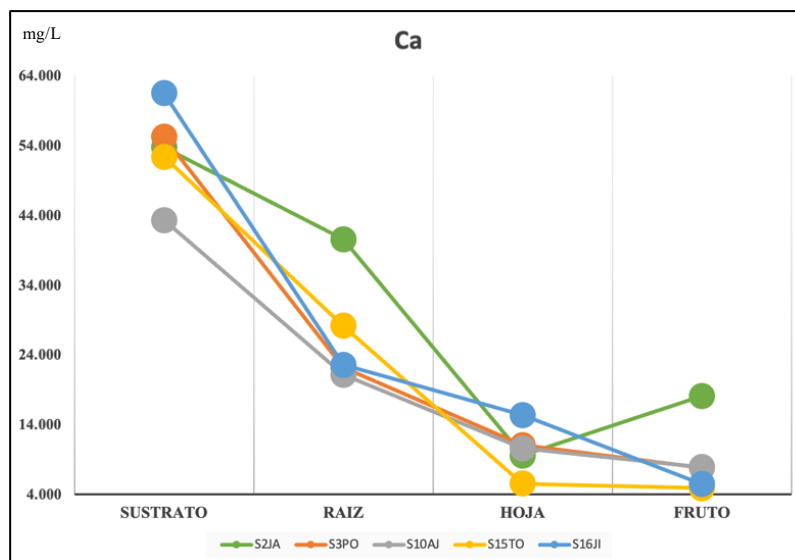


Fig. 43 Concentración de Ca en diferentes cultivos

El Níquel fue el último elemento analizado, las concentraciones mínimas se mantienen en todos los cultivos con valores inferiores a 0.4 mg/L (Fig. 44), sin embargo, los requerimientos de Ni en una planta son mínimos por lo que las concentraciones son adecuadas, se observan resultados negativos en la raíz del jitomate lo que nos indica ausencia de Ni.

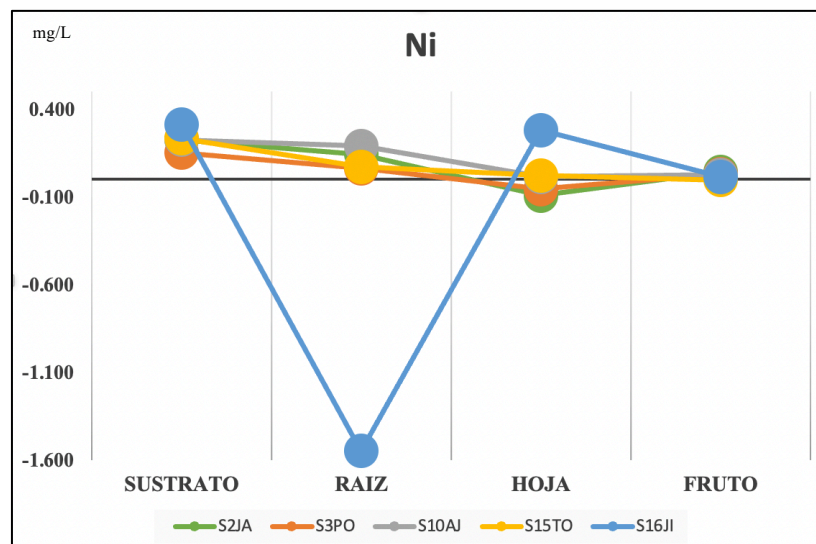


Fig. 44 Concentración de Ni en diferentes cultivos

El comportamiento similar en los cultivos se reflejará en los resultados del modelo matemático propuesto, el cual nos permitirá conocer la cantidad de nutrientes transportada en las diferentes partes de la planta considerando la concentración, velocidad y difusión del elemento.

Análisis de cultivos por Infrarrojos por transformada de Fourier (FTIR)

El análisis realizado por la técnica FTIR brindó información sobre los grupos funcionales presentes en los sustratos de los cultivos estudiados. Se analizaron muestras por triplicado de cuatro cultivos diferentes y se identificaron los picos más característicos en cada difractograma obtenido.

La lechuga fue el primer cultivo evaluado; en la Fig. 45 se observan los resultados de las muestras analizadas en donde al principio se observa mucho ruido, agua y grupos funcionales carboxilos (O-H t), aldehídos (C-H t), fosfina (P-H t), amidas (N-H d (1°)), éster (C-C(O)-C t (acetatos)), sulfonatos (S-O t), aminas (C-N t (alquil)), y grupos nitro (NO₂ (alifáico)). El alcohol presente en la lechuga es auto fermentable por lo que los grupos alquilos y acetatos se convertirán en azúcares fermentables.

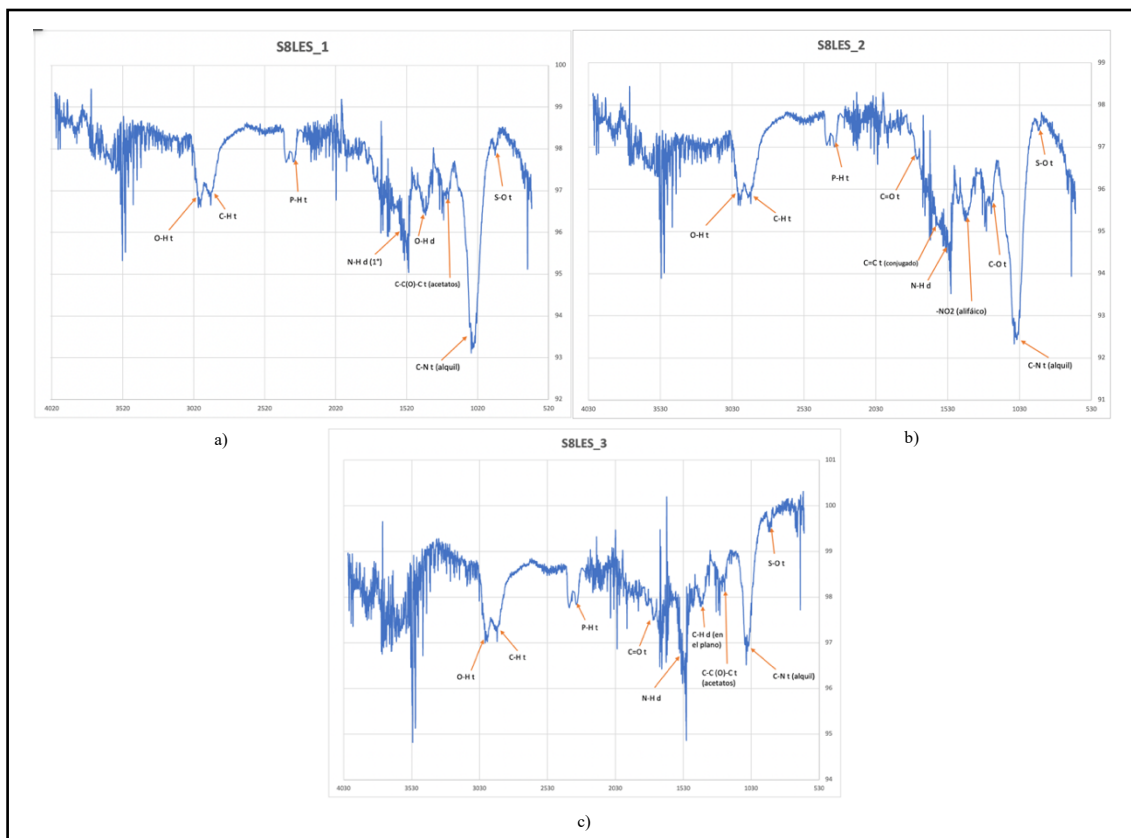


Fig. 45 Grupos funcionales encontrados en muestra de lechuga por FTIR

La figura 46 brinda información del cultivo de brócoli; en los difractogramas obtenidos, al igual que en los de la lechuga es posible observar grupos nitrogenados bastante homogéneos lo que nos indica que el sustrato de los cultivos está absorbiendo demasiado nitrógeno, de igual manera, en ambos cultivos también es posible observar grupos funcionales de fosfinas, la presencia de ambos grupos podría ser resultado de nutrientes aportados directamente del suelo lo que nos indicaría una eficiencia de transferencia de masa bastante alta.

Sin embargo, si los nutrientes fueran proporcionados únicamente por el sustrato, el grupo funcional del fósforo estaría muy prolongado al igual que el de nitrógeno. Debido a que la diferencia de ambos grupos es muy evidente, es posible deducir que en el ambiente existe una presencia muy alta de nitrógeno y las plantas de los cultivos lo están absorbiendo.

En este proceso es posible que esté llegando una alta saturación de óxidos de nitrógeno (NO_x) del ambiente, los cuales se estén posicionando sobre la superficie de las hojas y debido a la porosidad de las mismas esté ocurriendo una difusión del compuesto de las hojas a la raíz, si estas partes de la planta se saturan los NO_x comenzarán a transferirse al sustrato.

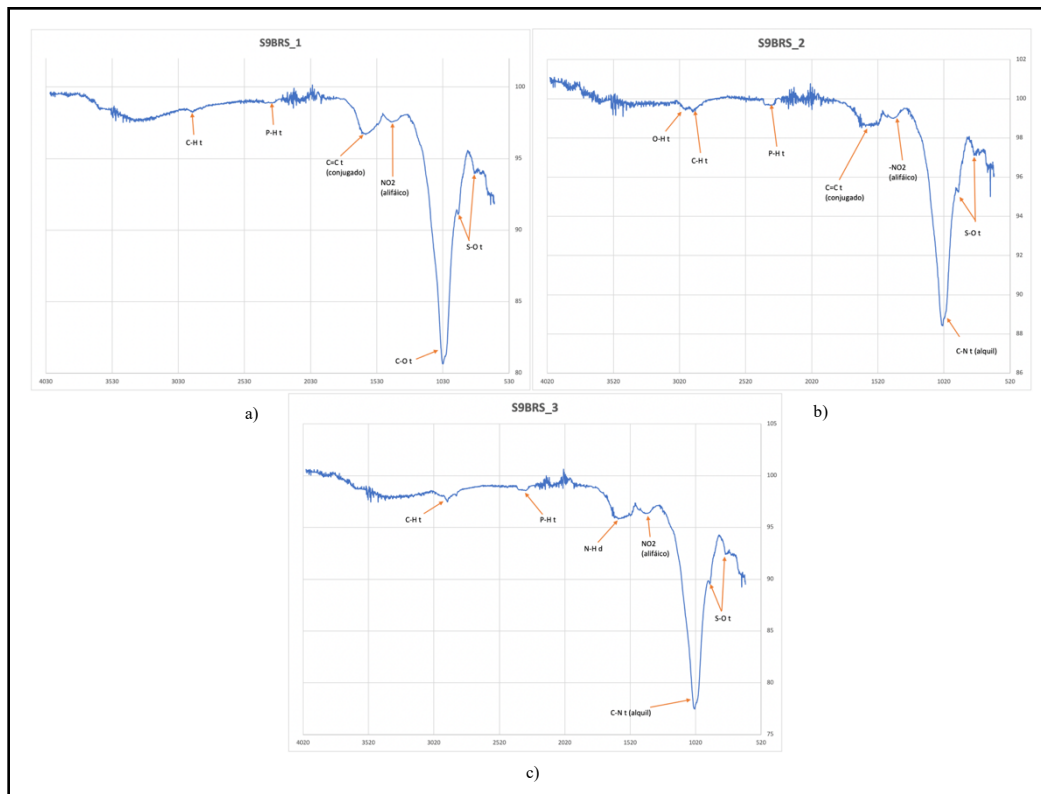


Fig. 46 Grupos funcionales encontrados en muestra de brócoli por FTIR

Un suelo enriquecido en nitrógeno debido a la absorción foliar sería suficiente para la planta ya que no sería necesario adicionar fertilizantes nitrogenados y por lo tanto se evitaría el uso de urea en los suelos que en muchas ocasiones se encarga de inhibir el crecimiento de las plantas debido a la degradación del suelo.

En las figuras 47 y 48 se observa el análisis de los sustratos del tomate verde y el jitomate, ambos son muy similares, pero en el caso del jitomate se identificaron un mayor número de grupos funcionales, el grupo (C-N t (alquil)) que absorbe el nitrógeno (N) es muy notorio en ambos, pero también es posible observar compuestos de elementos necesarios para la planta como lo es el carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O), azufre (S), y fósforo (P), los cuales engloban los bioelementos indispensables para el desarrollo óptimo de las plantas.

Con este análisis es posible manifestar que el sustrato de las plantas estudiadas cuenta con los nutrientes necesarios para el crecimiento de los cultivos, sin embargo, también sería necesario realizar un estudio particular sobre el exceso de nitrógeno en el mismo, así como las posibles consecuencias para los cultivos, el suelo y su relación con el medio ambiente directo por causa de estos compuestos.

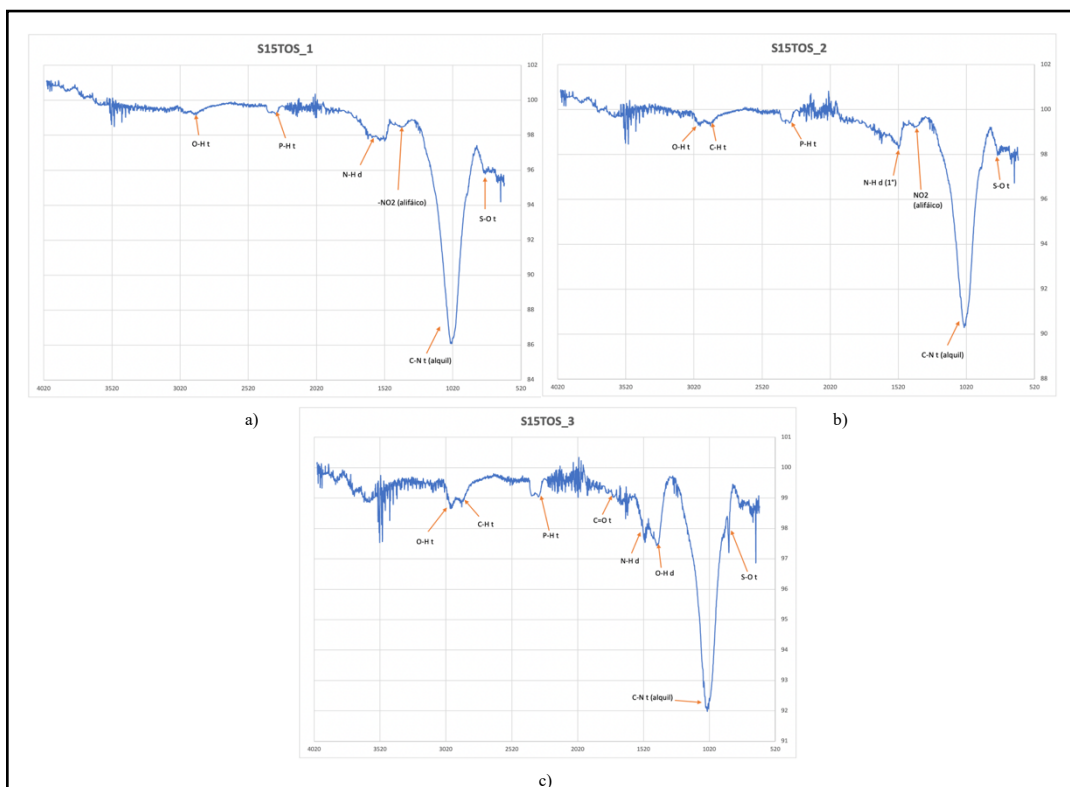


Fig. 47 Grupos funcionales encontrados en muestra de tomate verde por FTIR

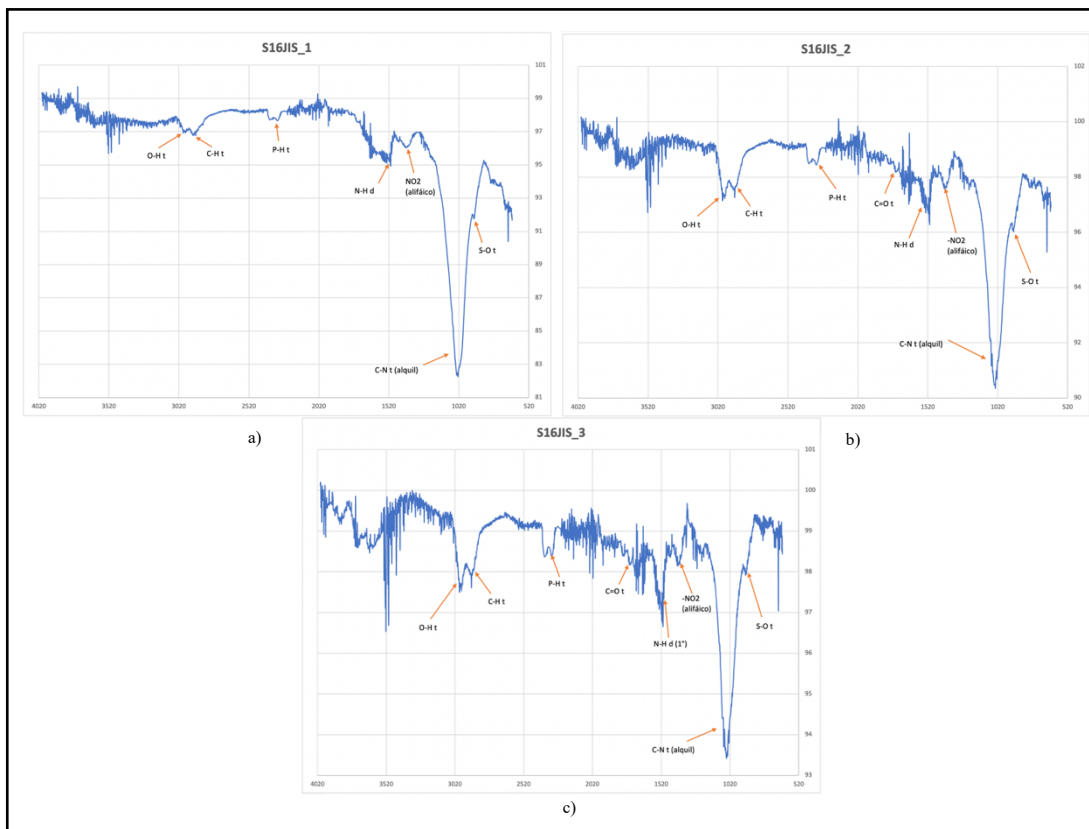


Fig. 48 Grupos funcionales encontrados en muestra de jitomate por FTIR

Ahora que se sabe cuántos componentes tenemos en nuestros cultivos es necesario evaluar el modelo matemático propuesto mediante un modelo de inteligencia artificial que nos brinde datos certeros de la cantidad de elementos transportados.

4.4. Modelo matemático de predicción de agua pluvial para zona urbana de Puebla

Con las ecuaciones de la recta fue posible identificar que hay una variación muy pequeña entre cada periodo de precipitación pluvial establecido, sin embargo, la serie de datos obtenida se comporta como una serie temporal de tipo trapezoidal o tipo sierra. Para encontrar la función predictiva en nuestro sistema es necesario estudiar funciones trapezoidales existentes utilizadas para lógica difusa e identificar aquella que se comporta de la misma manera que los datos recabados por el observatorio meteorológico.

Utilizando los milímetros de lluvia como vectores de entrada se estableció la primera función para obtener $f(u)$ y evaluar los resultados (Ec. 14).

$$f(u) = \frac{1}{1 + \exp(u)} \quad (14)$$

Con la primera función establecida se evaluaron los datos y se obtuvo la gráfica del comportamiento de la misma (Fig. 49).

