



INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE MISANTLA

“LOCALIZACIÓN DE CENTROS DE ACOPIO PARA LA CONCENTRACIÓN DE COSECHAS TRASPATIO EN LA REGIÓN INTERMUNICIPAL DE MISANTLA”

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRA
EN INGENIERÍA INDUSTRIAL**

P R E S E N T A

I.G.E. ELIZABETH GARCÍA HUERTA

DIRECTOR:

DR. GREGORIO FERNÁNDEZ LAMBERT

CODIRECTORES:

MII. EDUARDO FERNÁNDEZ ECHEVERRÍA

DR. LUIS ENRIQUE GARCÍA SANTAMARÍA

MISANTLA, VERACRUZ.

Noviembre, 2023.



INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE MISANTLA

AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN MAESTRÍA

31 de octubre del 2023

ASUNTO: AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN:
TESIS PROFESIONAL

A QUIEN CORRESPONDA:

Por medio de la presente se hace constar que el (la) C:

ELIZABETH GARCÍA HUERTA

Estudiante de la MAESTRÍA EN INGENIERÍA INDUSTRIAL con No. de Control 212T0523 ha cumplido satisfactoriamente con lo estipulado por el Lineamiento de Posgrado para la obtención del grado de Maestría mediante TESIS PROFESIONAL

Por tal motivo se Autoriza la impresión del Tema titulado:

“LOCALIZACIÓN DE CENTROS DE ACOPIO PARA LA CONCENTRACIÓN DE COSECHAS TRASPATIO EN LA REGIÓN INTERMUNICIPAL DE MISANTLA”

Dándose un plazo no mayor de un mes de la expedición de la presente a la solicitud del examen para la obtención del grado de maestría.

ATENTAMENTE

DR. GREGORIO FERNÁNDEZ LAMBERT
Presidente



M.I.I. EDUARDO FERNÁNDEZ ECHEVERRÍA

Secretario

DR. LUIS ENRIQUE GARCÍA SANTAMARÍA

Vocal

Archivo.

Dedicatoria.

Agradezco a Dios, por ser mi guía, por brindarme la sabiduría y perseverancia necesarias a lo largo de este camino de aprendizaje.

Este trabajo está dedicado a mi familia, a quienes quiero y valoro, siendo el motivo principal por el cual sigo esforzándome para mejorar día a día.

A mis padres, Enriqueta y Alfonso, por su amor, consejos y apoyo incondicional, quienes siempre me han brindado la motivación para perseguir mis sueños; gracias a ustedes puedo alcanzar esta meta más en mi vida.

A mis hermanos, Alfonso y María Ingrid, por su apoyo constante, han sido mi fortaleza para alcanzar mis metas.

Agradecimientos.

A través de estas líneas, expreso mi agradecimiento a las personas que, con su apoyo y colaboración, hicieron posible la realización de esta tesis.

Al Dr. Gregorio Fernández Lambert, mi director de tesis, por aceptarme en la realización de este proyecto bajo su dirección, por su apoyo académico, dedicación y paciencia. Gracias por compartir sus conocimientos, enseñanzas y su guía constante.

Al MII. Eduardo Fernández Echeverría, por su tiempo y orientación en sus acertadas recomendaciones en la representación matemática de la red logística para la recolección de la producción traspatio.

Al Dr. Luis Enrique García Santamaría, por motivarme durante mi camino académico. Le agradezco su generosidad al compartir sus conocimientos y su apoyo, los cuales fueron fundamentales para mi crecimiento académico.

A la Dra. Yoselyn Noemí Ortega Gijón, por dedicar su tiempo, compartir sus conocimientos y habilidades para apoyarme en la programación en Python®. Le agradezco su dedicación y orientación.

Al Instituto Tecnológico Superior de Misantla, por haberme permitido formar parte de esta comunidad educativa como estudiante de posgrado. Agradezco por la educación de calidad recibida.

A mis profesores de la Maestría en Ingeniería Industrial por compartir sus conocimientos y experiencias a lo largo de mi formación como estudiante.

También quiero agradecer a mis compañeros de maestría y amigos, quienes siempre me motivaron e hicieron que este camino de aprendizaje fuera más ameno. Gracias a todos ellos.

**Agradecimiento al Consejo Nacional de
Humanidades, Ciencias y Tecnologías.
(CONAHCYT).**

Agradezco al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por la beca otorgada, la cual me permitió realizar mis estudios de Maestría en Ingeniería Industrial en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla durante el periodo del 1 de septiembre de 2021 al 31 de agosto del 2023.

I.G.E. Elizabeth García Huerta.

Becario: 805799.

CVU: 115358.

Resumen

El desabasto alimentario y el combate al hambre es una crisis global que afecta a comunidades vulnerables en todo el mundo. Para mitigar este problema, se requiere implementar estrategias que optimicen las cadenas de suministro agroalimentarias y aseguren alimentos nutritivos y suficientes para todos. La Región Intermunicipal de Misantla, Veracruz, emerge como un área abundante en la capacidad para la diversificación de cultivos y la ganadería, que no sólo se realiza de forma extensiva, sino también a través de la producción local a pequeña escala conocida como “traspatio”, lo que representa un polo económico significativo. Sin embargo, esta región enfrenta una paradoja a pesar de su riqueza en recursos naturales, relacionado con el desarrollo de la agricultura y la ganadería al identificarse como localidades vulnerables que enfrentan limitaciones significativas para obtener alimentos y servicios básicos.

La producción agrícola de traspatio es una actividad en la que las familias de esta región la utilizan para abastecerse de alimentos, así como para vender en los mercados regionales sus excedentes. No obstante, se ha identificado el desafío de la falta de una infraestructura logística para la comercialización de los productos agrícolas de traspatio. Esto ha llevado a que varios productores enfrenten dificultades para llevar sus productos al mercado y que otros no logren aprovechar plenamente el potencial productor traspatio.

Esta Tesis presenta el diseño de una red de acopio de para los productos agrícolas-traspatio, la cual contribuye como una estrategia que ayuda a las comunidades rurales a “sacar” el excedente de la producción-traspatio de la Región Intermunicipal de Misantla. Con este propósito, esta Tesis identifica potenciales emplazamientos para ubicar óptimamente centros de acopio agroalimentarios que concentren la producción agrícola de traspatio de esta región de estudio. Para lograrlo, se diseña un modelo matemático de localización de instalaciones discreto, no capacitado de tres niveles y multiproducto, denominado “*Three-Stage Bi-Objective Multiproduct Uncapacitated Facility Location Problem*” (TMUUFLP), con dos funciones objetivo: Una minimiza los costos globales de la red en función de la distancia de recorrido; y la segunda maximiza la carga de transporte en función de la temporada de cosecha de la producción agrícola de traspatio. Este problema se resuelve en Python® 3.11, con el cual se simulan escenarios como un problema en programación lineal multiobjetivo. Los resultados muestran los emplazamientos óptimos en cada temporada para operar los centros de acopio en la Región Intermunicipal de Misantla.

Palabras clave: Localización de Instalaciones No Capacitado, Programación Lineal Multiobjetivo, Cadena de Suministro Corta, Producción Agrícola de Traspatio.

Índice

Índice	7
Índice de Figuras	10
Índice de Tablas	12
Índice de Anexos en Archivos Electrónicos	13
Introducción	14
Capítulo 1. Generalidades.	16
1.1 Contexto Regional de Estudio: Misantla y su Región Intermunicipal.	16
1.1.1 Geografía y Recursos Naturales.	16
1.1.2 Población y Desarrollo Regional.	18
1.1.3 Actividades Económicas	19
1.1.4 Sector Agroindustrial de Influencia al Municipio de Misantla.	21
1.1.5 Infraestructura de Servicios y Suministros de la Región de Misantla.	21
1.1.6 Contacto con Productores Traspatio.	22
1.1.7 Contexto de la Producción Traspatio de la Región Intermunicipal de Misantla.	25
1.2 Planteamiento del Problema.	27
1.3 Justificación.	29
1.4 Objetivos.	30
1.4.1 Objetivo General	30
1.4.2 Objetivos Específicos.	30
1.5 Hipótesis.	31
1.6 Preguntas de Investigación.	31
1.7 Propuesta de Solución.	31
1.8 Tipo de Investigación	32
1.9 Metodología.	32
1.10 Alcance de la Investigación	33
1.11 Limitación de la Investigación.	34
1.12 Aporte al Desarrollo Social, Económico y Ambiental	34
Capítulo 2. Marco Teórico	37
2.1 Producción Agrícola Traspatio.	37
2.2 Sector Agroalimentario.	38
2.3 Centros de Acopio.	38
2.3.1 Food Hubs.	39
2.3.2 Cross Docking.	40
2.4 Cadena de Suministro.	40

2.5 Teoría de la Localización de Instalaciones.	42
2.6 Modelos de Localización.	44
2.6.1 Variables.	46
2.6.2 Tipos de modelos de localización.	46
2.6.3 Modelos combinados.	50
2.7 Modelos de Distribución.	50
2.7.1 Problemas de Optimización Combinatoria.	51
2.8 Métodos de Solución.	53
2.8.1 Técnicas Exactas.	57
2.8.2 Heurísticas.	57
2.8.3 Meta-Heurísticas.	58
Capítulo 3. Exploración Bibliográfica.	59
3.1 Discusión.	62
3.2 Modelos de Localización de Instalaciones.	66
3.3 Modelos de Distribución.	78
Capítulo 4. Modelo para la Localización de Centros de Acopio.	82
4.1 Escenario de Investigación.	82
4.2 Población.	84
4.3 Producción Agrícola Extensiva y Traspatio.	84
4.3.1 Naturaleza Agrícola Extensiva.	84
4.3.2 Potencialidad de la Producción Traspatio.	85
4.4 Vías de Comunicación.	87
4.5 Construcción del Modelo de Localización.	88
4.5.1 Elementos que Compondrán el Modelo.	88
4.5.2 Criterios de Inclusión y Exclusión del Modelo de Localización.	89
4.5.2.1 Criterio 1: Tamaño de Población.	90
4.5.2.2 Criterio 2 y 3: Energía Eléctrica y Red de Agua Potable.	91
4.5.2.3 Criterio 4. Distancia entre Comunidades no Mayor a 2km.	91
4.5.2.4 Criterio 5. Conexión Directa a Vías Transitables:	93
4.5.3 Lima Persa como Producto de Consolidación.	94
4.5.3.1 Oferta de Lima Persa	97
4.5.3.2 Volumen de Producción de Lima Persa.	98
4.5.4 Emplazamientos Potenciales para la Ubicación de Centros de Acopio.	99
4.5.4.1 Criterio 6. Elección de Localidades.	100

4.5.5 Proyección Traspatio.....	103
4.5.6 Proyección Estimada de la Demanda de Productos Traspatio	106
de los Mercados Regionales de Juchique de Ferrer y Misantla.	106
4.5.7 Costos Globales de la Red de Acopio de la Producción Traspatio.....	107
4.5.7.1 Costos de Transporte.	108
4.5.7.2 Costos por Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (CO ₂).	109
4.5.7.3 Costos de Operación de un Centro de Acopio.	109
Capítulo 5. Resultados.....	111
5.1 Descripción del Modelo Matemático.	111
5.2 Supuestos y Consideraciones del Modelo.....	113
5.3 Pseudocódigo en Python®.....	115
5.4 Términos y Definiciones del Modelo Matemático.	132
5.4.1 Índices.....	132
5.4.2 Parámetros.	132
5.4.3 Variables.	133
5.4.4 Función Objetivo.....	134
5.4.5 Restricciones.	134
5.5 Simulación de Escenarios.	138
5.5.1 Escenario 1: Oferta y Demanda Equilibrada.....	144
5.5.2 Escenario 2: La Demanda es Menor a la Oferta.	147
5.5.3 Escenario 3: Demanda Mayor que la Oferta.....	149
5.5.3 Escenario 4: Nuevos Requerimientos de Productos Traspatio.	150
Conclusiones.....	153
Referencias	154

Índice de Figuras

Figura 1. Misantla y Municipios Colindantes.....	17
Figura 2. Población en Situación de Pobreza de la Región Intermunicipal de Misantla.	19
Figura 3. Ocupación de la Región Sureste en Actividades del Sector Primario.	19
Figura 4. Cultivos Traspatio de la Región Intermunicipal de Misantla	23
Figura 5. Cultivo de Hortalizas de la Región Intermunicipal de Misantla.	24
Figura 6. Crianza de Animales Traspatio de la Región Intermunicipal de Misantla.	24
Figura 7. Producción de Limón Persa Traspatio.....	26
Figura 8. Estructura General del Proyecto de Investigación.....	32
Figura 9. Metodología para Localizar Centros de Acopio Agroalimentarios Regionales.	33
Figura 10. Aporte al Desarrollo Económico Social y Ambiental.....	34
Figura 11. Cadena de Suministro Agroalimentaria.....	41
Figura 12. Cadena de Suministro Corta.....	42
Figura 13. Clasificación de Modelos.....	44
Figura 14. Problemas de Localización de Instalaciones.....	45
Figura 15. Clasificación de Variables en los Problemas de Optimización.....	55
Figura 16. Métodos para la Solución a Problemas de Optimización.....	56
Figura 17. PRISMA de Modelos de Localización y de Distribución.....	59
Figura 18. Literatura Publicada por Año.....	60
Figura 19. Funciones Objetivo A) Minimizar, B) Maximizar	63
Figura 20. Tipo de Funciones Objetivo en la Literatura.....	64
Figura 21. Criterios Considerados en la Literatura.....	64
Figura 22. Tipos de Modelos Empleados en la Literatura.....	65
Figura 23. Métodos de Solución Empleados en la Literatura	66
Figura 24. Región Intermunicipal de Misantla, Veracruz.....	82
Figura 25. Localidades de la Región Intermunicipal de Misantla.....	83
Figura 26.. Localidades Productoras Traspatio.....	86
Figura 27. Carreteras sin Infraestructura.....	87
Figura 28. Carreteras Estatal, Municipal y Red de Caminos.....	92
Figura 29. Región Intermunicipal, Localidades de Estudio.....	94
Figura 30. Asignación de Polígonos de Cultivos de Lima Persa.....	95
Figura 31. Localidades Productoras de Lima Persa.....	97
Figura 32. Localidades Candidatas para Emplazamientos de Centros de Acopio.....	101
Figura 33. Red de Nodos de la Región Intermunicipal de Misantla.....	102
Figura 34. Actividades de Producción Traspatio.....	103
Figura 35. Representación del Flujo de la Red de Transporte de la Región de Estudio.....	112

Figura 36. Escenario 12-12.	141
Figura 37. Escenario 11-12.	141
Figura 38. Escenario 10-12.	141
Figura 39. Escenario 9-12.	141
Figura 40. Escenario 8-12.	142
Figura 41. Escenario 7-12.	142
Figura 42. Escenario 6-12.	143
Figura 43. Escenario 5-12.	143
Figura 44. Escenario 4-12.	143
Figura 45. Escenario 3-12.	143
Figura 46. Escenario 2-12.	144
Figura 47. Escenario 1-12.	144
Figura 48. Primera Temporada Escenario 1: Oferta y Demanda Equilibrada.	145
Figura 49. Segunda Temporada Escenario 1: Oferta y Demanda Equilibrada.	146
Figura 50. Primera Temporada Escenario 2: Demanda Menor que la Oferta.	148
Figura 51. Segunda Temporada Escenario 2: Demanda Menor que la Oferta.	148
Figura 52. Primera Temporada Escenario 4: Nuevos Requerimientos.	151
Figura 53. Segunda Temporada Escenario 4: Nuevos Requerimientos.	152

Índice de Tablas

Tabla 1. Principales Cultivos en la Región de Intermunicipal de Misantla.	20
Tabla 2. Ganadería y Avicultura del Municipio de Misantla.	21
Tabla 3. Principales Productos Agroindustriales de Exportación en la Región de Misantla, 2020. .	21
Tabla 4. Tipo de Carreteras de la Región Intermunicipal en Kilómetros.	22
Tabla 5. Aspectos de la Exploración Bibliográfica.	61
Tabla 6. Número de Localidades de la Región Intermunicipal de Misantla.	83
Tabla 7. Número de Habitantes por Municipio de la Región Intermunicipal de Misantla.	84
Tabla 8. Cultivos Extensivos de la Región Intermunicipal de Misantla	85
Tabla 9. Lista de Localidades Potenciales Productoras Traspatio.	86
Tabla 10. Criterio 1. Tamaño de Población.	90
Tabla 11. Criterio 2 y 3. Energía Eléctrica y Red de Agua Potable.	91
Tabla 12. Distancia entre Comunidades no Mayor a 2km.	92
Tabla 13. Criterio 5. Conexión Directa a Vías Transitables.	93
Tabla 14. Localidades Productoras de Lima Persa en la Región Intermunicipal de Misantla.	96
Tabla 15. Rendimiento de Toneladas por Hectárea.	97
Tabla 16. Proyección de Cosecha de Lima Persa.	98
Tabla 17. Cantidad Promedio de Toneladas de Lima Persa.	98
Tabla 18. Localidades con Infraestructura y Productoras Agrícolas.	99
Tabla 19. Distribución de Centros de Acopio por Sectores.	101
Tabla 20. Características de Localidades Potenciales Agrícolas.	102
Tabla 21. Calendario de Cosecha de Productos Traspatio.	105
Tabla 22. Proyección de la Demanda, Primera Temporada.	106
Tabla 23. Proyección de la Demanda, Segunda Temporada.	107
Tabla 24. Costo de Transporte por Kilómetro de Recorrido.	108
Tabla 25. Costo de Transporte por Kilómetro de Recorrido. (Continúa)	108
Tabla 26. Costo por Emisiones de Gases de Efecto Invernadero CO ₂	109
Tabla 27. Costos Estimados de Operación de los Centros de Acopio.	110
Tabla 28. Consideraciones de los Escenarios	138
Tabla 29. Evaluación del Modelo: Primera Temporada.	139
Tabla 30. Evaluación del Modelo: Segunda Temporada.	140

Índice de Anexos en Archivos Electrónicos

Anexo 1.	<i>Proyección Traspatio Basada en Rendimientos por Hectárea y Estación de Cosecha.....</i>
Anexo 2.	<i>Proyección Traspatio en Unidades Comerciales (Primera Temporada)</i>
Anexo 3.	<i>Proyección Traspatio en Unidades Comerciales (Segunda Temporada)</i>
Anexo 4.	<i>Localidades Productoras de Lima Persa.....</i>
Anexo 5.	<i>Proyección de Lima Persa Misantla.....</i>
Anexo 6.	<i>Estado de las Carreteras y Caminos de la Región de Estudio.....</i>
Anexo 7.	<i>Distancia de Recorrido Desde una Localidad Productora Hacia un Centro de Acopio.....</i>

Introducción.

En las últimas décadas, las cadenas agroalimentarias han enfrentado crisis sociales, ecológicas y sanitarias, que han provocado escasez y desabasto alimentario. La desigualdad en el acceso de alimentos, así como la calidad y disponibilidad de los mismos, ha impulsado la necesidad de implementar y promover prácticas agrícolas sostenibles y sistemas de distribución más eficientes. En este contexto, la agricultura traspatio ha adquirido relevancia al ser una actividad de pequeña escala que engloba tanto el cultivo de diversos productos agrícolas, así como la crianza de animales domésticos, que son vitales para asegurar la subsistencia de las familias, ya que no son solo una fuente importante de autoconsumo, sino que también generan ingresos mediante la venta de sus excedentes.

En la Región Intermunicipal de Misantla existen familias dedicadas a estas actividades; sin embargo, los productores traspatio de esta región enfrentan un desafío: la falta de un lugar que facilite la comercialización de sus excedentes, lo que los lleva a recurrir a intermediarios para acceder al mercado. Esta situación conlleva a diversos problemas, como el transporte de mercancías, pérdida de alimentos debido a su perecibilidad, recibir un precio por debajo del valor real de los productos, recorrer largas distancias, encarecimiento de los productos y la incertidumbre ante la demanda, entre otros.

Ante esta problemática, el presente trabajo de investigación propone ubicaciones óptimas para situar centros de acopio agroalimentarios destinados a concentrar producción agrícola de traspatio mediante programación matemática. De esta manera, se diseña una red de distribución y abastecimiento para facilitar el acceso de los agricultores al mercado, lo que beneficiaría directamente a los productores de traspatio al ofrecerles una salida más eficiente para sus excedentes y mejorar sus ingresos. Asimismo, se pretende establecer una logística de una cadena de suministro corta, lo que contribuiría a mejorar la economía tanto a nivel local como en la región en general.

Para lograr este propósito, esta tesis se organiza en cinco capítulos que abordan aspectos esenciales de la investigación. En el primer capítulo, se describe el contexto socioeconómico de la Región Intermunicipal de Misantla, resaltando su potencial para el desarrollo empresarial en el sector agroalimentario. Se exploran aspectos sociales, económicos y naturales, además de adquirir una comprensión del entorno de la producción traspatio de la región. Este capítulo constituye un componente fundamental de la investigación, ya que en él se presentan los

elementos que definen el enfoque y la dirección del estudio; se plantean y detallan los objetivos que guían el desarrollo de la investigación, asimismo, se aborda el problema de investigación y la descripción metodológica.

En el segundo capítulo se establece el fundamento conceptual y las bases teóricas necesarias para abordar la problemática de la localización de los centros de acopio. En el tercer capítulo, se presenta una revisión sistemática de literatura relacionada con los modelos de localización de instalaciones y los modelos de distribución en cadenas de suministro de productos agrícolas. Mediante esta revisión, se identifican las tendencias, métodos y enfoques que se han utilizado para abordar problemáticas similares, además se identifica lagunas en la literatura existente.

En el cuarto capítulo detalla cómo se determina el número de centros de acopio candidatos a ubicar en la región de estudio, considerando criterios que influyen en la toma de decisiones. Además, se recopilan y preparan los datos necesarios para el diseño del modelo matemático.

Finalmente, en el quinto capítulo se diseña el modelo matemático de localización y se establecen sus elementos, así como el desarrollo del mismo. En este capítulo se detallan los resultados de la investigación y finalmente se realiza la evaluación del modelo matemático mediante cuatro simulaciones utilizando el software Python® 3.11.

Capítulo 1. Generalidades.

1.1 Contexto Regional de Estudio: Misantla y su Región Intermunicipal.

La Región Intermunicipal de Misantla, se ha caracterizado por ser una zona altamente rica en recursos naturales, que no solo incluye el ámbito forestal, sino también el agrícola y mineral. Sin embargo, hasta la fecha, los esfuerzos para promover su desarrollo como un polo importante en el sector primario han sido insuficientes. En este sentido, el presente capítulo pretende describir el contexto socioeconómico de la Región Intermunicipal y el municipio de Misantla, así como su situación geográfica en relación con las principales ciudades que la rodean. Se abordarán aspectos sociales, económicos y naturales, la cual la potencializan para un desarrollo empresarial en el sector agroalimentario.

1.1.1 Geografía y Recursos Naturales.

El Estado de Veracruz se encuentra ubicado en la parte central de la vertiente del Golfo de México, entre los 17°09' y 22°28' latitud norte y 93°36' y 98°39' longitud oeste. Su superficie total es de 72,873 km² de los cuales 72,815 corresponden a tierra firme y los 58 restantes a islas, lo que representa el 3.7% de la superficie del país. El estado tiene una longitud 800 km y su anchura varia de 36 km a 212 km. Su litoral se extiende a lo largo de 745 km y su altitud oscila entre 0 a 5,610m, desde el nivel de mar hacia el volcán pico de Orizaba. El estado limita al norte con Tamaulipas; al oeste con San Luis potosí, Hidalgo y Puebla; al suroeste y sur con Oaxaca; y al sureste con Chiapas y Tabasco (SEDECOP, 2018). La riqueza del suelo veracruzano se manifiesta en los tipos de suelos que varían de norte a sur del estado. En la zona norte, predominan los suelos de redzina, vertisol y regosol; en el centro del estado se encuentran suelos de tipo luvisol, vertisol, andosol y feozem; en el sur predominan los gleysoles, mientras que en la llanura costera prevalece el gleysol y el regosol (Medina Chena et al., 2010). Gran parte del territorio veracruzano está cubierto por bosques y selvas, que contribuyen a la belleza paisajística del estado, además de la gran variedad de cultivos y áreas destinadas para actividades agropecuarias extensivas. En la región sur del Estado, la sierra de los Tuxtlas genera lluvias con precipitaciones pluviales anuales que varían de 1,700 mm hasta 4000 mm en promedio. Al norte de la sierra, el promedio de precipitación pluvial es de 1600 mm, extendiéndose hasta la zona de media montaña, mientras que en el altiplano disminuye a 620 mm anuales (Pérez Méndez et al., 2018), además, esta región contribuye con el 30% de los recursos hídricos del escurrimiento total

nacional (CONABIO, 2021). La región central del estado se caracteriza por variaciones de temperatura que dependen de la altitud, que comprende desde la Sierra Madre Oriental hasta la región costera sobre el nivel del mar. En las llanuras costeras norte y sur del estado, las temperaturas máximas oscilan entre los 28 y 29°C., mientras que las temperaturas mínimas se sitúan en torno a 19 y 20°C. En la región montañosa, la temperatura puede llegar a 12°C, mientras que, en el altiplano, la temperatura mínima se encuentra alrededor de 15°C. Por otra parte, la zona centro norte del estado posee un gran potencial para los cultivos de cítricos como la naranja, limón y caña de azúcar. Otros cultivos con alto potencial son el maíz, el café, el chile y la vainilla (Ramírez Lavoignet, 2020). Esta zona está integrada por los municipios de Atzalan, Colipa, Juchique de Ferrer, Misantla, Martínez de la Torre, Nautla, San Rafael, Tlapacoyan, Tenochtitlán, Vega de Alatorre y Yecuatla (Luria Chavez, 2018). El municipio de Misantla se localiza entre las coordenadas extremas del meridiano 19° 54'57"N y 96°50'29" W (Figura 1). Su altitud promedio es de 410 m.s.n.m., y tiene una superficie de 524.08 km², lo que representa el 0.73% del total del territorio veracruzano.