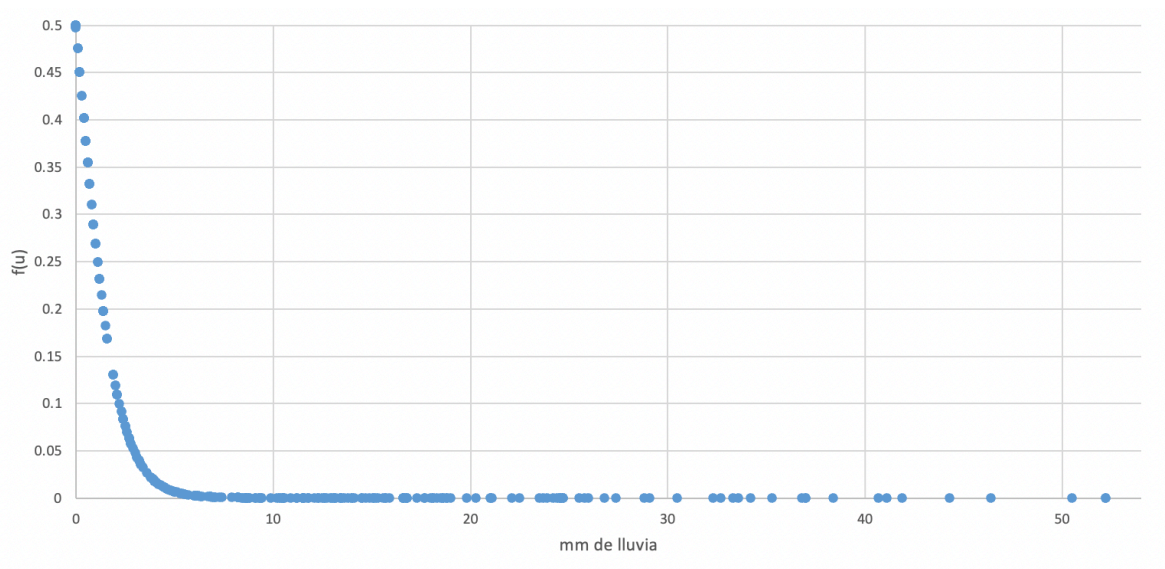


Fig. 49 Primera función temporal trapezoidal propuesta

Al evaluar el comportamiento de la función propuesta con los milímetros de lluvia se comprobó que la función no se comporta igual que los datos reales, ya que esta no cuenta con una oscilación de tipo trapezoidal, por lo tanto, fue necesario establecer una segunda función $f_2(u)$ que lograra comportarse de manera óptima.

La segunda función propuesta fue una función tipo senoidal que al igual que la exponencial pertenece a las funciones temporales trapezoidales existentes (Ec.15).

$$f(u) = \frac{1}{1 + \text{sen}(u)} \quad (15)$$

Al evaluarse se comprobó que la gráfica obtenida (Fig. 50) se comportaba de manera óptima, pues seguía el mismo comportamiento que los datos reales de precipitación pluvial.

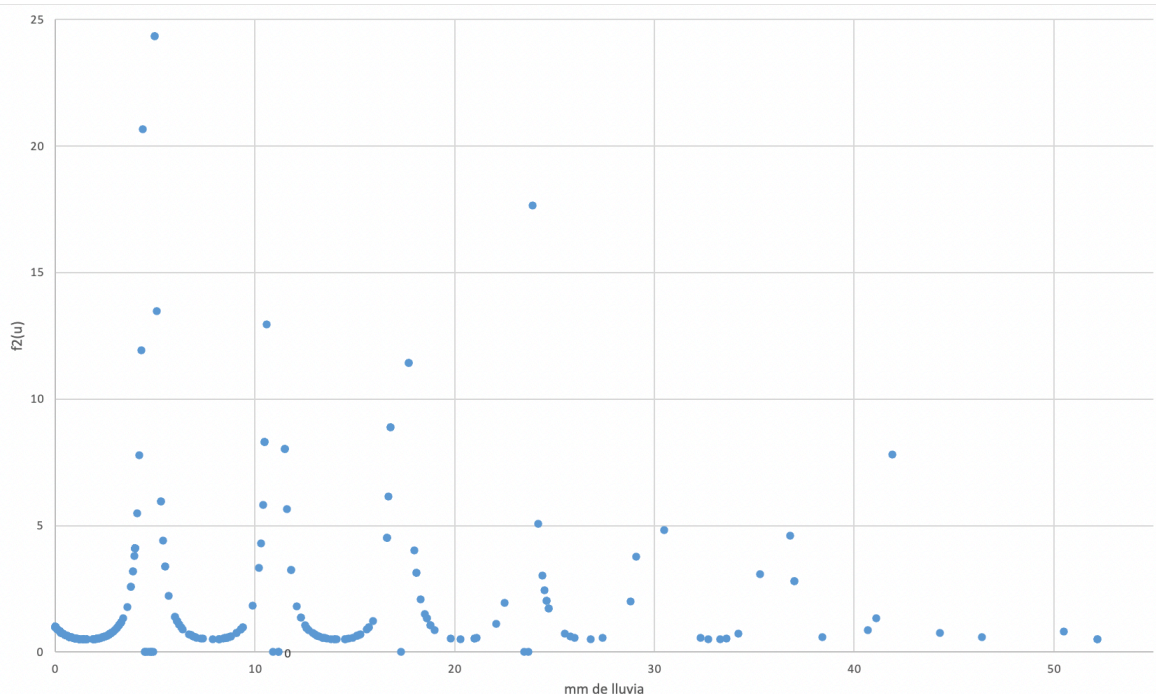


Fig. 50 Segunda función temporal trapezoidal propuesta

Para corroborar que la función senoidal propuesta correspondía la función predictiva fue necesario realizar la expansión de la misma a diferentes intervalos de lluvia; el primer intervalo establecido fue $f(u)1, 0.5, 100$ en donde el comportamiento de lluvia fue similar (Fig. #), sin embargo, existe un mayor número de datos atípicos, es necesario establecer un segundo intervalo y volver a evaluar la función. La segunda expansión se realizó con los intervalos $f(u)1, 0.25, 100$ y se obtuvo la gráfica de la figura 51. Es posible observar que, a

una mayor cantidad de datos registrados y un intervalo menor, la cantidad de datos atípicos aumenta.

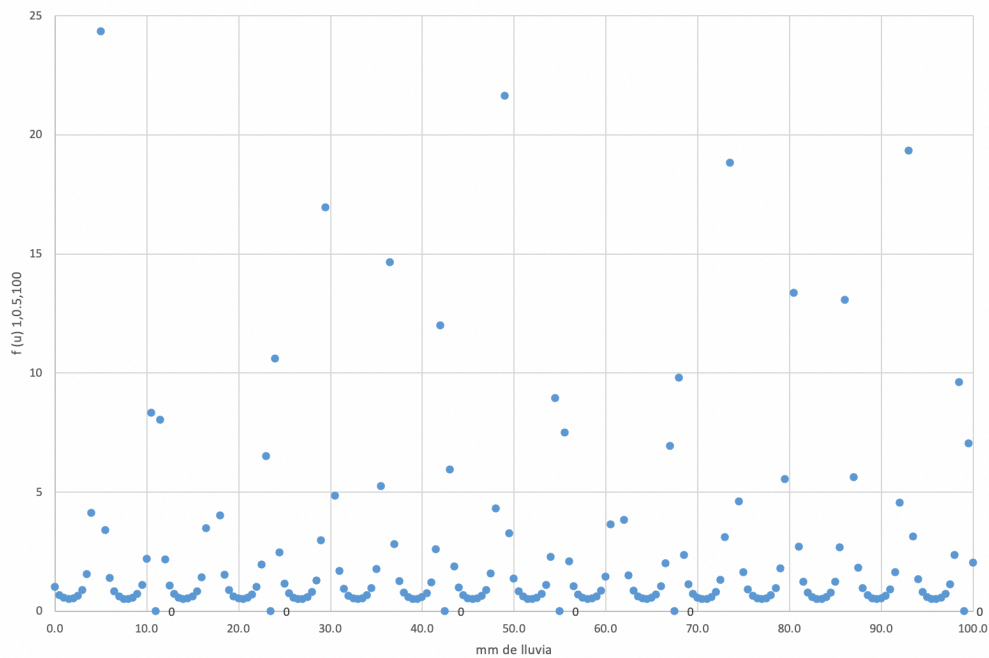


Fig. 51 Expansión de la función senoidal $f(u)$ 1, 0.5, 100

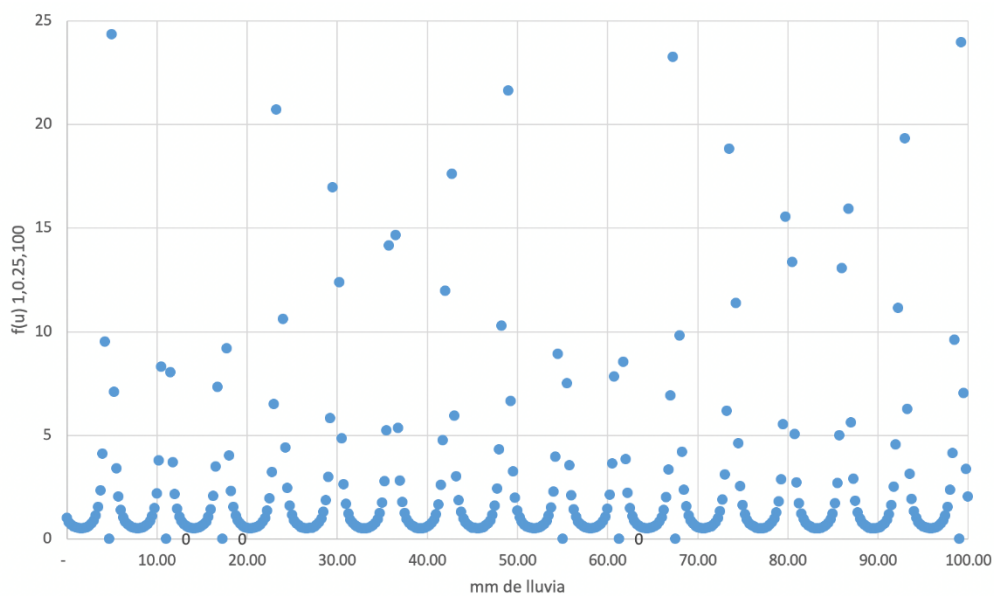


Fig. 52 Expansión de la función senoidal $f(u)$ 1, 0.25, 100

Finalmente, se estableció una última expansión con la mitad de datos registrados pero el mismo intervalo de tiempo, obteniendo de $f(u)1,0.25,50$ una gráfica más definida con el mismo comportamiento que la función senoidal y con una menor cantidad de datos atípicos. La figura 52 representa la última expansión propuesta.

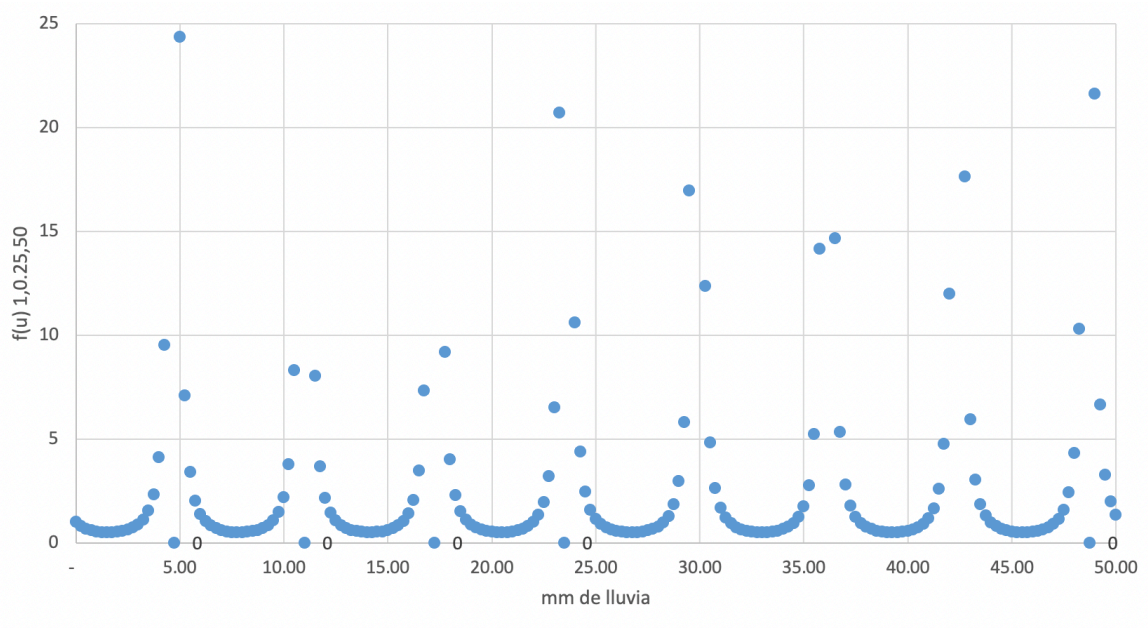


Fig. 53 Expansión de la función senoidal $f(u) 1, 0.25, 50$

Con la función senoidal propuesta es posible obtener el modelo predictivo de precipitación pluvial, será necesario ingresar el modelo de lógica difusa en un software de inteligencia artificial para obtener una proyección a futuro.

4.5. Importancia de la agricultura urbana en jóvenes universitarios

Los encuestados fueron jóvenes de diferentes universidades de la zona urbana de Puebla, sin embargo, tres universidades fueron preponderantes: UPAEP con 32 % de los encuestados, UPMP (48 %) y BUAP (12%), el 8% restante corresponde a otras instituciones, pero debido a que el número de encuestados varía entre 1-2 estudiantes por institución no es posible establecer un porcentaje para cada universidad. El 80 % de la muestra de encuestados fue de jóvenes de 25 años y menores, el 15 % fueron personas de 26 a 35 años, 3% de 36 a 45 años y sólo 2% de la muestra con 6 encuestados fueron de 46 a 55 años. Asimismo, el 88% de los entrevistados eran estudiantes de licenciatura, el 10% de maestría y el 2% de doctorado.

La encuesta se aplicó a personas de distintos campos del conocimiento para obtener diferentes opiniones respecto al tema; sin embargo, el grupo mayoritario de encuestados pertenecía al área de ciencias agropecuarias y biotecnología con 107 respuestas, 70 entrevistados fueron de ingeniería y tecnología, 59 encuestados fueron de ciencias sociales y un grupo minoritario pertenecía a medicina y ciencias de la salud (Fig. 54). La clasificación de las áreas del conocimiento, con excepción de "ingeniería ambiental y desarrollo sustentable", fue establecida por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT).

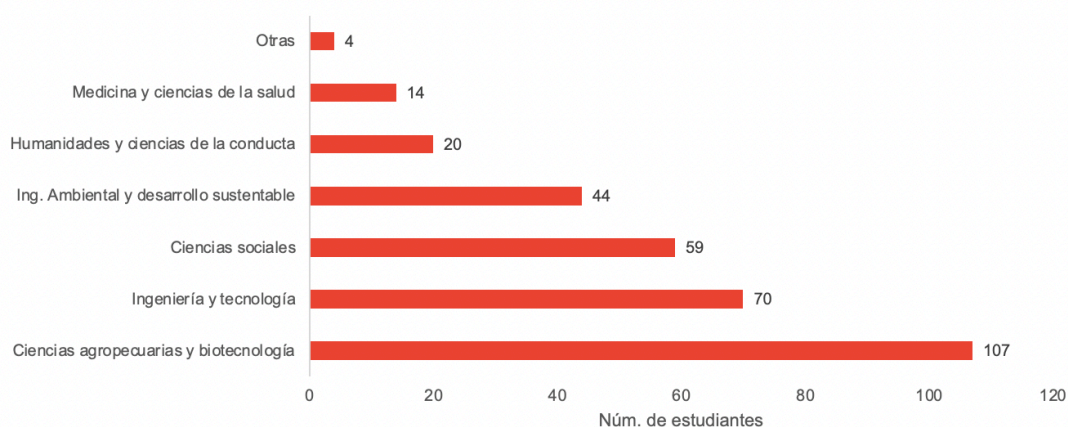


Fig. 54 Estudiantes por área de conocimiento

El promedio de integrantes de un hogar en Puebla es de 4-5 personas y el 52% de los entrevistados pertenece a este grupo; De igual manera, Puebla se erige como una buena opción para venir a estudiar, razón por la cual el 36% de los entrevistados comentó que vivía en un hogar con 2-3 estudiantes extranjeros. Por otro lado, 12 % de los encuestados viven en un hogar con 6-7 personas por lo que los gastos y residuos son abundantes en comparación con los dos grupos anteriores.

En relación a los gastos semanales por compra de verduras para el consumo del hogar, 26 % de los estudiantes expresaron gastar más de \$400.00 pesos mexicanos, debido a que el salario mínimo en Puebla es de 172 pesos, costear la compra de verduras en una semana significa utilizar 3 salarios mínimos (Fig. 55).

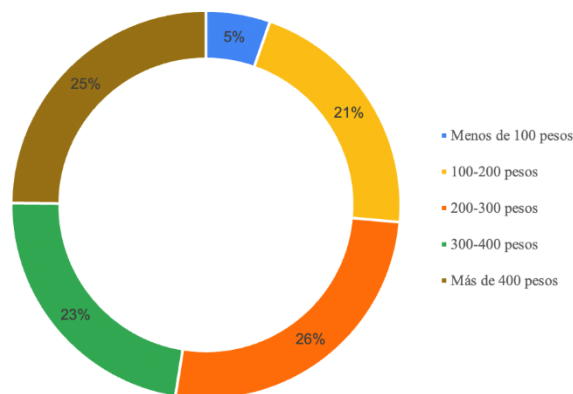


Fig. 55 Gasto semanal por universitarios en compra de verduras

Al final de la primera sección de la encuesta se esclareció la definición de ecotecnias y en base al significado los encuestados en su mayoría respondieron que disponen de calentadores solares de agua en su hogar; sin embargo, en la figura # es posible observar que un gran número de entrevistados contestaron que no disponían de ningún tipo de ecotecnia; por otro lado, los jardines de cultivos alimentarios y los composteros fueron parte de las respuestas y solo una persona comentó tener un sustrane. A pesar de que el 22 % de los encuestados manifestó no conocer el concepto de "huerto urbano", el 34% del número total realizan algún tipo de buenas prácticas con sus residuos orgánicos mediante la realización de composta, algunas personas menos involucradas con el tema central de la encuesta (26 %) manifestaron que tirar los residuos orgánicos en los jardines o áreas verdes es beneficioso ya que evitan mezclar los residuos inorgánicos con los orgánicos. Pese a eso, 25 % de los encuestados continúa tirando sus residuos sin realizar distinción alguna entre ellos.

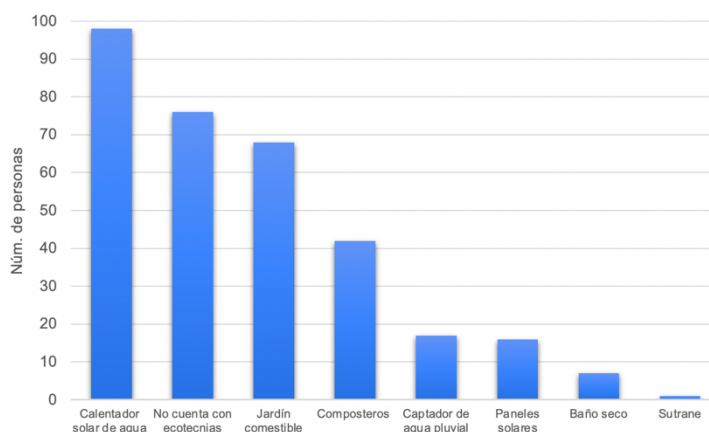


Fig. 56 Ecotecnias en las viviendas poblanas de jóvenes universitarios

En la segunda sección de la encuesta se cuestionó sobre los beneficios ambientales, sociales y económicos que los encuestados perciben al adquirir una ecotecnia de huerto urbano y captación de agua pluvial.

Beneficios ambientales

El beneficio más importante para los universitarios es disponer de una técnica ecológica que proporcione alimentos sanos y frescos sin utilizar herbicidas ni pesticidas. Los estudiantes manifestaron que los huertos urbanos ayudarán a reducir la huella de carbono y a mejorar la calidad del aire. El tercer beneficio más importante se centró en la optimización del espacio, una ecotecnia que garantiza una producción enriquecida de alimentos por unidad de superficie urbana. La figura 57 proporciona el nivel de importancia por cada beneficio ambiental propuesto.

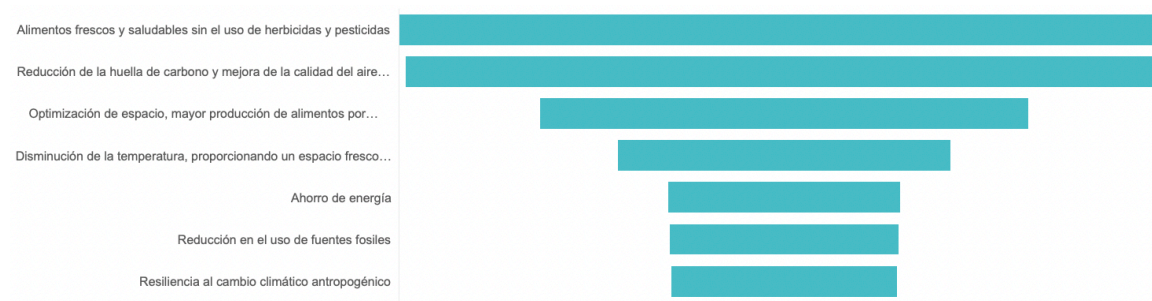


Fig. 57 Beneficios ambientales percibidos al implementar la ecotecnia

Beneficios sociales

En cuanto a los beneficios sociales, se estableció que al adoptar una ecotecnia de huertos urbanos se contribuye al enriquecimiento de la educación medioambiental, este beneficio social es de suma importancia y se relaciona estrechamente con la problemática ambiental actual, ya que si las personas fueran conscientes de los problemas ambientales como el aumento de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a la atmósfera a consecuencia del transporte de alimentos y el exorbitante desperdicio de alimentos por parte de los habitantes urbanos, se podrían implementar estrategias sostenibles como la ecotecnia propuesta en esta investigación (Fig. 58).

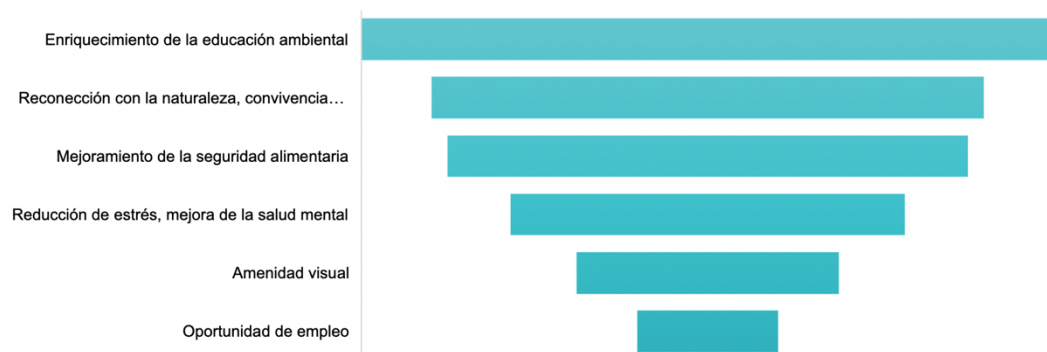


Fig. 58 Beneficios sociales percibidos al implementar la ecotecnia

Es importante destacar que un porcentaje considerable de la población también cree que un beneficio importante es volver a conectar con la naturaleza y tener la oportunidad de pasar tiempo con sus familiares en una zona verde; en ocasiones este tipo de beneficios son descartados al momento de proponer un proyecto como el actual, sin embargo, este tipo de beneficios sociales han logrado que la sociedad realice cambios radicales en su entorno. El mejoramiento de la seguridad alimentaria es el tercer beneficio social percibido y uno de los más importante en el actual proyecto de investigación.

Beneficios económicos

Con respecto a las ventajas económicas percibidas por los estudiantes, se identificó como principal a la reducción de costos debido la compra mínima semanal de frutas y verduras; al atender el riego de los cultivos con un sistema de captación de agua pluvial, se consideró a ese ahorro de gastos para recurso hídrico como un excelente beneficio. De igual manera, dentro de los entrevistados existe una visión optimista respecto a la posibilidad de producir una mayor cantidad de frutas y verduras que permitirá obtener un ingreso económico extra y garantizará su seguridad alimentaria (Fig. 59).



Fig. 59 Beneficios económicos percibidos al implementar la ecotecnia

Para la correcta selección de la siembra de cultivos en la ecotecnia de huerto urbano es necesario considerar además de factores bióticos y abióticos del sitio, el consumo y preferencia de los consumidores. Se cuestionó sobre las frutas y verduras más consumidas y para el caso de las verduras (Fig. 60,a) se obtuvo una respuesta similar posicionando a las zanahorias en primer lugar. En el caso de las frutas (Fig 60,b), las respuestas tuvieron una variación mayor, únicamente los plátanos y las manzanas fueron una elección semejante. Una vez obtenidos los resultados, será necesario priorizar aquellos cultivos factibles para la ecotecnia considerando la necesidades básicas de la planta en cuanto a espacio; para las frutas es más complicado considerar colocar una gran cantidad de árboles frutales dentro de la ecotecnia ya que necesitan un espacio amplio para el crecimiento de sus raíces, por lo que la implementación de cultivos que no requieren tanto espacio para su desarrollo como las fresas y zarzamoras se convertirá en una respuesta alternativa antes las necesidades y preferencias de los encuestados.

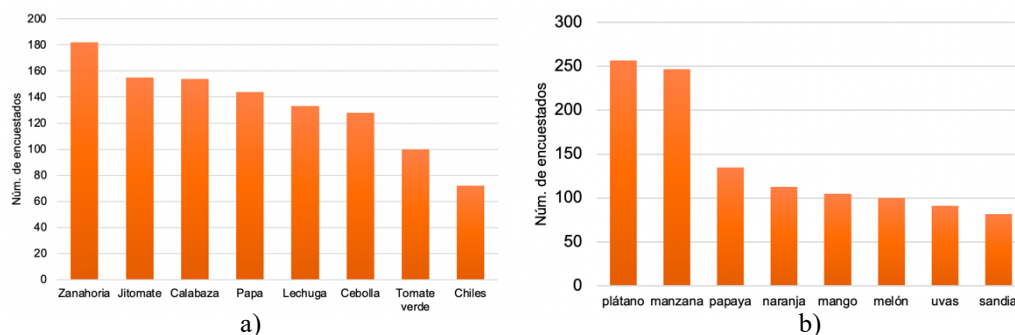


Fig. 60 Frutas y verduras más consumidas por jóvenes universitarios

Al cuestionar a los universitarios sobre la importancia de implementar una ecotecnia en sus hogares, un 26 % consideró bastante importante y 46 % opinó que es muy importante, sin embargo, un 3% destacó que estos proyectos son poco importantes e incluso 1% de la población consideraron que la adopción es nada importante para la sociedad. De esta manera, la tercera y última sección del cuestionario brindó argumentos específicos por los cuales las personas adoptarían o no un huerto urbano con un sistema de captación pluvial; un número considerable de estudiantes abordó los beneficios económicos, priorizando temas de producción de alimento, ahorro de agua para el riego y ahorro de costes en la compra de frutas y verduras. Los estudiantes que no estaban dispuestos a adoptar este tipo de ecotecnias

en sus hogares presentaron respuestas razonables sobre el tiempo actual disponible y la necesidad de la misma para el mantenimiento de los cultivos, los alumnos mencionaron que sus actuales horarios escolares les impiden invertir el tiempo necesario para implantar un huerto urbano.

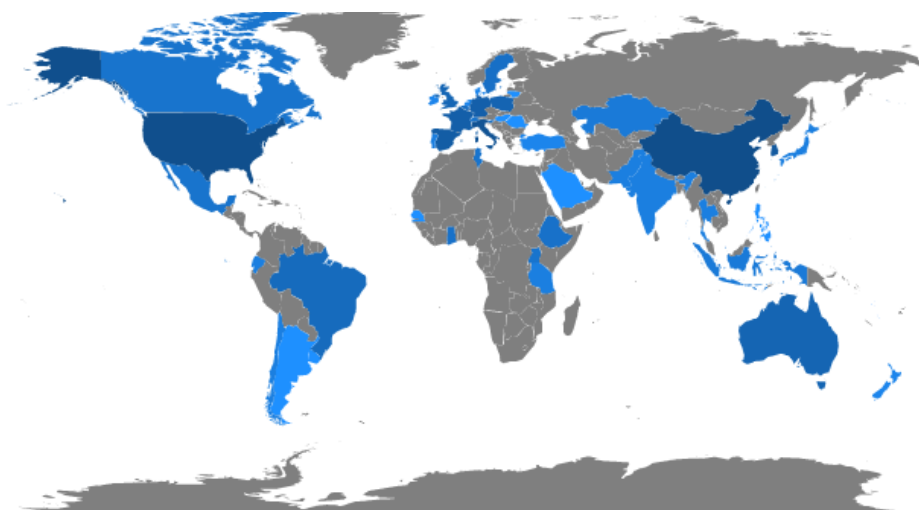
Un aspecto de suma importancia en la sociedad poblana es el poco espacio disponible en sus hogares, lo que los desalienta a cultivar hortalizas y frutas que requieren un mínimo de horas de radiación solar.

Se espera que estos resultados brinden información necesaria sobre las restricciones y oportunidades para la generación de ideas tecnológicas que faciliten la implementación de ecotecnias como la propuesta en esta investigación.

4.6. Propuesta de indicadores sociales, ambientales y económicos

Análisis bibliométrico

A través de técnicas bibliométricas se analizaron 111 documentos en el periodo enero 2018 a septiembre 2022. En la figura 61 se observa el mapa de los veinte países con mayor producción científica en los últimos 5 años, China encabeza la lista con 76 documentos publicados, seguido de Estados Unidos con 70 e Italia en tercer lugar con 54 documentos.



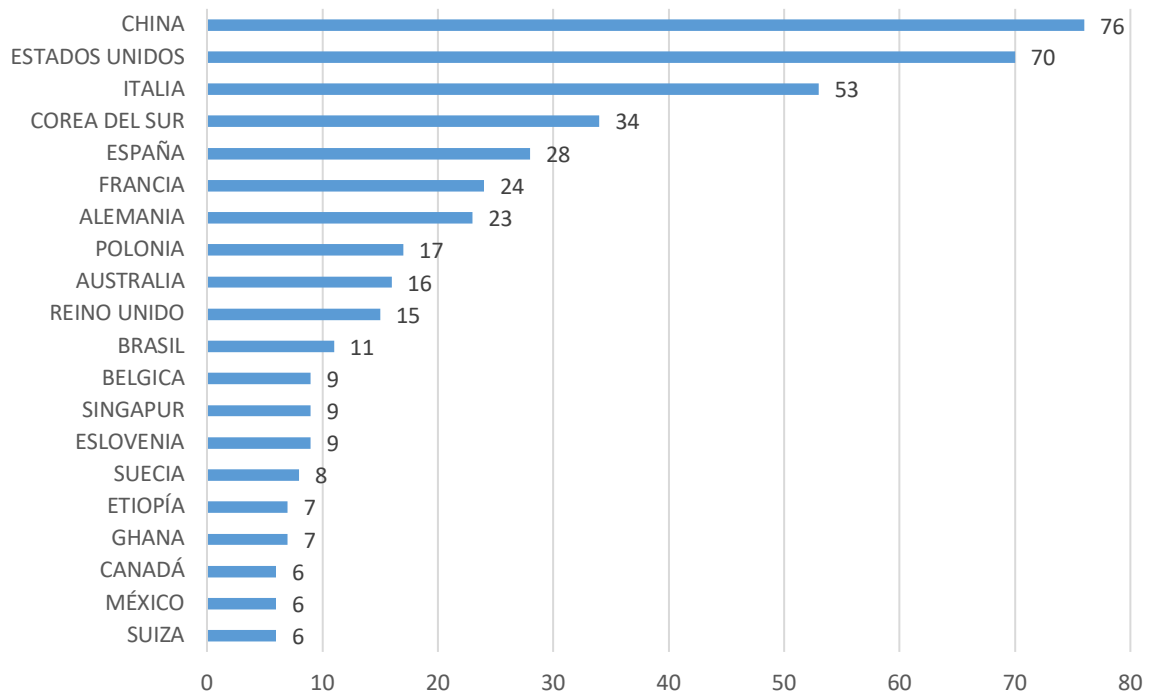


Fig. 61 Países con mayor producción científica en agricultura urbana e indicadores (2018-2022).

Únicamente dos países de América Latina se encuentran dentro del listado, México (6) y Brasil (11) con 6 y 11 publicaciones respectivamente.

China y Estados Unidos focalizan sus investigaciones en sistemas controlados de agricultura urbana, factores como la temperatura, radiación y precipitación pluvial son analizados con la finalidad de establecer las necesidades particulares de cultivos específicos. Ambos países cuentan con una densidad poblacional muy grande que los impulsa a buscar tecnologías que maximicen la producción de alimentos en espacios cerrados con elementos y factores climatológicos poco favorables para el desarrollo de cultivos. Los artículos publicados por estos países demuestran que es posible cultivar en lugares inimaginables siempre y cuando las plantas reciban la cantidad necesaria de humedad, radiación y nutrientes.

Italia, orienta sus publicaciones a la generación de huertos comunitarios con la finalidad de facilitar el acceso de una amplia variedad de cultivos a comunidades medianamente grandes; sus publicaciones consideran la captación de agua pluvial en un gran número de edificaciones y la direccionan a sus huertos urbanos.

En relación a los documentos más citados, la tabla 15 muestra los diez documentos más citados en la literatura de acuerdo a la base de datos de SCOPUS brindando así, información

de aquellos artículos con mayor impacto en la agricultura urbana e indicadores de evaluación. Duvernoy y colaboradores con un artículo publicado en 2018, se encuentra citado en 204 investigaciones.

Tabla 16 Temas Documentos más citados en artículos de agricultura urbana e indicadores (2018-2022)

Autor	Año	Fuente	Total de citas (TC)	TC por año
Duvernoy I	2018	Journal of Rural Studies	204	34
Artmann M	2018	Sustainability (Switzerland)	106	17.667
Azunre GA	2019	Cities	64	12.8
De la Sota C	2019	Urban Forestry & Urban Greening	38	7.6
Grard BJ-P	2018	Agronomy for Sustainable Development	32	5.333
Luo Y	2019	Land Degradation and Development	29	5.8
Nadal A	2018	The Science of the Total Environment	28	4.667
Kayembe JM	2018	International Journal of Hygiene and Environmental Health.	27	4.5
Filippini R	2018	Agronomy for Sustainable Development	22	3.667
Caputo P	2020	Science of The Total Environment	19	4.75

El artículo más citado publicado en el 2018 por Duvernoy y colaboradores aborda un análisis general de la agricultura en Toulouse, Francia en el periodo 1988-2010. Se identifican los indicadores medioambientales y socioeconómicos que caracterizan los cambios principales en la agricultura periurbana a lo largo del tiempo. Por otro lado, Artmann y colaboradores describen los retos actuales en la agricultura urbana y proponen proyectos sistemáticos basados en la naturaleza (NbS, por sus siglas en inglés); concluyen con el desarrollo de un marco evaluador integrador que permite visualizar la multifuncionalidad de los sistemas de agricultura urbana con beneficios colaterales ambientales, sociales y económicos. La propuesta de Artmann y colaboradores facilitó la propuesta de indicadores del actual proyecto de investigación.

Azunre y colaboradores proponen una síntesis bibliográfica de las actuales prácticas de agricultura urbana en todo el mundo así como los diferentes beneficios ambientales, sociales y económicos reportados en la literatura.

Respecto a los temas tendencia, los últimos cinco años ofrecen información sobre las inquietudes de la población en periodos específicos de tiempo. En la tabla 16 se observan los conceptos más relevantes, así como la frecuencia en que se publicaban. Las investigaciones en el año 2018 se centraban en temas de contaminación del agua y en las enfermedades provocadas, siendo *Enterococcus* un tema tendencia. De igual manera, la compra de cultivos previamente regados con agua contaminada se vinculaba a la economía de sectores sociales específicos.

Para el año 2019 se buscaban estrategias para obtener agua de mejor calidad y el crecimiento y desarrollo urbano desencadenaron técnicas que modificaron el uso de suelo en muchos lugares, España se posicionó como un país pionero en temas de agricultura urbana, dato que es posible corroborar en la Fig. 61 donde España ocupa el quinto lugar con 28 publicaciones.

Tabla 17 Temas tendencia en el periodo 2018-2022

Año	Concepto	Frecuencia
2018	Contaminación del agua	5
	<i>Enterococcus</i>	4
	Recreación	3
	Biofísica	3
	Indicador socioeconómico	3
2019	Desarrollo urbano	11
	Uso de suelo	10
	España	7
	Calidad del agua	7
	Crecimiento urbano	6
2020	Desarrollo sostenible	24
	Urbanización	17
	China	14
	Artículo	13
	Planeación urbana	12
2021	Agricultura urbana	50
	Área urbana	38
	Agricultura	28
	Sostenibilidad	22
	Población urbana	11
	Producción de alimentos	11
2022	Vulnerabilidad	4
	Análisis espacio-temporal	4

Riesgos de salud	3
Propiedad del suelo	3
Ecosistema urbano	3
Área rural	3
Densidad poblacional	3
Corea del sur	3

El concepto de desarrollo sostenible se posiciona en primer lugar de los temas tenencia del año 2020, seguido por urbanización y China país que destaca por su gran contribución de artículos en temas de planeación urbana sostenible.

Para el 2021, se busca la producción de alimentos en áreas urbanas y el concepto de “agricultura urbana” comienza a ser más notorio posicionandose como concepto tendencia número uno.

En el 2022, se visualizan a las zonas urbanas como un ecosistema que integra diversos elementos, conceptos como vulnerabilidad y riesgos a la salud son tendencia. Países como Corea del sur se posicionan en la lista de contribuciones importantes en materia de agricultura urbana e indicadores.

Es importante mencionar que el número de frecuencia de los conceptos del año 2022 pueden variar debido a que el análisis bibliométrico se realizó a mediados del año por lo que no se están considerando los últimos meses.

El análisis se centró en la estructura conceptual a través de la cual se determinaron y profundizaron los principales temas y conceptos en la investigación científica en relación a la agricultura urbana, logrando identificar la red de co-ocurrencia de palabras clave (Fig. 62). La búsqueda se realizó a través del filtrado de resultados por las palabras clave que se presentaban con mayor frecuencia en el resumen de los artículos; se examinaron un total de 25 conceptos, de los cuales los conceptos más relevantes fueron: a) agricultura urbana, b) desarrollo sostenible, c) área urbana, d) gestión ambiental y e) agricultura.



Fig. 62 Palabras clave en el periodo 2018-2022.

En la figura 62 es posible observar como alguna líneas se encuentran más marcadas que otras debido a la relación entre conceptos en un mismo proyecto de investigación, los artículos de agricultura urbana engloban conceptos de áreas urbanas, planeación urbana y manejo ambiental. Por otro lado, desarrollo sostenible se encuentra ligado a conceptos de producción y suministros de alimentos, sostenibilidad y uso de tecnologías para la agricultura.

En la parte central del diagrama se encuentra el concepto de agricultura vinculado a palabras clave como “Uso de suelo”, “área peri-urbana” y “estudios controlados”; pues con el crecimiento de la población y su distribución geográfica se implementaron proyectos de cambio de uso de suelo que obligaron a la población de zonas peri urbanas a comenzar proyectos de agricultura en sitios reducidos y controlados. Es importante mencionar que, aunque el concepto de contaminación del agua no se encuentra ligado a conceptos con circunferencias mayores, es relevante en el diagrama general ya que al estudiar las zona urbana para producción de alimentos y la implementación de agricultura urbana es necesario considerar el recurso hídrico y la calidad del mismo para su utilización en el riego de los cultivos.

Propuesta de indicadores ambientales, sociales y económicos.

El establecimiento de indicadores permitirá evaluar la ecotecnia propuesta en el nivel de desarrollo actual de la misma. Estableciendo y evaluando cada uno de los indicadores será sencillo confirmar que el proyecto contribuye al cumplimiento de los ODS de la Agenda 2030.

La Tabla 18 establece los indicadores de sostenibilidad propuestos, para una ecotecnia de huerto urbano acoplada a un sistema de captación pluvial que lleva un año en funcionamiento desde su implementación. Las primeras dos columnas de la tabla, establecen el ODS y la meta específica que se pretende cumplir, la tercera columna brinda información sobre la forma en que se contribuirá a través del presente proyecto con el cumplimiento de la respectiva meta; mientras que en las últimas tres columnas se posiciona el indicador de acuerdo a su dimensión: ambiental, económica o social.

Cada grupo de indicadores pertenecen a una categoría específica (señaladas subrayadas y en mayúsculas) con la finalidad de entender de manera práctica la orientación general de cada indicador establecido. La batería de indicadores por cada categoría cita a los autores que han propuesto indicadores similares para evaluar ecotecnias de huertos urbanos (Tabla 18).