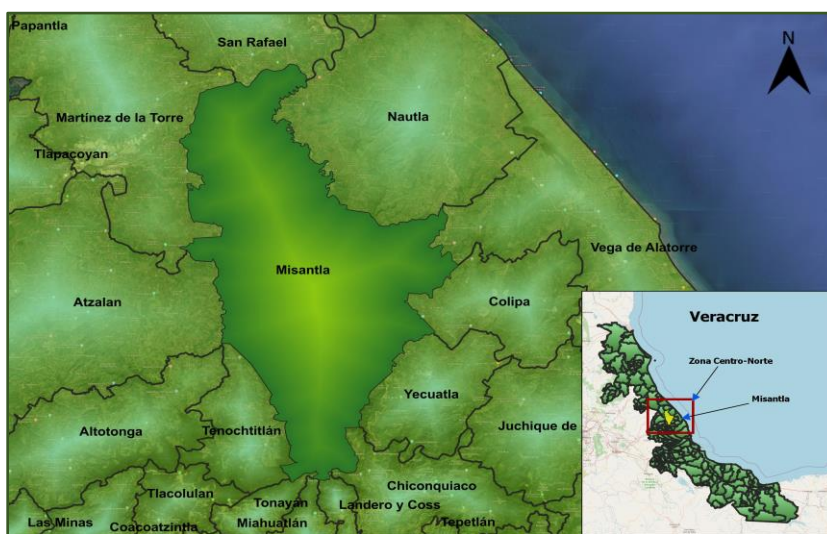


Figura 1. Misantla y Municipios Colindantes.

Fuente. Elaboración propia.

Misantla se encuentra ubicada a una distancia de 101km de la capital del estado, Xalapa. Limita al norte con los municipios de San Rafael y Martínez de la Torre; al sur con los municipios de Landero y Coss y Chiconquiaco; al este con Nautla, Vega de Alatorre y Colipa; al oeste con Atzalan y Altotonga; al noroeste con Martínez de la Torre; al sureste con Yecuatla y al suroeste con Tenochtitlán (SIEGVER, 2021). El clima predominante en Misantla oscila entre un rango de temperatura de 20-26°C, mientras que en Martínez de la Torre varía de 22-26°C, en Yecuatla

oscila entre 18-24°C, en Colipa es de 22-26°C, en Juchique de Ferrer se encuentra entre 16-24°C, en Tenochtitlán oscila entre 14-24°C y en Atzalan es de 14-26°C (CEIEG, 2021).

Los bosques de la región de Papantla y Misantla contribuyen a mantener estos territorios muy húmedos debido a la abundante precipitación y conservación de la humedad. La cercanía de la sierra de Chiconquiaco a Misantla origina abundantes lluvias, lo que la convierte en una de las regiones más irrigadas del Estado. La región de Misantla es montañosa y se caracteriza por los últimos repliegues del norte de la Sierra de Chiconquiaco, y por el declive de la Sierra de Teziutlán al occidente. Algunos de los cerros prominentes en Misantla son el Cerro del Algodón, Cerro Verde, Liquidámbur, Moxillón, el Cerro de Culebras y el Cerro de la espadilla; el Cerro Quebrado se ubica entre los municipios de Misantla y Martínez de la Torre; y en la Sierra del Cojolite se encuentran los cerros San Pedro y Lagartos (Ramírez Lavoignet, 2020). En cuanto a los suelos del municipio de Misantla, predominan los luvisoles y vertisoles. Los primeros son suelos negros de origen aluvial en los llanos, utilizados para cultivos de caña de azúcar, frijol, chile y maíz; mientras que los vertisoles, son suelos característicos en las lomas, utilizados para cultivar frutales como naranja y mango; y en las planicies se cultiva el plátano. La distribución de la superficie de Misantla se compone aproximadamente del 60% para la agricultura, 20% para la ganadería, 15% en viviendas, 4% en comercios y 1% en oficinas (H. Ayuntamiento de Misantla, 2016).

1.1.2 Población y Desarrollo Regional.

De acuerdo con los resultados procedentes del censo de población y vivienda 2020, el municipio de Misantla cuenta con 65,761 habitantes, y su densidad de población es de 125.6 (hab./km²). Las localidades más pobladas dentro del municipio son la cabecera municipal Misantla, con 30,232 habitantes, seguida de Arroyo Hondo con 2,121 habitantes y la Defensa con 1,480 habitantes (SIEGVER, 2021). El crecimiento de la población en el municipio está en aumento, con una tasa de crecimiento media de 0.47% (INEGI, 2020). Los indicadores de pobreza en la Región Intermunicipal de Misantla, según los datos emitidos por (CONEVAL, 2020) presentan un porcentaje menor en comparación con los datos de 2015. Sin embargo, a pesar de este descenso, la región sigue enfrentando un alto índice de pobreza. La Figura 2, muestra el porcentaje de pobreza para la Región Intermunicipal de Misantla, destacando a Tenochtitlán como el municipio con mayor porcentaje de población en situación de pobreza, seguido de Juchique de Ferrer y Colipa. También presenta el porcentaje de población en situación de pobreza extrema y el porcentaje de la población no pobre o no vulnerable.

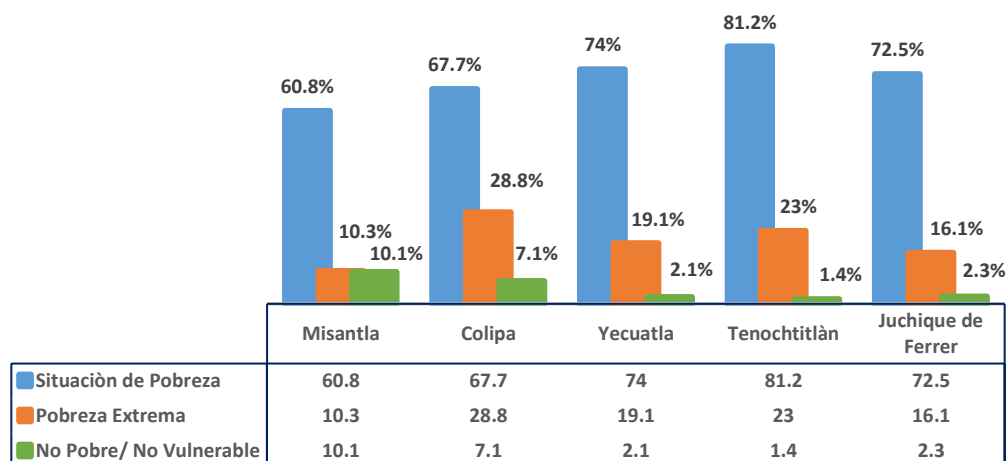


Figura 2. Población en Situación de Pobreza de la Región Intermunicipal de Misantla.

Fuente. Elaboración propia con información de (CONEVAL, 2020).

1.1.3 Actividades Económicas.

A nivel nacional, la ocupación en actividades primarias se divide en 6 regiones, de acuerdo a datos de la ENOE (Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo) de INEGI. Veracruz forma parte de la región del sureste, junto con los estados de Chiapas y Oaxaca. En esta región, la población se dedica principalmente a actividades agrícolas, pecuarias y pesqueras, como se muestra en la Figura 3. En el sector primario, Veracruz destaca a nivel nacional, con cultivos como la naranja, plátano, tangerina, limón, caña, maíz, café cereza, papaya, mandarina, chile verde, frijol y otras variedades (SIAP, 2022).



Figura 3. Ocupación de la Región Sureste en Actividades del Sector Primario.

Fuente. Elaboración propia con información de (SIAP, 2018).

En la zona Centro Norte del estado, se produce el ganado bovino, específicamente en los municipios de Vega de Alatorre, Misantla, Tlapacoyan y Martínez de la Torre, donde la producción principal es la carne y la leche. Los municipios dedicados a la elaboración de derivados lácteos como queso y crema son: San Rafael, Martínez de la Torre y Vega de Alatorre; principalmente

en la localidad de Emilio Carranza. Además, en la zona es común la crianza de aves en pequeña escala, realizada generalmente de forma traspatio en las comunidades rurales, no obstante, aunque no cuentan con una producción técnica organizada ni una infraestructura adecuada obtienen carne y huevo para consumo y ventas. Por otro lado, el municipio de Misantla y su Región Intermunicipal, se caracteriza por su riqueza en recursos naturales. El microclima, la fertilidad del suelo, el agua y la biodiversidad, favorecen en el desarrollo de actividades económicas en el sector primario, como la ganadería y la agricultura. La agricultura en esta región es diversa, gracias a las condiciones geográficas y climáticas favorables que permiten cultivar una amplia variedad de productos desde especies tropicales hasta aquellos propios de climas más templados y fríos.

La agricultura en la Región Intermunicipal representa un conjunto de experiencias acumuladas a lo largo del tiempo por su población trabajadora. Aunque los campesinos no han tenido una educación agrícola formal, emplean técnicas tradicionales en un territorio con una extensa superficie. Además, es importante resaltar que esta región cuenta con una amplia variedad de cultivos que se pueden comercializar tanto localmente como en el exterior, (Tabla 1).

Tabla 1. Principales Cultivos en la Región de Intermunicipal de Misantla.

Productos Agrícolas	Chile verde	Frijol	Maíz de grano	Café cereza	Naranja	Limón	Caña de azúcar	Mandarina	Papaya	Toronja	Plátano	Tomate rojo
Periodo de cosecha	Otoño Invierno	Otoño-Invierno	Otoño-Invierno	Perenne	Perenne	Perenne	Perenne	Perenne	Perenne	Perenne	Perenne	Otoño-Invierno
Municipio		Primavera - Verano	Primavera - Verano	Perenne	Perenne	Perenne	Perenne	Perenne	Perenne	Perenne	Perenne	Otoño-Invierno
Colipa	✓	X	X	X	X							
Juchique	✓	X	X	X								
Misantla	✓	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Tenochtitlán	✓			X								
Yecuatla	✓	X	X	X	X							X

Fuente. Elaboración propia con información de Sistema de Información Estadística y Geográfica del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave (SIEGVER, 2021).

En el municipio de Misantla, se destaca por la cría de diversas especies de ganado, incluyendo bovino, porcino, ovino y caprino (Tabla 2). La superficie destinada a estas actividades contribuye a obtener un mayor volumen de producción en ganado vacuno y porcino. Por consiguiente, la región de Misantla es fuente de oportunidades para implementar proyectos de inversión que benefician a la sociedad, como la creación de granjas porcinas o avícolas, lo que impulsaría el desarrollo económico del municipio.

Tabla 2. Ganadería y Avicultura del Municipio de Misantla.

Especie	Volumen de producción			Producción de carne en canal (Miles de pesos)
	En pie (Toneladas)	En pie (Miles de pesos)	De carne en canal (Toneladas)	
Bovino	3,044.4	101,386.6	1,623.2	106,058.1
Porcino	778.1	23,796.4	594.4	27,930.3
Ovino	10.0	320.8	5.3	328.8
Caprino	6.5	194.7	3.4	205.1
Ave/	255.5	7,091.3	195.8	7,276.1
Guajolotes	16.6	729.8	12.5	805.9
Total	NA	133,519.6	NA	142,604.3
Superficie dedicada a la ganadería (Hectáreas)				16,744.0

Fuente. Tomado de (SIEGVER, 2021).

1.1.4 Sector Agroindustrial de Influencia al Municipio de Misantla.

Los municipios considerados como de influencia hacia Misantla, ya sea por colindancia o cercanía son los siguientes: Altotonga, Atzalan, Colipa, Chiconquiaco, Juchique de Ferrer, Landeros y Coss, Martínez de la Torre, Miahuatlán, Nautla, Tenochtitlán, Tlapacoyan, Tonayán, Vega de Alatorre y Yecuatla. La zona de influencia se caracteriza por contar con una infraestructura agroindustrial enfocada al cultivo de café, cítricos y caña de azúcar, así como actividades ganaderas. Debido a esto, su infraestructura agroindustrial se concentra en instalaciones como: beneficios de café, talleres de quesos, trapiches y empacadoras de cítricos, (Tabla 3). Esta dinámica agroindustrial ha impulsado el potencial de la región para exportar productos derivados del campo, tanto en su forma natural como después de ser sometidos a un proceso de industrialización.

Tabla 3. Principales Productos Agroindustriales de Exportación en la Región de Misantla, 2020.

Producto	Zona de producción	Mercado
Plátano	Tlapacoyan, San Rafael, Nautla, Atzalan.	Nacional, E.U.A.
Limón Fresco	Martínez de la Torre.	Nacional, Japón, Comunidad Europea, Corea del Sur, E.U.A.
Concentrados Cítricos	Álamo, Martínez de la Torre, Poza Rica	Nacional, Comunidad Europea, E.U.A. Asiático.
Cítricos en gajos	Álamo, Mtz. de la Torre, Xalapa, Poza Rica	Japón, E.U.A.
Café	Tlapacoyan, Misantla, Atzalan.	Nacional, E.U.A.

Fuente. (Fernández Lambert, 2020).

1.1.5 Infraestructura de Servicios y Suministros de la Región de Misantla.

La ciudad de Misantla cuenta con dos vías de comunicación terrestre que la conectan directamente con Xalapa, la capital del estado. La primera vía es la carretera Misantla-Banderilla, y la segunda ruta es Misantla-Martínez de la Torre, pasando por Altotonga y Perote. Estas importantes vías de comunicación también mantienen conectados a Misantla con los municipios

de Tlapacoyan, Atzalan, Naolinco, Nautla y San Rafael. Adicionalmente, la carretera que va desde Misantla hasta Vega de la Alatorre también juega un papel importante al conectar los municipios de Yecuatla Colipa y Juchique de Ferrer. Por medio de estas rutas, se puede llegar al Puerto de Veracruz con un tiempo promedio de cuatro a cinco horas, dependiendo de la elección de la ruta. Con relación a la red de carreteras de la Región Intermunicipal, cuentan con alimentadoras estatales pavimentadas y revestidas, las cuales proporcionan conectividad entre localidades y municipios, incluyendo Misantla, Colipa, Juchique de Ferrer, Yecuatla y Tenochtitlán. Asimismo, esta región tiene carreteras estatales de terracería y caminos rurales de terracería que conectan las localidades rurales y otros municipios. La Tabla 4, muestra que Misantla tiene la mayor longitud de alimentadoras estatales pavimentadas, seguida de Juchique de Ferrer, mientras que Tenochtitlán posee menos carreteras pavimentadas. Cabe resaltar que todos los municipios de la Región Intermunicipal cuentan con caminos rurales revestidos, siendo Misantla y Tenochtitlán los que tienen caminos rurales pavimentados.

Tabla 4. Tipo de Carreteras de la Región Intermunicipal en Kilómetros.

Tipo	Red de carretera				
	Misantla	Colipa	Juchique de Ferrer	Tenochtitlán	Yecuatla
	Longitud (Kilómetros)				
Total, en el municipio	236.2	36.3	66.9	27.3	40.8
Troncal federal pavimentada	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Alimentadoras estatales pavimentadas	127.3	10.2	31.6	1.2	25.6
Alimentadoras estatales revestidas	40.2	0.0	0.0	8.1	13.5
Caminos rurales pavimentados	18.6	0.0	0.0	9.5	0.0
Caminos rurales revestidos	50.1	26.1	35.3	8.6	1.7

Fuente. Elaboración propia, con información de (CEIEG, 2021).

1.1.6 Contacto con Productores Traspatio.

En la tarea de ubicar geográficamente a los agricultores traspatio y obtener datos sobre esta práctica agrícola, se contó con el respaldo de una investigación previa realizada por García Santamaría y Montalvo Romero (2022). Este estudio desempeña un papel fundamental en la obtención de información acerca de los productores agrícolas de traspatio en la región de estudio, ya que no solo permitió identificar geográficamente a los productores potenciales de traspatio, sino que también brindó una perspectiva detallada sobre la producción traspatio. La decisión de analizar y emplear este estudio para el presente proyecto de investigación se fundamenta en la valiosa contribución al campo. En el estudio de García Santamaría y Montalvo Romero (2022), utilizaron la encuesta como instrumento de recolección de datos, mediante la técnica de muestreo

no probabilístico conocida como “bola de nieve”. La encuesta fue aplicada de forma presencial y en línea, con un total de 227 participantes. El cuestionario que utilizaron está dividido en 5 secciones y contiene 33 preguntas, de las cuales permitieron identificar la percepción y necesidades de los productores traspatio, así como recabar información sobre la producción y los tipos de cultivo de traspatio. Estos resultados además brindaron información sobre los aspectos sociales y económicos de la región. En cuanto al aspecto social, se identificó si los habitantes trabajan de forma colectiva en huertos urbanos o familiares y el motivo por el cual llevan a cabo las actividades de traspatio; los productos que producen en la región y los productos potenciales a comercializar. En el aspecto económico, se identifica los factores que inciden en la distribución y comercialización de los productos traspatio.

Los datos recopilados revelaron que la producción traspatio se lleva a cabo principalmente por las familias de la región, siendo el autoconsumo el principal motivo para realizar estas actividades, representado 74.01% de las viviendas encuestadas. Solo el 23.34% lo realiza con el propósito de obtener ingresos, mientras que el 2.64% lo hace con otra finalidad. En relación a la producción, el 32% de los cultivos se realiza de forma ocasional, mientras que el 36% se lleva a cabo de forma permanente, predominando las siembras en la estación de primavera (García Santamaría y Montalvo Romero, 2022). La actividad agrícola traspatio se centra principalmente en el cultivo de frutas, destacando en la región los cultivos de lima persa (7.4%), naranja (6%), plátano (6.51%), durazno (2.18%), litchi (5.11%), capulín (5.35%), guayaba (2.29%), mango (1.67%) y papaya (4.97%). Otros cultivos son el maíz (7.4%) y frijol (6.77%), (García Santamaría y Montalvo Romero, 2022), donde obtienen semillas para autoconsumo y venta (Figura 4).



Figura 4. Cultivos Traspatio de la Región Intermunicipal de Misantla

Fuente: Autor.

La práctica de la agricultura de traspatio en la región desempeña un papel vital en el cultivo de verduras frescas y saludables. A través de esta actividad local, los agricultores se dedican al cultivo de plantas comestibles como hojas, tallos, flores, frutos y raíces, que enriquecen la dieta alimentaria. En los patios y terrenos destinados a estos cultivos se obtienen tomates, chiles, cebollas, chayotes, cebollines, ejotes y jícamas, entre otros (Figura 5).



Figura 5. Cultivo de Hortalizas de la Región Intermunicipal de Misantla.

Fuente: Autor.

La agricultura traspatio en relación con las actividades pecuarias se desarrolla en menor proporción. Estas actividades incluyen la cría de animales domésticos para la obtener carne, así como productos derivados de la leche y la obtención de blanquillos. La actividad pecuaria en la región se destaca en la cría de aves como: gallinas, patos, guajolotes y gansos. Mientras que para la obtención de carne crían cerdos, vacas, borregos, chivos, conejos, entre otros. En la Figura 6, se presentan algunos animales de traspatio que se crían en la Región Intermunicipal de Misantla.



Figura 6. Crianza de Animales Traspatio de la Región Intermunicipal de Misantla.

Fuente: Autor.

Con relación al sistema de comercialización, los productores traspatio venden sus productos en mayor proporción al mercado local, seguido del mercado regional y en menor proporción al mercado nacional. El 61.60% realiza sus ventas directamente a los consumidores, mientras que el 38.4% a través de intermediarios mediante la consolidación de sus productos con otros productos traspatio para su venta; algunos productores combinan tanto la venta directa al consumidor como la intermediación (García Santamaría y Montalvo Romero, 2022).

En cuanto a las características de los productos para la venta, se ofrecen principalmente a granel y algunos carecen de inocuidad. Respecto al transporte de la mercancía, el 69.40% de los productores utiliza vehículos propios. Por otro lado, el 44.10% de los agricultores fijan el precio de sus productos mediante sus compradores leales; el 21.10 % considera los medios de comunicación; un 14.30% lo establece con base a los precios del mercado local; el 6.80% se guía por recomendaciones de expertos, mientras que un 14.30% acuerda el precio a través de negociaciones con los compradores (García Santamaría y Montalvo Romero, 2022).

Por otra parte, la decisión de compra por parte de los consumidores es a partir de obtener productos más frescos, sin pesticidas por lo cual, el 34.36% de los clientes deciden su compra al conocer la procedencia del producto y su precio; el 21.58% elige los productos por la presentación y frescura; y solo un 9.69% prioriza la adquisición de productos orgánicos (García Santamaría y Montalvo Romero, 2022).

1.1.7 Contexto de la Producción Traspatio de la Región Intermunicipal de Misantla.

A partir del análisis de información proveniente del estudio previo por García Santamaría y Montalvo Romero (2022), así como de un estudio de campo que se llevó a cabo en la región de estudio, basado en la observación de la producción agrícola traspatio en las comunidades de la zona baja del municipio de Misantla, se recopiló y se analizó la información con el propósito de abordar los siguientes aspectos, determinando lo siguiente:

Situación de la producción traspatio de la región de estudio:

- Para la venta de los productos traspatio, los productores transportan sus mercancías utilizando vehículos propios. Esto implica que deben recorrer largas distancias desde los huertos hasta los mercados, generando problemas ambientales como emisiones de gases de efecto invernadero (CO_2).
- Los productos agrícolas y pecuarios carecen de inocuidad.

- Se destaca como factor en la decisión de compra por parte de los consumidores la megatendencia social del consumidor ecológico.
- Los productos agropecuarios traspatio se dividen en plantas y animales.
- El sistema de comercialización de los productores traspatio, las ventas se llevan a cabo principalmente en los mercados locales y regionales.
- Los productores traspatio optan por vender sus productos a través de intermediarios y otros realizan sus ventas directamente al consumidor final.
- Las ventas las realizan consolidando los productos traspatio con otros productos.

Los productos potenciales para comercializarse son:

- Hortalizas.
- Frutas: lima persa, naranja y plátano.

Se identifica a la lima persa como uno de los principales productos traspatio, cultivado en mayor proporción en la Región Intermunicipal de Misantla, específicamente en el municipio de Misantla. Este municipio se caracteriza por destinar gran parte de sus cultivos extensivos al cultivo de la lima persa, siendo este el producto de mayor relevancia para su comercialización, dada la proximidad con las agroindustrias establecidas en el municipio colindante de Martínez de la Torre. Tanto los agricultores con cultivos extensivos como los productores traspatio de la Región Intermunicipal realizan sus ventas a través de intermediarios. Por consiguiente, se ha identificado un alto potencial en la producción de lima persa en tendencia para esta región de estudio, como se muestra en la Figura 7.



Figura 7. Producción de Limón Persa Traspatio.

Fuente: Autor.

1.2 Planteamiento del Problema.

En los últimos años, las cadenas agroalimentarias han enfrentado crisis sociales, ecológicas y sanitarias graves (Duché García et al., 2017). Actualmente cerca de 795 millones de personas en el mundo padecen hambre, lo que representa un 8.9% de la población mundial. Cada año aumenta alrededor de 10 millones de personas y cada 5 años se tiene un aumento de 60 millones de personas. Si las tendencias actuales continúan, se estima que para el año 2050, el número de personas afectadas superará los 2,000 millones (ONU, 2018). En México, de acuerdo a los datos emitidos por el Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL), el 22.5% de la población padece pobreza alimentaria (CONEVAL, 2021), Mientras que, a nivel estatal, Veracruz cuenta con un 24.4% de la población por falta de acceso a la alimentación nutritiva y de calidad (CONEVAL, 2020).

Por otra parte, a nivel Local, en la Región Intermunicipal de Misantla, el municipio que mayor porcentaje presenta en carencia por acceso a la alimentación es Yecuatla con un 22%, en segundo lugar, Misantla y Colipa con un 18%, seguido de Juchique de Ferrer con un 16% y finalmente Tenochtitlán con un 13% (CONEVAL, 2020). En este contexto, el sistema agroalimentario requiere redireccionar y cambiar estrategias para aumentar la productividad agrícola y promover una producción alimentaria sostenible, para atenuar los riesgos del hambre, la falta de apoyo a los agricultores y mercados locales, así como la toma de decisiones sostenibles sobre la alimentación, el apoyo para la buena nutrición y la lucha con el desperdicio de alimentos (ONU, 2018). La práctica de la agricultura de traspato o huerto familiar, se caracteriza por combinar funciones productivas destinadas al consumo familiar con fines sociales, económicos y ambientales (SADER, 2020). Para esto, el Plan Veracruzano de Desarrollo 2019-2024, tiene como objetivo principal garantizar la seguridad alimentaria de las familias, mediante diversas estrategias como promover la producción de cultivos traspato a través de la provisión de recursos técnicos, capacitación y asesoría, con el fin de generar excedentes que les permitan obtener ingresos adicionales (PROGOB, 2019).

En la Región Intermunicipal de Misantla, Ver., existen familias que se dedican a la agricultura de traspato, como cultivos de vegetales, frutas, semillas y crianza de animales domésticos, además de producir diversos productos de la región. Un ejemplo de ello, es el huerto agroecológico colectivo “Flor de Mayo” conformado por mujeres, en el cual cultivan: cacao, cachichín, pagua, escalan, papaya, quelite, chiltepín, tomatito ojo de venado, chayote, chaya, naranjos, plátanos, zagú, yuca, cacahuete y en las hortalizas cultivan acelgas, lechugas, ejote,

espinacas, pepino y apio. Los productos son comercializados entre vecinos y algunas veces en exposiciones que organiza el Ayuntamiento (Ambrosio Montoya, 2020). Sin embargo, tanto la producción agrícola traspatio como la producción agrícola extensiva, se han enfrentado al problema que tiene el campesino por “sacar” su producción agrícola a los mercados alimentarios, donde si bien es cierto que el intermediarismo ha sido el mecanismo principal que el campesino encuentra para ofrecer su producción al mercado, también este mecanismo absorbe parte de la utilidad de la producción agrícola y encarece la cadena de suministro para el cliente final o consumidor. Esta situación se ve reflejada en los productores dedicados a la agricultura traspatio en la Región Intermunicipal de Misantla, quienes enfrentan dificultades para llevar sus mercancías a los centros de consumo, tiendas de esquinas, mercados municipales y centros comerciales. En este sistema no disponen de un medio de transporte o mecanismo de comercialización y las ventas las realizan con vecinos o a través de intermediarios provocando que el producto en la cadena sea costoso y se encarezca desde el inicio de la cadena. Además, los productores no perciben recibir un precio inferior de la venta de sus productos, lo que es una desventaja para el productor agrícola, por que recibe un menor ingreso y la rotación de sus productos se vuelve lenta. Lo anterior refleja la necesidad de contar con centros de acopio que permita a los productores concentrar y comercializar sus productos de manera más eficiente.