Tabla 18 Indicadores propuestos con ODS y meta de contribución

ODS	Meta	Contribución	INDICADORES		
			Ambiental	Social	Económico
2.- hambre cero	2.2	Ofrecer una diversidad de alimentos saludables y nutritivos que contribuyan a la seguridad alimentaria de las familias productoras de la zona urbana de Puebla mediante el consumo de frutas y verduras		<u>SEGURIDAD ALIMENTARIA</u> 1.-Suministro y diversidad de alimentos: cultivo de plantas comestibles cosechadas para la nutrición humana. (Gómez-Villarino & Ruiz-Garcia, 2021; N. Wang et al., 2021) 2.-Autosuficiencia alimentaria: cantidad de alimentos.	

		<p>frescas disponibles en la ecotecnia.</p> <p><u>2 INDICADORES</u></p>		(Toboso-Chavero et al., 2021)	
	2.4	<p>Proporcionar una ecotecnia sostenible que brinde alimentos nutritivos mediante el empleo de prácticas resilientes que faciliten el automanejo del huerto.</p> <p><u>4 INDICADORES</u></p>	<p><u>BIODIVERSIDAD</u></p> <p>1.-Aumento de polinizadores. (Gómez-Villarino & Ruiz-García, 2021)</p>	<p><u>BIODIVERSIDAD</u></p> <p>1.- Provisión de servicios ecosistémicos: recursos medicinales. (Artmann & Sartison, 2018)</p>	<p><u>PRODUCCIÓN Y ALIMENTO SOSTENIBLE</u></p> <p>1.-Ahorro económico por año. (Toboso-Chavero et al., 2021)</p> <p>2.-Autodependencia o automanejo. (Fernández et al., 2020)</p>
3.- salud y bienestar	3.9.d	<p>Uso adecuado de fertilizantes químicos y tecnologías agroecológicas que eviten la degradación del suelo y a su vez contribuyan a la reducción de enfermedades por causa de productos químicos presentes de manera excesiva en los alimentos.</p> <p><u>2 INDICADORES</u></p>	<p><u>RESIDUOS Y FERTILIZACIÓN</u></p> <p>1.- Fertilización orgánica y uso de fertilizantes químicos (Buscaroli et al., 2021; Nie et al., 2022; Zasada et al., 2020)</p> <p><u>BIODIVERSIDAD</u></p> <p>2.-Incorporación de tecnología agroecológica (Chiappe Hernández, 2019)</p>		

4.- educación de calidad	4.7	<p>Divulgación científica mediante la participación en congresos y publicación de artículos sobre los beneficios de la ecotecnia.</p> <p><u>1 INDICADOR</u></p>		<p><u>EDUCACIÓN AMBIENTAL</u></p> <p>1.-Concienciación y sensibilización sobre la producción de alimentos para el autoconsumo. (Artmann & Sartison, 2018; Hong et al., 2020)</p>	
5.- igualdad de género	5.5	<p>Garantizar el involucramiento social en actividades de agricultura urbana por medio de una ecotecnia accesible para todas las personas que contribuya a un empoderamiento socioterritorial por parte de los usuarios.</p> <p><u>2 INDICADORES</u></p>		<p><u>SOCIOTERRITORIAL</u></p> <p>1.-Accesibilidad al sitio para la sociedad. (Caneva et al., 2020; Fernández et al., 2020; Nie et al., 2022; Zhao & Zhang, 2019)</p> <p>2.-Involucramiento social mediante el trabajo colectivo para realizar acciones de apoyo al patrimonio cultural. (Nie et al., 2022)</p>	

6.- agua limpia y saneamiento	6.4	<p>Proporcionar una ecotecnia que permita captar agua pluvial para el suministro en cultivos de huertos urbanos, contribuyendo así al uso eficiente del recurso hídrico en las zonas urbanas.</p> <p><u>2 INDICADORES</u></p>	<p><u>AGUA</u></p> <p>1.-Capacidad de captación de agua de lluvia. (Nadal et al., 2018)</p>		<p><u>PRODUCCIÓN Y ALIMENTO SOSTENIBLE</u></p> <p>1.-Uso del agua de lluvia en el huerto y potencial de reutilización del recurso. (Mino et al., 2021; Valencia et al., 2022)</p>
11.- ciudades y comunidades sostenibles	11.3	<p>Incrementar la urbanización sostenible e inclusiva a través de la propuesta de ecotecnia de huertos urbanos</p> <p><u>2 INDICADORES</u></p>		<p><u>ESTÉTICA DEL DISEÑO</u></p> <p>1.-Embellecimiento del paisaje. (Hong et al., 2020; Tehiesen et al., 2022)</p>	<p><u>PRODUCCIÓN Y ALIMENTO SOSTENIBLE</u></p> <p>1.-Propagación Escalabilidad, replicabilidad y adaptabilidad. (Miller, 2019)</p>
	11.7	<p>Facilitar el acceso a espacios verdes en las ciudades mediante huertos verticales disponibles</p>	<p><u>BIODIVERSIDAD</u></p> <p>1.-Presencia de especies seleccionadas, grupos de especies, componentes del hábitat y</p>	<p><u>SALUD FISICA Y MENTAL</u></p> <p>1.- Consumo de frutas y hortalizas. (Gómez-Villarino & Ruiz-Garcia, 2021)</p>	

		para la población de la zona urbana. 2 INDICADORES	composición de las especies. (Thiesen et al., 2022)		
12.- producción y consumo responsable	12.3	Proponer el consumo de alimentos cultivados en huertos urbanos con la finalidad de reducir las pérdidas de alimentos en la cadena de producción y transporte. 2 INDICADORES	<u>RESIDUOS Y FERTILIZACIÓN</u> 1.-Circularidad de nutrientes: composta. (Gómez-Villarino & Ruiz-Garcia, 2021)		<u>PRODUCCIÓN Y ALIMENTO SOSTENIBLE</u> 1.-Ahorro de recursos. (Artmann & Sartison, 2018; Ilieva et al., 2022)
	12.8. a	Creación de sistema de alimentos sostenible que contribuya a la creación de soluciones científicas y tecnológicas para un consumo urbano responsable. 4 INDICADORES	<u>AGUA</u> 1.-Mitigación de la escorrentía urbana. (Artmann & Sartison, 2018) <u>BIODIVERSIDAD</u> 1.-Ecosistemas naturales a pequeña escala en las zonas urbanas. (Thiesen et al., 2022)	<u>SEGURIDAD ALIMENTARIA</u> 1.-Maximizar el uso del espacio y la diversidad de especies productivas. (Thiesen et al., 2022)	<u>PRODUCCIÓN Y ALIMENTO SOSTENIBLE</u> 1.-Costo beneficio de la ecotecnia. (Liang et al., 2019)

13.- acción por el clima	13.3	<p>Aumentar la investigación de sistemas urbanos sostenibles con la finalidad de educar y sensibilizar a la población sobre los beneficios de los huertos urbanos frente al actual cambio climático.</p> <p><u>1 INDICADOR</u></p>	<p><u>CALIDAD DEL AIRE Y CAMBIO CLIMÁTICO</u></p> <p>1.-Moderación de los componentes climáticos locales como el viento, la temperatura y la radiación. (Thiesen et al., 2022)</p>		
	TOTAL 24 INDICADORES		9 AMBIENTAL	9 SOCIAL	6 ECONÓMICOS

Se proponen un total de 24 indicadores que contribuyen al cumplimiento de ocho ODS y 11 metas específicas. La tabla 19 clasifica todos los indicadores en los tres sectores de la sostenibilidad para facilitar su entendimiento y se describe la manera en que se van a evaluar.

Tabla 19 Indicadores propuestos y la forma de evaluación

Sector	Indicador	Forma de evaluar
Ambiental	Aumento de polinizadores.	Abundancia de pájaros, abejas y abejorros
	Fertilización orgánica y uso de fertilizantes químicos.	Proporción de fertilizantes orgánicos y no orgánicos en l/m ²
	Incorporación de tecnología agroecológica.	Tecnologías que evitan la degradación del suelo
	Capacidad de captación de agua de lluvia	Área en m ² del techo de la ecotecnia
	Presencia de especies seleccionadas, grupos de especies, componentes del hábitat y composición de las especies	Tabla de caracterización de plantas
	Circularidad de nutrientes: composta	Residuos utilizados para composta en kg/m ²
	Mitigación de la escorrentía urbana	Captación del agua antes contaminarse
	Ecosistemas naturales a pequeña escala en las zonas urbanas	Posibilidad de convertirse en un sistema sostenible

	Moderación de los componentes climáticos locales como el viento, la temperatura y la radiación.	Creación de microclimas, cortavientos, en la ecotecnia
	Suministro y diversidad de alimentos: cultivo de plantas comestibles cosechadas para la nutrición humana.	Producción de alimentos en kg/m ²
	Autosuficiencia alimentaria: cantidad de alimentos.	Consumo de alimentos por familia o persona en kg
	Provisión de servicios ecosistémicos: recursos medicinales.	Especies de plantas medicinales disponibles
Social	Concienciación y sensibilización sobre la producción de alimentos para el autoconsumo. Accesibilidad al sitio para la sociedad.	Participación en congresos y publicación de artículos En términos de diversidad de gente, situación económica, edad y género
	Involucramiento social mediante el trabajo colectivo para realizar acciones de apoyo al patrimonio cultural.	Con que comunidades locales se trabaja
	Embellecimiento del paisaje.	Diferenciador por ordenamiento de cultivos
	Consumo de frutas y hortalizas.	Porcentaje consumido de frutas y verduras vs producción de alimentos
	Maximizar el uso del espacio y la diversidad de especies productivas	Ahorro en m ² por cultivos verticales
	Ahorro económico por año.	\$/ecotecnia/año
	Autodependencia o automanejo.	Tiempo necesario para alcanzar la independencia de suministros
Económico	Uso del agua de lluvia en el huerto y potencial de reutilización del recurso.	$WRP = \frac{(WS - SWS) * RW_{cost}}{UA_{area}}$
	Propagación Escalabilidad, replicabilidad y adaptabilidad	Consideraciones para su propagación (cultura, clima, economía, medio ambiente, y condiciones de gobernanza)
	Ahorro de recursos.	Ahorro por uso de agua y en fertilizantes.
	Costo beneficio de la ecotecnia.	Análisis del costo de implementación de la ecotecnia

Con la evaluación de los indicadores es posible confirmar que el proyecto está cumpliendo, con los ODS y metas propuestas mencionadas a continuación.

Evaluación de indicadores ambientales

1.- Aumento de polinizadores

El aumento de polinizadores contribuye al cumplimiento de la meta 2.4 del ODS 2: hambre cero ya que se busca generar prácticas resilientes que faciliten el automanejo del huerto, el aumento de polinizadores facilitará la producción de frutos y la maximización de cultivos.

El sitio donde se colocó la ecotecnia carecía de especies vegetales que lograran atraer polinizadores a la zona; por lo tanto, se estableció un análisis en el periodo de mayo a julio del 2023 para contabilizar la presencia de diferentes especies; el conteo de polinizadores se implementó después de obtener las primeras flores de zinnia y lavanda. Se registraron Abejas (*Apis mellifera*), aves (*Cynanthus latirostris*), polillas nocturnas (*Ophthalmoblysis ibarraí*), mariposas (*Cometa Xochiquetzal*, *Leptotes marina*) y abejorros (*Bombus mexicanus*) que se encargaran del desarrollo y producción de frutos específicos como las calabazas y tomate.

2.- Fertilización orgánica y uso de fertilizantes químicos

El uso de fertilizantes químicos se utilizó al principio de la producción de cultivos cuando aún no se contaba con composta suficiente para el abono de cada planta; sin embargo, al momento de preparar el sustrato de cada planta se utilizó una cantidad suficiente de abono orgánico con la finalidad de disminuir el fertilizante inorgánico. Se utilizó Fertiplus un fertilizante foliar y *CAPTÁN*, un fungicida: se aplicaron dos veces en un periodo de cuatro meses por lo que se utilizó ½ L de cada uno para un área superficial de 3 m². Es muy importante utilizar de manera adecuada estos fertilizantes químicos y tecnologías agroecológicas que eviten la degradación del suelo y a su vez contribuyan a la reducción de enfermedades por causa de productos químicos presentes de manera excesiva en los alimentos, de esta manera, se contribuye al cumplimiento de la meta 3.9 del ODS 3: Salud y bienestar.

3.- Incorporación de tecnología agroecológica

Para la incorporación de tecnologías que permitan la recuperación del suelo y eviten la degradación del mismo se implementaron técnicas de barbecho en algunos huacales con tierra con la finalidad de remover el suelo y dejarlo reposar un tiempo para su recuperación; mientras el sustrato de los huacales se recuperaban se trasplantó cada cultivo a las botellas del sistema vertical propuesto con la finalidad de que el riego por goteo de la botella superior

facilitara el acceso constante del recurso hídrica y al mismo tiempo evitara el encharcamiento, de esta manera se evita la degradación del suelo y la pérdida de nutrientes. Este indicador al igual que el anterior contribuyen al cumplimiento del ODS 3 salud y bienestar ya que evitando que se degrade el suelo se disminuye el uso de fertilizantes químicos que han sido reportados dañinos para la salud humana debido al uso excesivo del mismo.

4.- Capacidad de captación de agua de lluvia

Este indicador contribuye directamente al ODS 6: agua limpia y saneamiento ya que la ecotecnia permitirá captar agua pluvial para el suministro en cultivos de huertos urbanos, contribuyendo así al uso eficiente del recurso hídrico en las zonas urbanas.

Para la obtención de la capacidad de captación de la ecotecnia es necesario conocer la zona de escorrentía, por lo que será indispensable conocer el área superficial del techo, el tipo de material propuesto para la captación y la precipitación promedio al año. La ecotecnia cuenta con una superficie de 8.37m^2 , el coeficiente de escorrentía del material propuesto (láminas de aluminio) es de 0.8 y la precipitación promedio al año en la zona urbana de Puebla es de 933.2 mm/año por lo que el suministro de agua en el tanque será de $6.249\text{ m}^3/\text{año}$ obteniendo 6249.00 litros al año.

5.- Presencia de especies seleccionadas, grupos de especies, componentes del hábitat y composición de las especies

Para el cumplimiento del ODS 11, meta 11.7 se pretende facilitar el acceso a espacios verdes en las ciudades mediante huertos verticales disponibles para la población de la zona urbana; estos espacios verdes contarán con especies vegetales específicas por lo que es de suma importancia contar con un inventario de las mismas. Las características de las especies seleccionadas para la implementación de la ecotecnia se encuentran enlistadas en el anexo 4.

6.- Circularidad de nutrientes: composta

La generación de composta a partir de los residuos utilizados, es una opción viable para la circularidad de nutrientes, de igual manera se contribuye al cumplimiento de la meta 12.3 del ODS 12: producción y consumo responsable. Se utilizaron hojas de espinaca, lechuga y chiles que se caían de la planta o aquellas que comenzaban a marchitarse antes de ser cultivadas; estas hojas verdes son ricas en nitrógeno por lo que añaden un elemento indispensable para

la composta. De igual manera, se utilizaron todos los residuos orgánicos de un solo hogar siendo las cascavas de plátano, trozos de jitomate y las cascavas de huevo los más predominantes. A la semana se incorporaban 0.953 kg de residuos en una cubeta de 20 L, y a las 15 semanas se obtuvo un total de 1.429 kg de composta. Para una mayor obtención de composta será necesario aumentar la cantidad de residuos y contar con diferentes contenedores que faciliten la generación de abonos orgánicos.

7.- Mitigación de la escorrentía urbana

La escorrentía urbana mitigada va relacionada con la capacidad de captación de la ecotecnia ya que el agua captada es el recurso hídrico aprovechado en los cultivos, de esta manera se evita que 6249.00 litros al año lleguen al drenaje de las ciudades y se contaminen sin ser aprovechados. Al igual que el indicador anterior, se busca un aprovechamiento de los recursos evitando gastos innecesarios, contribuyendo así a la meta 12.8.a del ODS 12: producción y consumo responsable.

8.- Ecosistemas naturales a pequeña escala en las zonas urbanas

El color gris es el tono característico de las ciudades debido a las grandes construcciones implementadas en la zona urbana, por otro lado, el color verde promueve la idea de ecosistemas naturales y alejados de las ciudades como las selvas y bosques; añadiendo ecotecnias de 8.37 m² se contribuye a la generación de pequeños ecosistemas naturales en espacios constituidos únicamente por pavimento. Los indicadores anteriores constatan que estos pequeños ecosistemas son capaces de atraer diferentes especies de polinizadores que facilitan la generación de frutos, y la incorporación de agrotecnologías facilitarían la futura sostenibilidad de la misma.

9.- Moderación de los componentes climáticos locales como el viento, la temperatura y la radiación

Dentro de la ecotecnia se generan microclimas que facilitan la comodidad de las personas que se encuentran trabajando con los cultivos; mientras que a fuera de la ecotecnia se tiene una temperatura de 27 °C en la parte interior de la ecotecnia se alcanzaron temperaturas mínimas de 21 °C favoreciendo un ambiente más fresco y la posibilidad de permanecer más tiempo entre las plantas. De igual manera las plantas tipo enredaderas como la calabaza colocada en la parte lateral de la ecotecnia cumplen la función de cortar vientos evitando que

plantas más sensibles como el pepino se dañen. Este indicador es de suma importancia ya que busca contribuir a la meta 13.3 del ODS 13: acción por el clima mediante la investigación de sistemas urbanos sostenibles, educando y sensibilizando a la población sobre los beneficios de este tipo de ecotecnia en los entornos urbanos.

Evaluación de indicadores sociales

10.- Suministro y diversidad de alimentos: cultivo de plantas comestibles cosechadas para la nutrición humana.

La producción de alimentos por m² varía de acuerdo al cultivo, mientras que la lechuga puede producir de 2 a 3 kg de biomasa por m² el tomate llega a producir hasta 6 kg de biomasa. La obtención de biomasa por los cultivos sembrados en la ecotecnia se logró obtener en el periodo de junio 2022 – agosto 2022 en el cual se obtuvieron 2.86 kg de alimentos variados. Cada cultivo se encontraba cultivado en huacales de madera de 30 cm de largo x 20 cm de ancho por lo que la obtención de biomasa disminuyó al considerar únicamente una superficie de 0.06 m² para cada cultivo. En total se obtuvieron 0.15 kg de lechuga, 0.15 kg de chile jalapeño, 0.06 kg de espinaca, 0.18 kg de acelga, 0.24 kg de cebolla cambray, 0.15 kg de chile habanero-manzano, 0.18 kg de papa, 0.09 kg de apio, 0.72 kg de tomate verde, 0.15 kg de chile poblano, 0.70 kg de jitomate bola y 0.090 kg de menta.

11.- Autosuficiencia alimentaria: cantidad de alimentos

Una persona necesita consumir mínimo 400 g de frutas y verduras al día, por lo que se puede deducir que con el tiempo que lleva el huerto urbano que es menor a un año, no es posible alcanzar la autosuficiencia alimentaria, sin embargo, considerando que el huerto se comenzó en febrero 2022 y en agosto se tenía una producción de 2. Para alcanzar una producción sostenible se espera un mantenimiento del huerto de aprox. tres años en donde se establezcan los cultivos y se obtengan frutos la mayor parte del año.

12.- Provisión de servicios ecosistémicos: recursos medicinales.

En el huerto es posible destinar una superficie para la producción de plantas medicinales. Plantas como la manzanilla, la menta y el tomillo son especies de plantas que requieren poco espacio para una mayor producción y además de ser medicinales logran repeler algunas

plagas específicas por lo que su producción en la ecotecnia brindaría dos servicios ecosistémicos particulares: recursos medicinales y repelentes naturales.

13.- Concienciación y sensibilización sobre la producción de alimentos para el autoconsumo.

La educación ambiental en la sociedad es de suma importancia, en ocasiones la gente no considera el gasto económico y ambiental de consumir todos los productos alimenticios en los centros comerciales. Para demostrar las afectaciones en la cadena de suministro de diferentes frutas y verduras, así como los beneficios de consumir y producir alimentos locales se participó en diferentes congresos en las universidades UPMP y el instituto tecnológico de Orizaba, así como también en el XLIII encuentro nacional de la Academia Mexicana de Investigación y Docencia en Ingeniería Química (AMIDIQ). Se realizaron un total de cinco ponencias en las diferentes instituciones en donde participaron en promedio 75 personas por evento.

14.- Accesibilidad al sitio para la sociedad

La ecotecnia tiene la oportunidad de ser accesible para un gran número de personas, sin importar su género, edad y/o situación económica. Por el momento el prototipo fue instalado en la UPMP por lo que el acceso es limitado para estudiantes, sin embargo, existe la oportunidad de que personas de colonias vecinas tengan la oportunidad de ser parte de la misma. Las especificaciones técnicas de la ecotecnia posibilitan la oportunidad para que cualquier persona tenga acceso a la misma.

Para el diseño de la ecotecnia se consideró que fuera accesible para cualquier persona contribuyendo a la meta 5.5 del ODS 5: igualdad de género.

15.- Involucramiento social mediante el trabajo colectivo para realizar acciones de apoyo al patrimonio cultural.

Los huertos urbanos tienen la posibilidad de involucrar a una cantidad considerable de personas; la ecotecnia tiene la posibilidad de permitir a 4 personas trabajar en diferentes cultivos con un espacio de 1.50 m para cada quien, por lo que trabajando en un mismo lugar con diferentes personas se facilita el mantenimiento del huerto y se promueve la participación de diferentes personas. Al mismo tiempo, el trabajo colectivo dentro de la ecotecnia enriquece el empoderamiento socio territorial en los cultivos.

16.- Embellecimiento del paisaje.

El clima de Puebla posibilita la generación de huertos urbanos en ciertas viviendas y parques comunitarios, sin embargo, algunas personas creen que el espacio mínimo para colocar un huerto son 10 m². La ecotecnia propuesta brinda la posibilidad de colocar los huertos de manera vertical y el modelo facilita la identificación y el mantenimiento de los cultivos; a su vez, el ordenamiento de cada uno de las plantas brinda un escenario atractivo para la zona urbana embelleciendo los ecosistemas presentes. Incrementando la urbanización sostenible con ecosistemas naturales incorporados se contribuye a la meta 11.3 del ODS 11: ciudades y comunidades sostenibles.

17.- Consumo de frutas y hortalizas.

La ecotecnia planteada brinda la posibilidad de colocar 27 cultivos diferentes en las laterales del modelo, por lo que el plan a futuro de la misma ofrece la oportunidad de colocar un máximo de 90 plantas. Dependiendo los cultivos seleccionados se tendrá una producción de biomasa específica, sin embargo, se prevé que en un periodo máximo de 2 años los cultivos tendrán la capacidad de ofrecer seguridad alimentaria para una familia de 4 personas.

18.- Maximizar el uso de espacio y la diversidad de especies productivas.

Como se mencionó en el indicador 16 la ecotecnia brinda la posibilidad de maximizar la producción de cultivos en un espacio reducido; en el modelo propuesto es posible cultivar diferentes plantas en 27 m² en una superficie total de 8.37m² por lo que gracias al crecimiento vertical se tiene un ahorro de 18.63m².

Evaluación de indicadores económicos

19.- Ahorro económico por año

Con la producción obtenida en el periodo junio 2022 – agosto 2022 en el cual se obtuvieron 2.86 kg de alimentos se genera un ahorro económico de \$ 77.8 mxn, esto debido a que la producción de los cultivos es menor a 1 kg para cada uno. Con los análisis económicos de la producción de alimentos es posible realizar proyecciones en el tiempo del ahorro total obtenido, de esta manera se contribuye al cumplimiento de la meta 2.4 del ODS 2: hambre cero ya que con una mayor producción de alimento se obtiene un ahorro económico mayor y las personas satisfacen una necesidad básica.

20.- Autodependencia o automanejo

Es posible alcanzar la autodependencia de suministros en la ecotecnia a partir de los 6 meses de haberla instalado, esto debido a que una vez que los cultivos han conseguido dar frutos es posible obtener semillas que se irán almacenando para su futura implementación, de igual manera ya se cuenta con composta y lombricomposta que permitirán la minimización de fertilizantes inorgánicos.

21.- Uso del agua de lluvia en el huerto y potencial de reutilización del recurso

El indicador 4 nos proporciona una idea clara de la cantidad de agua que se estará ahorrando por lo cual es posible considerar un tanque de almacenamiento de acuerdo a las necesidades requeridas para las plantas del huerto, de igual manera al diseñar un captador del recurso hídrico en la parte inferior de la ecotecnia se facilita la reutilización del agua por lo que más que un ahorro económico es un ahorro ante algún posible escenario de escasez del recurso hídrico.

22.- Propagación, escalabilidad, replicabilidad y adaptabilidad

Para considerar la propagación de la ecotecnia es necesario considerar que las cantidades específicas de captación pluvial son fundamentadas en la precipitación promedio de la zona urbana de Puebla por lo que al considerar una futura propagación en otro sitio sería necesario considerar este tipo de características. En cuanto a la economía y a la cultura de las personas esta ecotecnia tiene la facilidad de ser accesible para cualquier tipo de personas ya que a pesar de requerir un presupuesto inicial está tiene la finalidad de lograr la autosuficiencia y los materiales utilizados brindarán un periodo de vida bastante largo a comparación de algún otro material.

23.- Costo beneficio de la ecotecnia

Los materiales más importantes para la instalación de la ecotecnia son los siguientes:

- 15 piezas de perfil c-150 calibre 18
- 2 piezas de canalón galvanizado de calibre 26 x 3.05 m
- 2 piezas de policarbonato transparente 6 mm de 1.83 x 3.05 m
- 3 pzas de sellador acrílico de 300 ml
- 100 piezas de pija autotaladrante armada de 1/4 x 1"
- 3 kg de soldadura 6013 de 3/32

-
- 1 galón de esmalte secado rápido
 - 20 discos de corte acero de 4.1/2 austromex clave 781
 - 1 galón de thinner std
 - 3 bolsas de 1 kg de estopa blanca
 - 2 piezas de tubo de pvc sanitario de 2" x 6 m
 - 2 pzas de codo de 2" x 90° pvc sanitario
 - 2 piezas tee de 2" pvc sanitario
 - 2 tambos de plástico de 200 L con tapa
 - 2 tubos de silicón transparente de 300 mL
 - 12 solera de 1/2 x 1/8

Para la instalación de la ecotecnia se requiere una inversión de \$ 20,538.00 mxn, este costo de inversión considera los materiales más importantes para la instalación como es el perfil C-150 calibre 18, el cual será la estructura de acero que sustentará la ecotecnia. Con esta inversión se considera la compra de los materiales para la estructura, sin embargo, también se debe considerar el servicio especializado por construcción de la ecotecnia y algunos materiales iniciales para el cultivo como palas, macetas, germinadores, semillas y sustrato por lo que la inversión inicial es de \$ 43,249.00 mxn.

Con el cumplimiento de los indicadores propuestos es posible evaluar un proyecto de agricultura urbana en su etapa inicial; debido al poco tiempo de implementación de la ecotecnia es imposible tener certeza de que la ecotecnia es un sistema autónomo; sin embargo, conforme pasen los años será posible establecer un alcance mayor para cada indicador y comprobar la autonomía de este tipo de sistemas urbanos sustentados en ecosistemas naturales.

Hasta el momento es posible confirmar que la ecotecnia está contribuyendo al cumplimiento de 11 metas específicas de 8 ODS de la Agenda 2030. Es necesario realizar una evaluación de los mismos indicadores a los dos años de la implementación de la ecotecnia y considerar el establecimiento de nuevos indicadores que contribuyan a otros ODS que hasta el momento no se han considerado.

5. CONCLUSIONES

Es posible afirmar que la generación de este proyecto contribuye de diferentes maneras a la sociedad; con respecto a los objetivos de modelado y simulación de la ecotecnia, se logró obtener un diseño con características particulares que aseguren la instalación de una ecotecnia sin necesidad de acudir a soluciones basadas únicamente en la experiencia las cuales consideran un gasto económico mayor. El modelo planteado brinda la oportunidad de cultivar un mayor número de plantas de manera vertical, contribuyendo al crecimiento urbano vertical que permite optimizar espacios sin generar un cambio de uso de suelo en grandes extensiones de tierra. Es posible utilizar el modelo propuesto en esta investigación y adaptarlo a las condiciones de espacio particulares para cada individuo.

Realizar el análisis del transporte de nutrientes en cada parte de una planta es un proceso largo que requiere de especialización para cada cultivo analizado debido a las necesidades particulares de cada planta, sin embargo, es posible observar que algunos cultivos que necesitan condiciones de clima similares también tienen un comportamiento similar en el transporte de nutrientes. Al establecer análisis de espectroscopia de absorción atómica y FTIR se logró conocer la cantidad específica de elementos particulares y de los grupos funcionales de las mismas; con respecto a los elementos analizados de manera específica se concluye que los cultivos cuentan con elementos indispensables para el crecimiento de las plantas. El análisis de la concentración de Pb genera preocupación al obtener resultados positivos en una planta de chile poblano; estos resultados podrían encaminar a nuevos proyectos de investigación que se enfoquen en la biorremediación de plantas y en la adsorción de contaminantes de manera foliar, esto debido a que los cultivos se encuentran a una distancia no mayor a 40 m del río Atoyac, sin embargo, están sembrados en contenedores aislados por lo que es imposible que la raíz los esté obteniendo del suelo contaminado.

Los resultados de FTIR permiten establecer la estructura química de todo el compuesto conociendo la posición de cada bioelemento (CHONSP) encontrado en la planta y así mismo realizar una siguiente investigación focalizando la cantidad excesiva de nitrógeno en el sustrato.

Con respecto a la generación del modelo matemático de predicción pluvial será posible conocer el comportamiento futuro de las precipitaciones; es importante considerar los

actuales comportamientos de la lluvia y temperatura para saber que no siempre se obtendrá el recurso hídrico solicitado por los cultivos por lo que será indispensable considerar la generación de ideas que optimicen el recurso hídrico obtenido y los proporcionen a la planta en las cantidades necesarias.

La parte social involucrada en esta investigación es de suma importancia ya que conociendo las necesidades y la disposición de cada individuo se podrá establecer un parámetro de indicadores que faciliten la obtención de este tipo de ecotecnias garantizando el seguimiento óptimo y su futura sostenibilidad. Una de las principales razones por las que la gente está dispuesta a adoptar ecotecnias de huertos urbanos son los beneficios medioambientales que aportan, como la reducción de la huella de carbono y la mejora de la calidad del aire por la maximización de cultivos verdes. Además, los estudiantes señalaron que estas ecotecnias pueden ayudarles a reconectar con la naturaleza, mejorar su educación medioambiental y aumentar la seguridad alimentaria de la zona urbana.

En cuanto a los beneficios económicos, los estudiantes afirmaron que la reducción de los costes de las frutas y verduras y la disminución de la factura del agua son ventajas importantes. Además, señalaron la posibilidad de generar ingresos extra produciendo más frutas y verduras en sus huertos.

Facilitar el conocimiento de temas de agricultura urbana a la sociedad permitirá crear soluciones en diferentes áreas como el acceso a la tierra, al agua, a la seguridad alimentaria y a la creación de leyes que faciliten el cumplimiento normado de actividades que fortalezcan los derechos humanos de la sociedad. De tal manera, que la educación y la creación de programas de formación de agricultores urbanos ayudará a superar los retos y obstáculos presentes garantizando el éxito de la agricultura.

Por último, el establecimiento de indicadores de sostenibilidad y la identificación particular de ODS y metas específicas cumplidas con el nivel actual de cada investigación, facilitará la medición de proyectos y brindará datos reportados en análisis bibliométricos que posicionarán a nuestro país en lugares más altos en cuanto a la producción de artículos e investigaciones. La actual ecotecnia propuesta contribuye al cumplimiento de al menos 8 ODS de la Agenda 2030 y es posible evaluarse mediante 24 indicadores distribuidos en cada sector de la sostenibilidad.

6. REFERENCIAS

- Alim, M. A., Rahman, A., Tao, Z., Samali, B., Khan, M. M., & Shirin, S. (2019). Suitability of roof harvested rainwater for potential potable water production: A scoping review. *Journal of Cleaner Production*, 248, 1–56. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119226>
- Amos, C. C., Rahman, A., Gathenya, J. M., Friedler, E., Karim, F., & Renzaho, A. (2020). Roof-Harvested rainwater use in household agriculture: Contributions to the sustainable development goals. *Water (Switzerland)*, 12(2), 1–21. <https://doi.org/10.3390/w12020332>
- Amos, C. C., Rahman, A., Karim, F., & Gathenya, J. M. (2018). A scoping review of roof harvested rainwater usage in urban agriculture: Australia and Kenya in focus. *Journal of Cleaner Production*, 202, 174–190. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.108>
- Artmann, M., & Sartison, K. (2018). The role of urban agriculture as a nature-based solution: A review for developing a systemic assessment framework. En *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 10, Número 6). MDPI. <https://doi.org/10.3390/su10061937>
- Başdoğan, G., & Çiğ, A. (2016). Ecological-social-economical impacts of vertical gardens in the sustainable city model. *Yuzuncu Yil University Journal of Agricultural Sciences*, 26, 430–438.
- Botero Gómez, G. B. (2018). *Propuesta para la gestión logística de productos perecederos bajo el enfoque de “Última Milla”; estudio de caso: distribución de banano en la localidad de Fontibón (Bogotá)* [Universidad de la Salle]. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_industrialRetrieved from https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_industrial/59
- Buscaroli, E., Braschi, I., Cirillo, C., Fargue-Lelièvre, A., Modarelli, G. C., Pennisi, G., Righini, I., Specht, K., & Orsini, F. (2021). Reviewing chemical and biological risks in urban agriculture: A comprehensive framework for a food safety assessment of city region food systems. En *Food Control* (Vol. 126). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108085>
- Caballero, A. R. (2012). *Comportamiento del nitrógeno y biomasa microbiana en suelos con diferente manejo, en la localidad de Villa Patarani (Altiplano Central)* [Tesis de grado]. Universidad Mayor de San Andrés.
- Caneva, G., Cicinelli, E., Scolastri, A., & Bartoli, F. (2020). Guidelines for urban community gardening: Proposal of preliminary indicators for several ecosystem services (Rome, Italy). *Urban Forestry and Urban Greening*, 56. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126866>
- Chiappe Hernández, M. (2019). Evaluación de indicadores de sostenibilidad para la agricultura urbana. *Acta Horticulturae*, 1246, 83–91. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2019.1246.12>

-
- Climate Data. (2023, febrero 28). *Data and graphs for weather and climate in San Andrés Cholula*. Climate-Data.org. <https://en.climate-data.org/north-america/mexico/puebla/san-andres-cholula-45291/>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2022). *Los impactos sociodemográficos de la pandemia de COVID-19 en América Latina y el Caribe*. www.cepal.org/apps
- Cristiano, E., Deidda, R., & Viola, F. (2021). The role of green roofs in urban Water-Energy-Food-Ecosystem nexus: A review. *Science of the Total Environment*, 756, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143876>
- Curan, R. M., & Marques, P. E. M. (2021). Multifuncionalidade da agricultura urbana e periurbana: uma revisão sistemática. *Estudos Avancados*, 35(101), 209–224. <https://doi.org/10.1590/s0103-4014.2021.35101.013>
- de la Cruz-Pons, A., Zavala-Cruz, J., Guerrero-Peña, A., Salgado-García, S., Lagunes-Espinoza, L. C., & Gavi-Reyes, F. (2012). *Heavy metals in soils cultivated with sugar cane in the Chontalpa, Tabasco*. 28(2), 119–130. www.universidadyciencia.ujat.mx
- del Val, E., & Dirzo, R. (2004). Mirmecofilia: Las plantas con ejército propio. *Interciencia*, 29, 12.
- Escamilla, A. A., Martín, N. C., & Abreu, L. F. (2021). Evaluación de Pd, Pt y Rh en aire y suelos en la Ciudad de México. *Contactos, Revista de Educación en Ciencias e Ingeniería*, 47–58.
- FAO. (1994). Espectrometría de Absorción Atómica. En *Control de calidad y dietas acuícolas*. GCP/RLA/102/ITA.
- FAO. (1996). El suelo. En *ECOLOGIA Y ENSEÑANZA RURAL Nociones ambientales básicas para profesores rurales y extensionistas*. https://www.fao.org/3/w1309s/w1309s04.htm#P5_56
- FAO. (2020). The State of Food and Agriculture 2020. Overcoming water challenges in agriculture. En *The State of Food and Agriculture 2020*. Rome. <https://doi.org/10.4060/cb1447en>
- FAO. (2022). *Agroecología y Agricultura Familiar*. Plataforma de conocimientos sobre agricultura familiar. <https://www.fao.org/family-farming/themes/agroecology/es/>
- FAO, FIDA, OMS, PMA, & UNICEF. (2020). Versión resumida de El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2020. Transformación de los sistemas alimentarios para que promuevan dietas asequibles y saludables. Roma, FAO. <https://doi.org/10.4060/ca9699es>
- FAO, FIDA, OMS, PMA, & UNICEF. (2022). La seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo. En *Versión resumida de El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2022. Adaptación de las políticas alimentarias y agrícolas para hacer las dietas saludables más asequibles*. Roma, FAO. <https://doi.org/10.4060/cc0640es>
-

-
- Fernández, K. G., Moreno-Calles, A. I., Casas, A., & Blancas, J. (2020). Contributions of urban collective gardens to local sustainability in Mexico City. *Sustainability (Switzerland)*, *12*(18). <https://doi.org/10.3390/su12187562>
- Gispert, M. Í., Armienta Hernández, M. A., Climent, E. L., & Torregrosa Flores, M. F. (2018). Rainwater harvesting as a drinking water option for Mexico City. *Sustainability (Switzerland)*, *10*(11), 1–13. <https://doi.org/10.3390/su10113890>
- Gómez-Villarino, M. T., & Ruiz-Garcia, L. (2021). Adaptive design model for the integration of urban agriculture in the sustainable development of cities. A case study in northern Spain. *Sustainable Cities and Society*, *65*. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102595>
- González De Molina, M., & Lopez-Garcia, D. (2021). Principles for designing Agroecology-based Local (territorial) Agri-food Systems: a critical revision. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, *45*(7), 1050–1082. <https://doi.org/10.1080/21683565.2021.1913690>
- Graefe, S., Buerkert, A., & Schlecht, E. (2019). Trends and gaps in scholarly literature on urban and peri-urban agriculture. En *Nutrient Cycling in Agroecosystems* (Vol. 115, Número 2, pp. 143–158). Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/s10705-019-10018-z>
- Harari, Y. N. (2022). La revolución agrícola. En *Sapiens. De animales a dioses: Breve historia de la humanidad* (Penguin Random House, pp. 95–153).
- Hien, L. T. T., Gobin, A., Lim, D. T., Quan, D. T., Hue, N. T., Thang, N. N., Binh, N. T., Dung, V. T. K., & Linh, P. H. (2022). Soil Moisture Influence on the FTIR Spectrum of Salt-Affected Soils. *Remote Sensing*, *14*(10). <https://doi.org/10.3390/rs14102380>
- HOFFMANNHAYES. (s/f). *Does your building have a community garden?* Healthy food programming, gardens + community development. Recuperado el 1 de noviembre de 2022, de <https://www.hoffmannhayes.com/building-gardens/>
- Hong, I. K., Yun, H. K., Jung, Y. bin, & Lee, S. M. (2020). Derivation of indicators for value assessment of school gardens. *Journal of People, Plants, and Environment*, *23*(4), 433–443. <https://doi.org/10.11628/ksppe.2020.23.4.433>
- Ilieva, R. T., Cohen, N., Israel, M., Specht, K., Fox-Kämper, R., Fargue-Lelièvre, A., Ponizy, L., Schoen, V., Caputo, S., Kirby, C. K., Goldstein, B., Newell, J. P., & Blythe, C. (2022). The Socio-Cultural Benefits of Urban Agriculture: A Review of the Literature. En *Land* (Vol. 11, Número 5). MDPI. <https://doi.org/10.3390/land11050622>
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática [INEGI]. (2020). *Esperanza de vida. Cuéntame de México: Población*. <https://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/esperanza.aspx?tema=P>
- Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares. (s/f). *EQUIPOS Laboratorio Nacional de Investigaciones en Forense Nuclear*. Recuperado el 1 de noviembre de 2022, de https://inin.gob.mx/mini_sitios/tercer_plano.cfm?cve_area=LABFON&codigo_opc=180003003
-