Los centros de acopio son instalaciones utilizadas para concentrar y almacenar alimentos y productos aptos para consumo humano, generados por las industrias alimentarias, además de ser útiles para recolectar cosechas de productos agrícolas de traspatio (FIRCO, 2017b). Sin embargo, para garantizar la calidad y frescura de los productos, estas instalaciones deben ubicarse en lugares que ofrezcan tiempos de traslado reducidos y cuenten con un fácil acceso tanto para proveedores como para clientes. En ese sentido, una cadena de suministro corta, establece relaciones locales entre productores y consumidores, lo que se produce se entrega a las manos del consumidor; y al no existir esta logística en la región, aunado a otros factores como el acceso a mercados alimentarios, la distancia y el tiempo, interfieren en el flujo de ventas, por consecuencia algunos productores no pueden vender sus cosechas causando mermas y pérdidas económicas.

Los centros de acopio han sido propuestos entre la comunidad industrial y agroindustrial para concentrar su producción, pero su utilidad puede convertirse en una carga financiera o infraestructura perdida si su logística no es clara al propósito de la empresa. Para lograr una mayor integración de mercancías, algunos centros de acopio funcionan llevando la cosecha a

otro punto de venta y se les conoce como Cross-docking. Otros concentran la mercancía en el lugar donde la reciben, la clasifican y la empacan para que finalice con un valor agregado.

Ante la oportunidad de concentrar los diversos productos agrícolas que generan los productores en la Región Intermunicipal de Misantla, se propone la ubicación de instalaciones concentradoras de producción agrícola traspatio; fungiendo como centro de acopio colectivo basado en cooperativas, centros de almacenamiento y distribución. Se toma como premisa que la ubicación para el o los centros de acopio recomendados tenga(n) la utilidad como una cadena de suministro corta agrícola, para incorporar la cosecha directamente al consumidor.

1.3 Justificación.

En el municipio de Misantla y su región intermunicipal, Ver., se encuentran familias que se dedican a la producción y venta de productos agrícolas de traspatio. Sin embargo, la mayoría de estos productores no cuentan con clientes potenciales. Factores como el transporte, la distancia y el tiempo, dificultan la venta de sus productos e impiden que muchos productores comercialicen directamente con los consumidores.

La falta de ventas en los productores traspatio se ve reflejada en no contar con un sitio para ofrecer sus productos, esto resulta en desperdicios de los productos agrícolas por su propiedad perecedera, generando pérdidas significativas. En este contexto agrícola resalta la necesidad de establecer puntos de concentración de alimentos como una estrategia para concentrar la producción agrícola traspatio cercano a la comunidad productora.

Este trabajo de investigación permitirá a la Región Intermunicipal de Misantla contar con ubicaciones factibles para la concentración de la producción agrícola traspatio y así generar una cadena de suministro corta, para no depender de intermediarios. Para lograr esto, se diseñará un modelo matemático que permita generar ubicaciones para los centros de acopio en sitios potenciales. La programación matemática es una herramienta útil para configurar escenarios que permiten asignar óptimamente los recursos, sea en la perspectiva de minimizar costos o de maximizar ganancias (Terrazas Pastor, 2012). De esta manera, para esta Tesis se propone el diseño y simulación de escenarios basado en un modelo matemático para la búsqueda de la ubicación óptima de centros de acopio que concentren productos agrícolas. Primordialmente, con esta propuesta se busca favorecer a los agricultores traspatio, para concentrar sus excedentes de producción agrícola. Esta investigación se alinea con las metas de los objetivos del desarrollo sustentable de la Agenda 2030, como el objetivo 2, que busca “poner fin al hambre, lograr la

seguridad alimentaria, mejorar la nutrición y promover la agricultura sostenible”; así también con el objetivo 8, que busca “promover el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todos” (ONU, 2018).

Así también con las metas del Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024, el cual busca el fortalecimiento del mercado interno, estrategias de creación de empleos y el desarrollo de proyectos regionales para apoyar a los productores locales (PROGOB, 2019); así mismo, el Plan Veracruzano de Desarrollo 2019-2024, en el rubro de economía, plantea el objetivo 1 en el cual “busca mejorar el crecimiento económico sostenible e inclusivo a través de la innovación, el emprendimiento y la participación de la sociedad”; mientras que el objetivo 3, inspira a “impulsar la competitividad de la producción agrícola, ganadera, silvícola y pesquera, para elevar la cantidad y calidad de los productos del campo veracruzano”(PROGOB, 2019). Además, este proyecto de investigación es congruente con las líneas de investigación de los Programas Nacionales Estratégicos del Conacyt (Pronaces), con el programa Soberanía Alimentaria y con los Lineamientos para la Operación de los Estudios de Posgrado en el Tecnológico Nacional de México, en la Línea de Generación y Aplicación del Conocimiento LGAC1: Decisiones Gerenciales. Por lo tanto, apoyar a los agricultores de traspato brindando valor agregado a sus productos, buenas prácticas agrícolas y ofrecer un lugar donde comercializar sus productos coadyuva con estrategias y objetivos internacionales, nacionales y estatales, al promover el consumo local, generación de empleo, emprendimiento y participación social.

1.4 Objetivos.

1.4.1 Objetivo General.

Definir una red logística que minimice los costos por transportar la producción traspato en la Región Intermunicipal de Misantla, basado como un modelo de programación de localización de instalaciones no capacitado de tres niveles y multiproducto “Three-echelon Multiproduct Uncapacitated Facility Location Problem”, (TMUUFLP).

1.4.2 Objetivos Específicos.

- Identificar geográficamente los proveedores agrícolas de la región de estudio, para construir un gráfico de nodos que represente la red de recolección de la producción agrícola traspato con relación al o los centro(s) de acopio.

- Estimar el volumen de producción agrícola traspatio de la región de estudio para proyectar el tamaño del centro de acopio.
- Identificar los requerimientos (demanda) de producción agrícola, a fin de justificar el tamaño del centro de acopio.
- Identificar los sitios potenciales para el emplazamiento del (los) centro(s) de acopio para determinar las distancias de recorrido entre proveedores traspatio y los sitios potenciales para la ubicación del (los) centro(s) de acopio.
- Definir un modelo matemático para seleccionar el o los sitios potenciales de localización de los centros de acopio de la cosecha agrícola traspatio de la Región Intermunicipal de Misantla.
- Modelar escenarios de localización apoyado de un software comercial para sensibilizar la red de acopio y distribución de la producción agrícola traspatio al o los centros de consumo.

1.5 Hipótesis.

La ubicación óptima de centros de acopio para concentrar la producción traspatio en la Región Intermunicipal de Misantla, y su disposición a mercados de consumo reducirá el costo global de la red de acopio como una función de las distancias recorridas. Lo anterior es posible mediante la simulación de escenarios.

1.6 Preguntas de Investigación.

1. ¿Cuál es el volumen potencial de producción agrícola traspatio de la región de estudio entre las diversas temporadas posibles de producción?
2. ¿Qué cantidad de demanda, entre las diversas temporadas de producción agrícola, puede ser atendido con la potencial oferta de productos agrícolas de la región de estudio?
3. Con base a criterios de inclusión y exclusión ¿Qué y cuántos emplazamientos pueden ser considerados como emplazamientos para ubicar centros de acopio?
4. ¿Cuántos y cual(es) centro(s) de acopio(s) pueden atender la demanda de productos agrícolas de los centros de demanda?

1.7 Propuesta de Solución.

Para atender el problema de abastecimiento agroalimentario en la región de estudio, se propone identificar congregaciones para instalar óptimamente centros de acopio cercanos a familias o pequeños agricultores vulnerables que se dediquen a actividades como el cultivo de

hortalizas, árboles frutales, semillas y crianza de animales de forma traspatio, ya sea con fines de autoconsumo o que los posicionen en algún punto de venta para obtener ingresos de sus excesos de producción. La solución a este problema busca los mercados de consumo a los productores familiares y pequeños productores para ayudarlos a colocar el exceso de producción agrícola a un canal de distribución cercano a su domicilio.

1.8 Tipo de Investigación.

La presente investigación es aplicada, ya que se aborda la problemática entorno al desabasto alimentario y el problema de la seguridad alimentaria en la Región Intermunicipal de Misantla. Se emplea el método de investigación documental, enfocado en el análisis de estudio de casos previos relacionados al problema de localización de instalaciones agroalimentarias y de distribución de productos agrícolas. Además, se utiliza el método de investigación de campo para medir la producción agrícola traspatio e identificar a los agricultores traspatio en la región de estudio. El enfoque de la investigación es cuantitativo con base a Hernández Sampieri et al., (2014).

1.9 Metodología.

La metodología propuesta se orienta en situar, mediante la programación matemática, lugares óptimos para el establecimiento de centros de acopio concentradores de producción agrícola traspatio para la Región Intermunicipal de Misantla. Así mismo determinar el número de centros de acopio necesarios para el autoabastecimiento agroalimentario en la región, considerando una logística de cadena de suministro corta. Además, se busca garantizar que los sitios estratégicos seleccionados permitan que las instalaciones operen eficientemente a corto y a largo plazo. La metodología del proyecto de investigación se divide en tres etapas (Figura 8).



Figura 8. Estructura General del Proyecto de Investigación.

Para alcanzar el objetivo de esta investigación, se plantea la estrategia metodológica que se observa en la Figura 9. En esta Figura 9 se establecen las fases correspondientes a cada etapa de la investigación.

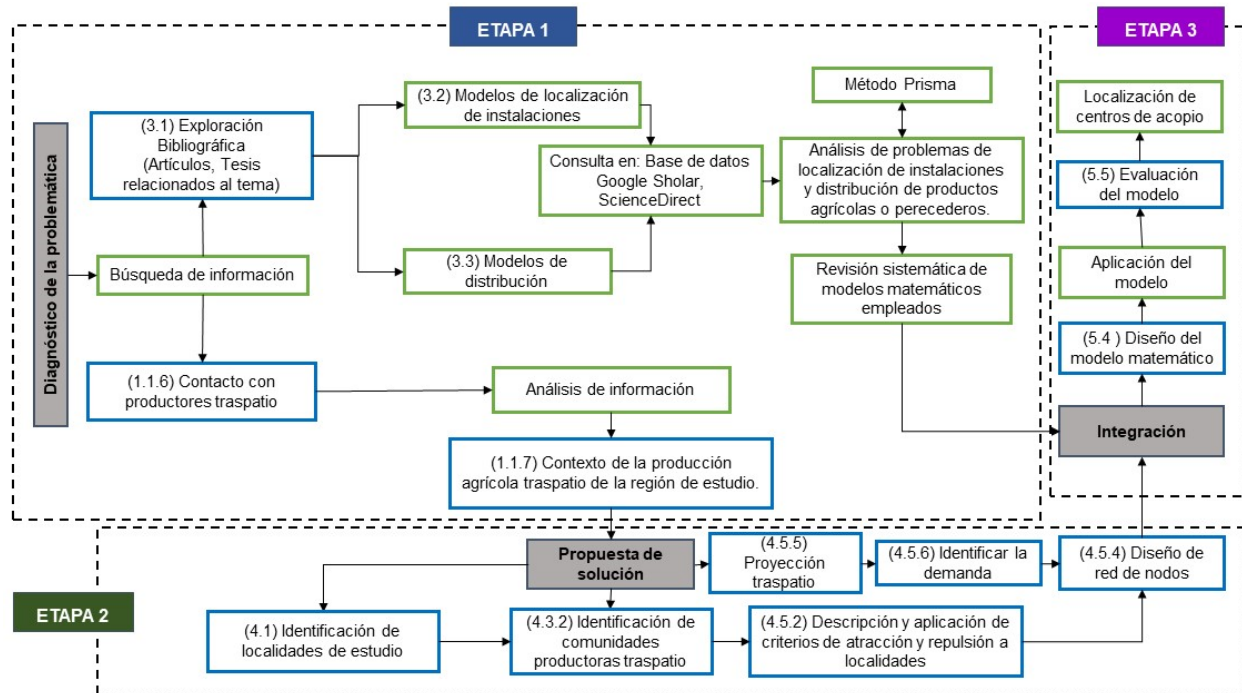


Figura 9. Metodología para Localizar Centros de Acopio Agroalimentarios Regionales.

Fuente: Elaboración propia.

1.10 Alcance de la Investigación.

En este proyecto de investigación busca ubicar centros de acopio agroalimentarios para concentrar la producción agrícola de traspatio de familias y productores traspatio, con la finalidad de facilitar el transporte de sus cosechas directamente a los mercados de consumo. La red se desarrollará considerando criterios de atracción y repulsión para asegurar la ubicación eficiente de las instalaciones.

Se empleará un software comercial para resolver un modelo matemático que minimice los costos globales de la red de acopio y maximice el transporte de las cosechas. La región de estudio se limita a la Región Intermunicipal de Misantla, Ver., la cual está compuesta por 5 municipios, 460 localidades y una población de 102,808 habitantes (INEGI, 2020). El propósito fundamental de este trabajo es demostrar los puntos óptimos para la ubicación de centros de acopio agroalimentarios, los cuales serán propuestos para la concentración de productos agrícolas de traspatio.

1.11 Limitación de la Investigación.

Las limitaciones del presente proyecto se centran en la incertidumbre de la producción agrícola traspatio. Sin embargo, se llevará a cabo una investigación para determinar la proyección del volumen de producción traspatio, mediante datos históricos, y otros factores relevantes para predecir la cantidad de productos agrícolas que se cosecharán en una temporada específica.

De acuerdo con las características geográficas y socioculturales de la región de estudio, no se dispone de un registro completo de los productores traspatio, por lo que se considera realizar un análisis exhaustivo de la totalidad de localidades que conforman la región de estudio con base a la estadística de INEGI.

1.12 Aporte al Desarrollo Social, Económico y Ambiental.

Este proyecto impulsa acciones que contribuyen al desarrollo económico, social y ambiental. El aporte que origina cada uno de estos rubros se aprecia en la Figura 10.

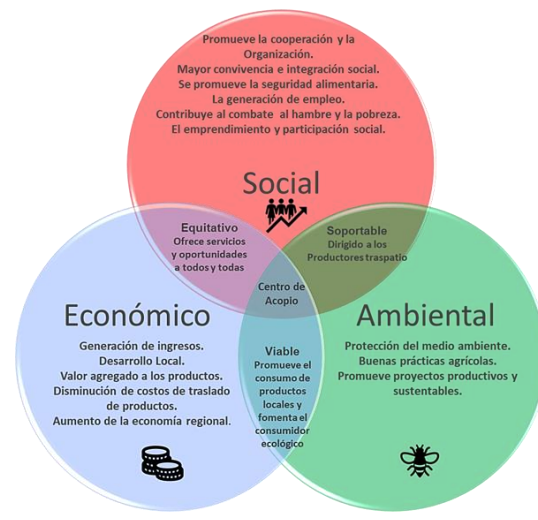


Figura 10. Aporte al Desarrollo Económico Social y Ambiental.

Fuente. Elaboración propia.

- **Social:** Los grupos colectivos que participan en huertos urbanos o familiares experimentan una mayor convivencia e integración social. Lo mismo ocurre con las familias que se dedican a la producción traspatio, donde se fomenta la cooperación y organización. En el municipio de Misantla, el 66.4% de su población presenta situación de pobreza, mientras que un 12.5% con pobreza extrema (SIEGVER, 2021). Los productos agrícolas traspatio

promueven la seguridad alimentaria en las familias que producen para autoconsumo y para obtener ingresos, además coadyuva al combate al hambre y la pobreza. Otro beneficio que propicia es la generación de empleo, el emprendimiento y la participación de la sociedad.

- **Económico:** La ubicación de centros de acopio agroalimentarios en la Región Intermunicipal de Misantla, se prevé que habría un mayor ingreso en las familias dedicadas a la producción traspatio y un aumento en la economía de la región de Misantla. Esto fomentaría el desarrollo local a través de la comercialización de productos traspatio. La reducción del tiempo en el traslado para la compra y venta de estos productos, disminuirían los costos y añadiría valor agregado a los productos por permanecer más frescos.
- **Ambiental:** Dentro del cultivo traspatio, las familias plantan árboles frutales y establecen huertos. Estas actividades contribuyen con la protección del medio ambiente, dado que estos sitios funcionan como refugio para la microfauna y mejora el microclima de la zona. Además de apoyar las buenas prácticas agrícolas y promover proyectos productivos y sustentables.
- **Equitativo:** Este proyecto ofrece servicios y oportunidades para todos, es decir que está dirigido a la población que se dedica a comercializar productos de traspatio, pero también a personas que deseen comenzar a producir y cultivar, no solo para autoconsumo sino también para obtener ingresos y emprender.
- **Soportable:** El proyecto está dirigido a los agricultores traspatio de la Región Intermunicipal de Misantla, Ver., que carecen de un lugar para comercializar sus productos y dar salida a sus excedentes de producción de traspatio. A través de la localización de los centros de acopio, el proyecto promueve la agricultura de traspatio, y se prevé que exista una mayor participación de las familias.
- **Viable:** Promueve el consumo de productos locales, aportando valor agregado a los consumidores al adquirir productos más frescos y precios más accesibles. Además, contribuye al fortalecimiento económico de las familias de los municipios que pertenecen a la región de estudio y de las localidades aledañas. Por otra parte, se fomenta el consumidor ecológico, que se describe como un comprador consciente y sensible de las repercusiones que sus hábitos de consumo imponen sobre el desarrollo sostenible de la región en donde vive. Valora la calidad de vida en términos del respeto al medio ambiente,

la utilización responsable de los recursos naturales, el cuidado de su salud y el bienestar general de su comunidad. Reconoce que esta actitud ante la vida puede tener costos económicos adicionales y está dispuesto a afrontarlo (Bello Mendoza y Muñoz Anaya, 2009).

Esta investigación se alinea a los Programas Nacionales Estratégicos del Conahcyt (Pronaces) en el rubro Soberanía Alimentaria. En el cual se busca mejorar el bienestar de la población al abordar desafíos como desigualdades sociales, condiciones laborales precarias y el dominio de grandes empresas en la cadena alimentaria. Esto a través de proyectos que promuevan la producción de alimentos saludables, así como la creación de circuitos de distribución más equitativos.

Capítulo 2. Marco Teórico.

En este capítulo se aborda el contexto de la producción agrícola de traspatio, el sector agroalimentario, la cadena de suministro corta, los centros de acopio agroalimentarios (Food Hubs) y Cross docking. Se proporciona una descripción de los aspectos teóricos relacionados con la localización de instalaciones desde los tipos de modelos de localización hasta métodos de solución correspondientes. Además, se desarrolla un apartado referente a los modelos matemáticos de distribución, así como los métodos de solución aplicados a dichos modelos.

2.1 Producción Agrícola Traspatio.

En México, la agricultura traspatio es una actividad que predomina principalmente en zonas rurales. Esta práctica fortalece la economía de los agricultores al producir y cultivar alimentos para el autoconsumo, además de obtener ingresos al comercializar sus excedentes. Otros beneficios de estas prácticas es que contribuye a la conservación de la diversidad vegetal en el traspatio y satisfacen las necesidades alimentarias (Guarneros Zarandona et al., 2014).

La agricultura traspatio consiste en destinar espacios dentro de un lote o patio de una vivienda para cultivar una variedad de vegetales, frutas y semillas. Esta actividad se realiza de manera continua con el propósito de obtener productos agrícolas durante todo el año, ya sea para consumo familiar o comunitario (FIRCO, 2017a). De acuerdo a González Ortiz et al., (2013), el traspatio “Es considerado un agroecosistema integrado por cuatro componentes: agrícola, pecuario, agua e infraestructura y equipo; que contribuyen a mejorar la alimentación, salud e ingresos de los campesinos”.

Por otro lado, Olvera Hernández et al., (2017), define el traspatio como: “El lugar donde está la vivienda, el cual puede tener una combinación de diferentes árboles, cultivos anuales o perenes, plantas medicinales, ornamentales y maderables, y donde también pueden criarse animales domésticos”.

En este contexto, los tipos de traspatio son:

- Ganadería traspatio: Consiste en la cría o manejo de animales domésticos y silvestres en espacios como traspatio y solares. Estos animales incluyen al ganado porcino, ovino, caprino, equino, apícola y bovino (Gamboa Alayón, 2015).
- Avicultura traspatio: Es una actividad que predomina en las zonas rurales, esta se lleva a cabo en los patios de las viviendas. La crianza de estos animales se considera una

actividad económica de apoyo familiar. Entre los animales criados se encuentran guajolotes, gallinas, patos, entre otros (Cuca García J.M. et al., 2015).

- Agricultura traspatio: También conocida como huerto familiar o urbano. Esta actividad se desarrolla a escala doméstica. Los principales cultivos son: vegetales, frutas, flores y semillas. Estas actividades en las familias reducen los gastos alimentarios y mejoran la nutrición (SADER, 2018).

En este sentido, la agricultura traspatio pertenece al sector primario como el primer eslabón de la cadena productiva. Este sector comprende actividades de agricultura, pesca y ganadería para el aprovechamiento de los recursos (SIAP, 2020).

2.2 Sector Agroalimentario.

La COFECE, (2015), define al sector agroalimentario como: Bienes o servicios asociados con productos del campo que sufren alguna transformación en los procesos de la industria alimentaria y que son utilizados para la alimentación humana.

Las cadenas productivas del sector agroalimentario son actividades que se desarrollan en cada proceso de producción para transformar la materia prima. Las etapas de producción comienzan a partir de actividades primarias como cultivos, crianza y explotación de animales. Posteriormente, estos productos primarios son sometidos a procesos de transformación. La siguiente etapa en el proceso de producción abarca el manejo, acopio y certificación, para asegurar la inocuidad de dichos productos. Durante cada proceso, los productos adquieren un valor agregado para cumplir con normas de sanidad y poder ser destinados al consumo humano. Finalmente, estos productos requieren de una logística eficiente para llegar al consumidor final, ya sea en el ámbito nacional o internacional (COFECE, 2015).

2.3 Centros de Acopio.

Un centro de acopio es una instalación destinada a recibir, conservar y distribuir productos, además de cumplir la función de concentrar producción de campesinos para que sus productos puedan competir en mercados urbanos (Arteaga Ordoñez et al., 2012).

Por otro lado, un centro de acopio agroalimentario es un lugar público o privado, donde se llevan a cabo actividades de venta y distribución de alimentos en grandes volúmenes, y donde los productores o comerciantes desempeñan un papel de proveeduría. El centro de acopio brinda a los consumidores o clientes un mecanismo de abastecimiento organizado (CMSA-LPZ, 2016).

Para que un centro de acopio básico funcione de manera adecuada, se deben considerar seis elementos fundamentales:

1. Comercializar productos agroalimentarios a gran escala.
2. Operar con un sistema logístico de abastecimiento.
3. Asegurar un balance de interés entre productores, intermediarios y consumidores.
4. Promover condiciones formales y predecibles de abastecimiento.
5. Integrar varios eslabones del sistema alimentario.
6. Elegir la ubicación geográfica estratégica para el transporte y distribución eficiente de los productos.

Los Beneficios que brinda un centro de acopio agroalimentario incluyen permitir el trato directo entre productores, comerciantes y consumidores; esto mejora los precios en los productos. Otros beneficios que aporta es crear fuentes de empleo directos e indirectos, el fortalecimiento de la economía local y secundaria, la posibilidad de que los productores vendan sus excedentes y la extensión del tiempo de vida de algunos alimentos. Además, los productos son manipulados y procesados para obtener mayor valor agregado, ampliando su comercialización (CMSA-LPZ, 2016).

2.3.1 Food Hubs.

La creación de centros de alimentos surge del creciente interés de la población en consumir productos locales. Según Winarno et al., (2020), señala que los Food Hubs (centros de acopio de alimentos), concentran, procesan, distribuyen y comercializan productos dentro de las cadenas de suministro. Es un sistema alimentario que agrega, distribuye y conecta directamente a los agricultores con los compradores. Por otra parte, requieren de métodos de distribución eficaces para ofrecer beneficios y oportunidades de mercado más amplios para los pequeños y medianos agricultores, facilitando las ventas.

Así mismo, los Food Hubs conectan a los diversos productores locales con compradores mayoristas, facilitan una cadena de suministro local y regional, proporcionando una cadena de suministro más corta en comparación con la tradicional que abarca desde el productor hasta el consumidor (Matson y Thayer, 2013).

2.3.2 Cross Docking.

Walha et al., (2014), define al Cross docking como un proceso de consolidación que integra nodos intermedios en una red de transporte. En esta estructura, las mercancías se envían desde los transportes de entrada y salida sin ser almacenadas, y son dirigidas a la terminal de Cross-dock. Las características de esta terminal es que contiene puertas de entrada y de salida. Cada envío se descarga, escanea y clasifica por destino antes de ser transportado al servicio de valor agregado, donde nuevamente se cargan en los transportes de salida.

Por otra parte, un Crossdocking-Hubs es una instalación logística diseñada para optimizar la distribución de mercancías al minimizar el almacenamiento y acelerar la entrega hacia los destinos finales. Su diseño y operación se centran en la eficiencia y la agilidad en la cadena de suministro mediante la técnica del cross docking. Su proceso se divide en seis subprocesos: llegada, descarga, configuración, preparación de carga y salida (Walha et al., 2014).

Este enfoque es especialmente útil para productos perecederos o de alta rotación, ya que reduce el tiempo de almacenamiento y acelera la entrega al cliente. Además, esta estrategia puede minimizar los costos operativos al evitar la necesidad de mantener grandes cantidades de inventario en un almacén.

2.4 Cadena de Suministro.

Una cadena de suministro se integra por todas aquellas actividades que se asocian con el flujo y transformación de productos, procedentes de materias primas, los cuales son dirigidos al consumidor final. De acuerdo a (Carreño Solís, 2017), la cadena de suministro está compuesta por unidades económicas que están coordinadas y colaboran con el objetivo de aprovechar una oportunidad en el mercado. Según (Camacho et al., 2012), se trata de una secuencia de eslabones que tienen como objetivo principal satisfacer al cliente final, añadiendo valor en cada eslabón del proceso.

La cadena de suministro agroalimentaria es una red que se integra por un conjunto de organizaciones que realizan diversas actividades y procesos de transformación de productos agrícolas, que parten desde el campo hasta el consumidor final. Tal como lo argumenta Sanabria Coronado et al., (2016), comúnmente esta cadena se integra por productores, mayoristas, distribuidores, empresas de servicio, empresas al por menor y consumidores, (Figura 11).

De acuerdo a Fernández Lambert (2015), la cadena de suministro de frutos frescos se define como “un sistema que busca satisfacer los requerimientos de fruta del cliente final por medio de la coordinación efectiva del flujo de los materiales, la información, y recursos financieros que fluyen a través de todos los miembros de la red de proveeduría” pag.22.

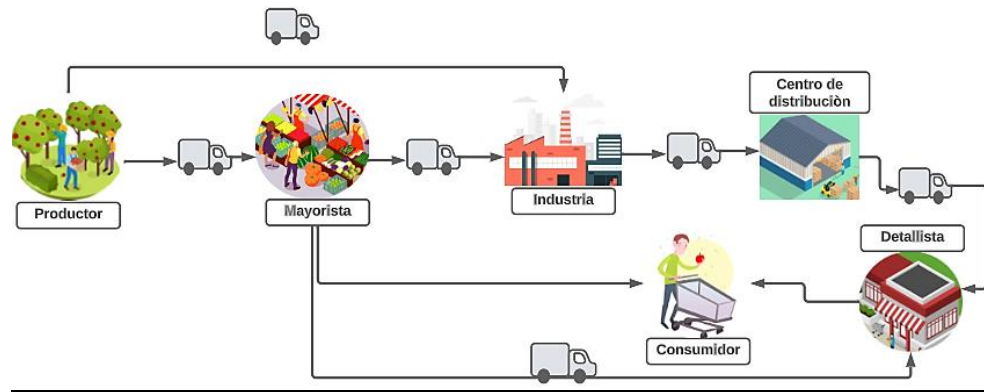


Figura 11. Cadena de Suministro Agroalimentaria.

Mientras que una cadena de suministro de productos agrícolas traspasó, acorde a Sánchez Galván et al., (2020) menciona que puede estar conformada por cinco eslabones, que parten desde la obtención de materias primas, la transformación de los productos, la manufactura, la presentación de los productos y el consumidor final. Sin embargo, en una cadena de frescos y perecederos, los alimentos presentan una vida corta, por lo que el manejo, el transporte, la variabilidad de la demanda y el precio de los productos conlleva a cadenas complejas y difíciles de manejar. Con base a Valdez Alcaraz y Jiménez Santiago, (2014), una cadena de suministro corta establece una relación local entre productores y consumidores, sin intermediarios. Su eficacia no se mide por el número de veces que se manipula un producto o la distancia que recorre, sino de cómo llega el producto al cliente con la información necesaria. Los criterios para definir las cadenas de suministros cortas pueden ser muy variados. Estos principios básicos son: la cercanía entre el productor y el consumidor debe ser lo más corta posible, el número de intermediarios en la cadena debe ser el mínimo posible y se debe fomentar el conocimiento y la comunicación entre el productor y el consumidor al máximo (Desarrollo Rural, 2012).

Así mismo, una cadena de suministro corta se integra por conocimientos y costumbres a nivel regional o local, lo que propicia a la conservación del patrimonio cultural, comprometiendo a las comunidades con dicho patrimonio. Los consumidores se interesan por el origen de los alimentos o productos y desean recibir más información sobre su autenticidad, origen cultural, métodos de

producción y nivel de seguridad (Desarrollo Rural, 2012). Cada eslabón produce y elabora una parte del producto, y cada producto elaborado agrega valor al proceso. Si un proceso o eslabón falla, el producto final no cumpliría con las condiciones del cliente (Camacho et al., 2012). Por otro lado, Barrera et al., (2020), menciona que una cadena de suministro corta se conforma por tres eslabones, (Figura 12):



Figura 12. Cadena de Suministro Corta.

Fuente. Elaboración propia con información de Barrera et al., (2020).

Por consiguiente, la planificación, operación y diseño dentro de una cadena contribuye a la toma de decisiones, como estrategias para su buen funcionamiento. Estas decisiones deben estar encaminadas a la elección de la ubicación en el diseño de la cadena de suministro, ya que se busca disminuir los tiempos debido a la perecibilidad de los alimentos y el traslado desde las unidades de explotación hasta las instalaciones para mantener los productos más frescos (Martínez Araneda y Suazo Moraga, 2004).

2.5 Teoría de la Localización de Instalaciones.

La localización de instalaciones es el proceso de seleccionar un lugar geográfico entre varios para situar o asignar una instalación. Estas instalaciones se asocian a centros de distribución, centros de acopio, fabricas, entre otras; y son atendidas por diferentes actores en una cadena (Sanabria Coronado et al., 2016). La elección de la ubicación de una instalación es una de las decisiones estratégicas más importantes que debe tomar un decisor para el buen funcionamiento de las operaciones. Esta decisión debe considerar aspectos como el tipo de instalación requerida, tamaño y su ubicación óptima (Andrés Navarro y Sempere Ripoll, 2021).

Por otro lado, la ubicación de una instalación es un factor externo que puede incidir de forma positiva o negativa en la competitividad de la misma, en los costos de transporte y en los procesos de producción dentro del diseño de la cadena de suministro. Una decisión de localización óptima garantiza que una cadena de suministro sea eficiente, mientras que una decisión incorrecta genera exceso de costos. El establecimiento de nuevas instalaciones, la ampliación o reducción

de las mismas y la reubicación, son algunos principios que forman parte de las decisiones de localización dentro de una Cadena (Sanabria Coronado et al., 2016).

Las decisiones sobre la localización de instalaciones consideran dos factores principales:

- Estar cerca del cliente, considerando costos de transporte y tiempo de traslado.
- Estar ubicada cerca de las fuentes de insumos o materias primas.

Según Carro Paz y González Gómez, (2012), algunas causas que originan problemas de localización y los tipos de decisiones sobre la localización son:

- La expansión del mercado y la introducción de nuevos productos y servicios requieren del aumento en la capacidad de la demanda, lo que puede implicar la ampliación de las instalaciones o localizar nuevos emplazamientos.
- El agotamiento de materias primas propicia a la relocalización de operaciones.
- La obsolescencia de una planta conlleva a crear una nueva instalación en un lugar distinto.
- Un mercado competitivo presiona a crear nuevas instalaciones o la relocalización de instalaciones existentes.

Además, otros factores a considerar para la ubicación de instalaciones corresponden a las operaciones que efectúen y el impacto de su ubicación genere al entorno. Las instalaciones relacionadas con la recolección de basura, plantas químicas, instalaciones generadoras de contaminación industrial, prisiones, entre otras, son consideradas como instalaciones no deseables y se dividen en dos grupos: instalaciones nocivas para la salud y las desagradables, aquellas que causan molestia en el estilo de vida (Palao Barberá et al., 2016). La ubicación de las instalaciones no deseables, también forman parte de los problemas de localización de instalaciones; sin embargo, a diferencia de las deseables, estas deben situarse en lugares alejados de la población y se deben considerar las distancias entre estas instalaciones y la población.

Ante los diversos problemas de localización existentes, Carro Paz y González Gómez, (2012), desarrollan la siguiente estructura de clasificación:

- Localización de una sola instalación: Consiste en ubicar una instalación que no esté relacionada con otras instalaciones de la misma empresa.
- Localización de múltiples instalaciones: Permite reducir costos totales de distribución y producción, a partir de localizar plantas dentro de una red.

- Localización de comercios competitivos al por menor: Reduce el recorrido entre los clientes hacia la nueva instalación, a causa de las ventas afectadas por la distancia y la competencia.
- Localización de servicios de emergencia: Este problema considera los tiempos de respuesta ante situaciones de emergencia.

2.6 Modelos de Localización.

Un modelo se define como un esquema teórico que representa matemáticamente una realidad compleja y está compuesto por ecuaciones y/o desigualdades algebraicas (Martínez Salazar et al., 2014). Por lo general, en problemas reales se requiere de la representación de más de un modelo para describir al problema de forma más concisa, facilitando el estudio de sus interrelaciones (Hillier y Lieberman, 2010). Para desarrollar un modelo, es necesario tener en cuenta las características propias de cada problema, la cantidad de información disponible, los factores no controlables y el grado de riesgo en cada decisión. La Figura 13, muestra la clasificación de los modelos.

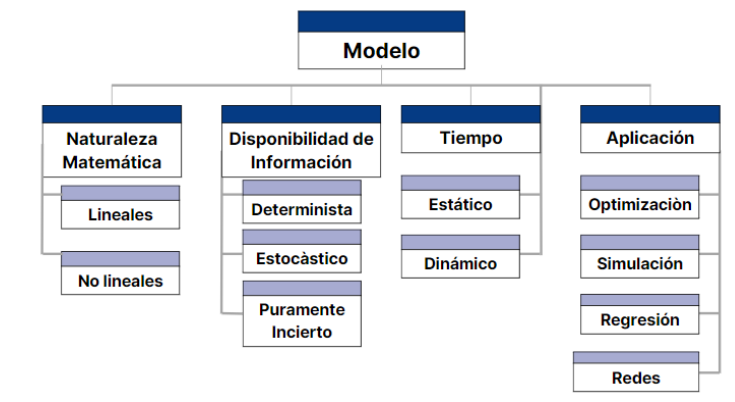


Figura 13. Clasificación de Modelos.

Fuente. Elaboración propia con información de Carro Paz y González Gómez, (2012).

En el problema de localización de instalaciones, se busca determinar dónde establecer un conjunto de instalaciones con la finalidad de satisfacer la demanda de un conjunto de clientes. Todo esto sujeto a una serie de restricciones y a una función objetivo que busca optimizar la solución. Al conjunto de variables, parámetros, restricciones y función objetivo, se le denomina modelo de localización de instalaciones (Facility Location Problem). Este modelo se aplica a situaciones reales, por lo que cada modelo debe adaptarse a las necesidades particulares de cada problema (Martínez Araneda y Suazo Moraga, 2004). Al existir diversos problemas y

necesidades de optimización, los problemas de localización de instalaciones se clasifican como se muestran en la Figura 14.

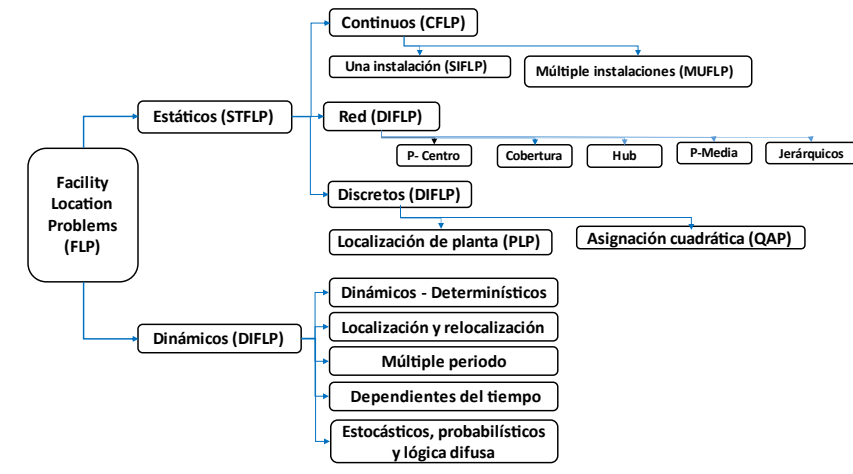


Figura 14. Problemas de Localización de Instalaciones.

Fuente. Elaboración propia con información de (Castillo Duarte, 2015).

En este sentido, los modelos de localización (FLP) varían en complejidad de acuerdo a sus funciones, desde los modelos lineales simples hasta los modelos estocásticos no lineales. Generalmente, los modelos lineales simples buscan la ubicación de una sola instalación, mientras que los modelos más complejos pueden involucrar la localización de múltiples instalaciones (hasta “n” instalaciones). Otro elemento que influye en la variación del modelo es la capacidad de las instalaciones. El problema de localización capacitado (CFLP) implica localizar sitios potenciales para establecer un conjunto de instalaciones que suministren a un grupo de clientes, con el objetivo de minimizar los costos totales fijos de transporte, siempre y cuando cumplan con restricciones de capacidad de cada planta. Mientras que el problema de localización no capacitado (UFLP), no considera la capacidad en las instalaciones, así como la demanda de los clientes, cada nodo representa un punto de demanda y las instalaciones pueden ser localizadas en un solo nodo de red (Sanabria Coronado et al., 2016).

Asimismo, se debe considerar aspectos como la cantidad de productos a transportar en modelos de un solo producto o multiproducto, el horizonte de planeación, (ya sea para uno o más periodos), el tipo de instalación a ubicar (si todas son del mismo tipo o existe más de un tipo), y los niveles de cobertura. Se denomina “nivel” a la cantidad de instalaciones que atienden a un cliente en específico. Por otra parte, el problema de localización con múltiples niveles, se aplica cuando existe múltiples clientes que deben ser cubiertos por la cantidad mínima de instalaciones, y las necesidades de cobertura varían entre cada cliente (Olivera Cortina, 2014).

2.6.1 Variables.

El modelo de localización de instalaciones pertenece a los problemas de optimización. Los modelos de optimización se dividen en dos tipos: minimización y maximización. Los elementos del modelo de FLP se componen de la función objetivo, las variables y restricciones. La función objetivo es la medida cuantitativa del funcionamiento del sistema que se busca optimizar. Las restricciones son un conjunto de ecuaciones o inecuaciones que representan las limitaciones que ciertas variables deben cumplir. Las variables, usualmente llamadas variables de decisión, determinan la solución mediante los valores establecidos por el tomador de decisiones y estas pueden ser controladas e influir en el valor de la función objetivo (Martínez Salazar et al., 2014). Para resolver un problema de optimización, es necesario determinar los valores que deben tomar las variables para optimizar la función objetivo. Definir las variables es una de las partes más complejas en la construcción de un modelo matemático. A estas variables les precede un parámetro y están sujetas a un conjunto de restricciones. Además, las variables pueden ser de diferentes tipos según el valor que puedan adquirir:

- Entera: Este tipo de variable toma únicamente valores enteros. Por ejemplo, el número de camiones a enviar a un cliente en particular.
- Continua: Pueden tomar infinitos valores dentro de un intervalo (valores fraccionarios). Por ejemplo: litros, kilos, pesos.
- Discreta: Este tipo de variable que solo puede asumir valores finitos. No puede tomar ningún valor que se encuentre entre dos intervalos.
- Binaria: Únicamente pueden tomar valores de 0 o 1, donde " x " es binaria si $x \in \{0, 1\}$. También son útiles para representar relaciones lógicas y procesos de tipo sí y no (Martínez Salazar et al., 2014).

2.6.2 Tipos de modelos de localización.

Para ubicar una instalación, se necesita un espacio de solución. Este lugar se representa de tres formas: continuo, discreto y de red. El espacio de solución continuo, determina que cualquier ubicación dentro de un espacio será viable para una nueva instalación. Los espacios discretos, abordan problemas donde los sitios para localizar las instalaciones se seleccionan de un conjunto predefinido. El espacio de red, hace referencia a problemas que se limitan a los arcos y nodos de una red subyacente (Olivera Cortina, 2014).

Por otra parte, Current et al., (2002), presentan ocho modelos básicos para el problema de localización de instalaciones, clasificados en distancia máxima y distancia total. Estos modelos generan una red subyacente y se caracterizan por encontrar ubicaciones para instalaciones que atiendan una demanda. También ubican instalaciones existentes y nuevas instalaciones afín de optimizar una función objetivo, considerando además la distancia, el tiempo o los costos de viaje.

Los Modelos de distancia máxima (Minimax), se refieren a la demanda dentro del radio de cobertura, donde la distancia de su instalación más cercana se considera cubierta. Estos modelos corresponden al problema de cobertura (set covering), cobertura máxima, P-centro (P-center) y problema de dispersión (P-dispersion). Mientras que los Modelos de distancia total (Minisum), se relacionan con la distancia total de desplazamiento entre las instalaciones y los nodos de demanda. Estos modelos son: P-mediana (P-median), Fixed charge, Hub y Maxisum (Current et al., 2002). En este sentido, un modelo de localización de instalaciones propicia la decisión de qué instalaciones deben abrirse y que clientes o instalaciones deben ser atendidos. A continuación, se describen los modelos de localización:

- P- Centro: Propuesto por Hakimi (1964-1965), pertenece a los modelos de máxima distancia. Busca minimizar las distancias entre cualquier nodo de demanda y el centro de distribución más cercano, considerando un número establecido de instalaciones por ubicar para cubrir la demanda. Este modelo también se conoce como problema minimax y como problema punto objetivo (Martínez Araneda y Suazo Moraga, 2004). Aunque existen diversas variantes de este modelo, todas buscan satisfacer las demandas y obtener las distancias mínimas entre cada instalación y la nueva instalación a ubicar de la red de suministro. Algunos ejemplos de variantes son: P-puntos, vértice p-centro y absoluto p-centro (Monroy Sánchez y Poveda Ávila, 2017).
- P-Mediana: Propuesto por Hakimi (1964-1965). Busca un número indeterminado de instalaciones ("P", facilidades) para minimizar la demanda-distancia total entre los nodos de demanda y la instalación a la cual se asignan. Este modelo pertenece a los modelos de distancia total o promedio (Martínez Araneda y Suazo Moraga, 2004). En modelos discretos, minimiza la distancia ponderada y los costos para suministrar las demandas de los clientes. Asume los mismos costos de localización para cada sitio candidato y atiende a cada nodo de demanda con el objetivo de optimizar los costos o ganancias (Sanabria Coronado et al., 2016). Otra característica es que busca uno o más puntos correspondientes a la mediana entre las instalaciones existentes y la nueva localización. Minimiza la distancia ponderada

para obtener la ubicación central de la nueva instalación con una distancia menor hacia los puntos de mayor demanda.

- P-Centdiana: Este problema fue abordado por primera vez por Halpern (1976), para encontrar un centro de servicio en una red con estructura de árbol. Surge de la combinación de los objetivos de los modelos básicos de localización de redes: P-centro y P-mediana. El objetivo del problema de P-mediana se caracteriza por ser eficiente pero no equitativo, minimizando la suma total de distancias ponderadas. Por otro lado, el objetivo de P-centro es equitativo, pero no eficiente, ya que minimiza la máxima distancia ponderada desde un centro de servicio hasta los usuarios asignados. P-centdiana busca combinar la eficiencia y la equidad mediante la combinación convexa de los objetivos de la p-mediana y p-centro (Canós Darós et al., 2005).
- Problemas de cobertura: Consiste en una serie de ciudades conectadas con límites geográficos, donde se requiere brindar un servicio a un grupo de clientes en dicha área y puede ser representado utilizando teoría de grafos. Este modelo reduce el costo total de ubicación de instalaciones y maximiza el nivel de servicio para todos los clientes. Si la distancia o tiempo entre un cliente y la instalación más cercana no es mayor que el valor previamente determinado, se considera que está cubierto (Sanabria Coronado et al., 2016). Monroy Sánchez y Poveda Ávila, (2017) mencionan que el problema de cubrimiento consiste en que cada cliente puede ser servido por una instalación de servicio que esté dentro de la distancia de cobertura. Su objetivo es minimizar el número de instalaciones de servicio a implementar que sea mayor a uno y maximizar el número de clientes. Las variantes de este modelo son: cobertura parcial, conjunto de coberturas, entre otras. Sin embargo, no siempre se cubre la totalidad de las demandas debido al área de cobertura limitada. Los modelos de cobertura se dividen en cobertura total y máxima cobertura. El primero comprende un número mínimo de instalaciones para cubrir toda la demanda, donde cada nodo debe ser cubierto por al menos una instalación. El segundo modelo localiza “p” instalaciones para maximizar la demanda a cubrir, diferenciando los nodos de mayor y menor demanda (Olivera Cortina, 2014).
- Problemas de localización Hub: Estos problemas surgen cuando los clientes requieren transporte entre un gran número de pares origen-destino. En las redes Hub, los clientes viajan desde su origen a un eje central y luego se dirigen a su destino o a otro Hub, sucesivamente hasta su destino final. Las redes Hub consideran grafos no dirigidos y la existencia de flujo entre cada par de nodos. El número de Hubs puede ser fijo o variable. Si

el conjunto de los centros se conoce, el problema tiene como solución la ruta más corta, de lo contrario los problemas son considerados problemas NP-complejo (Sanabria Coronado et al., 2016).

- Problema multi-producto: Este modelo se aplica a problemas que incluyen la demanda, producción, manipulación y costos de distribución. Las capacidades de cada nodo, la demanda y los flujos se agrupan con base a la homogeneidad del producto. Para esto, las capacidades de los nodos y la demanda se agrupan con cada grupo de productos homogéneos. Las variantes del modelo son modelo multitipo y modelo multiactividad (Klose y Drexl, 2005). La función objetivo del modelo multi-producto para perecederos es minimizar costos de ubicación, producción, transporte, implementación y costos de inversión. También contempla el modo de transporte, inventario, capacidad, tipo de producción, cantidad de envío entre instalaciones, incertidumbre en la demanda y congestión vehicular (Sanabria Coronado et al., 2016).
- Problema de servicios múltiples: Se distingue de los modelos de elección del cliente y modelos de asignación. En el modelo de elección del cliente, decide que instalaciones son las que suministran a un cliente determinado (Sanabria Coronado et al., 2016). Mientras que el modelo de servicio múltiple con base a lo planteado por Neungmatcha et al., (2013), minimiza los costos de transporte y operación. Además, busca el número de instalaciones por abrir y relaciona los agricultores con las estaciones que cada uno debe suministrar. Para las cadenas de suministro de alimentos, no considera la perecibilidad a lo largo del viaje del producto.
- Warehouse location-routing model: Desarrollado por Perl y Daskin, intenta abordar tres decisiones importantes en la cadena de suministro. La primera es la localización de almacenes, la segunda es la asignación de clientes a los almacenes y la tercera es la distribución de productos a los clientes. Además, considera entregas directas desde la instalación hasta el cliente, por lo cual los costos de entrega a un cliente dependen de las entregas a otros clientes de la misma ruta y la frecuencia de entrega.

Por otra parte, en una cadena de suministro, el problema de localización como modelo general tiene una relación directa con los modelos de inventario y de ruteo, ya que estos costos son de gran importancia para la ubicación de una instalación (Cuervo Cruz et al., 2021). Debido a la complejidad de algunos problemas, se requiere de la representación estocástica. Como resultado surgen modelos combinados de inventario, localización y ruteo. Estos se denominan modelos diádicos y modelos tríadicos.

2.6.3 Modelos combinados.

En modelos que contienen variables aleatorias, la complejidad para su solución pueden aumentar exponencialmente. Para la solución de modelos que contienen un número infinito de soluciones, los métodos matemáticos y técnicas de optimización tradicionales generan más tiempo de ejecución y mayores costos computacionales. Además, obtienen soluciones ineficientes, por lo que se requiere de la representación de modelos con comportamiento real estocástico. A continuación, se describen los siguientes modelos combinados:

- Localización-Inventario (LIP): Pertenece al modelo diádico. Consiste en determinar la ubicación de centros de distribución (CD), asignando un minorista a estos centros. También determina la frecuencia de pedido de cada CD. Los niveles de inventario son establecidos a un costo total mínimo de localización e inventario, asegurando un nivel de servicio específico. Si los clientes tienen demandas estocásticas y son asignados a un CD, la instalación puede satisfacer una proporción de la demanda del cliente. Sin embargo, cuando la demanda no satisface el CD asignado, otra instalación puede ocuparlo, por lo que, dependiendo de la capacidad y estado, se decide que demanda debe cubrir (Cuervo Cruz et al., 2021).
- Localización- Ruteo (LRP): Implica decisiones estratégicas y operativas para reducir costos. Este modelo cuenta con dos niveles de decisión. El primer nivel determina la ubicación de instalaciones para cubrir y reducir distancias. El segundo nivel implica la planificación de rutas de vehículos. La reducción de distancias entre un CD y los clientes disminuyen, así como los costos de ruteo y aumentan los niveles de servicio (Cuervo Cruz et al., 2021).
- Modelo tríadico (LIRP): Combina el problema de inventario, localización y ruteo. Es un modelo complejo respecto al tiempo en el diseño del modelado y pertenece a los problemas de tipo NP-Hard por naturaleza. Las características que determinan en el modelado para múltiples instalaciones corresponden a que debe ser capacitadas para que las políticas de inventario se ajusten al tamaño del almacén y la capacidad de la flota, y la demanda corresponde a ser variable estocástica (Cuervo Cruz et al., 2021).