-
- Jiménez Barrantes, P., & Fonseca Laurent, J. M. (2018). Externalidades asociadas a la distribución de alimentos perecederos en la última milla. *Junio*, 9(1), 105–129.
- Kalantari, F., Tahir, O. M., Joni, R. A., & Fatemi, E. (2018). OPPORTUNITIES AND CHALLENGES IN SUSTAINABILITY OF VERTICAL FARMING: A REVIEW. *Landscape Ecology*, 11(1), 35–60. <https://doi.org/10.1515/jlecol-2017-0016>
- Kim, D., & Song, S. K. (2019). The multifunctional benefits of green infrastructure in community development: An analytical review based on 447 cases. *Sustainability (Switzerland)*, 11(14), 1–17. <https://doi.org/10.3390/su11143917>
- Liang, L., Ridoutt, B. G., Wu, W., Lal, R., Wang, L., Wang, Y., Li, C., & Zhao, G. (2019). A multi-indicator assessment of peri-urban agricultural production in Beijing, China. *Ecological Indicators*, 97, 350–362. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.10.040>
- Lupia, F., Baiocchi, V., Lelo, K., & Pulighe, G. (2017). Exploring rooftop rainwater harvesting potential for food production in urban areas. *Agriculture (Switzerland)*, 7(6), 1–17. <https://doi.org/10.3390/agriculture7060046>
- Martínez, M. R. (2020). *Análisis instrumental: Espectrometría de Absorción Atómica (EAA)*. <http://hdl.handle.net/10251/138418>
- McClintock, N., Miewald, C., & McCann, E. (2018). The politics of urban agriculture: Sustainability, governance and contestation. *The Routledge Handbook on Spaces of Urban Politics*, Lawson, 361–374. <https://doi.org/10.4324/9781315712468>
- Mendoza, M. M. (2015). *Evaluación del método analítico de espectroscopia de absorción atómica por llama para su aplicación en la “determinación de hierro en concentrados de cobre de concentradora-toquepala”*.
- METTLER TOLEDO. (2022). *¿Qué es la espectroscopia FTIR?* Espectroscopia FTIR. https://www.mt.com/es/es/home/products/L1_AutochemProducts/ReactIR/ftir-spectroscopy.html
- Miller, W. (2019). Food, water, energy, waste: An examination of socio-technical issues for urban prosumers: Part 2 (Results and discussion). *Energy Procedia*, 161, 368–375. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.02.103>
- Mino, E., Pueyo-ros, J., Škerjanec, M., Castellar, J. A. C., Viljoen, A., Istenič, D., Atanasova, N., Bohn, K., & Comas, J. (2021). Tools for edible cities: A review of tools for planning and assessing edible nature-based solutions. En *Water (Switzerland)* (Vol. 13, Número 17). MDPI. <https://doi.org/10.3390/w13172366>
- Monteiro, C. M., Calheiros, C. S. C., Pimentel-Rodrigues, C., Silva-Afonso, A., & Castro, P. M. L. (2016). Contributions to the design of rainwater harvesting systems in buildings with green roofs in a Mediterranean climate. *Water Science and Technology*, 73(8), 1842–1847. <https://doi.org/10.2166/wst.2016.034>
- Nadal, A., Pons, O., Cuerva, E., Rieradevall, J., & Josa, A. (2018). Rooftop greenhouses in educational centers: A sustainability assessment of urban agriculture in compact cities. *Science of the Total Environment*, 626, 1319–1331. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.191>
-

-
- Nie, J., Kiminami, A., & Yagi, H. (2022). Exploring the Sustainability of Urban Leisure Agriculture in Shanghai. *Sustainability (Switzerland)*, 14(8). <https://doi.org/10.3390/su14084813>
- ONU. (2015, septiembre 25). *La Asamblea General adopta la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. Objetivos de Desarrollo Sostenible. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/>
- ONU. (2020, febrero 21). *Urbanization: expanding opportunities, but deeper divides*. United Nations: Department of Economic and Social Affairs. <https://www.un.org/development/desa/en/news/social/urbanization-expanding-opportunities-but-deeper-divides.html#:~:text=But%20when%20poorly%20planned%2C%20urbanization,economic%2C%20spatial%20and%20social%20dimensions.>
- Organización de las Naciones Unidas [ONU]. (2019). *Población*. Naciones Unidas: Paz, dignidad e igualdad en un planeta sano . <https://www.un.org/es/global-issues/population>
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente [PNUMA]. (2021). Medición del desperdicio de alimentos a escala nacional. En *Informe sobre el índice de desperdicio de alimentos 2021*. Nairobi .
- Pulighe, G., & Lupia, F. (2016). Mapping spatial patterns of urban agriculture in Rome (Italy) using Google Earth and web-mapping services. *Land Use Policy*, 59, 49–58. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.08.001>
- R Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Sahagún-Sánchez, F. J., & Reyes-Hernández, H. (2018). Impactos por cambio de uso de suelo en las áreas naturales protegidas de la región central de la Sierra Madre Oriental, México. *CienciaUAT*, 12(2), 06–21.
- Schweizer, S. (2011). *Muestreo y análisis de suelos para diagnóstico de fertilidad*. Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria.
- Siegner, A., Sowerwine, J., & Acey, C. (2018). Does urban agriculture improve food security? Examining the nexus of food access and distribution of urban produced foods in the United States: A systematic review. *Sustainability (Switzerland)*, 10(9), 1–27. <https://doi.org/10.3390/su10092988>
- Stancu, V., & Lähteenmäki, L. (2022). Consumer-related antecedents of food provisioning behaviors that promote food waste. *Food Policy*, 108. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2022.102236>
- Stein, E. W. (2021). The Transformative Environmental Effects Large-Scale Indoor Farming May Have On Air, Water, and Soil. En *Air, Soil and Water Research* (Vol. 14). SAGE Publications Ltd. <https://doi.org/10.1177/1178622121995819>
-

-
- Thiesen, T., Bhat, M. G., Liu, H., & Rovira, R. (2022). An Ecosystem Service Approach to Assessing Agro-Ecosystems in Urban Landscapes. *Land*, 11(4). <https://doi.org/10.3390/land11040469>
- Toboso-Chavero, S., Madrid-López, C., Durany, X. G., & Villalba, G. (2021). Incorporating user preferences in rooftop food-energy-water production through integrated sustainability assessment*. *Environmental Research Communications*, 3(6). <https://doi.org/10.1088/2515-7620/abffa5>
- United Nations Human Settlements Programme (UN-Habitat). (2022). *World Cities Report 2022. Envisaging the Future of Cities*. <https://unhabitat.org/wcr/>
- Valencia, A., Qiu, J., & Chang, N. bin. (2022). Integrating sustainability indicators and governance structures via clustering analysis and multicriteria decision making for an urban agriculture network. *Ecological Indicators*, 142. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109237>
- van Tuijl, E., Hospers, G. J., & van den Berg, L. (2018). Opportunities and Challenges of Urban Agriculture for Sustainable City Development. *European Spatial Research and Policy*, 25(2), 5–22. <https://doi.org/10.18778/1231-1952.25.2.01>
- Ventriglio, A., Torales, J., Castaldelli-Maia, J. M., de Berardis, D., & Bhugra, D. (2021). Urbanization and emerging mental health issues. En *CNS Spectrums* (Vol. 26, Número 1, pp. 43–50). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/S1092852920001236>
- Wang, N., Zhu, L., Bing, Y., Chen, L., & Fei, S. (2021). Assessment of urban agriculture for evidence-based food planning: A case study in Chengdu, China. *Sustainability (Switzerland)*, 13(6). <https://doi.org/10.3390/su13063234>
- Wang, W., Lu, N., Pan, H., Wang, Z., Han, X., Zhu, Z., & Guan, J. (2022). Heavy Metal Pollution and Its Prior Pollution Source Identification in Agricultural Soil: A Case Study in the Qianguo Irrigation District, Northeast China. *Sustainability (Switzerland)*, 14(8). <https://doi.org/10.3390/su14084494>
- Zasada, I., Weltin, M., Zoll, F., & Benninger, S. L. (2020). Home gardening practice in Pune (India), the role of communities, urban environment and the contribution to urban sustainability. *Urban Ecosystems*, 23(2), 403–417. <https://doi.org/10.1007/s11252-019-00921-2>
- Zhang, S., Li, Z., Ning, X., & Li, L. (2021). Gauging the impacts of urbanization on CO2 emissions from the construction industry: Evidence from China. *Journal of Environmental Management*, 288. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112440>
- Zhao, M., & Zhang, B. (2019). Urban agricultural spatial differentiation research. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM*, 19(2.2), 149–156. <https://doi.org/10.5593/sgem2019/2.2>
-

7. ANEXOS

Anexo 1. Artículo presentado en el “Coloquio de Investigación multidisciplinaria” texto completo disponible en: http://depi.orizaba.tecnm.mx/Journals/CIM_2021_1.8.pdf

Coloquio de Investigación Multidisciplinaria 2021
Journal CIM Vol.9. Núm. 1

ISSN 2007-8102

Modelado y simulación de ecotecnia de captación de agua pluvial acoplada a huerto urbano vertical

A. Torres Vivar^{1*}, F. J. Sánchez Ruiz¹, J. M. Cunill Flores², M. Negrete Cardoso¹

¹Departamento de Ingeniería Ambiental, Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, Calle 21 Sur 1103, Barrio de Santiago, C.P. 72410, Puebla, Pue., México
**alejandra.torres@upaep.edu.mx*

²Departamento de Biotecnología, Universidad Politécnica Metropolitana de Puebla, Popocatepetl s/n, Reserva Territorial Atlixcáyotl, Tres Cerritos, C.P. 72480 Puebla, Pue., México

Área de participación: Ingeniería Mecánica y Mecatrónica

Resumen

El agua y la agricultura son imprescindibles para la vida, es imposible imaginar un mundo en donde no hay suficiente alimento ni recurso hídrico; ambos son considerados derechos humanos, está comprobado que sin ellos una persona podría morir en tiempos relativamente cortos. En el presente trabajo se realizó el primer modelado y simulación de una ecotecnia de captación de agua de lluvia acoplada a un huerto urbano vertical de cultivos domésticos, la simulación en el software SolidWorks permitió observar el comportamiento del agua al caer sobre el techo de la ecotecnia, se obtuvieron resultados en relación a la velocidad, vorticidad, presión, temperatura y viscosidad del fluido. Se pretende establecer un modelo matemático que permita conocer las dimensiones e inclinación óptima de la ecotecnia antes de su implementación física esto con el fin de evitar gastos innecesarios y problemas de prueba y error al llevarla a la práctica.

Palabras clave: *ecotecnia, modelado, SCALL, simulación,*

Abstract

Water and agriculture are essential for life; it is impossible to imagine a world with not enough food or water resources; both are considered human rights. It has been proven that without these resources a human being could die in a relatively short time. In this work, the first modelling and simulation were developed for a rainwater harvesting ecotech adapted to a domestic crop vertical urban garden. The simulation in the SolidWorks software allowed observing the behaviour of falling water over the ecotechnics roof, obtaining results about the speed, vorticity, pressure, temperature and viscosity of the fluid. The main objective of this project is to establish a mathematical model that allows knowing the dimensions and optimal inclination of the eco-technology before its physical implementation, to avoid unnecessary expenses and trial and error problems when putting it into practice.

Key words: *ecotechnology, modeling, RWHS, simulation*

Introducción

La cobertura de agua potable en nuestro país muestra un déficit que cada año se hace más presente, de acuerdo con la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) en los próximos años el estrés hídrico en México será la principal causa de problemas sanitarios y alimenticios, es evidente la necesidad de acciones que brinden respuestas sustentables [1]. Hasta el momento la CONAGUA estableció lineamientos técnicos para sistemas de captación de agua de lluvia para uso doméstico, sin embargo ésta actividad es más utilizada en zonas rurales donde el recurso hídrico es escaso [2]; por otro lado, la zona urbana brinda una oportunidad de aprovechar el agua que continuamente es vista como un problema en temporada de lluvia, esto debido a la infraestructura y pavimento de las ciudades que impiden que el agua fluya con normalidad, provocando inundaciones en todo el país [3]. Existe un problema latente pero muy grave que necesita atención: el control de la producción de un sistema alimentario se alcanza mediante el riego, al existir una ausencia de líquido para riego la producción se ve afectada,

Anexo 2. Cuestionario aplicado a estudiantes universitarios

**ECOTECNIA DE HUERTO URBANO VERTICAL VINCULADO A CAPTADOR
DE AGUA PLUVIAL**

Este cuestionario tiene la finalidad de conocer el estado actual de su consumo de frutas y verduras, así como la posibilidad de implementar un huerto urbano de cultivos alimentarios conectado a un sistema de captación de agua de lluvia en su hogar.

En caso de querer conocer más sobre el proyecto, contacte a:
Alejandra Torres Vivar
Estudiante de maestría en Ingeniería Ambiental y Desarrollo Sustentable
alejandra.torres@upaep.edu.mx

PARTE I. Contexto socio-económico

Por favor marque la respuesta de acuerdo a su experiencia personal.

1. Universidad

- UPAEP
- UPMP
- BUAP
- UDLAP
- IBERO
- ITESM
- Otra:

2. Edad.

- 25 o menos
- 26-35
- 36-45
- 46-55
- 56 o más

3. Escolaridad.

- Licenciatura
- Maestría
- Doctorado

4. Incluyendo a usted, ¿Cuántas personas habitan en su hogar?

- 2-3
- 4-5
- 6-7
- 8-9
- Más de 9

-
5. Según su percepción ¿De cuánto es su gasto semanal destinado para la compra de verduras para su hogar?
- Menos de 100 pesos
 - De 100 a 200 pesos
 - De 200 a 300 pesos
 - De 300 a 400 pesos
 - Más de 400 pesos
6. Según su percepción ¿Cuántos días a la semana se consumen verduras en su hogar?
- Menos de 100 pesos
 - De 100 a 200 pesos
 - De 200 a 300 pesos
 - De 300 a 400 pesos
 - Más de 400 pesos
7. Las ecotecnias son instrumentos que aprovechan eficientemente los recursos naturales y materiales y a su vez garantizan una operación limpia, económica y ecológica en la generación de bienes y servicios necesarios para el desarrollo de actividades diarias. ¿Cuenta con alguna ecotecnia en casa? De las siguientes marque con las que cuenta:
- Calentador solar de agua
 - Paneles solares
 - Captador de agua de lluvia
 - Composteros
 - Sanitario seco
 - Huerto/jardín comestible
 - Otra _____
8. ¿Qué porcentaje de las frutas y verduras que compra semanalmente se echan a perder? Por ejemplo, si compra 10 plátanos y sólo uno se echa a perder (menos del 20%).
- Menos del 20%
 - De 20%-40%
 - De 40%- 60%
 - De 60%-80%
 - Más del 80%
9. ¿Qué ocurre con las frutas y verduras que se echan a perder en su hogar?
- Tiro todo a la basura sin distinguir entre orgánica e inorgánica
 - Separo la orgánica de la inorgánica y lo desecho por separado
 - Hago compostaje
 - Alimento a mis animales
 - Otra: _____

PARTE II. Huertos urbanos e indicadores sustentables

10. ¿Sabe que es un huerto urbano?

- Sí
- No

Los huertos urbanos son la oportunidad de producir alimentos vegetales en los patios, techos y espacios reducidos de las ciudades.

11. ¿Cuáles son los beneficios ambientales que considera obtener al implementar un huerto urbano con captación de agua pluvial en su hogar? Seleccione los 3 más importantes, si conoce otro que no esté en la lista favor de escribirlo.

- Reducción de la huella de carbono y mejora de la calidad del aire debido a que los alimentos no deben viajar tantas distancias
- Ahorro de energía
- Alimentos saludables sin el uso de herbicidas y plaguicidas
- Aprovechamiento de espacios. Mayor producción de alimentos por unidad de área
- Resiliencia al cambio climático
- Reducción del uso de combustibles fósiles
- Reducción de la temperatura, brindando un lugar fresco para descansar
- Otro _____

12. ¿Cuáles son los beneficios sociales que considera obtener al implementar un huerto urbano con captación de agua pluvial en su hogar? Seleccione los 3 más importantes, si conoce otro que no esté en la lista favor de escribirlo.

- Oportunidad de empleo
- Reconexión con la naturaleza y oportunidad de convivencia con la familia (actividad de ocio)
- Aumento de la educación ambiental
- Incremento de la seguridad alimentaria
- Mejora de la salud mental, reduciendo el estrés
- Amabilidad o deleite visual (la apariencia es más verde y todo se ve más bonito)
- Otro _____

13. ¿Cuáles son los beneficios económicos que considera obtener al implementar un huerto urbano con captación de agua pluvial en su hogar? Seleccione los 3 más importantes, si conoce otro que no esté en la lista favor de escribirlo.

- Disminución de costos por compra de frutas y verduras
- Crecimiento económico debido a la producción de alimentos

-
- Beneficios costo
 - Reducción del costo de agua debido a la captación pluvial
 - Posibilidad de producir en mayor cantidad y oportunidad de obtener ingresos con la venta de alimentos
 - Otro _____

14. Marque el grupo de alimentos según su nivel de importancia y consumo en su hogar. Siendo 1 los que más consume y 5 los que menos consume.

- Hortalizas de hoja comestible (Lechuga, acelga, apio, perejil, espinacas)
- Hortalizas de fruto (Tomate, calabaza, pepino, chayote, chile)
- Hortalizas de raíz comestible (zanahoria, rábano, ajo, papa, cebolla)
- Quelites (Verdolagas, epazote, alaches, berros, pápalo)
- Frutas (Guayaba, frutos rojos, durazno, tejocote)
- Otro _____

15. Escriba las 5 verduras más importantes para el consumo de usted y su familia.

16. Escriba las 5 frutas más importantes para el consumo de usted y su familia.

PARTE III. Requerimientos para la implementación de la ecotecnia

17. ¿Qué tan importante es para usted el implementar huertos urbanos acoplados a sistemas de captación de agua pluvial en los hogares?