2.7 Modelos de Distribución.

El problema de transporte pertenece a los problemas de programación lineal. Este modelo consiste en determinar la cantidad eficiente de productos o bienes a transportar, desde múltiples orígenes a diversos destinos (Render et al., 2012). La función objetivo busca minimizar los costos totales de distribución de un número específico de unidades, desde las fuentes hasta los destinos,

así como minimizar las distancias de envío. Las fuentes pueden ser plantas de producción con cierta capacidad, y los destinos son los almacenes que generan la demanda. Las restricciones para este problema se determinan con la información de la capacidad de cada origen y los requerimientos de cada destino.

El problema de transporte se puede visualizar como una red donde los nodos representan los orígenes o fuentes que generan la oferta, y los destinos los que generan la demanda. Los arcos representan las posibles rutas entre los nodos (Martínez Salazar et al., 2014).

El Modelo de transbordo surge a partir de un modelo de transporte, cuando se anexa un nodo intermedio entre el nodo origen y nodo destino. Este modelo tiene la función de recibir y enviar unidades desde el nodo de transbordo que funciona como receptor de un determinado número de unidades para el envío a otro nodo. La representación de este modelo se estructura de nodos origen, de transbordo y nodos destino. Los costos de transporte se dividen en costos de envío desde el origen, el nodo de transbordo y el costo hacia los destinos (Martínez Salazar et al., 2014).

2.7.1 Problemas de Optimización Combinatoria.

La optimización combinatoria es una rama de la optimización que soluciona problemas con dominio x finito, conocido como problemas combinatorios. Tiene como objetivo encontrar el máximo o mínimo de una función determinada sobre un conjunto finito de soluciones. Estos problemas se caracterizan por que las variables deben ser discretas para tener un conjunto finito de soluciones, usualmente al contar con un conjunto de soluciones posibles estas pueden ser exponenciales. Por lo tanto, aunque el planteamiento sea sencillo, la solución puede ser compleja e intratable. En este sentido, el tamaño de los datos de entrada influye en el número de soluciones posibles (López Potosme y Parajón Guevara, 2017). A continuación, se describen algunos de los problemas de optimización combinatoria:

- Problema de la mochila: Este problema involucra una mochila con una capacidad determinada, y se deben elegir los elementos a colocar en ella, considerando el peso de cada elemento y su beneficio. La finalidad es maximizar el beneficio sin sobrepasar la capacidad establecida. En la práctica, se refiere al acomodo de artículos de diferentes dimensiones en un espacio limitado. Un ejemplo real es el uso de contenedores en aduanas, donde se envían ítems de diferentes pesos, tamaños y valores de beneficio. Otro ejemplo es la distribución de carga en el abastecimiento de vehículos de transporte y la entrega de productos en compartimentos de distintos tamaños. Para la solución a este problema existen diversos

métodos, técnicas exactas, heurísticas y metaheurísticas. Las variantes de este problema son: problema de la mochila 0-1, problema de la mochila no acotado y problema de la mochila múltiple (López Potosme y Parajón Guevara, 2017).

- Problema de la ruta más corta: El problema consiste en encontrar la ruta más corta entre dos nodos de una red, donde cada arco tiene un costo o longitud no negativo que se busca minimizar. Otras aplicaciones es encontrar la ruta más rápida entre dos puntos ya sea en un mapa, en la planeación de tráfico urbano, planeación de producción entre otras. La solución para este problema es mediante los algoritmos Dijkstra, Bellman-Ford, Floyd-Warshall, Johnson, Viterbi y el algoritmo búsqueda de anchura (López Potosme y Parajón Guevara, 2017).
- Problema del agente viajero (TSP): Es un problema que ha sido estudiado a través del tiempo debido a su complejidad en la solución y en la sencillez de su planteamiento. Este problema es clasificado dentro de los problemas NP-duros, que implica encontrar la ruta más corta entre un número determinado de ciudades n , considerando las distancias entre ellas, partiendo desde un punto de inicio y visitando cada ciudad una sola vez, para luego retornar a la ciudad de origen. El TSP se representa con un grafo donde los nodos son ciudades y los arcos representan las distancias entre cada par de nodos, formando lo que se conoce como el ciclo o circuito hamiltoniano. Algunas variantes más conocidas para el TSP son: el problema del agente viajero generalizado (GTSP), el problema de ciclo simple (SCP), el problema del agente viajero con recogida y entrega de mercancías. Para su solución, se emplean métodos heurísticos y metaheurísticas o algoritmos genéticos (López Potosme y Parajón Guevara, 2017).
- Problema de ruteo de vehículos (VRP): Este problema consiste en asignar vehículos a un conjunto de rutas para suministrar mercancías a un número de clientes o ciudades, distribuidas geográficamente. El objetivo de VRP es minimizar el costo de rutas que parten y terminan en un depósito, para un conjunto de clientes con demandas conocidas. Para su solución de los diferentes tipos de VRP, se utilizan métodos de aproximación exacta como el algoritmo branch and bound (Bermeo Muñoz y Calderón Sotero, 2009). Para abordar el problema VRP, con base a los distintos escenarios de operación surgen diversas variantes que incluyen aspectos como ventanas de tiempo (VRPTW), ruteo vehicular con devoluciones (VRPB), plazos de tiempo (VRPTD), con variaciones estocásticas (SVRP), restricciones de capacidad y distancia (DCVRP), efectos contaminantes (EVRP), flota a considerar propia o externa (VRPPC).

2.8 Métodos de Solución.

La selección de una alternativa óptima implica considerar conjuntamente una serie de criterios para modelos que varían en sus funciones, ya sea lineales o no lineales, de acuerdo al tipo de variables, el número de objetivos por alcanzar y las decisiones a considerar. Por lo tanto, existen diversos tipos de modelos matemáticos y métodos de optimización que se aplican para la solución a distintos problemas (Narro Ramírez, 1996). Para su solución, los modelos se dividen en modelos determinísticos y estocásticos. Los modelos determinísticos se caracterizan por que los valores de sus variables son definidos con condiciones establecidas. Dentro de los determinísticos, los métodos de programación se clasifican en programación lineal, programación lineal entera mixta, programación no lineal, programación entera, programación combinatoria, programación de redes, dinámica y multi-objetivo. Mientras que los modelos estocásticos están basados en conocimientos de cálculo de probabilidades y comprenden la programación estocástica (Silva Rodríguez et al., 2017).

La programación lineal (LP), es una herramienta útil para la toma de decisiones mediante el uso de modelos de optimización, ya sea para maximizar o minimizar una función objetivo. Este modelo se caracteriza porque sus funciones son lineales y cuenta con una función objetivo, variables, parámetros y restricciones, que permiten modelar diversos problemas (Hillier y Lieberman, 2010). Uno de los métodos de solución para la programación lineal es aplicar el algoritmo simplex, que es un método algebraico de conceptos geométricos iterativos que busca una solución factible sucesivamente hasta optimizar la función objetivo (Carro Paz, 2009).

1) La forma canónica estándar de LP es la siguiente:

Maximizar (o Minimizar) $Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n \longrightarrow$ Función objetivo.

Sujeto a las restricciones:

$$\begin{array}{rcll} a_{11}x_1 & + & a_{12}x_2 & + \dots + a_{1n}x_n & \leq b_1 \\ a_{21}x_1 & + & a_{22}x_2 & + \dots + a_{2n}x_n & \leq b_2 \\ \vdots & & & & \\ a_{m1}x_1 & + & a_{m2}x_2 & + \dots + a_{mn}x_n & \leq b_m \\ & & x_1, x_2, \dots, x_n & \geq 0 & \longrightarrow \text{Restricción de no negatividad.} \end{array}$$

Donde:

- $x_1, x_2, \dots, x_n$ son las variables de decisión que deseamos encontrar.
- $c_1, c_2, \dots, c_n$ son los coeficientes de la función objetivo.
- a_{ij} son los coeficientes de las restricciones.

- $b_1, b_2, \dots, b_m$ son las limitaciones de las restricciones.
- m es el número de restricciones.

2) La forma canónica general de LP es la siguiente:

$$\text{Maximizar o Minimizar: } \sum_{j=1}^n c_j x_j$$

Sujeto a las restricciones: para $i = 1, 2, \dots, m$:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i$$

Donde:

- m es el número de restricciones.
- n es el número de variables de decisión.
- c_j son los coeficientes correspondientes a la variable x_j en la función objetivo.
- a_{ij} son los coeficientes correspondientes a la variable x_j en la función objetivo.
- x_j son las variables de decisión.
- b_i es el valor límite que no debe superar en el lado izquierdo de la restricción.

Por otra parte, los modelos de programación lineal entera mixta (MIP), son una extensión de los modelos de LP. Esta herramienta matemática implica contar con variables de valores enteros y otras asumen cualquier número no negativo (Silva Rodríguez et al., 2017). En este modelo, sus variables no cumplen con el principio de divisibilidad, por lo que su estructura contiene variables continuas, binarias y enteras. Para la solución de este tipo de modelos, se utilizan algoritmos más robustos como el Branch and Bound; un método que asume un espacio de soluciones factibles continuas. De igual forma, la programación entera binaria, es una herramienta que pertenece a los modelos LP. Está basada en un algoritmo matemático que resuelve problemas indeterminados mediante ecuaciones lineales para optimizar una función objetivo lineal (Bravo Quintero, 2016). Mientras que la modelación multiobjetivo, consiste en el desarrollo de métodos de toma de decisiones multicriterio para optimizar un modelo con base en varios objetivos que buscan una solución de forma simultánea (Fonseca Núñez, 2017).

Por el contrario, los modelos determinísticos no lineales se dividen en programación dinámica, programación heurística y programación no lineal. La programación no lineal (PNL), implica que los objetivos y restricciones deben ser no lineales. Comúnmente, estos métodos no brindan una solución óptima, sino cercana, denominada óptimo local, y una solución general, denominada

óptimo global (Render et al., 2012). En este sentido, los modelos de optimización de programación lineal y no lineales contribuyen a la toma de decisiones de diversos problemas reales. Los modelos de optimización existentes se dividen con base al tipo de variables de cada problema, como se muestra en la Figura 15.

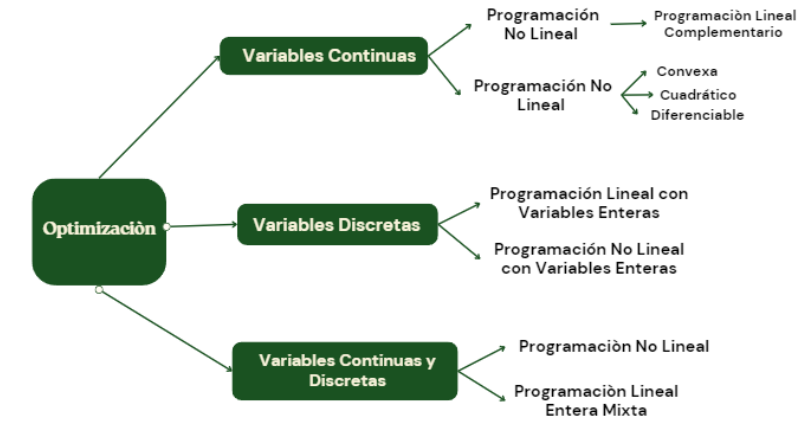


Figura 15. Clasificación de Variables en los Problemas de Optimización.

Fuente. Elaboración propia con información de (Bermúdez Colina, 2011).

Para desarrollar los modelos de optimización se requieren de herramientas de análisis de información diseñadas para crear y resolver rápidamente los modelos de programación. La complejidad computacional analiza y determina la viabilidad de los algoritmos, considerando el tiempo polinomial o de ejecución, el almacenamiento temporal requerido para ejecutarlo y la rapidez para efectuarlas.

Un algoritmo es un procedimiento computacional definido que considera un valor o un conjunto de valores de entrada mediante una serie de instrucciones organizadas que produce un valor o conjunto de valores de salida (Castañeda Macías, 2015). Al existir diversos algoritmos para su solución, son divididos por clase de complejidad de la siguiente manera:

- Problemas P: Esta clase de complejidad implica a los problemas de decisión que se puede resolver mediante un algoritmo polinomial (P). Estos pueden ser logaritmos, lineales, cuadráticos o cúbicos. Estos problemas se les denominan tratables ya que el tiempo que se corre es eficiente.
- Problemas NP: Es un problema de decisión y se considera como un problema no polinomial cuando no existe un algoritmo determinístico polinomial que lo resuelva.
- Problema NP-Completo: Pertenece a la clase de complejidad NP. Este tipo de problemas se consideran de máxima complejidad, basado en la transformación polinomial, es decir, que se pueden reducir polinomialmente a P.

- Problema NP-Duro: Está formado por un conjunto de problemas complejos. Para conocer si el problema pertenece a esta clase de debe transformar a la clase NP-Completo.

Una vez que se identifican los algoritmos por clase de complejidad, se determinan los métodos de solución para cada problema de optimización. Estos métodos coadyuvan a la toma de decisiones, planificación, gestión de recursos, distribución de producción y asignación de rutas, entre otras. Los métodos de optimización se dividen en técnicas exactas y aproximadas.

Las técnicas exactas encuentran una solución óptima en un tiempo determinado. Sin embargo, el tiempo de ejecución y almacenamiento computacional requerido aumenta de manera exponencial de acuerdo al tamaño de cada problema, debido a que algunos problemas pertenecen a la clase NP-Hard. Por consiguiente, para la solución de problemas más robustos se utiliza en mayor parte las técnicas de aproximación, aunque no proporcionen una solución óptima brindan la que más se aproxima. El empleo de algoritmos de optimización (exactos y aproximados) ayuda a encontrar las soluciones óptimas y factibles de un modelo. Estas técnicas permiten validar y verificar que el modelo propuesto funcione acorde al problema real. Las diversas técnicas para la solución de problemas de optimización son clasificadas como se muestra en la Figura 16.

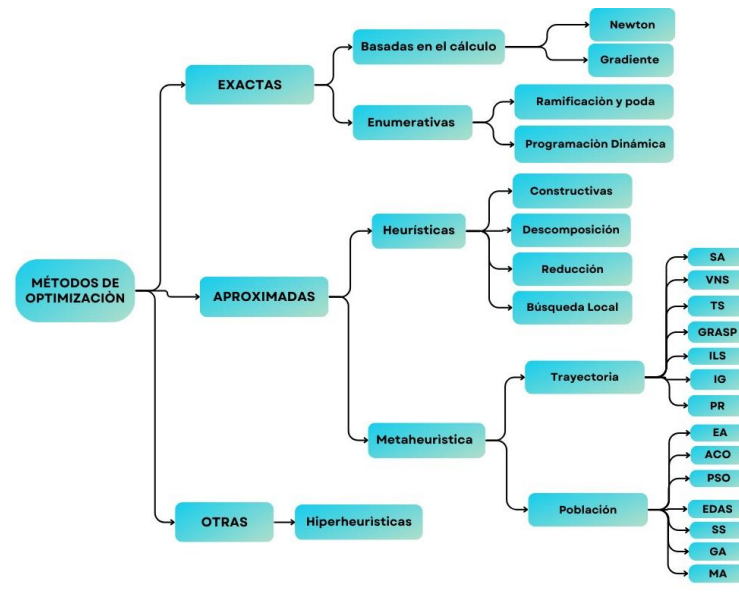


Figura 16. Métodos para la Solución a Problemas de Optimización.

Fuente. Elaboración propia con información de (Lara Velasco et al., 2017).

En donde: [SA- Simulated Annealing], [VNS-Variable Neighbourhood Search], [TS- Tabu Search], [GRASP- Greedy Randomized Adaptive Search Procedure], [ILS-Iterated Local Search], [IG – Iterated Greedy], [PR – Path Relinking], [EA – Evolutionary Algorithms], [ACO – Ant Colony Optimization], [PSO – Particle Swarm Optimization], [EDAs – Estimation of Distribution Algorithms], [SS – Scatter Search], [GA – Genetic Algorithms] y [MA – Memetic Algorithms].

2.8.1 Técnicas Exactas.

Los algoritmos exactos son útiles para resolver problemas en los que se busca obtener soluciones óptimas en un tiempo limitado. Sin embargo, en problemas clasificados como NP-Hard, el tiempo de resolución y la carga computacional aumenta de manera exponencial, lo que no garantiza una solución en tiempo razonable y se vuelve inviable. Algunos algoritmos exactos que se basan en el cálculo requieren de herramientas de análisis matemático. Estos métodos de optimización se consideran robustos, donde su función objetivo y restricciones deben estar definidas y ser continuas. En general, existen diversos problemas que no cumplen con los requerimientos de continuidad, involucran muchas variables y no presentan una buena eficiencia (Lara Velasco et al., 2017).

Dentro de los algoritmos exactos se encuentran los métodos de programación dinámica y los métodos de enumeración implícita, que comprenden ramificación, poda, acotación, entre otros. De acuerdo Leyva Máximo y Salas Bacalla, (2013), mencionan que estos métodos son enumerativos, ya que intentan evaluar todas las posibles soluciones al problema, aunado a que algunos problemas son complejos, haciéndolos ineficientes y poco operativos para problemas de cierta amplitud. También existen otros problemas de optimización considerados como fáciles de resolver, ya que pertenecen a los problemas lineales, en los cuales sus funciones son expresiones lineales y pueden resolverse mediante el método simplex. En este sentido, los métodos exactos ofrecen una solución para obtener resultados óptimos, pero depende de la complejidad de cada modelo, lo que brinda al decisor una solución de soporte.

2.8.2 Heurísticas.

La heurística proporciona soluciones de calidad con costos computacionales razonables y tiempos de ejecución más cortos. Los métodos heurísticos de aproximación no garantizan la obtención de una solución óptima, sin embargo, ofrecen una buena solución a problemas difíciles de forma rápida y sencilla. Los problemas que se abordan mediante heurísticas son los problemas NP-Hard (Leyva Máximo y Salas Bacalla, 2013). La justificación de implementar estos algoritmos radica en tomar en cuenta ciertos criterios para obtener una buena solución:

- Cuando un problema carece de datos exactos y solo dispone de datos aproximados, aplicar un procedimiento exacto generaría mayores costos y sería menos eficiente.
- En situaciones en las que los modelos no incluyen todos los factores que afectan al problema debido a su difícil modelado, y cuando el objetivo principal del tomador de

decisiones es buscar u obtener varias buenas soluciones para elegir una solución óptima según su criterio.

- Cuando se necesita una solución rápida, ya que solo se requiere de una decisión inmediata (Leyva Máximo y Salas Bacalla, 2013).

2.8.3 Meta-Heurísticas.

La Metaheurística es una estrategia de solución general para el desarrollo de métodos heurísticos específicos mediante procesos iterativos, con la finalidad de obtener soluciones cercanas a las óptimas. Proporciona soluciones tanto para modelos de alta complejidad como para problemas de programación lineal pequeños, pero moderadamente difíciles. En el caso de problemas de programación no lineal complejos, se ejecuta un procedimiento de mejora local (Hillier y Lieberman, 2010).

Este método se puede aplicar a problemas de programación combinatoria, ya que genera resultados cercanos a la solución óptima. Además, las estrategias de solución se caracterizan por estar basadas en la observación de la naturaleza, la evolución biológica y los procesos físicos asociados a la manufactura (Armin et al., 2009).

En este contexto, la metaheurística guía y modifica otras heurísticas con el fin de generar soluciones más eficientes dentro de una búsqueda de óptimos locales (Lara Velasco et al., 2017).

Las características que presenta este método son las siguientes:

- Se trata de algoritmos no exactos, particularmente no deterministas.
- Las estrategias metaheurísticas guían el proceso de búsqueda.
- Realizan una exploración eficiente del espacio de búsqueda.
- Su estructura básica está predefinida.
- La estrategia de más alto nivel puede controlar heurísticas específicas que son añadidos a partir del conocimiento a resolver.
- Pueden incorporar mecanismos para evitar regiones menos favorables del espacio de búsqueda.
- En algoritmos heurísticos de aproximación, son iterativos y disponen de un mecanismo de parada.
- Su objetivo es encontrar soluciones cuasi-óptimas.

Capítulo 3. Exploración Bibliográfica.

El presente capítulo, se lleva a cabo una revisión sistemática de literatura relacionada a modelos de localización de instalaciones y modelos de distribución para cadenas de productos agrícolas. Para su elaboración, se emplea la metodología PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses) para recopilar artículos y tesis relacionados con el tema y objetivo de investigación. Se considera como criterio de inclusión la exploración de modelos de localización aplicados específicamente a centros de distribución de frutas y/o centros de distribución agrícolas de cualquier naturaleza y como criterio de exclusión se consideran los casos de estudio que abordan la localización de centros de distribución urbanos ajenos a la distribución agrícola. Se toman en cuenta los registros de los últimos 10 años (2013-2022) y se utiliza las bases de datos Google Scholar y ScienceDirect, con las palabras claves de búsqueda: “Location of Facilities Agrifood-Location Problem” y “Facilities Agrifood-Transshipment Model”. Los resultados de la revisión sistemática se muestran en el diagrama de la Figura 17.

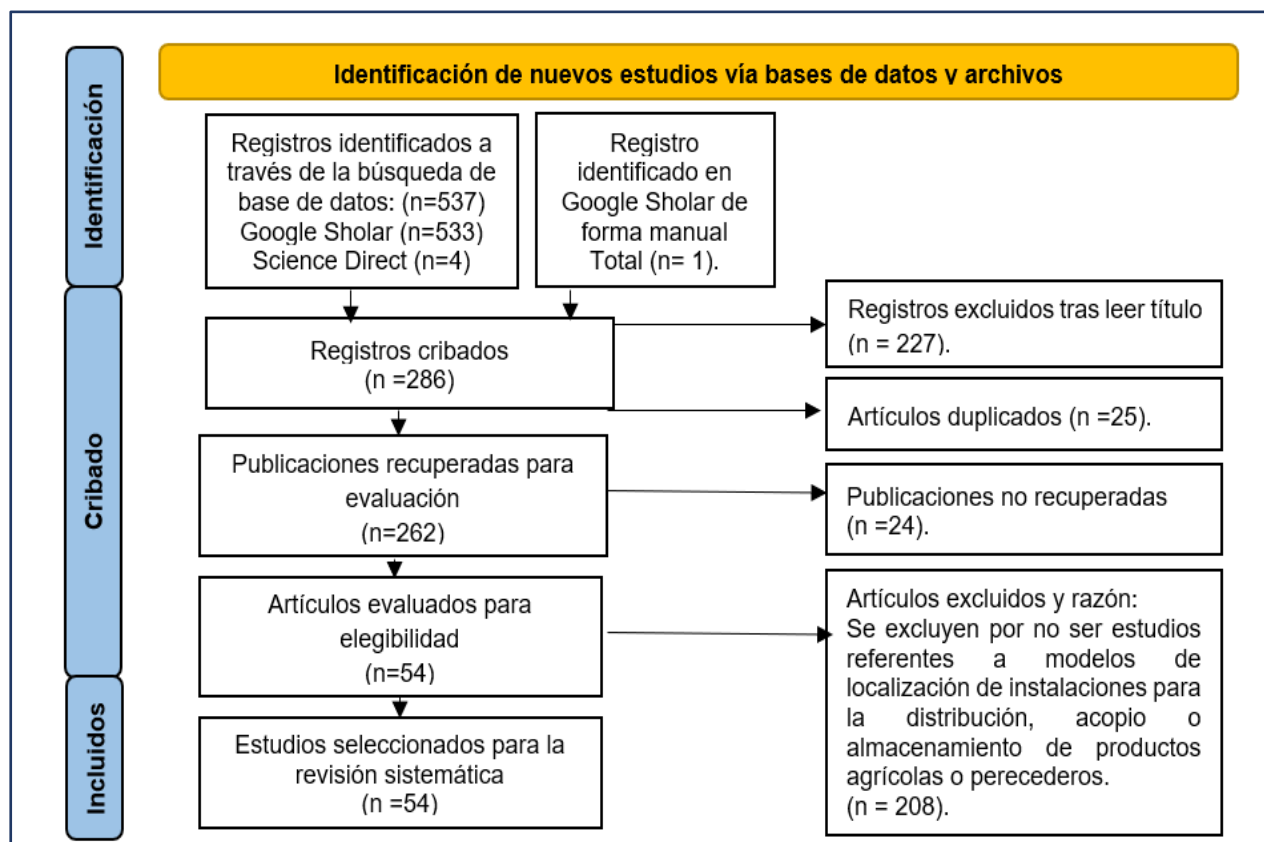


Figura 17. PRISMA de Modelos de Localización y de Distribución.

Fuente. Elaboración propia.

En la primera etapa del diagrama Prisma se muestra la totalidad de registros encontrados a partir de la consulta en las bases de datos, obteniendo de Google Scholar 534 registros y de Science Direct 4 registros. El resultado total de la búsqueda fue de 538 registros, de los cuales durante la etapa de cribado 227 registros se descartaron tras leer el título, utilizando el criterio de inclusión. También se eliminaron 25 registros duplicados que se identificaron con el software Mendeley, así como 24 registros que no estaban disponibles en las bases de datos por no ser de libre acceso, por lo que no fueron incluidos.

En la etapa de elegibilidad, se aplicó el criterio de exclusión y se eliminaron 209 registros tras leer el texto completo. Finalmente, se obtuvieron 54 registros de la revisión sistemática que abarca el periodo de 2013 al 2022. En la Figura 18, se puede observar el número de registros encontrados por cada año.



Figura 18. Literatura Publicada por Año.

En la Tabla 5 se sintetiza los aspectos desarrollados en los 54 registros por cada uno de los autores. De acuerdo con los modelos de optimización, se presentan los tipos de función objetivo y criterios utilizados para cada caso de estudio. Por otra parte, en la Tabla 5 muestra los tipos de modelos matemáticos empleados, así como los métodos y herramientas de solución utilizados. Dentro de los métodos de solución específicos para problemas de localización y distribución, también se encontraron métodos de toma de decisiones multicriterio, algoritmos híbridos y diversos softwares para la optimización matemática.

Tabla 5. Aspectos de la Exploración Bibliográfica.

Referencias	Tipo	Función Objetivo										Criterios	Tipos de modelos																	Métodos de solución																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
		Min					Max						MD	CLRP	SP	MISP	MLP	MINLP	PL	LNP	FLP	HJB	LIP	ULP	CELP	IRP	ILRP	TM	CLAP	LAP	MOP	VRPTW	MTS	UDTM	GAMS	MATLA	LINGO	CPLEX	XPRES	ARGIS	RISK	AH	AM	GA	MCDM	LR	CGM	BD																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
		D	UB	C	T	E	TW	CA	U	GR	CP																																						OE	DE	DI	TI	CA	CO	OT																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
García et al., (2013)	-																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																</

En donde, [Biobjetivo-Bi], [Multiobjetivo-Mu], [Mono-objetivo-Mo], Minimizar: [Distancia-D], [Ubicación de instalaciones-UB], [Costos-C], [Tiempo de entrega-T], [Emisiones de dióxido de carbono-E], [Toneladas millas recorridas-TM]; Maximizar: [Calidad-Ca], [Utilidad-U], [Capacidad de respuesta demanda CR]; Criterios: [Capacidad-CP], [Oferta-OF], [Demanda-DE], [Distancia-DI], [Tiempo-TI], [Calidad CA], [Costos CO], [Otras-OT]; Tipos de modelos: [Modelo de localización de distancias rectilíneas-MD], [Modelo de problema de localización y ruteo de vehículo capacitado-CLRP], [Modelo de Programación estocástica-SP], [Modelo de Programación Estocástica entera Mixta-MISP], [Modelo de programación lineal entera mixta-MILP], [Modelo de programación no lineal entera mixta-MINLP], [Programación lineal-LP], [Programación no lineal-LNP], [Modelo de localización de instalaciones-FLP], [Modelo de localización Hub-HUB], [Modelo de Localización-inventario-LIP], [Modelo de localización de instalaciones no capacitado-UFLP],

[Modelo de localización de instalaciones capacitado-CFLP], [Problema de ubicación y enrutamiento-LRP], [Modelo de localización-inventario-ruta-LIRP], [Modelo de transporte-TM], [Modelo de localización asignación capacitado-CLAP], [Modelo de localización y asignación de puntos de demanda-LAP], [Modelo de optimización multiobjetivo-MOP], [Enrutamiento de vehículos-VRPTW], [Modelo de transbordo-MTS], [Modelo de transbordo discreto no capacitado- UDTM]; Método de solución: [Software GAMS-GAMS], [Software Matlab-MATLAB], [Software Lingo-LINGO], [Software Cplex-CPLEX], [Solucionador Xpress IVE-XPRESS], [Software ArcGis-ARCGIS], [Software Risk-RISK], [Algoritmo Heurístico-AH], [Algoritmo Metaheurístico-AM], [Algoritmo Genético-GA], [Relajación Lagrangeana-LR], [Algoritmo de descomposición Benders-BD], [Método de toma de decisiones multicriterio-MCDM], [Método de centro de gravedad-CGM], [Algoritmo de descomposición de Benders-BD].

3.1 Discusión.

En los últimos años, las cadenas agroalimentarias han enfrentado diversos problemas de desabasto alimentario. La escasez y el desperdicio de alimentos son causados por diversos factores como la falta de infraestructura o cadenas de frío y una mala planificación, lo que provoca déficits de alimentos en el mundo. Es por ello por lo que diversos autores se interesan en la solución de problemas del desabasto alimentario para garantizar la seguridad alimentaria. Con base al análisis de la revisión de literatura, se han identificado diversos problemas que enfrentan las cadenas de suministro agroalimentarias. Cada caso de estudio converge en la necesidad de optimizar las cadenas de suministro mediante la ubicación de instalaciones y la optimización del sistema de transporte para la distribución de los productos agrícolas, desde nodos de origen como: productores, agricultores, proveedores, centros de aprovisionamiento, granjas y comunidades productoras; hacia nodos de destino como: centros de distribución, centros de acopio, centros de procesamiento, mercados, consumidores finales, entre otros. Acorde a la literatura consultada, se encontraron cadenas de suministro de origen agrícola, frutihortícola, de alimentos frescos y de frutas perecederas.

Los productos agrícolas o alimentos perecederos tratados en la mayor parte de los estudios fueron frutas y hortalizas; seguidos de productos perecederos como plátanos, leche y pescado; y productos agrícolas como: cítricos, caña de azúcar, aguacate, col, brócoli, cacao, soja, trigo, maíz y cereales. No obstante, en los estudios que abordan el problema de localización de instalaciones, destaca la ubicación de centros de distribución, seguido de centros de acopio, almacenes de productos agrícolas, centros de ensamblaje de productos frescos y solo un estudio aborda la ubicación de una plataforma logística de abastecimiento. Los criterios abordados en los estudios les permitieron optimizar distancias entre clientes y proveedores, ubicar nuevas instalaciones, reducir costos a partir de nuevos emplazamientos de instalaciones, así como disminuir los tiempos de entrega a partir de nuevos centros de distribución, además de garantizar la calidad de los productos. Por otro lado, el problema de localización de instalaciones y el problema de distribución dentro de la cadena de suministro son resueltos conjuntamente por

diversos autores utilizando programación lineal de enteros mixtos (MILP) y programación no lineal. Los estudios encontrados sobre la distribución de productos agrícolas abordan la optimización del enrutamiento de vehículos, la disminución de costos del sistema de transporte sujeto a la ubicación de las instalaciones, la reducción de costos de distribución y transbordo.

Otros estudios abordan el flujo de productos que satisfacen la demanda en una red, la optimización de la cobertura considerando la capacidad de las instalaciones y de los vehículos, así como la optimización de las utilidades. Además, en los sistemas de transporte se asumen cuestiones como la cantidad de vehículos necesarios en la red, el tiempo total de viaje y las distancias que se recorren desde las unidades de explotación hacia los centros de distribución, con la finalidad de entregar productos más frescos, reducir el desperdicio de alimentos debido a la perecibilidad y, principalmente, garantizar la calidad de los productos o alimentos durante el transporte. Por otra parte, con relación al aspecto ambiental, se encontraron pocos estudios que incluyen la solución a problemas referentes a emisiones de carbono (CO_2) causadas por vehículos que recorren grandes distancias y escasos estudios que consideran la temporalidad de los cultivos. En la Figura 19 se presentan los resultados de la revisión de literatura: Los resultados indican, el 80% de autores utilizan la minimización de costos. Los costos considerados incluyen: la minimización de costos de apertura de instalaciones, los costos del sistema de transporte, los costos fijos de operación, los costos globales de la cadena, los costos de almacenamiento, producción y procesamiento, así como costos de transbordo. Por otro lado, otro aspecto considerado fue la minimización de las distancias, presente en un 7.8% de los casos de estudio, y con un 3.9% de los registros se centran en la minimización del tiempo de entrega y en la reducción de las emisiones de dióxido de carbono. Respecto a los artículos que buscan maximizar, el 46.2% se enfocan en las utilidades, mientras que el 30.8% se centran en la calidad de los productos, y solo el 23.1% se enfocan en la capacidad de respuesta ante la demanda.

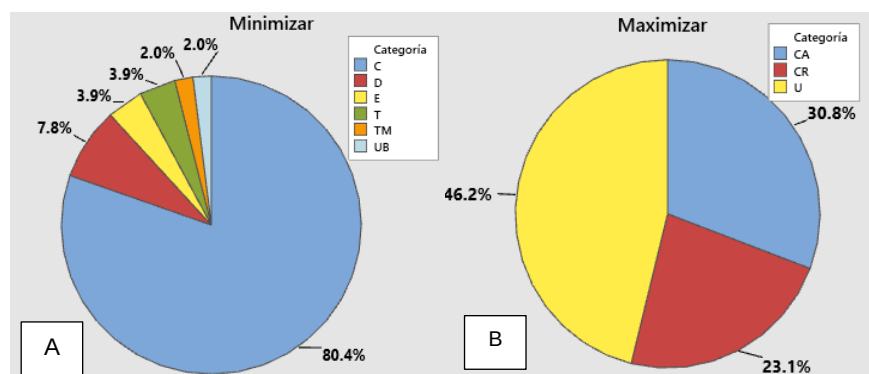


Figura 19. Funciones Objetivo: A) Minimizar, B) Maximizar.

En donde: Minimizar: [Costos-C], [Distancia-D], [Emisiones de dióxido de carbono-E], [Tiempo de entrega-T], [Toneladas millas recorridas-TM], [Ubicación de instalaciones-UB]; Maximizar: [Calidad-CA], [Capacidad de respuesta demanda CR], [Utilidades-U].

La Figura 20 muestra que en las publicaciones el 72.5% de los registros contienen modelos matemáticos utilizando mono-objetivos, mientras que el 15.7% utilizan múltiples objetivos y solo el 11.76% utilizan Biobjetivos. En algunos casos buscan minimizar y maximizar.

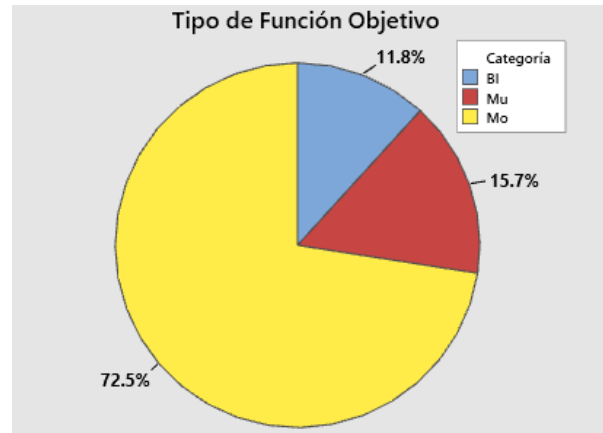


Figura 20. Tipo de Funciones Objetivo en la Literatura.

En donde: [Biobjetivo-Bi], [Multiobjetivo-Mu], [Mono objetivo- Objetivo-Mo].

Por otra parte, en la Figura 21 señala los criterios utilizados para evaluar, medir y tomar decisiones en mayor proporción para la solución del problema de localización y distribución de productos agrícolas o pecuarios. Consideran la capacidad de las instalaciones o la capacidad del transporte con un 21.47%, seguido de los criterios de demanda y oferta con un 17.8% y 16%, respectivamente, mientras que el criterio de distancia obtiene un 11%. En la categoría de otros criterios, representan un 11%, de los cuales se consideran la pérdida de alimentos, la accesibilidad y seguridad en los emplazamientos, las temporadas de cosecha y el funcionamiento eficiente de los centros.

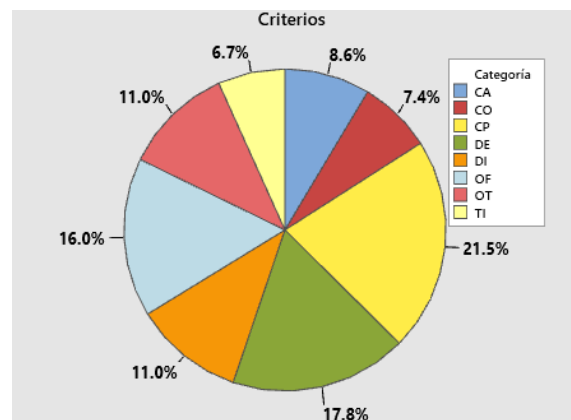


Figura 21. Criterios Considerados en la Literatura.

En donde: [Calidad CA], [Costos CO], [Capacidad-CP], [Oferta-OF], [Tiempo-TI], [Otras-OT].

La Figura 22 contiene los tipos de modelos empleados en la literatura consultada.

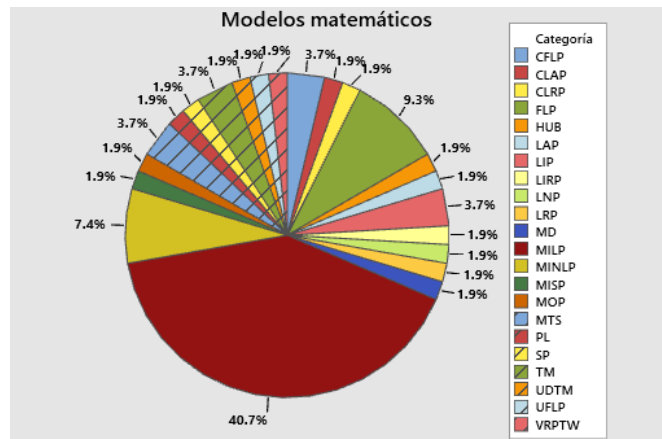


Figura 22. Tipos de Modelos Empleados en la Literatura.

En donde: [Modelo de localización de distancias rectilíneas-MD], [Modelo de problema de localización y ruteo de vehículo capacitado-CLRP], [Modelo de Programación estocástica-SP], [Modelo de Programación Estocástica entera Mixta-MISLP], [Modelo de programación lineal entera mixta-MILP], [Modelo de programación no lineal entera mixta-MINLP], [Programación lineal-LP], [Programación no lineal-LNP], [Modelo de localización de instalaciones-FLP], [Modelo de localización Hub-HUB], [Modelo de Localización-inventario-LIP], [Modelo de localización de instalaciones no capacitado-UFLP], [Modelo de localización de instalaciones capacitado-CFLP], [Problema de ubicación y enrutamiento-LRP], [Modelo de localización-inventario-ruta-LIRP], [Modelo de transporte-TM], [Modelo de localización asignación capacitado-CLAP], [Modelo de localización y asignación de puntos de demanda-LAP], [Modelo de optimización multiobjetivo-MOP], [Enrutamiento de vehículos-VRPTW], [Modelo de transbordo-MTS], [Modelo de transbordo discreto no capacitado- UDTM].

Para abordar el desarrollo de los problemas relacionados con la localización y distribución, los autores emplean diversos tipos de modelos matemáticos. Los modelos más utilizados son los modelos de programación lineal de enteros mixtos, representando un 40.7% de los registros, seguidos del modelo de localización de instalaciones, representando un 9.3%, los modelos de programación no lineal entera mixta representan el 7.4%, mientras que los modelos de localización no capacitados, los modelos de transporte y transbordo obtienen un 3.7%, cada uno.

Las herramientas más utilizadas para la solución de la programación matemática son el software GAMS, con un 48.7%, seguido de CPLEX con un 33.3%. En cuanto a los métodos de solución más utilizados para el problema de localización de instalaciones, se destacan los algoritmos metaheurísticos, que representan un 34.8% de los artículos, seguidos por los algoritmos heurísticos y los algoritmos genéticos, ambos con un 17.4% cada uno. Otros métodos considerados para la localización de instalaciones fueron los métodos de toma de decisiones multicriterio, representando un 13%, de los cuales emplearon los modelos AHP y PROMETHEE, (Figura 23).

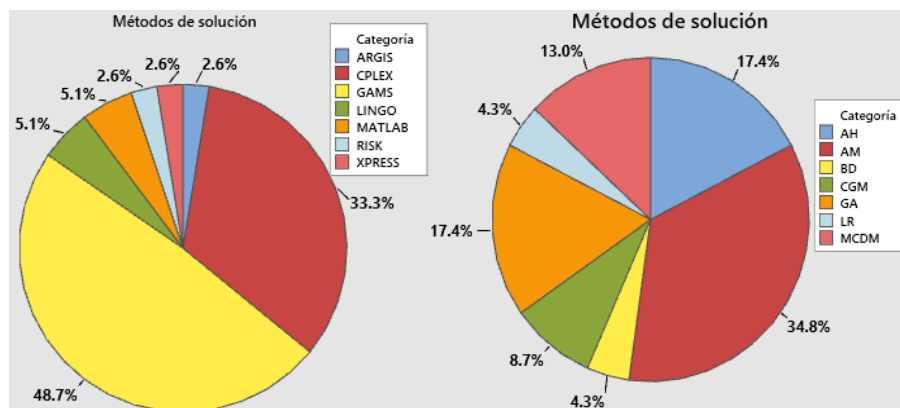


Figura 23. Métodos de Solución Empleados en la Literatura.

En donde: [Software GAMS-GAMS], [Software Matlab-MATLAB], [Software Lingo-LINGO], [Software Cplex-CPLEX], [Solucionador Xpress IVE-XPRESS], [Software ArcGis-ARCGIS], [Software Risk-RISK], [Algoritmo Heurístico-AH], [Algoritmo Metaheurístico-AM], [Algoritmo Genético-GA], [Relajación Lagrangeana-LR], [Algoritmo de descomposición Benders-BD], [Método de toma de decisiones multicriterio-MCDM], [Método de centro de gravedad-CGM], [Algoritmo de descomposición de Benders-BD].

3.2 Modelos de Localización de Instalaciones.

En este apartado, se presenta una síntesis de algunos de los estudios seleccionados a partir de la revisión de la literatura de los modelos de localización de instalaciones. Se incluyen los casos de estudio, abordando la problemática, la metodología empleada, los modelos aplicados, las restricciones y las herramientas utilizadas para solucionar cada problema.

La localización de instalaciones en las cadenas agroalimentarias perecederas es un tema de interés en estos últimos años. De acuerdo a (Sanabria Coronado et al., 2016), señala que aproximadamente un 50% de frutas producidas en américa latina se desperdician debido a su propiedad perenne. Por lo cual, realiza una revisión de literatura sobre los problemas de localización en cadenas agroalimentarias, determinado que el problema principal a solucionar es la disminución de los tiempos de traslado para mantener los productos más frescos. Además, indicaron que los tipos de modelado más utilizados son: modelo de programación lineal, programación entera mixta y programación entera binaria, mientras que las técnicas de solución más empleadas son: algoritmos genéticos, heurísticas y meta-heurísticas.

Sánchez Galván et al., (2020), llevaron a cabo un estudio en las localidades de Chontla y Tempoal, Veracruz, ante la problemática de reducir la importación de alimentos y garantizar la seguridad alimentaria. Determinaron que los productores de estas localidades requieren un modelo de agricultura sustentable mediante alianzas entre consumidores y campesinos. Realizaron entrevistas semiestructuradas para identificar los cultivos de traspato y diseñaron un

modelo de descomposición para la cadena de suministro agroalimentaria de traspatio en componentes jerárquicos, con la finalidad de promover la inclusión de productores traspatio en cadenas agroalimentarias cortas. Asimismo, propusieron la necesidad de diseñar una red logística a partir de la creación y ubicación estratégica de centros de acopio y distribución de productos agrícolas de traspatio, y destacaron la trascendencia de generar dichas acciones para fortalecer la economía local.

Barbosa Avellaneda y Gómez, (2017), realizaron dos modelos de localización para ubicar una plataforma de abastecimiento frutihortícola en Bogotá. Estas plataformas presentan problemas operativos y logísticos que impiden el abastecimiento de alimentos, a causa del crecimiento de la demanda y las instalaciones limitadas. Para abordar esta situación, identificaron los cultivos más predominantes utilizando un diagrama de Pareto y luego ubicaron los proveedores, los clientes y los puntos límites. Una vez que ubican geográficamente a los proveedores, realizaron un análisis de los clientes potenciales que tendría la plataforma y desarrollaron dos modelos de localización.

El primer modelo desarrollado por Barbosa Avellaneda y Gómez, (2017), es referente a un modelo de localización con distancias rectilíneas utilizando coordenadas cartesianas, y el segundo modelo emplea distancias euclidianas. La función objetivo de ambos modelos es minimizar la distancia entre los clientes y los proveedores, teniendo en cuenta la distancia entre las coordenadas X e Y de los proveedores y clientes. Las restricciones utilizadas para ambos modelos permiten: calcular la distancia entre el proveedor tipo “i” hasta la plataforma logística, calcular la distancia entre el cliente tipo “j” hasta la plataforma logística, además de limitar la ubicación de la plataforma a un área específica y aplicaron restricciones lógicas de no negatividad.

Finalmente, compararon las alternativas propuestas utilizando el software de optimización GAMS y solucionaron los modelos con el Solver CBC y IPOPT. Los resultados indicaron que el modelo de distancias rectilíneas es el más adecuado para la ubicación de la plataforma logística de abastecimiento, ya que presenta una distancia menor de recorrido.

En otro sentido, Borja Arteaga, (2021), expone un problema de localización y ruteo de vehículos capacitados (CLRP) de naturaleza NP-Hard. En este problema, se deben distribuir productos perecederos a clientes en función del tiempo debido a la perecibilidad del producto y considerando la capacidad de los vehículos. El estudio comprende el transporte genérico y vehículos refrigerados con la misma capacidad. El modelo propuesto resuelve un problema bi-objetivo basado en CLRP.

La primera función objetivo del modelo busca minimizar la suma de los costos de apertura de las instalaciones, los costos de las rutas seleccionadas, los costos fijos por el uso de los vehículos, los costos de mantenimiento de cada vehículo y de las instalaciones. La segunda función objetivo busca maximizar la calidad promedio de los productos en el momento de la entrega a los clientes, a partir de una calidad inicial con la que parten todos los productos de las instalaciones. El modelo incluye 25 restricciones, donde las restricciones (3)-(24) definen una región factible de soluciones, las restricciones (3)-(10) son consideradas como restricciones básicas de CLRP, las restricciones (11)-(15), se clasifican como restricciones de tiempo, las restricciones (16)-(20), son restricciones de carga para los vehículos refrigerados y las restricciones (21)-(24) definen las variables.

Utilizan un algoritmo metaheurístico híbrido, denominado NSGRASP_xLD, que proporciona soluciones no dominadas más cercanas al frente de Pareto, y el software GAMS 23.0 para resolver el modelo. Los resultados mostraron que el modelo propuesto minimiza los costos de las rutas y el esfuerzo necesario para mantener la frescura de los alimentos, además de maximizar la calidad promedio de los productos entregados a los clientes.

Etemadnia et al., (2015), diseñaron un modelo para localizar ubicaciones óptimas dentro de un sistema logístico nacional (EE. UU.) para mercados mayoristas (hubs) dentro de una cadena de suministro de frutas y verduras, incluyendo dos modos de transporte el aéreo y terrestre. El modelo tenía como objetivo garantizar una mayor disponibilidad y acceso a los productores regionales y locales. Para esto, desarrollaron un modelo de programación lineal entera mixta (MILP). La función objetivo del modelo busca minimizar el costo total del sistema de transporte, sujeto a la ubicación de los centros y la ruta de los flujos de los productos para satisfacer la demanda en la red. Para abordar la complejidad computacional, implementaron un algoritmo de solución heurística y utilizaron el software GAMS 23.7.3; y CPLEX 12.4, como solucionadores MILP. Las restricciones del modelo son las siguientes:

- La restricción (2), garantiza que la fracción de las cantidades enviadas ($\sum h msih$) desde el lugar de producción (i) a la ubicación del hub debe ser menor o igual a la oferta total en el lugar de producción (i) (toneladas).
- La restricción (3), asegura que la fracción de las cantidades enviadas ($\sum hmdhj$) desde el centro de distribución (h) al lugar de consumo (j), debe ser igual a la demanda total en el lugar de consumo (j). La restricción (4), establece que el flujo de entrada en cada ubicación central como transición es igual al flujo de salida.

- Las restricciones (5) y (8) garantizan que ningún nodo de producción y consumo se asigne a una ubicación de Hub, a menos que exista o se abra un hub en ese sitio.
- Las ecuaciones (5) y (7) determinan la capacidad máxima (Uh) para el flujo de los nodos de oferta a los nodos y de los nodos a la demanda para cada nodo; de igual manera, las ecuaciones (6) y (8) fijan su capacidad mínima (Lh) respectivamente.

Los resultados indican que el enfoque MIP, CPLEX no pudo encontrar una solución en 72 horas, mientras que con la solución MIPLP solo se necesitó dos horas y media, demostrando eficacia en la estrategia de solución propuesta.

Otro problema que se asocia al problema de localización de instalaciones, es el desperdicio de alimentos. Ballesteros Gómez, (2017), resalta que a nivel mundial se pierden y desperdician alrededor de 1.300 millones de toneladas de alimentos al año. Por lo tanto, considera relevante el buen funcionamiento de actividades logísticas en las cadenas de suministro de alimentos. En este sentido, presenta un estudio sobre la región de Cundinamarca, enfocado en plátanos, el cual propone la construcción de escenarios para la instalación de centros de acopio regionales, a fin de mejorar los procesos de acondicionamiento y distribución. Para el diseño del modelo, identifica los municipios productores de plátano en Cundinamarca (mm), que tienen una oferta determinada de plátano. Así mismo, delimita que Corabastos (kk) sería el mercado al que se enviaría el producto desde los centros de acopio regionales (cc). Para resolver el modelo, utilizan GAMS y QGIS para graficar los resultados. El modelo cuenta con 9 restricciones:

- Las restricciones (1), (2) y (3) definen el número de viajes a realizar entre cada tramo, de acuerdo a la capacidad del vehículo asignado.
- La restricción (4) determina la cantidad de producto perdido en el proceso de transporte para el primer y segundo tramo, y la pérdida por tránsito en el centro de acopio.
- La restricción (5) determina la cantidad de producto perdido en el transporte por envío directo desde el municipio a Corabastos.
- La restricción (6) garantiza que cada municipio productor sea asignado a un solo centro de acopio o en su defecto realice el envío directo a Corabastos.
- La restricción (7) define la asignación posible entre municipios productores y centros de acopio, no supere el número de centros de acopio abiertos en cada escenario, teniendo cada centro una capacidad ilimitada.
- La restricción (8) define el número de centros de acopio asignados a cada escenario sea exactamente el número de centros localizados en el departamento.

- Finalmente, la restricción (9), garantiza que el total de producto recibido en Corabastos sea el enviado desde los centros de acopio, más el enviado desde los municipios en el caso de envíos directos.

Los resultados indican la evaluación de 4 escenarios, empezando con un centro de acopio y finalizando con cuatro. Los escenarios muestran un aumento de costos de infraestructura, no obstante, la pérdida de productos disminuye en gran medida, generando mayores utilidades posteriores. Sin embargo, localizar un quinto centro de acopio haría que el sistema completo perdería competitividad debido al esfuerzo adicional de infraestructura, y esto no podría ser compensado con ingresos futuros. Este modelo presenta un alto grado de robustez en la solución propuesta, permaneciendo los escenarios 2, 3 y 4.