- Nada importante
- Poco importante
- Parcialmente Importante
- Muy importante
- Bastante importante

18. De acuerdo a su respuesta anterior, coméntenos por qué es o no importante el implementar huertos urbanos acoplados a sistemas de captación de agua pluvial en los hogares

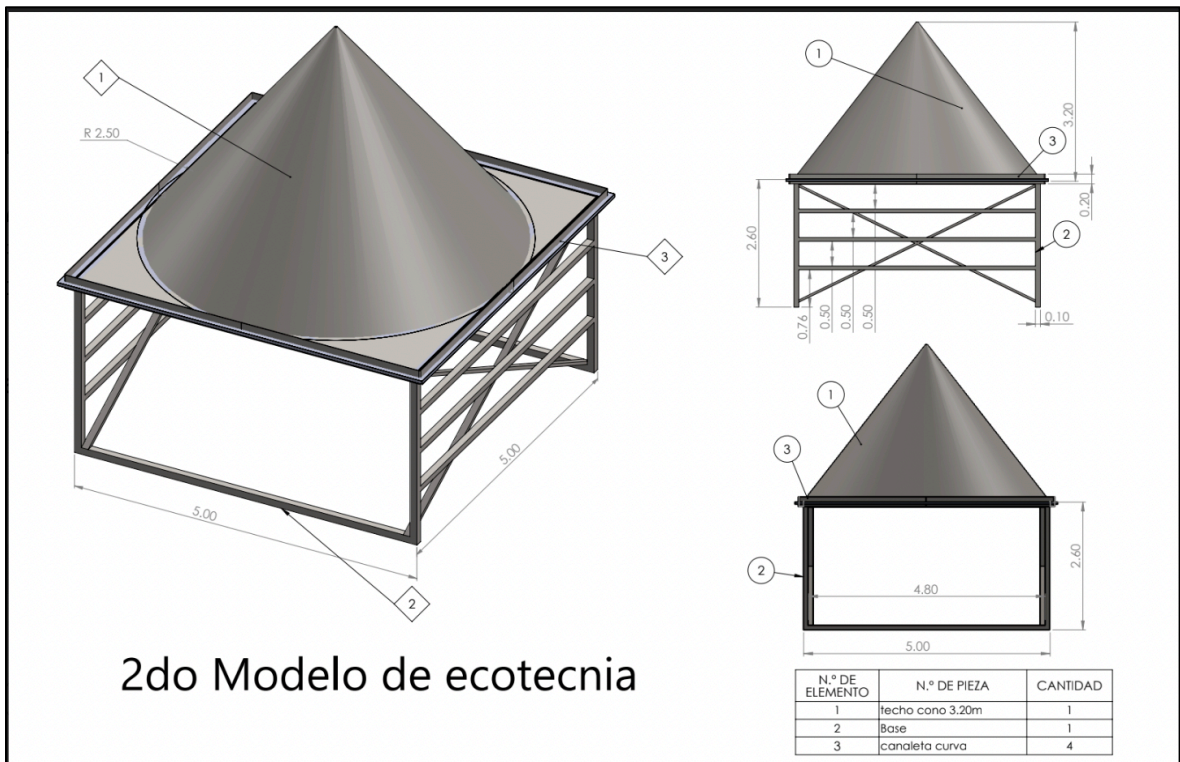
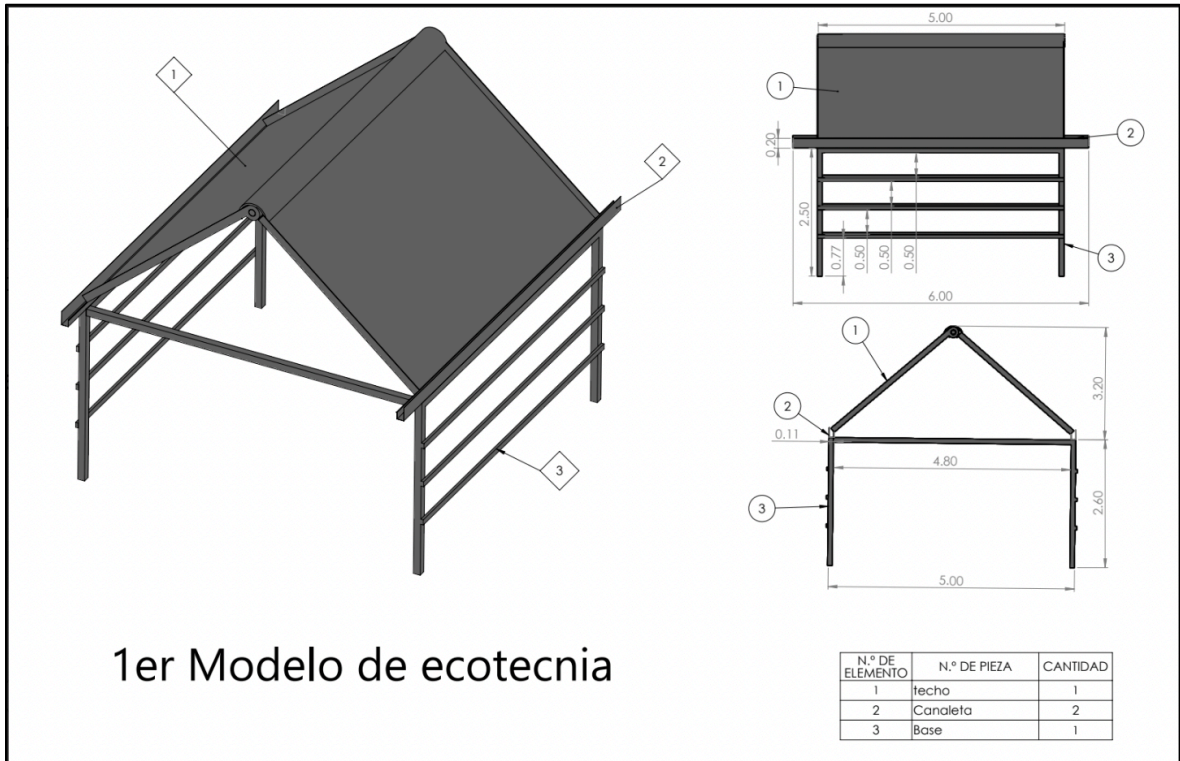
19. ¿Qué tan de acuerdo está con implementar un huerto urbano en su hogar?

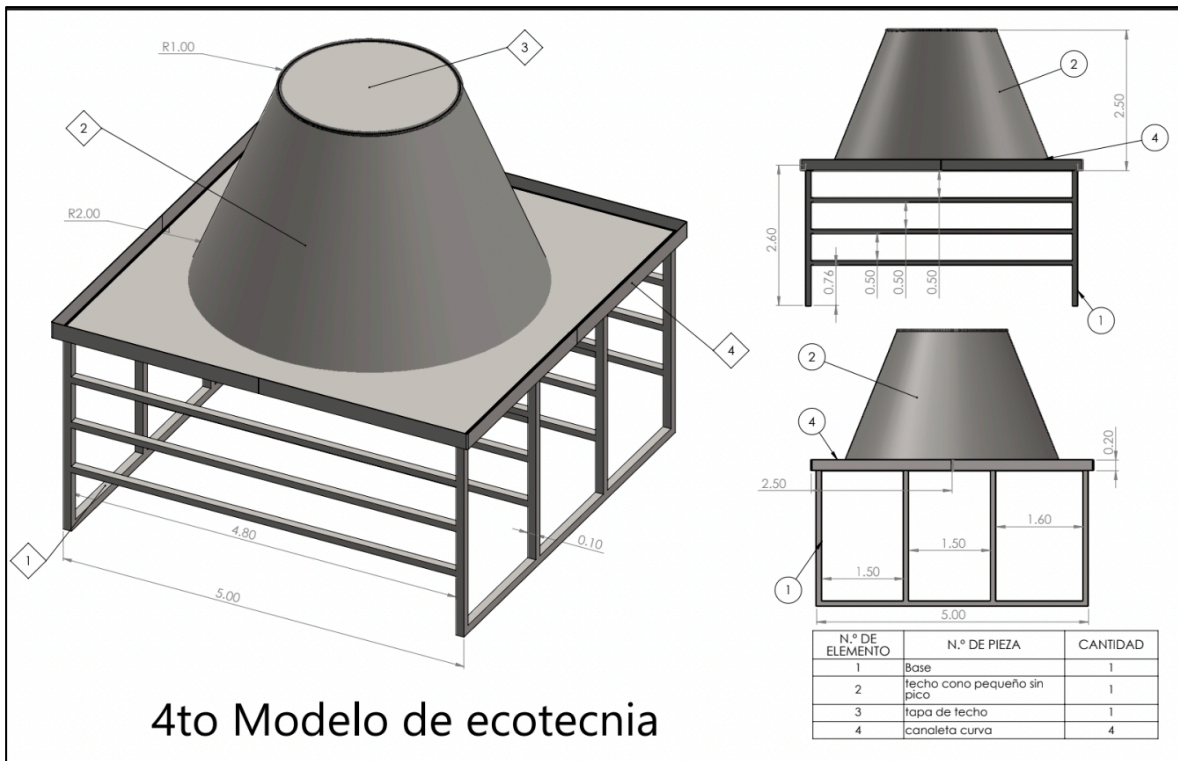
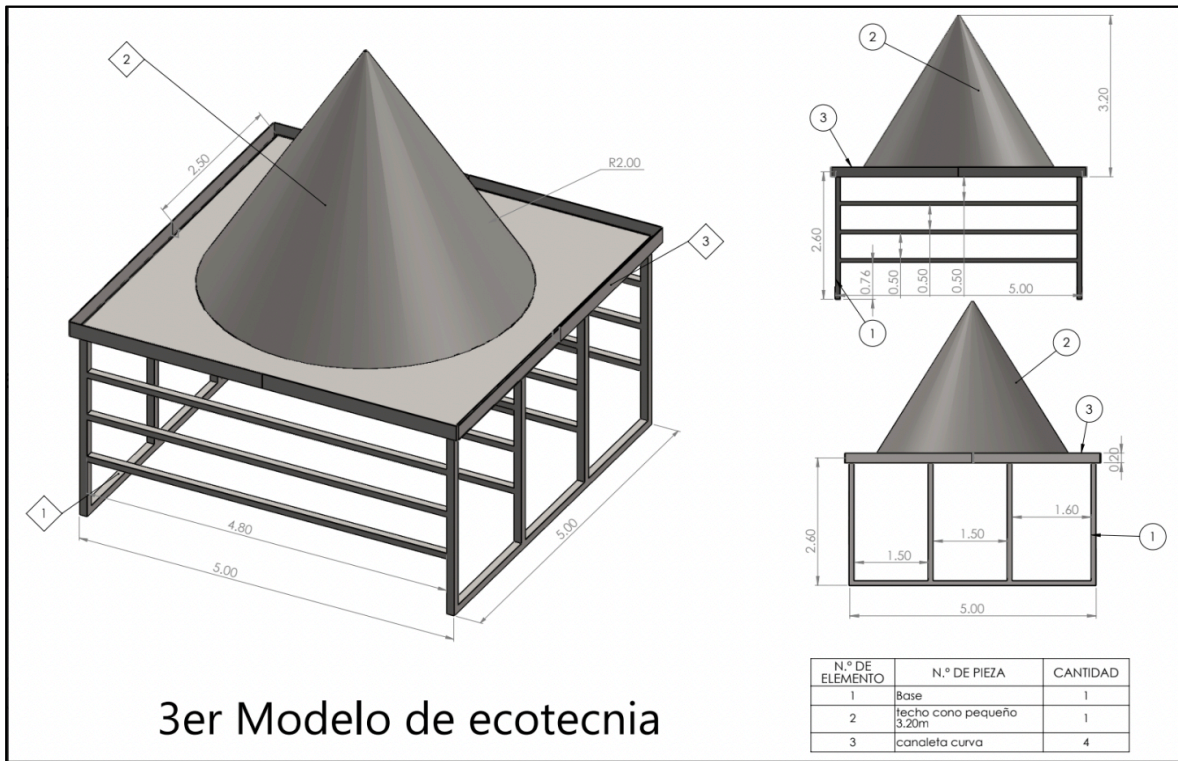
- Nada de acuerdo
- Muy poco de acuerdo
- Suficientemente de acuerdo
- Muy de acuerdo
- Completamente de acuerdo

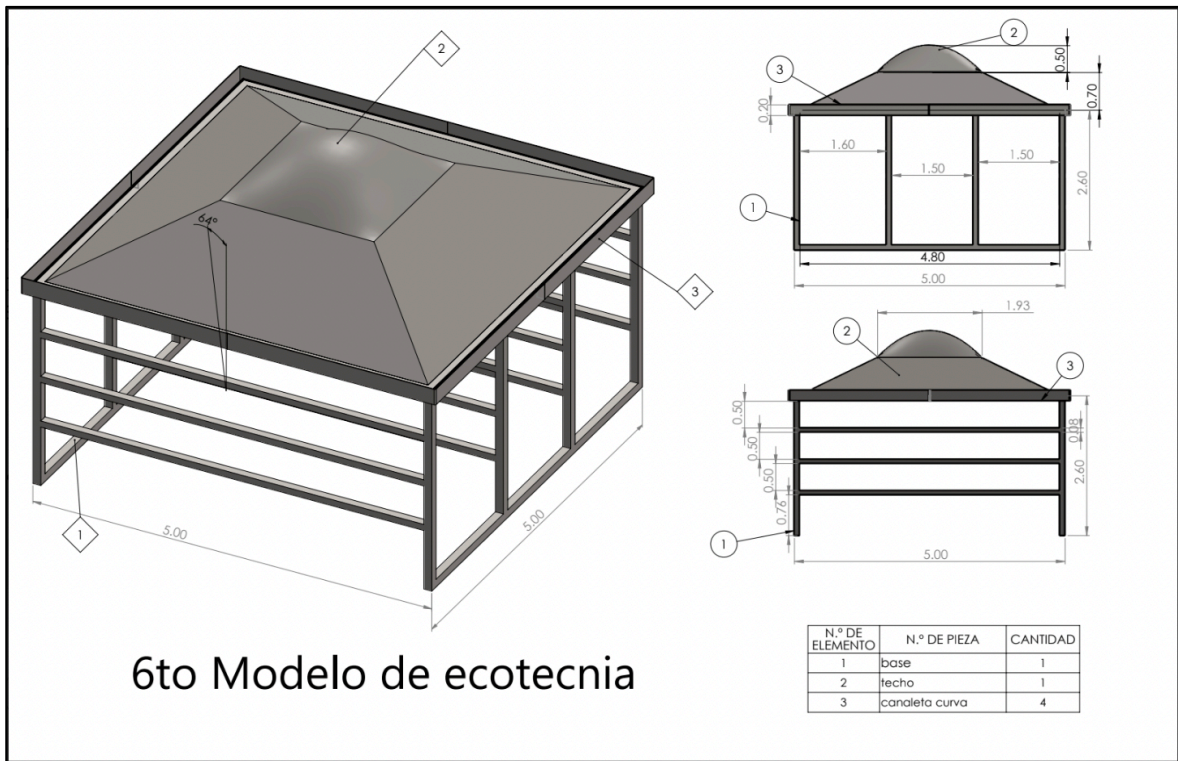
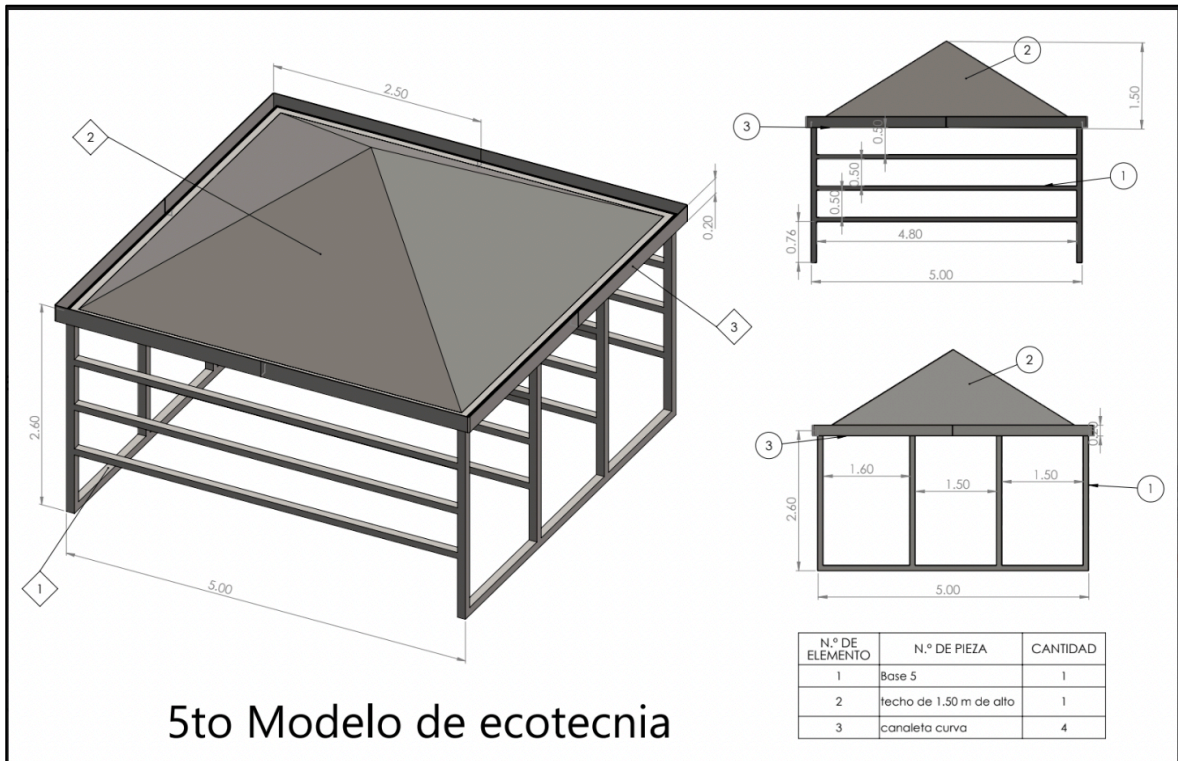
-
20. ¿Cuánto tiempo a la semana dedicaría al mantenimiento de un huerto urbano?
- De 2 a 4 horas
 - De 4 a 6 horas
 - De 6 a 8 horas
 - De 8 a 10 horas
 - Más de 10 horas
21. ¿Estaría dispuesto a adoptar un huerto urbano en su casa?
- Sí
 - No
22. En caso de responder si en la pregunta anterior ¿En qué lugar de su hogar considera implementarlo?
- Azotea
 - Pasillo
 - Jardín
 - Recámara
 - No cuento con espacio
 - Otro (especifique) _____
23. ¿Con cuanto espacio cuenta el lugar propuesto para implementar el huerto urbano en su hogar?
- Menos de 1 m²
 - De 1m² a 2m²
 - De 2m² a 4m²
 - De 4m² a 6m²
 - Más de 6m²
24. ¿Cuántas horas de sol directo recibe el espacio disponible para el huerto urbano?
- No recibe sol
 - De 1 a 2 horas al día
 - De 2 a 4 horas al día
 - De 4 a 6 horas al día
 - Recibe sol todo el día
25. Sabía que la OMS recomienda comer 400 g diarios de verduras y frutas por persona. ¿Usted los consume?
- Por supuesto, consumo más que eso
 - Consumo únicamente los 400 g al día
 - No consumo esa cantidad, pero me gustaría
 - No lo consumo porque no me gusta

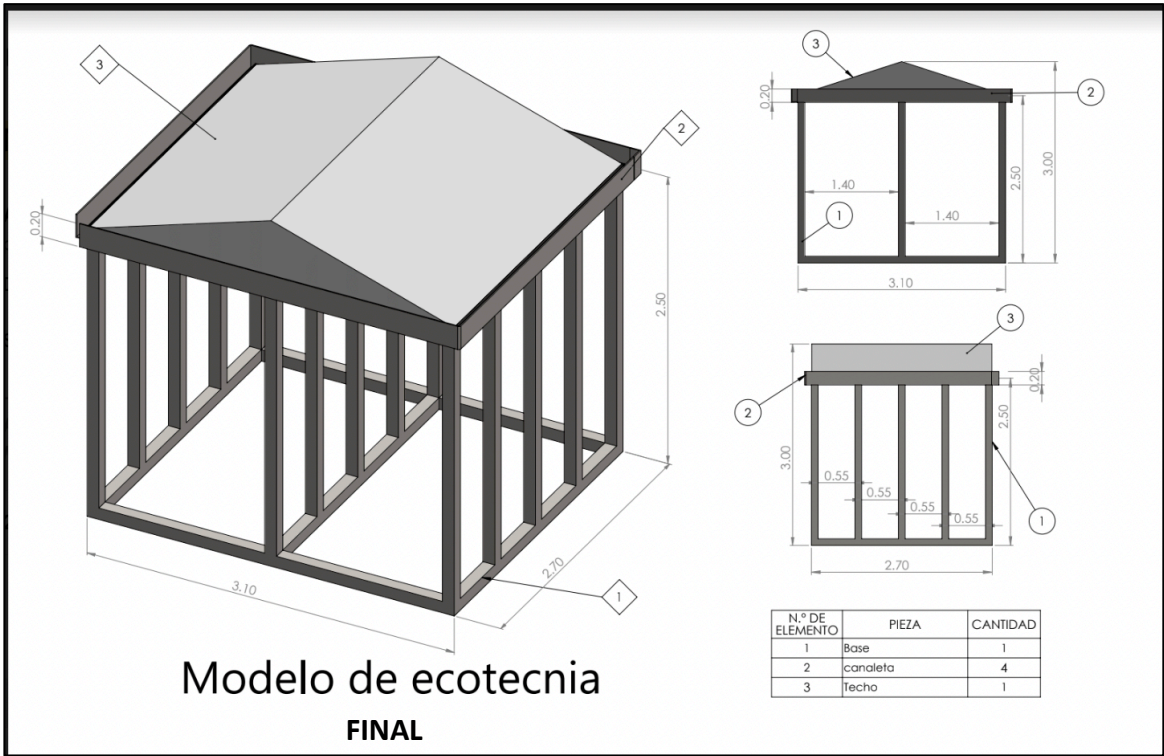
Muchas gracias por su tiempo.