En este sentido el emplazamiento de centros de acopio regionales o locales, permite reducir los desperdicios de alimentos, además disminuyen los costos de transporte. Paredes Belmar et al., (2022), abordan el problema de transporte de leche junto con el enrutamiento de vehículos y la ubicación de centros de acopio de leche cruda (MCC-VRP) de una empresa de Chile. El problema se origina en la existencia un conjunto de granjas dispersas en una zona rural, y la empresa debe recoger diariamente la producción mediante una flota de camiones. Cada centro tiene capacidad limitada y la flota de camiones es reducida.

Para resolverlo, proponen un modelo de programación lineal entero mixto (MILP), y un enfoque de tres etapas (TS) basado en modelos matemáticos y desarrollan un algoritmo de búsqueda local iterada (ILS), dado que el problema MCC-VPR es de naturaleza NP-Hard, por que presenta enrutamiento de ubicación de dos etapas. La función objetivo (1) busca minimizar los costos de transporte de los camiones grandes y pequeños. Las restricciones son las siguientes:

- Las restricciones (2) -(8), indican las rutas factibles para los camiones grandes de la planta. La restricción (2), establece que cada camión grande salga como máximo una vez de la planta de procesamiento.
- La restricción (3), obliga a recoger en las explotaciones con más producción utilizando únicamente camiones grandes.
- La restricción (4) establece el balance de flujos para cada camión.
- La restricción (5) evita la mezcla de leche de diferentes calidades en el mismo camión.
- Las restricciones (6) y (7) indican la capacidad máxima de todos los camiones grandes. La restricción (8) impiden que se realicen las sub-rutas no deseadas.

- Las restricciones (9) -(16), establecen las rutas para los camiones pequeños.
- Las restricciones (17) -(21) están relacionadas con los MCC y vinculan las rutas de recogida de leche con los CCM, además de establecer las restricciones de capacidad.
- Las restricciones (17) y (18) obligan a localizar un MCC si una ruta va de una granja o nodo i a un MCC j .
- Las restricciones (22) -(24) indican el dominio de las variables de decisión.

Los resultados indican que el uso de MCC con mayor capacidad reduce los costos al disminuir el uso de los camiones grandes, aunque aumenta el uso y costos de camiones pequeños. Por otro lado, el enfoque ILS muestra un mejor desempeño en tiempo y costo de procesamiento, además de encontrar soluciones más flexibles.

Chouhan et al., (2021), diseñan y proponen una eficiente red de cadena de suministro de caña de azúcar (SSCN) de varios niveles para el manejo de subproductos producidos por la industria de caña de azúcar. Utilizan un modelo de programación lineal (MILP) para la red multiechelón y lo codifican con MATLAB. Proponen tres algoritmos metaheurísticos híbridos (H-GASA, H-KASA, H-RDASA) debido a la complejidad del problema tipo NP-Hard. Analizan los parámetros mediante diseño de experimentos para entender el comportamiento del algoritmo; sin embargo, como el número real de experimentos no era factible de realizar, emplearon el diseño Taguchi. Los rendimientos de los algoritmos los comprobaron con los experimentos Taguchi y determinan su eficacia comparándolos con los algoritmos básicos: GA, KA, RDA, y SA.

La función objetivo del modelo minimiza el costo total (CT) del diseño del SSCN, que se divide en cuatro componentes: costos de apertura (OC), costos de transporte (TRC), costos de almacenamiento (SC) y costos de producción, que comprenden procesamiento, envasado y reprocesamiento (PPRC). Las restricciones del modelo propuesto son las siguientes:

- Las restricciones (5) a (7) se refieren al flujo de mercancías entre el productor (i) y unidad de procesamiento (j).
- Las restricciones (8) - (10) muestran el flujo de subproductos (bagazo y melaza) de las unidades de transformación (j) a las otras industrias (g).
- Las restricciones (11) y (12), muestran el flujo del subproducto (lodo filtrado) desde la unidad de procesamiento (j) a la unidad de fertilización (l).
- Las restricciones (13) -(17), muestran el flujo de azúcar procesado desde la unidad de procesamiento (j) a la unidad de distribución (k) y de la unidad de distribución (k) a los minoristas (n).

- Las restricciones (18) y (19), muestran el flujo del abono procesado desde la unidad de abonado.
- Las restricciones (19) y (20), aseguran que el abono procesado (X_{lot}) no debe superar la capacidad de la unidad de abono (μ_{rit}) y satisfaga la demanda del mercado.
- La restricción (21) representa variables binarias, y las restricciones (22) y (23) garantizan las variables de decisión no sean negativas.

Se generaron quince casos de problemas de prueba de tamaño pequeño, mediano y grande. Los resultados indican que el algoritmo H-KASA supera significativamente los problemas de tamaño pequeño, mientras que H-RDASA supera los problemas grandes y medianos.

Almeida Guimarães et al., (2021), abordan el problema de localización de instalaciones en centros de integración logística (CIL). Proponen un modelo matemático de ubicación y asignación para determinar la ubicación ideal de los centros de integración logística para el transporte de soja en Brasil, el principal productor de soja del mundo. El modelo corresponde a un modelo de localización-asignación, capacitado, multiproducto y multiechelón (Dynamic Inventory Stochastic Optimization). La función objetivo del modelo es minimizar los costos de transporte, que incluyen costos de envío directo, costos de envíos realizados por los CIL, costos de apertura y operación relacionados con los CIL, así como los costos de transbordo. Las restricciones son:

- La restricción (2) garantiza que la demanda total de cualquier zona de suministro donde $i \in I$ se satisfaga, ya sea mediante envíos directos entre zonas de origen-destino o mediante un CIL. También garantiza que, independientemente de la utilización de un CIL, las demandas entre pares se satisfagan estrictamente.
- La restricción (3) establece límites inferiores y superiores para la capacidad operativa de los candidatos a CIL que influyen directamente en la decisión de abrir un CIL.
- Las restricciones (4) y (5) garantizan el cumplimiento estricto de las exigencias entre pares. Este objetivo se consigue desagregando los flujos de entrada y flujos de salida en un CIL. De este modo, se evita el cambio de pares origen-destino en un CIL.
- Las restricciones (6) - (10) son el dominio de las variables de decisión.
- La restricción (11) garantiza la existencia de un límite presupuestario máximo para la inversión en los LIC, donde (f_k) es la inversión para abrir el CIL.
- La restricción (12) considera que se puede aplicar una política pública en la que un número máximo (p) de CIL debe ser respetado.

Los resultados generan ubicaciones óptimas para los CIL; sin embargo, estas ubicaciones varían de acuerdo a los parámetros de cada escenario.

Theeraviriya et al., (2020), proponen una metodología para la solución del problema de ubicación y enrutamiento (LRP) en la industria tailandesa de la región sur, dedicada a la producción del caucho, que representa el 70% de lo producido por los pequeños productores. Sin embargo, el mecanismo de mercado del caucho es controlado por intermediarios locales. El estudio aborda la selección de lugares para establecer los centros de aprovisionamiento de caucho y el enrutamiento de vehículos para el transporte de caucho desde los agricultores hasta los centros de acopio, con la finalidad de mejorar las operaciones logísticas y reducir los costos de transporte. Según el autor, la solución no solo es aplicable al caucho sino también a otros productos agrícolas.

Para la solución formulan un modelo matemático para minimizar el costo del consumo de combustible y utilizan el software Lingo. Además, presentan un nuevo método de solución basado en una metaheurística denominada búsqueda adaptativa de estrategia de vecindad variable (VaNSAS), que permite la búsqueda de la mejor solución en diferentes áreas aplicando varias estrategias de búsqueda local. El modelo matemático cuenta con 10 restricciones:

- La restricción (2) establece que cada finca debe asignarse a un solo centro de compras.
- La restricción (3) determina el número de envíos directos y el caucho restante en caso de que la cantidad de caucho en la granja supere la capacidad del vehículo.
- La restricción (4) asegura que el caucho total en el centro de compras no supere la capacidad.
- La restricción (5) determina la ruta de transporte de la recolección de caucho desde la finca.
- La restricción (6) asegura que siempre que el vehículo entre en la finca (i), debe salir de la finca (i).
- La restricción (7) proporciona la ruta de transporte entre las fincas asignadas al mismo centro de compras.
- Las restricciones (8) y (9) son restricciones de capacidad relacionadas con la capacidad del vehículo y la eliminación de subtours.
- La restricción (10) es una variable binaria.

En primera instancia, el modelo PRL fue resuelto por el software Lingo; sin embargo, cuando el tamaño del problema aumenta, Lingo no logra resolverlo en un tiempo de procesamiento

razonable. Mientras que los resultados de VaNSAS, encuentra soluciones para todos los tamaños en un tiempo de procesamiento menor. En problemas de tamaño medio y grande, VaNSAS reduce el tiempo en un 99,91% y un 99,86%, respectivamente. El resultado computacional indica que VaNSAS-1 supera a las otras heurísticas propuestas al obtener la ruta más corta en comparación con los resultados de Lingo.

Otro problema al que se enfrenta una cadena de suministro de alimentos es el cambio climático y la incertidumbre en la oferta y demanda. Hosseini-Motlagh et al., (2021), proponen un modelo de programación estocástica de dos etapas para el diseño de la red de la cadena de suministro de trigo en irán. En la primera etapa, determinan las ubicaciones para establecer los silos y los centros de acopio de desechos para conocer la demanda futura. El estudio se ocupa de la planificación de la recogida y el transporte de trigo desde las provincias y puertos de carga, hasta los silos y las cuatro fábricas; el transporte de los productos de trigo a los centros de los clientes, el acopio de las mermas y los productos de alimentación animal.

La formulación del modelo determina la configuración óptima de la red de la cadena de suministro de trigo en cada período de planificación. La función objetivo es minimizar el costo total de la cadena de suministro de trigo, y las restricciones del modelo son de suministro, capacidad, saldo e inventario, producción, demanda, restricciones FIFO, de localización y asignación.

- La restricción (14) y (15) garantizan que la cantidad de trigo transferido de cada proveedor no supere su capacidad.
- Las restricciones (17) y (18) muestran la limitación de capacidad de cada una de las cuatro fábricas y centros de acopio durante el escenario (s).
- La restricción (19) permite mantener el equilibrio de la cantidad de flujo de trigo en cada silo.
- Las restricciones (20) y (21) muestran el balance de flujo en cada fábrica de harina y centro de acopio.
- La restricción (22) muestra la cantidad de entrada y salida en cada restricción del centro de recolección.
- La restricción (23) determina la cantidad de almacenamiento estratégico de trigo para el país.
- Las restricciones (24) y (25) muestran la cantidad de cada tipo de producción de trigo y alimentos para animales que se produce en cada fábrica de harina y centro de acopio.

- Para garantizar que la demanda de cada cliente sea satisfecha en cualquier escenario posible, establecen las restricciones (26) - (28).
- Las restricciones (29) y (30) garantizan la política de emisión FIFO. (First-In, First-Out) (No se puede asignar un inventario de una edad específica en el silo a las fábricas de harina cuando hay unidades más antiguas disponibles).
- La restricción (31) garantiza que en cada lugar se establezca como máximo un tipo y tamaño de silo, y la restricción (32) muestra una limitación similar para establecer centros de acopio de residuos.
- Las restricciones (33)–(40) indican las restricciones de asignación entre cada par de instalaciones.
- Las restricciones (33) y (34) ilustran asignaciones a silos que se refieren a proveedores nacionales y externos, respectivamente.
- La restricción (35) representa la asignación de silos a las fábricas de harina, y la (39) asegura la asignación de centros de acopio a las fábricas de harina.
- Las restricciones (36), (37) y (40) asignan las fábricas de harina a los tres tipos de centros de demanda, la restricción (38) garantiza la asignación de los centros de demanda a los centros de acopio.
- Las restricciones (41) y (42) representan la no negatividad y la condición binaria.

Finalmente, para considerar la incertidumbre de la demanda, Hosseini-Motlagh et al., (2021), proponen un modelo de optimización mixto robusto, donde los parámetros de oferta y demanda se consideraron en tres escenarios. Los experimentos computacionales se llevaron a cabo a través del sistema de modelado algebraico general (GAMS) utilizando el solucionador CPLEX.

Por otra parte, la producción local de alimentos continúa en aumento, por lo que se requiere de medidas de apoyo para los sistemas alimentarios locales que están influenciados por la naturaleza estacional. De acuerdo con Ge y Goetz, (2016), diseñaron tres modelos experimentales, validados por datos anuales, estacionales y mensuales de la producción e importación de EE.UU., en 2007 de productos frescos. Las regiones de cultivo de productos frescos presentan diferentes temporadas de comercialización, además debido a la naturaleza altamente perecedera de los productos frescos, el valor de los productos básicos disminuye a causa del tiempo de transporte, ya que estos deben manipularse y consolidarse rápidamente.

Ge y Goetz, (2016), proponen una solución mediante la formulación de un problema de programación lineal de enteros mixtos. Su objetivo es minimizar los costos totales asociados con el empaque del producto y las operaciones del concentrador.

- La ecuación (2) garantiza que en cada tiempo (i) la cantidad total transportada desde la región de producción (f) a todos los centros (s), sea igual a la cantidad total producida en la región (f) en el mismo tiempo de comercialización. Es decir, todos los productos deben empacarse en los hubs a través de la temporada de comercialización.
- La ecuación (3) proporciona la condición binaria de construir y no construir.
- La ecuación (4) garantiza que el número total de centros construidos en la ubicación del centro (s) no es superior a uno.
- La ecuación (5) garantiza que los productos no se transporten a ningún centro de distribución (s) a menos que se instale un centro de distribución y haya capacidad suficiente para manipular todos los productos transportados al centro de distribución (s) en el tiempo de comercialización (i).
- La ecuación (6) garantiza que los envíos sólo fluyan de las explotaciones (a) y no a la inversa.

Los resultados de las simulaciones computacionales para los tres modelos permiten generar ubicaciones óptimas para los centros de manejo que serán encargados de manipular y empacar los productos frescos provenientes de productores e importadores ubicados en distintas regiones de EE.UU. El problema de optimización se agrupa con GAMS y se resuelve con CPLEX.

Otro tema de interés es la preocupación de los consumidores por adquirir alimentos frescos y saludables. Orjuela-Castro et al., (2017), diseñan un modelo de programación lineal mixta para la localización de centros de acopio, basado en un sistema de transporte multiproducto y multiescalón, aplicado para un estudio de una cadena frutícola de Bogotá, caracterizado por contar con regiones montañosas. La ubicación de centros de acopio, plantas de procesamiento y centros de distribución garantizan la seguridad alimentaria y la inocuidad de los alimentos, además contribuye con la sostenibilidad de una ciudad. El modelo propuesto considera el amplio entorno regional y la tipología montañosa, donde los envases y transportes no protegen a los alimentos de los cambios de temperatura o humedad al transitar por las diversas altitudes y simula dos escenarios para las diferentes alternativas de ubicación.

Orjuela-Castro et al., (2017) plantean una función objetivo para minimizar los costos fijos de una instalación nueva de cada tipo, los costos de transporte entre nodos de demanda y

productores; los costos por pérdidas de fruta seca (a causa de la temperatura y humedad) en el envío a los centros de acopio, centros de procesamiento, tiendas, plazas, hipermercados. Utilizan variables binarias para determinar las limitaciones de capacidad para asegurar que la cantidad enviada a las instalaciones no exceda un límite superior y se cumpla con la cantidad mínima para cubrir los costos fijos.

El modelo considera restricciones de flujo de relación, que aseguran que las instalaciones que reciben una determinada fruta cuenten con las características para su sustentabilidad y restricciones de balance de flujo, que garantizan que la cantidad de fruta enviada desde cada escalón no exceda la cantidad que llega al mismo escalón. La aportación del modelo es incluir restricciones de equilibrio que incluyen la pérdida de fruta seca debido a la temperatura y la humedad durante el transporte. El modelo es resuelto por GAMS, utilizando un método exacto, por lo tanto, no fue necesario que utilizarán de técnicas heurísticas (Orjuela-Castro et al., 2017).

Citando a Sima, (2021), diseña un modelo para problema de localización de instalaciones (FLP) de dos niveles en la red de transporte. Considera como niveles los centros de producción (PC), centros de distribución (DC) y los puntos de atención al cliente (CP). Aplica el modelo para solucionar un problema de ubicación de instalaciones para una red de distribución de maíz de emergencia de Tanzania, específicamente en cuatro regiones del sur del país con la función de obtener un sistema de distribución de alimentos económico y rentable para el rescate de áreas con escasez de alimentos. El modelo planteado es de tipo FLP determinista, capacitado de dos niveles, que optimiza las decisiones de ubicación, asignación y transporte de la red de distribución. En este sentido, el modelo localiza un conjunto de centros de distribución óptimos. Para los experimentos computacionales utilizan CPLEX.

- La función objetivo del modelo (1), busca minimizar el costo total de distribución y cuenta con 8 restricciones.
- La restricción (2) corresponde a la capacidad del (PCs), donde la cantidad transportada desde un (PCj) a los (DCs) seleccionados no debe superar su capacidad, (S_j).
- La restricción (3) indica que la cantidad suministrada de (PCj) a todos los (DCk), seleccionados, no debe exceder la capacidad de los (DCs) capacitados (V_k).
- La restricción (4) se refiere a la cantidad suministrada por (DCk), a todos los (CPI), sin exceder ($V_k * V_k$) valores utilizados actualmente en la red de transporte con 5 (DCs).
- La restricción (5) representa la cantidad a ser transportada desde todos (DCk), a los (CPI), debe satisfacer una demanda, (D) a los (CPj).

- Las restricciones (6) y (7), son restricciones de no negatividad.
- La restricción (8) son variables binarias.

En el caso 2, se centran en el uso de capacidades múltiples por centro de distribución, que se describe a continuación:

- La restricción (11) se refiere a la cantidad suministrada desde (PC_j) a todos los (DC_k) seleccionados, que satisfacen (DCs) el nivel de capacidad de los (Vrk).
- La restricción (12) asegura que sólo se elige un nivel de capacidad del (DC) seleccionado. Si es seleccionada (DC_k), la restricción (12) asegura que sólo se elige una de sus capacidades, es decir, ($\sum rZrk = 1$). Si no se elige (DC_k), entonces ($\sum rZrk = 0$).
- Cuando se selecciona (DC_k) junto con un nivel de capacidad, la restricción (13) asegura que su (Vrk) para algún (r) no se incumple. Los valores de ($r \geq 1$), se encuentran en diferentes rangos, algunos menores o iguales a (Vk) y otros son mayores que, (Vk) la capacidad real existente.
- La restricción (14) son los valores binarios de la variable de localización.

Los resultados indican que se puede aplicar el caso 2, para organizar el sistema actual ya que los centros de distribución existentes pueden utilizarse junto con las instalaciones de almacenamiento para el reabastecimiento de los centros de distribución como DC_3 y DC_5 .

3.3 Modelos de Distribución.

La cadena de suministro de alimentos frescos enfrenta diversos desafíos para mantener la calidad en los productos y reducir los costos de transporte. Un modelo de transporte busca conservar la calidad de los alimentos y minimizar los gastos totales de transporte. Basado en Hongli et al., (2017), aplican un modelo de transporte en una cadena de suministro de frutas, tomando en cuenta tres decisiones: selección de ruta, control de temperatura y velocidad promedio de transporte. Para esto utilizan el algoritmo genético difuso fuzzy-guided (GA) para encontrar una solución óptima. Los supuestos del modelo son:

- Cada transporte parte de una empresa de alimentos frescos y después de recolectar (n) variedades de productos de las granjas, todos los productos se transportarán a la empresa de alimentos frescos.
- Tan pronto se recolectan los productos, se inicia el enfriamiento del sistema.
- Se viaja a cada granja solo una vez.

- La temperatura y la velocidad promedio del camión se deciden en cada punto de transporte (granja) y se mantienen constantes.

Los resultados indican que este modelo es útil para controlar la calidad de los alimentos frescos y tomar decisiones estratégicas sobre los gastos de transporte y la gestión de la cadena de suministro.

Por otra parte, en el caso de la oferta de hortalizas, cuando provienen de distintos lugares, se requiere diseñar ubicaciones de puntos de venta basados en la demanda regional. Esto facilita el acceso a familias de bajos ingresos. Aldemir et al., (2019), calcula la demanda de los distritos de Turquía, para determinar el valor del consumo per cápita promedio de vegetales como cebolla, papa, tomate, pepino y pimienta provenientes de diferentes distritos. Utiliza dos modelos para el diseño de la red de la cadena de suministro.

El primer modelo propuesto por Aldemir et al., (2019), determina la demanda para la distribución óptima de las cinco verduras de acuerdo con los datos de producción. La función objetivo del primer modelo es minimizar el costo total de transporte de los vegetales entre las ciudades. Los resultados de este modelo se utilizan como restricciones de producción en el segundo modelo de transbordo establecido. Para el segundo modelo, utiliza ocho almacenes intermedios, 432 puntos de venta y los productores del primer modelo. El modelo se resuelve con el software GAMS. Los resultados indican que los modelos matemáticos minimizan la cantidad y rutas de hortalizas entre ciudades productoras, almacenes y puntos de venta.

Yeh et al., (2017), desarrolla un modelo de transbordo para la cadena de suministro de repollo de EE.UU., incluye segmentos de producción, almacenamiento y consumo. Evalúa los impactos del crecimiento de la demanda en la cadena de suministro mediante dos simulaciones. El objetivo del problema es encontrar el flujo óptimo de producto (en millones de libras) en cada temporada (t) (invierno, primavera, verano y otoño) para minimizar los costos de la cadena de suministro. La función objetivo es minimizar los costos totales de producción, almacenamiento y transporte.

- Las restricciones del modelo (2 y 7) aseguran que el repollo enviado desde cada ubicación de suministro no exceda las capacidades de producción en cada temporada.
- La restricción (3) corresponde a la demanda estacional, asegura que las cantidades enviadas a cada lugar de demanda cumplan con las cantidades de demanda en esa localidad en cada temporada.
- La restricción (4) mide la pérdida de almacenamiento por la reducción en cantidad ofrecida.

- Las restricciones (5 y 6) aseguran que el repollo almacenado se guarde durante dos temporadas como máximo, y no se almacene y envíe fuera de los lugares de almacenamiento dentro de la misma temporada.
- La ecuación (8) establece que todas las variables de elección deben ser no negativas.

Los resultados de este modelo proporcionan información sobre los impactos de la cadena de suministro de hortalizas en los costos del sistema, los precios regionales al por mayor, el grado de autosuficiencia y las millas de alimentos. Así mismo, Yeh et al., (2017), aporta una simulación con el incremento de la demanda diferenciada proporcionando un escenario más preciso para el análisis. Este estudio demuestra una solución para incorporar la demografía regional desde el lado de la demanda.

Con respecto a los pequeños agricultores que comercializan sus productos a través del mercadeo de agricultura local, enfrentan el desafío para conectarse con los consumidores. Teniendo en cuenta a Kambli y McGarvey, (2021), utilizan un modelo de optimización para mitigar la desconexión entre el lugar de producción y el lugar donde residen los consumidores, mediante una red de puntos de consolidación regional. El estudio se lleva a cabo en Missouri Coalition of Environment (MCE) para ayudar a los agricultores de Missouri e Illinois a enrutar sus productos desde las granjas hasta un centro de distribución en St. Louis.

El objetivo del estudio es minimizar las toneladas-milla recorridas por los agricultores y los vehículos de la MCE en la entrega de productos agrícolas desde las granjas hasta los centros regionales y el centro de distribución. Los datos que utilizaron fueron proporcionados por MCE, e incluyen información sobre el número de fincas, el nombre de la ciudad, el estado y los diferentes tipos de productos que comercializan de origen animal y vegetal.

Para la formulación del modelo, seleccionan 12 ubicaciones candidatas de un conjunto de centros utilizados, y se asignan las unidades de explotación a cada hub, con el fin de minimizar las toneladas-millas totales recorridas en un año. El problema es resuelto con MILP. La función objetivo del modelo es minimizar el total de toneladas-millas en todos los agricultores y vehículos de MCE.

Las restricciones del modelo son:

- La ecuación (1) asegura que el hub (l) solo pueda utilizarse solo si está abierto.
- La ecuación (2) garantiza que un agricultor entregue todo su producto (vegetal o animal) a un solo centro regional (o hub) únicamente.

- La ecuación (3) decide el número de hub regionales para abrir que es ingresado por el tomador de decisiones.
- La ecuación (4) asegura que cada agricultor sea asignado a un hub regional abierto más cercano.
- La ecuación (5) calcula el número necesario de viajes de vehículos de cada tipo de producto, en función de la cantidad de producto que llega a cada Hub regional, desde las granjas a los hubs regionales.
- Las ecuaciones (6) y (7) aseguran la naturaleza binaria de las variables.
- La ecuación (8) garantiza que el número de viajes del vehículo para cada tipo de producto sea un número entero.
- La ecuación (9) asegura que la cantidad de producto que ingresa a cualquier hub regional no exceda la capacidad, sujeto a un nivel de solidez definido por el usuario.

Este modelo se codificó en la versión de GAMS 25.1.2 y se resolvió con CPLEX versión 12.5 para identificar las capacidades de los centros regionales y el número de vehículos de cada tipo que se desplazarían hacia el hub regional y desde el hub central.

Capítulo 4. Modelo para la Localización de Centros de Acopio.