Anexo 3. Dimensiones técnicas de modelos de ecotecnia propuestos









Anexo 4. Necesidades básicas de siembra y mantenimiento de cultivos considerados para un huerto de agricultura urbana en Puebla, Pue., México

Nombre	Caract. De sustrato	Tiempo para germinar	Trasplante	Agua y sol	Cosecha	Plagas reportadas
Grupo A. Laterales						
Granada <i>Punica granatum</i>	Suelos profundos, alcalinos, permeables y ligeros.	7 - 10 días.	Noventa días después de la siembra.	No soporta exceso de agua en la zona próxima al tronco Riego una vez por semana durante el verano, el resto del año, riego cada 3 semanas. Mín. 6 horas de sol al día	Otoño e invierno	Mariposa de la granada (<i>Deudorix isócrates</i>), oruga, el barrenillo, pulgones, cotonet, cochinilla de la tizne y por la barrena.
Durazno <i>Prunus persica</i>	Los suelos ideales deben ser sueltos, con buen drenaje, profundidad efectiva.	30 días aprox.	Cuando la planta mide unos 25 cm.	El sistema de riego por aspersión. Necesita mucha luz solar.	La cosecha llega cuando los duraznos cambian de color,	Araña roja (<i>Tetranychus urticae</i>), nematodos, mosca de la fruta (<i>Anastrepha spp.</i>), pulgón verde (<i>Myzus persicae</i>), polilla del duraznero (<i>Grapholita molesta</i>), taladro de la madera.
Tejocote <i>Crataegus mexicana</i>	Prospera en lugares adversos o con cierto grado de perturbación.	30-40 días a 21 °C	Solo cuando la planta ya tiene el tronco leñoso y solo si es necesario.	Requiere por lo menos 12 horas de sol, le afecta el exceso de humedad.	Florece de enero a abril. Los frutos, aunque se forman en primavera maduran hasta noviembre o diciembre.	Tizón del fuego <i>Erwinia amylovora</i> . mariposas, gusanos barrenadores, escamas, minadores de hojas, ácaros-arañas, royas.
Guayaba <i>Psidium guajava</i>	Se desarrolla mejor en suelos húmedos, profundos, ricos en materia orgánica con un pH de entre 6 y 7.	14-21 días, en casos extremos hasta 60 días	Luego de 60 días de germinadas las plantas, se trasladan a bolsas de polietileno y después se vuelven a trasplantar hasta ver el troco leñoso	Requiere de luz directa diario. No requiere de mucha humedad por lo que el riego por goteo es una buena opción.	De 90 a 150 días luego de la floración.	Mosca de la guayaba, Picudo de la guayaba, Gallina ciega
Grupo B. Cama de plantas						
Verdolaga <i>Portulaca oleracea</i>	La siembra debe realizarse luego de las heladas de primavera.	7-14 días	Cuando tenga 5 cm de alto	En verano regar con frecuencia, y debe ser escaso durante el resto del año.	Dos meses después de la siembra.	La verdolaga no se ve afectada por insectos, plagas o enfermedades, rara vez podría ser afectado por babosas.

				Necesita mucha luz, recomendable sol directo		
Berros <i>Nasturtium officinale</i>	Sustrato rico en humus.	10 días	Cuando la plántula tiene una altura de 5 a 7 cm	Abundante riego durante la temporada de crecimiento. Puede estar a pleno sol, o en interiores con mucha luz.	Cuando la planta tenga 15 cm de altura, aprox 2 meses desde la siembra.	Los caracoles, masticadores, novilla de la vaca, ácaros.
Quintonil (amaranto) <i>Amaranthus</i>	Suelo tipo arcilloso con pH de 6.5 a 7.5	4-6 días	Usualmente se planta en el lugar que se va a cosechar	Se requiere una buena iluminación y un riego frecuentemente	Se plantan en junio y lo cosechan en noviembre	pulgón negro, lorito verde, minador de tallo, mancha foliar o mal negro, hongo musuru
Alaches <i>Anoda cristata</i>	Crece en una gran variedad de suelos, sin muchos requerimientos.	2 a 3 días	Usualmente se planta en el lugar que se va a cosechar	Requiere muy poca luz y un riego poco constante.	se cosecha en primavera	<i>Anthonomus grandis</i> , cochinilla rosada (<i>Maconellicoccus hirsutus</i>)
Grupo C. enredaderas y/o colgantes						
Fresa <i>Fragaria</i>	8 cm de profundidad a una distancia de 30 cm c/u. Los suelos franco arenosos son óptimos	21 a 30 días.	Justo cuando está entrando en periodo de latencia	Se recomienda regarlas cada tres días y posteriormente cada dos días 5 horas de luz diarias.	De 60 a 90 días.	Araña Roja, Pulgón, Trips (Frankliniella occidentalis), Rosquilla negra, Babosas y caracoles, los trozadores.
Zarzamora <i>Rubus ulmifolius</i>	Esparcir turba y colocar las plantas en pequeños surcos.	3 a 4 semanas.	Se hace antes de la brotación.	El riego de la planta debe de caracterizarse por ser constante, pero en cantidades bastante moderadas. Le gusta la luz del sol, pero es sensible al exceso.	A finales de verano, cuando las moras se hayan adquirido un color negro purpúreo.	Ácaros, Trips, mosca y gusano de la fruta, Barrenador del tallo o de la caña, mosca blanca, chinche verde, gusano pega hojas, pulgones, araña roja.
Frambuesa <i>Rubus idaeus</i>	Se adapta a distintos tipos de suelo menos en tipos de suelo pesados y sin presencia de aguas estancadas	4-6 semanas	a principios de la primavera en ejemplares con tallo grueso	al menos 6 a 8 horas de luz solar todos los días, es necesario un riego constante.	De fines de noviembre hasta inicios de enero o de febrero hasta mayo	La araña roja o de dos puntos, la mosca del vinagre, trips, cabritos y mosca blanca
Kiwi <i>Actinidia deliciosa</i>	suelos profundos que estén	2-15 días	Se trasplanta entre los	requiere mucha luz y un riego constante	madura en invierno y puede	insectos del género <i>Eulia</i> ,

	bien drenados y ricos en materia orgánica.		meses de noviembre y febrero con ejemplares gobenes.		consumirse de octubre a marzo.	<i>Pseulacaspis pentágona</i>
Calabaza redonda <i>Cucurbita pepo</i>	La profundidad de semillas es de 3 mm. La distancia entre plantas debe ser de 25 cm.	De 8 a 10 días	Aproximadamente unas 6 semanas después de su siembra.	Durante los primeros 20 días, regar cada tres días, se debe suspender el riego una semana antes de la cosecha. Necesita exposición directa al sol	En otoño	La radula, Bichos negros en la calabaza, Barrenadores de la vid, Escarabajo del pepino, Caracoles y babosas.
Chayote <i>Sechium edule</i>	De una a tres semillas en un ángulo de 45 grados, con una separación de 25 cm.	De 2 a 4 semanas.	Cuando la yema apical tenga unos 20 cm	En la época de crecimiento habrá que regarlo dos veces por semana de manera abundante, dejando que el agua empape bien el sustrato o el terreno Necesita mucha luz.	Es en agosto o febrero	Los Ácaros constituyen la plaga más importante del cultivo del Chayote, el Arrocillo (<i>Diabrotica</i>) que ocasiona el daño en raíz, el Barrenador de fruto (<i>Diaphania nitidalis</i>), el pulgón que causa enchinamiento de la yema apical.
Pepino <i>Cucumis sativus</i>	Se cultiva en cualquier tipo de suelo de estructura suelta es muy tolerante a la salinidad	3 a 10 días	Se trasplantan ejemplares jóvenes asegurándose de tener extremo cuidado con las raíces.	Menos de 12 horas de luz y el riego debe ser durante la noche por que el riego durante el día reduce la producción.	entre floración y cosecha puede ser de 55 a 60 días	Pulgones, araña roja, araña blanca, mosca blanca, minadores, trips y orugas
Grupo D. Forrajes						
Lechuga <i>Lactuca sativa</i>	Cultivo bastante suelto, capaz de absorber mucha agua	Aproximadamente 7 días en germinar	una vez que la lechuga tenga un tamaño considerable trasplante a intervalos de 10 a 12 pulgadas	No necesita mucha luz puesto que es muy sensible a ella y requiere mucha agua por lo que necesita un riego constante.	puede tomar de 65 a 130 días desde la siembra hasta la cosecha	Áfidos
Cilantro <i>Coriandrum sarivum</i>	El cilantro se propaga a partir de semillas que se plantan a profundidad de 1-3 cm. El espacio entre hileras es de 25-30 cm.	La germinación de semillas demora hasta 3 semanas.	Cuando le han crecido dos hojitas gruesas	Para una buena producción este cultivo necesita una combinación de agua de lluvia y de riego de entre 6 y 12 pulgadas (15 y 30 cm) repartidas entre la germinación y la cosecha.	A los 35 o 45 días después de su germinación cuando su altura es de 25 cm aprox.	Pulgones, gusanos de las hojas, mosquita blanca y ácaros.

				Sol en la mañana, pero con cierta sombra en la parte calurosa del día.		
Yerbabuena <i>Mentha spicata</i>	Para sembrar hierbabuena primero se hace un riego de inundación. Luego se trazan surcos separados sesenta centímetros, con una pequeña pendiente. La mejor época es en primavera y verano.	De 14 a 16 días	se puede trasplantar después de ver más de cuatro raíces en el tallo.	Necesita mucha iluminación solar y requiere un riego abundante	Las primeras cosechas pueden ser a partir del mes y medio de siembra	pulgón, mosca blanca, orugas y la roya
Espinaca <i>Spinacia oleracea</i>	Profundidad mínima del macetero es de 15 cm, la distancia entre una planta y otra es de 10-25 cm, distancia entre líneas de plantación es de 30 cm.	Hasta 21 días.	Cuando las plantas tengan de 3-4 pares de hojas	Aproximadamente cada planta debe recibir 450 ml de solución al día o cada tercer día. Tenerla en sombra.	La mayoría de las variedades maduran en 37 a 45 días.	Mosca de la remolacha (<i>Ophiocoma pinguis Fall</i>), gusanos grises (<i>Agrotis ssp</i>), pulgones que producen amarillamiento de las hojas, nematodos, caracoles y babosas.
Acelga <i>Beta vulgaris var. cicla</i>	Sustrato muy bueno en filtración y Para el cultivo de la acelga es importante la presencia permanente de humedad.	entre 10 y 15 días	El trasplante de las acelgas se realiza cuando las hojas tengan unos 10-15 cm de tamaño o cuando la plantita tenga 6-7 hojas.	Requiere de una buena iluminación diaria y se riega tres veces cada 7 días o depende de que tan seco este el clima.	La fecha de cosecha va a ser más o menos un mes después del trasplante	Gusano blanco, gusano de alambre, gusano gris, mosca de la remolacha y pulgón.
Apio <i>Apium graveolens</i>	El apio se desarrolla mejor en suelos arcillosos, ya que requiere de mucha humedad.	7 días	se realiza a los 80 días de la siembra	No necesita mucha iluminación por lo cual se debe poner a media sombra y darle un riego frecuente.	Se cosecha después de 60-75 días de ser trasplantado	Araña roja, gusano de alambre, minador y mosca del apio

Epazote <i>Dysphania ambrosioides</i>	Una humedad recomendable es de 8 cm de profundidad.	Las primeras hojas aparecen a pocos días de la siembra.	Si al sembrar las semillas, se obtienen muchos brotes, será necesaria otra maceta de 30-40 cm de profundidad.	Exposición a pleno sol.	Agosto y septiembre son ideales para la cosecha.	El epazote no es propicio a presentar demasiadas plagas y enfermedades.
Grupo E. Estructurales						
Tomate Verde <i>Physalis philadelphica</i>	1 y 2 semillas por cavidad, a una profundidad de tres veces su grosor, (5-8 mm), el sustrato siempre debe de estar húmedo.	7 - 15 días	Cuando las plantas tengan de 3-4 pares de hojas y miden entre 8-10 cm de alto.	Planea regarlas bien una vez por semana, o dos veces por semana durante un clima más cálido o seco. Sol veraniego.	Puede comenzar a cosecharse a los 80-120 días después de la siembra.	Pulga saltona, mayate rayado, catarina del tomate verde, minador de la hoja o moscas minadoras, tortuguilla, paratrioza o pulgón saltador y gusano del fruto.
Jitomate <i>Solanum lycopersicum</i>	Suelos ligeros con turba, y ralladura de coco tipo arenoso-lómico.	12-15 días	de 30 a 40 días después de la siembra,	necesita mucha luz solar directa y necesita entre 60% y el 80% de humedad	De 70-80 días después del trasplante a un espacio mayor.	Pulgones, mosca blanca, trips, araña roja y blanca y gusanos del jitomate
Chile Poblano <i>Capsicum annum</i>	Siembra en interiores unas 8-12 semanas antes de la última fecha de helada.	De 15-20 días	Cuando se tenga de 5-6 pulgadas de altura.	Crece mejor en áreas soleadas, que tenga un buen drenaje, pues mucha agua hará que los chiles se ahoguen y crezcan con menos frutos.	El tiempo total de cosecha es de aprox 65 días.	Picudo del chile, gallina ciega, pulgón, tortuguilla del chile, chapulín y roedores.
Chile jalapeño <i>Capsicum annum 'Jalapeño'</i>	Suelos franco arenosos, con buena aeración, alta retención de humedad y excelente drenaje	De 9 a 12 días	Se trasplanta después de haber pasado dos meses de su germinación en suelo húmedo	Requiere mucha luz más de 12 horas y no necesita un riego constante, aprox cada 15-20 días durante todo el ciclo del cultivo.	alrededor de 70 días después de la siembra	Mosquita blanca y pulgón que transmiten el virus rizado amarillo, virus jaspeado del tabaco, virus mosaico del tabaco y virus mosaico del pepino.
Chile Tampico <i>Capsicum annum cv.serrano Sinahusia</i>	Siembra directa, depositando la semilla a 2 ó 3 cm de profundidad.	De 10.15 días	Cuando se tiene 2 hojas completas	Es importante considerar la presencia de exceso de humedad y	Aproximadamente a los 70 días de la siembra.	Pulgón, la araña roja o ácaro rojo y el gusano minador.

				radiación solar alta.		
Chile Habanero <i>Capsicum chinense jacq</i>	Plantar las semillas a una profundidad de 0.5 cm, temperatura requerida de 20-25 ° C.	De 7 a 14 días	Cuando se tiene 0.1 m de altura, 2 mm de diámetro y de 6-8 hojas	Necesita suficiente iluminación y calor con un riego constante	Dos meses después de la siembra.	Garrapata, nematodos barrenador del chile que pueden producir un fruto prematuro deforme, mosca blanca que generan hojas deformes y frutos de baja calidad.
Chile manzano, rocoto, chile cera <i>Capsicum pubescens</i>	Se recomienda propagarlo en macetas con un sustrato rico en materia orgánica.	De 3 a 4 semanas	Se trasplanta solo si necesita un contenedor más grande	Cantidad considerable de sol y muy poca humedad	después de 80-120 días cuando los frutos adquieren el color.	Marchitez bacteriana, ojo de rana, marchitamiento fúngico, moho gris y marchitez del chile.
Brócoli <i>Brassica oleracea var. italica</i>	Debe hacerse un barbecho de 30 a 40 cm, rastreo, nivelación y trazo de riego	De 7 a 14 días	El trasplante se inicia a finales de marzo y mediados de abril.	Necesita estar en pleno sol para desarrollarse y necesita un riego moderado.	La mayoría de los brócolis están listos para la cosecha 60-90 días después del trasplante	Palomilla dorso de diamante, áfidos, homópteros como las hinchas y los gusanos
Grupo F. Raices						
Papa <i>Solanum tuberosum; L</i>	Suelo arcilloso	15 -16 días	No necesita	Requiere de 8 a 12 horas de luz y un riego constante	Listas para la cosecha entre 80-115 días después de la siembra.	Escarabajo de la papa (<i>Phthorimaea operculella</i>), mosca minadora y nemátodo del quiste.
Ajo <i>Allium sativum</i>	Suelos que pueden retener los nutrientes y la humedad, ligeros con pH de 6 y 7.	De 15 a 18 días	No necesita	Menos de 11 horas de luz y regarse de 3 a cuatro días	Se cosecha cuando el 40 a 60 por ciento de las hojas han amarilleado	Mosca de la cebolla, tiña del ajo y de la cebolla, polilla y gorgojo del ajo
Cebolla <i>Allium cepa L.</i>	Sembrar la semilla a 1,5 cm en hileras separadas 25 cm bulbos cada 10-15 cm en hileras separadas 25-30 cm.	De 20 a 25 días	Cuando se tiene de 15-18 cm de altura y 6-8 mm de diámetro.	La cebolla es un cultivo que no necesita un gran aporte hídrico. Pleno Sol durante el día.	Para las cebollas de día corto la fecha de siembra es marzo y los primeros días de abril.	Ácaro del ajo (<i>Eriophyes tulipae</i>), mosca de la cebolla (<i>Phorbia antiqua Meig</i>), polilla (<i>Laspeyresia nigricana Steph</i>), gorgojo del ajo (<i>Brachycerus algirus F.</i>), nemátodos (<i>Ditylenchus dipsaci Kuehn</i>) y minador común.

Rábano Raphanus sativus	Crear surcos de 2 cm de profundidad, planta 2 o 3 semillas a una profundidad de 1 cm y cubrirlas ligeramente.	De 10 a 12 días	No necesitan trasplante.	Se adapta muy bien tanto a mucha luz solar, como a sombra parcial. Aunque no tolera las altas temperaturas si se riega frecuente y uniformemente	Un mes después de su siembra.	Hormigas, babosas, caracoles, pulgones, mildiu y orugas.
Jengibre Zingiber officinale	Necesita un sustrato que retenga la humedad, pero no en exceso.	30 días	No necesita trasplante	Necesita de 2 a 5 horas de sol directo y se riega cada dos o 3 días	Se cosecha de 8 a 110 meses después de haber sido sembrado	Gallina ciega y zomposos
Grupo G. Aromáticas						
Menta Mentha	La menta se propaga por trasplante de brotes o raíces. Debido a que la menta es de hábito de crecimiento prolífico, se torna invasiva en el jardín.	10 y 15 días	No necesita	La cantidad de luz que necesita es mínima y mucha humedad	Se cosecha al ver que la planta ha adquirido un tamaño considerable	Los pulgones, los trips (<i>thysanoptera</i>) y los ácaros de la araña
Orégano Origanum vulgare	Requiere de un suelo rico en materia orgánica previamente esterilizado y cribado en húmedo.	De 15 a 20 días	Cuando se tenga unos 3 o 2 dedos de altura y 8-10 hojas	No necesita mucha agua y prefiere los suelos secos, necesita luz alta, pero no sol directo.	La cosecha de orégano se realiza justo antes de que salgan las flores.	No es muy común la presencia de plagas y enfermedades en las aromáticas como el orégano.
Romero Salvia rosmarinus	El semillero se llena con sustrato, se esparcen 3 o 4 semillas en cada celda, en la parte superior sin hundirlos, humedecer, se cubren con tierra una capa delgada.	De 15 a 25 días.	Cuando se tenga 7,5 cm de altura.	Prefieren terrenos secos, son poco regados se debe tener cuidado de no dejar encharcamientos. Requiere de 6 a 8 horas diarias de sol.	La cosecha se da a partir de los 40 días del trasplante.	Mal blanco causado por la <i>Sphaerotheca spp.</i> , es un moho blanquecino. Presencia de pulgones.
Tomillo Thymus vulgaris	Las filas se espacian entre 60 y 80 cm y los pies de cada fila	De 12-15 días.	Cuando se tenga de 8-10 cm de altura y	Necesita luz natural pero no sol directo. Resiste bien las heladas y sequías,	La cosecha debe realizarse en días secos y cuando se	Es una planta muy resistente al ataque de plagas y enfermedades.

	entre 25 y 30 cm.		entre 2-3 hojas	pero no el encharcamiento ni el exceso de humedad ambiente.	haya ya levantado el rocío.	
Manzanilla <i>Chamaemelum nobile</i>	Necesita un sustrato rico en materia orgánica y con buena humedad	De 10 a 12 días.	Se trasplanta cuatro semanas después de haber germinado	Necesita buena iluminación, pero no sol directo y no necesita mucha agua el riego es de una vez por semana	Se cosechan con la floración	Pulgones y trips
Grupo H. Polinizadoras						
Zinnia <i>Zinnia elegans</i>	Necesitan un suelo húmedo y bien drenado a pleno sol con temperaturas de 23 – 29 °C.	De 8 a 12 días.	Ya que haya alcanzado de 10-15 cm	Cada 2-3 días, pero sin encharcar. La forma adecuada de regar la zinnia es evitando mojar sus hojas. De 6-8 horas diarias a la luz solar directa.	Las plantas de Zinnia crecen rápido y florecen de seis a ocho semanas después de que se siembran.	Los insectos más comunes que pueden atacar a las Zinnias son los Áfidos, los tisanópteros y la mosca blanca.