4.1 Escenario de Investigación.

Esta investigación atiende el problema de la localización de instalaciones, para encontrar (n) centros de acopio que concentren productos agrícolas traspatio, como frutas y hortalizas. La investigación se realizó en el estado de Veracruz, específicamente en la zona centro norte del estado, particularmente en la Región Intermunicipal de Misantla. Esta región se integra por los municipios de Colipa, Yecuatla, Juchique de Ferrer, Misantla y Tenochtitlán. La Región Intermunicipal de Misantla comparte similitudes con características geográficas, climáticas, actividades socioculturales, socioeconómicas y productivas entre los municipios que la integran, además de contar con localidades vulnerables. La delimitación geográfica de la región de estudio se especifica en la Figura 24.

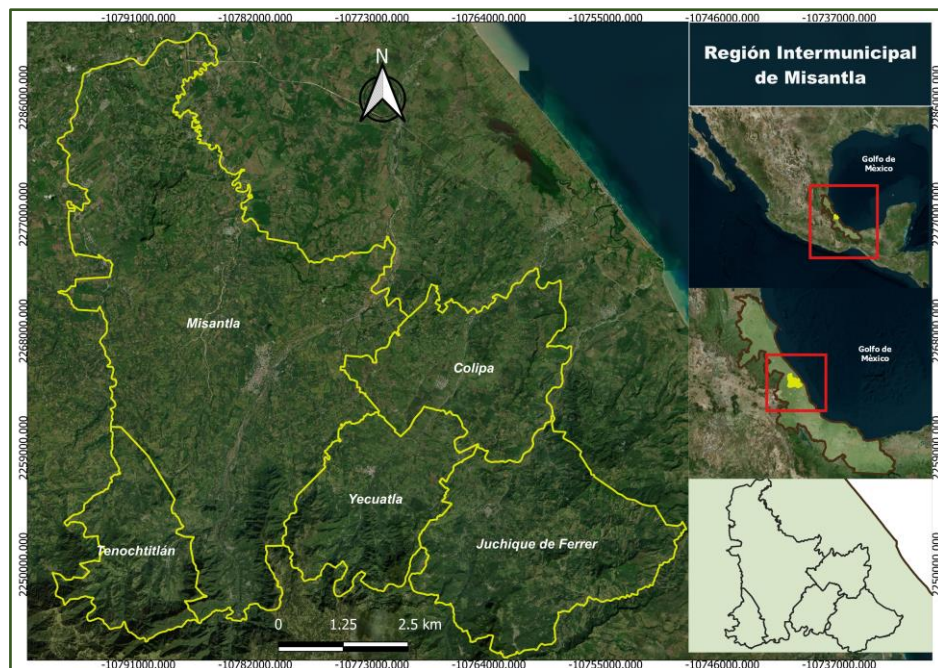


Figura 24. Región Intermunicipal de Misantla, Veracruz.

Esta región se caracteriza por tener una alta economía agrícola, en donde se encuentran inmersas comunidades suburbanas que cuentan con suministros básicos y otras que carecen de dichos servicios, sin embargo, todas convergen en la problemática del autoabastecimiento agroalimentario que afecta a productores y consumidores.

La Región Intermunicipal de Misantla está representada por los municipios de Misantla, Colipa, Juchique de Ferrer, Tenochtitlán y Yecuatla. Cada municipio está compuesto por localidades rurales y urbanas, las cuales a su vez se clasifican según el número de habitantes que las integran. Las localidades rurales son aquellas con menos de 2,500 habitantes, mientras que las urbanas cuentan con más de 2,500 habitantes. Para determinar el total de localidades en la región de estudio, se creó una base de datos por municipio, obteniendo un total de 460 localidades, cantidad descrita en la Tabla 6.

Tabla 6. Número de Localidades de la Región Intermunicipal de Misantla.

Coordenadas		Municipios	Localidad Urbana	Localidad Rural	Localidades
96°43'36.228" W	19°55'26.399" N	Colipa	0	54	54
96°41'41.029" W	19°50'28.180" N	Juchique de Ferrer	1	111	112
96°51'09.850" W	19°55'43.084" N	Misantla	1	202	203
96°54'58.917" W	19°48'36.479" N	Tenochtitlán	0	28	28
96°46'34.416" W	19°51'58.271" N	Yecuatla	1	62	63
Total			3	457	460

Fuente. Elaboración propia con base en información de (CEIEG, 2021).

Se utilizó el software QGIS Desktop 3.22.10 para representar las 460 localidades en la región de estudio y en los municipios que pertenecen. La Figura 25 muestra las rutas y las vías de acceso entre las comunidades, siendo las comunidades rurales las que predominan en la región y se encuentran más dispersas.

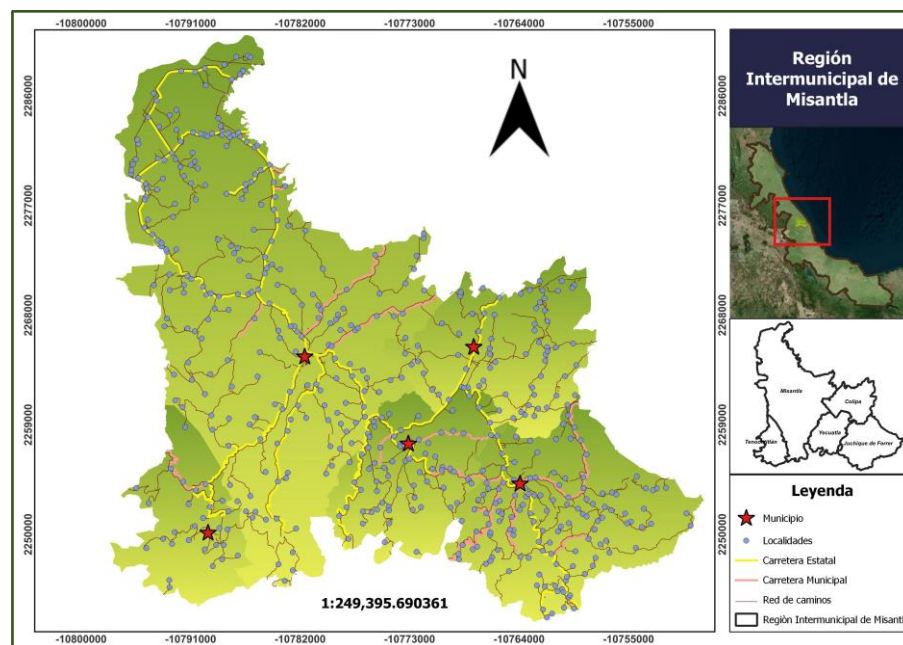


Figura 25. Localidades de la Región Intermunicipal de Misantla.

Fuente: Elaboración propia.

4.2 Población.

La Región Intermunicipal de Misantla cuenta con 102,808 habitantes. El municipio más poblado es Misantla, con 65,761 habitantes, mientras que Tenochtitlán presenta la cifra más baja, contando con 5,040 habitantes. Las localidades rurales son las que tienen una mayor concentración de habitantes. En Tabla 7, se especifica el número de habitantes por localidad urbana y rural, así como el porcentaje de mujeres y hombres en cada municipio.

Tabla 7. Número de Habitantes por Municipio de la Región Intermunicipal de Misantla.

Municipio	Habitantes Localidad Rural	Habitantes Localidad Urbana	Mujeres %	Hombres %	Total
Colipa	5,743	0	50.5%	49.5%	5,743
Juchique de Ferrer	12,440	2,619	50.3%	49.7%	15,059
Misantla	35,529	30,232	51.3%	48.7%	65,761
Tenochtitlán	5,040	0	50.8%	49.2%	5,040
Yecuatla	8,054	3,151	50.5%	49.5%	11,205
Total	66,806	36,002			102,808.

Fuente. Elaboración propia con información de (CEIEG, 2021).

4.3 Producción Agrícola Extensiva y Traspatio.

4.3.1 Naturaleza Agrícola Extensiva.

Una de las actividades económicas que prevalece en la Región Intermunicipal de Misantla es la agricultura, la cual se caracteriza por cultivos que dependen de las lluvias, al no disponer de sistemas de riego. La siembra de los cultivos agrícolas de la región es llevada a cabo por campesinos que trabajan sus parcelas o fincas, muchas veces ayudados por su familia o de otros campesinos contratados como jornaleros para labrar la tierra, sembrar y cosechar, para obtener cosechas destinadas al autoconsumo y venta. En este sentido, la producción agrícola extensiva contribuye con el abastecimiento alimentario y propicia el desarrollo económico de la región.

Los municipios de la región de estudio poseen características propias, como diferentes tipos de suelos y climas, que son favorables para el cultivo de una amplia variedad de plantas. Sin embargo, los cultivos extensivos más predominantes en la región son: maíz de grano, frijol, café cereza, naranja, limón, mandarina, papaya, plátano y toronja. La mayor producción se concentra en productos como: café cereza, cultivado en los cinco municipios, seguido del maíz de grano, que se produce en tres municipios. En el municipio de Misantla, los cultivos con el mayor volumen de producción son la lima persa y la naranja, como se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8. Cultivos Extensivos de la Región Intermunicipal de Misantla.

Municipio	Cultivos	Cultivo con Mayor Volumen de Producción
Colipa	Chile verde, frijol, maíz de grano, café cereza, naranja.	Maíz grano y café cereza
Juchique de Ferrer	Chile verde, frijol, maíz de grano y café cereza	Café cereza y maíz de grano
Misantla	Chile verde, frijol, maíz de grano, café cereza, caña de azúcar, limón, mandarina, naranja, papaya, plátano y toronja.	Lima Persa, naranja y café cereza
Tenochtitlán	Maíz grano y café cereza	Café cereza
Yecuatla	Chile verde, frijol, maíz de grano, tomate rojo, café cereza, naranja.	Café cereza y maíz de grano

Fuente. Elaboración propia con información de (CEIEG, 2021).

4.3.2 Potencialidad de la Producción Traspatio.

La presencia de prácticas agrícolas y pecuarias de traspatio en la Región Intermunicipal de Misantla se observa desde los centros urbanos hasta las áreas rurales, donde las técnicas y conocimientos transmitidos a lo largo de generaciones han permitido cultivar una amplia gama de productos. Estas actividades se llevan a cabo comúnmente en las localidades rurales, donde los miembros de las familias realizan tareas de siembra y cría de animales. Los espacios destinados a estas actividades se dividen mediante corrales de alambre o cercas de madera, los cuales protegen los cultivos de posibles daños causados por sus propios animales. En cuanto a la crianza de animales, se lleva a cabo en espacios al aire libre o cuentan con corrales techados para protegerlos de las lluvias.

En este contexto, la producción traspatio en la región contribuye a que las familias obtengan alimentos durante todo el año. Esto implica una variabilidad de productos debido al ciclo de vida de cada uno, lo que permite aprovechar cosechas de dos formas: en cultivos anuales se obtienen cosechas en dos temporadas, durante las estaciones de otoño-invierno y en primavera-verano; y en cultivos de plantas perennes, las cosechas se obtienen durante todo el año.

Para efectos de esta investigación, se requiere conocer los lugares potenciales donde existe producción agrícola traspatio. Para ello, se utilizó información de García Santamaría y Montalvo Romero, (2022), (Sección 1.1.7). Como resultado, se identificaron 19 localidades potenciales productoras traspatio de las 460 localidades de la región de estudio, entre las cuales, 4 son cabeceras municipales. En la Tabla 9, se enlistan dichas localidades con sus respectivos municipios y coordenadas.

Tabla 9. Lista de Localidades Potenciales Productoras Traspatio.

N.º	Localidad	Municipio	Coordenadas	
1	Leona Vicario	Yecuatla	96°48'05.672" W	19°51'13.159" N
2	Yecuatla	Yecuatla	96°46'34.416" W	19°51'58.271" N
3	La Defensa	Yecuatla	96°43'25.405" W	19°53'35.616" N
4	Plan de las Hayas	Juchique de Ferrer	96°40'32.127" W	19°45'39.274" N
5	Dos Arroyos	Juchique de Ferrer	96°42'28.747" W	19°52'02.287" N
6	Arroyo Frio	Misantla	96°45'53.890" W	19°57'55.642" N
7	Plan de la Vega	Misantla	96°47'56.814" W	19°57'26.915" N
8	Colonia 20 de octubre	Misantla	96°50'05.975" W	19°56'14.864" N
9	Misantla	Misantla	96°51'09.850" W	19°55'43.084" N
10	Mafafas	Misantla	96°52'35.773" W	19°59'35.650" N
11	Arroyo Hondo	Misantla	96°52'27.322" W	20°01'22.625" N
12	La Soledad	Misantla	96°52'02.334" W	20°02'46.905" N
13	Santa Clara	Misantla	96°52'44.091" W	20°03'45.008" N
14	Ignacio Zaragoza	Misantla	96°56'47.028" W	19°59'04.788" N
15	Colipa	Misantla	96°43'36.228" W	19°55'26.399" N
16	Paso Blanco	Misantla	96°52'22.931" W	19°52'05.906" N
17	Vicente Guerrero	Misantla	96°54'06.826" W	19°51'53.355" N
18	La desviación de Colorado	Tenochtitlán	96°55'33.611" W	19°50'25.852" N
19	Tenochtitlán	Tenochtitlán	96°54'58.917" W	19°48'36.479" N

Para representar geográficamente las 19 localidades productoras traspatio en la región de estudio se utiliza QGisDesktop 3.22.10., como se muestra en la Figura 26.

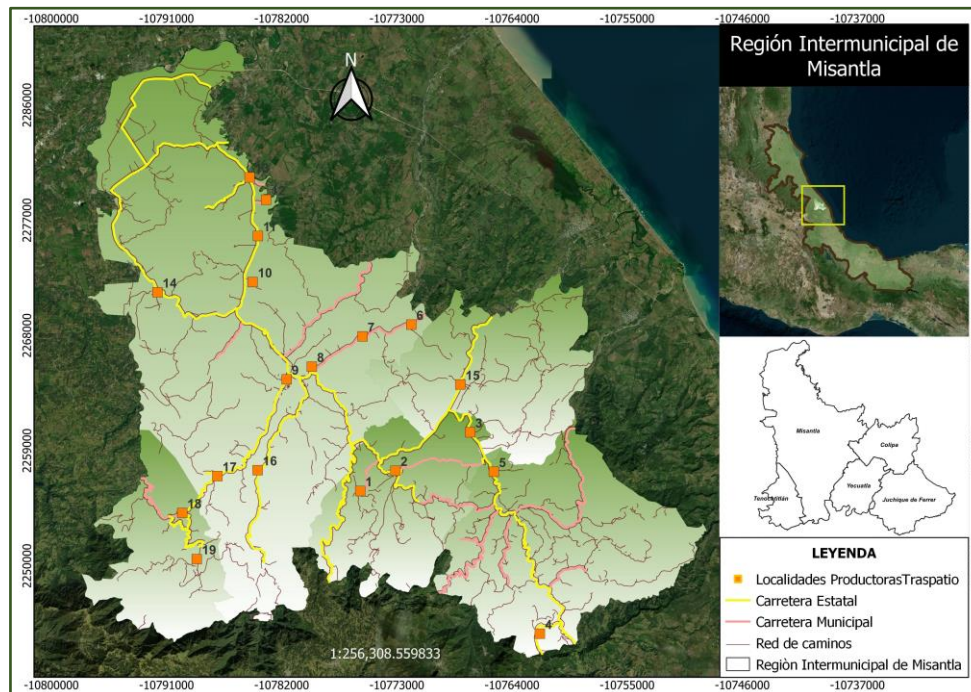


Figura 26. Localidades Productoras Traspatio.

Fuente. Elaboración propia.

4.4 Vías de Comunicación.

Para obtener información acerca de las vías de comunicación terrestre de la Región Intermunicipal de Misantla, se emplearon las herramientas de Google Maps y Google Earth, las cuales permitieron la exploración de imágenes satelitales y la recopilación de datos geospaciales. Durante el proceso de la exploración satelital, se determinaron las condiciones en las que se encuentran las carreteras, así como las características de las carreteras y caminos, como el tipo de superficie, los recubrimientos, el tipo de circulación, el número de carriles y la anchura.

La exploración satelital permitió identificar las vías de comunicación terrestre que carecen de infraestructura o se encuentran en mal estado, ya que no cumplen con las condiciones necesarias para un funcionamiento adecuado del flujo de transporte. La situación de las carreteras en esta región es que en gran parte de caminos que conectan a las comunidades se encuentran en situaciones precarias, siendo de terracería o tierra. La ausencia de puentes adecuados implica el uso de vados, que son pasos por arroyos o ríos sin infraestructura, lo que provoca inconvenientes para el tránsito vehicular. En la Figura 27, se pueden observar algunas de las carreteras de la región de estudio que carecen de infraestructura.



Figura 27. Carreteras sin Infraestructura.

Para analizar las condiciones de las carreteras y caminos de cada localidad, se creó una base de datos y se determinó que existen variaciones en cuanto a las condiciones de las vías de comunicación en cada municipio. A continuación, se presenta una descripción de los resultados encontrados:

- En el municipio de Misantla, la carretera estatal Banderilla-Martínez de la Torre está recubierta de asfalto y tiene un ancho aproximado de 6m. Estas mismas características se presentan en las carreteras municipales. Por otro lado, la red de caminos cuenta con diferentes tipos de recubrimiento, como concreto, grava o tierra. La superficie de estos caminos es de terracería y su anchura oscila entre 5m y 3m.
- En el municipio de Colipa, la carretera estatal E.C. Colipa-Vega de Alatorre está recubierta de asfalto, cuenta con dos carriles y tiene un ancho promedio de 6m. Además, en el municipio, se encuentran carreteras estatales con recubrimiento de concreto, las cuales tienen un ancho de 7m. En cuanto a la red de caminos, están recubiertos de tierra y grava, con un ancho que varía entre 5m y 3m. Por otro lado, las veredas son de tierra y tienen una anchura de 0.5m.
- La carretera estatal en el municipio de Tenochtitlán está revestida de asfalto, mientras que las carreteras municipales tienen un revestimiento de grava. En promedio, tanto la carretera estatal como la municipal tienen un ancho de 6m. Por otro lado, la red de caminos en el municipio está compuesta principalmente por caminos de terracería y de tierra, con un ancho promedio de 3.5m.
- En los municipios de Yecuatla y Juchique de Ferrer, las carreteras estatales tienen un revestimiento de asfalto con un ancho de 6m. Estos dos municipios cuentan con caminos de tierra y grava, con un ancho que varía de 3.5m a 6m.

Por consiguiente, se determina que algunas de las carreteras y caminos en la Región Intermunicipal no cuentan con una infraestructura adecuada para el flujo de transporte durante la temporada de lluvias. La mayor parte de los caminos que conectan a las localidades solo tienen un carril. La longitud de las carreteras estatales y municipales están revestidas de asfalto, mientras que la red de caminos de cada municipio está compuesta principalmente por caminos de terracería sin pavimento y los revestimientos en mayor proporción son los de tierra y grava. El ancho promedio de las carreteras es de 6m a 7.5m, mientras que en los caminos oscila entre 3.5m y 3m.

4.5 Construcción del Modelo de Localización.

4.5.1 Elementos que Compondrán el Modelo.

Con el propósito de diseñar un modelo de localización que determine los sitios potenciales para la ubicación de centros de acopio y calcule el número necesario de instalaciones para la

región de estudio, se identifican los elementos que definen los coeficientes de las variables de estudio y se establecen los recursos disponibles. Este modelo considera diversos aspectos relacionados con la infraestructura, densidad de población, accesibilidad y rutas de comunicación, entre otros. Estos elementos nos permiten identificar sitios potenciales para ubicar los centros de acopio. Además, el modelo considera como variables de decisión, aquellas que el decisor pueda tener mayor preferencia para la elección de un emplazamiento, así como aquellas que establezcan un factor de priorización para los emplazamientos.

4.5.2 Criterios de Inclusión y Exclusión del Modelo de Localización.

Con el objetivo de garantizar una operatividad eficiente de una instalación concentradora de alimentos frescos y perecederos, se requiere que se encuentren establecidas en lugares que reúnan las condiciones necesarias para su buen funcionamiento, por lo que una decisión equivocada podría provocar mayores costos de operación, de distribución e infraestructura perdida. Para efectos de esta investigación se requiere determinar comunidades que cuenten con las condiciones necesarias para establecer los sitios candidatos para ubicar los centros de acopio para que puedan operar de forma eficiente a corto y a largo plazo.

Para seleccionar las localidades que cumplan con los requerimientos necesarios y excluir las que no sean elegibles, se establecen 5 criterios de inclusión y exclusión. Estos criterios se determinan mediante un conjunto de condiciones y características que se utilizan como pauta para evaluar y clasificar cada localidad. Su función es seleccionar qué comunidades son idóneas para la ubicación de los centros de acopio. Estos criterios permiten identificar localidades que reducen los riesgos por incomunicación e infraestructura. Los 5 criterios de inclusión y exclusión son: Tamaño de Población, Energía Eléctrica, Red de Agua Potable, Distancia entre Comunidades no Mayor a 2km y Conexión Directa a Vías Transitables. El desarrollo de los criterios de inclusión y exclusión fueron planteados a partir de la consulta de la información siguiente:

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI): Se consultaron los datos emitidos por el censo de población y vivienda INEGI 2020, lo cual permitió obtener el número de habitantes por cada comunidad.
- Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL): Se consultó para identificar los servicios básicos disponibles en cada localidad.
- Google Maps y Google Earth: Estas herramientas fueron empleadas para identificar la infraestructura de las vías de comunicación terrestre de cada comunidad a través de la

visualización satelital. También se utilizaron para medir la distancia de las localidades hacia la red de las carreteras transitables, considerando tanto las carreteras estatales como las municipales.

4.5.2.1 Criterio 1: Tamaño de Población.

La región de estudio comprende un total de 460 localidades incluyendo las cabeceras municipales. La variación en el número de habitantes por localidad abarca desde un habitante hasta 30,232 habitantes, con base a datos de INEGI, (2020). El primer criterio utilizado tiene como propósito establecer una mediana representativa de la población para cada municipio, con la finalidad de excluir aquellas comunidades que cuenten con un número de habitantes inferior a la mediana y no considerarlas como posibles ubicaciones, manteniendo solo aquellas donde la población sea mayor que la mediana.

Para calcular la mediana en cada municipio, se creó una base de datos y se ordenaron las localidades de forma ascendente con base al número de habitantes, excluyendo las cabeceras municipales. Posteriormente se calculó el valor del estadígrafo que se encuentra a la mitad del conjunto de los datos ordenados. Este valor divide el conjunto de datos en dos rangos: el primer rango contiene los valores menores a la mediana, por lo que las localidades que pertenecen a este rango fueron excluidas; el segundo rango contiene los valores iguales o mayores a la mediana, por lo que se conservaron las comunidades de este rango. En la Tabla 10 se presenta la aplicación del Criterio 1 por municipio. Se describen los rangos del número de habitantes que se encuentran por debajo de la mediana, así como los rangos del número de habitantes mayores a la mediana. Como resultado, se obtuvo un total de 229 localidades que cumplen con este criterio.

Tabla 10. Criterio 1. Tamaño de Población.

Municipio	Total, de Localidades (Rural y Urbana)	Valores Menores a la Mediana (Rango de Número de Habitantes)	Valores Mayores a la Mediana (Rango de Número de Habitantes)	Mediana (Número de Habitantes)	N.º Localidades por Tamaño de Población (Criterio 1)
Colipa	54	1-24	26 - 456	71	27
Juchique de Ferrer	112	1-24	25 - 2000	100	56
Misantla	203	1-55	56 - 2121	204	101
Tenochtitlán	28	9-51	56 - 1115	112	14
Yecuatla	63	1-55	58 - 936	193	31
Total	460	--	--	--	229

Fuente. Elaboración propia con información de INEGI, (2020).

El Criterio 1 excluyó las localidades con una población de un habitante hasta 24 habitantes en los municipios de Colipa y Juchique de Ferrer. En los municipios de Misantla y Yecuatla, se descartaron aquellas localidades que tienen hasta 55 habitantes, mientras que en el municipio de Tenochtitlán se eliminaron las localidades que cuentan con un máximo de 51 habitantes. La aplicación de este criterio permitió identificar 229 localidades de estudio.

4.5.2.2 Criterio 2 y 3: Energía Eléctrica y Red de Agua Potable.

A partir de la lista de localidades derivada del Criterio 1, se utilizó para aplicar los Criterios 2 y 3. Estos criterios identifican aquellas localidades que carecen de suministros básicos, como energía eléctrica y red de agua potable. Se establece que las comunidades en las cuales menos del 50% de las viviendas no cuentan con estos servicios no se incluirán como posibles ubicaciones para centros de acopio. La Tabla 11 describe el número de localidades excluidas, observando que en los municipios de Tenochtitlán y Yecuatla, no se descartan localidades en los Criterios 2 y 3, debido a que el 100% de sus localidades cuentan con estos servicios básicos. Al aplicar los criterios de “Energía eléctrica y Red de agua potable”, se obtuvo un total de 217 localidades de estudio.

Tabla 11. Criterio 2 y 3. Energía Eléctrica y Red de Agua Potable.

Municipio	Tamaño de Población (Criterio 1)	Energía Eléctrica (Criterio 2)	Red de Agua Potable (Criterio 3)
Colipa	27	27	26
Juchique de Ferrer	56	55	54
Misantla	101	99	92
Tenochtitlán	14	14	14
Yecuatla	31	31	31
Total	229	226	217

Fuente. Elaboración propia con información de (CONEVAL, 2020).

4.5.2.3 Criterio 4. Distancia entre Comunidades no Mayor a 2km.

El cuarto criterio consistió en determinar comunidades con acceso a vías de mayor tránsito, como carreteras estatales y municipales, a distancias no superiores a 2km. La finalidad del Criterio 4 fue excluir las localidades que no cumplían con este requisito, ya que, de ser seleccionadas, los productores de comunidades cercanas tendrían que recorrer largas distancias. Para identificar las principales vías de acceso en la región de estudio, se utilizó información de

INEGI, incluyendo la red de carreteras estatales y municipales, así como la red de caminos. Las vías de comunicación terrestre de la Región Intermunicipal de Misantla se representan en la Figura 28.

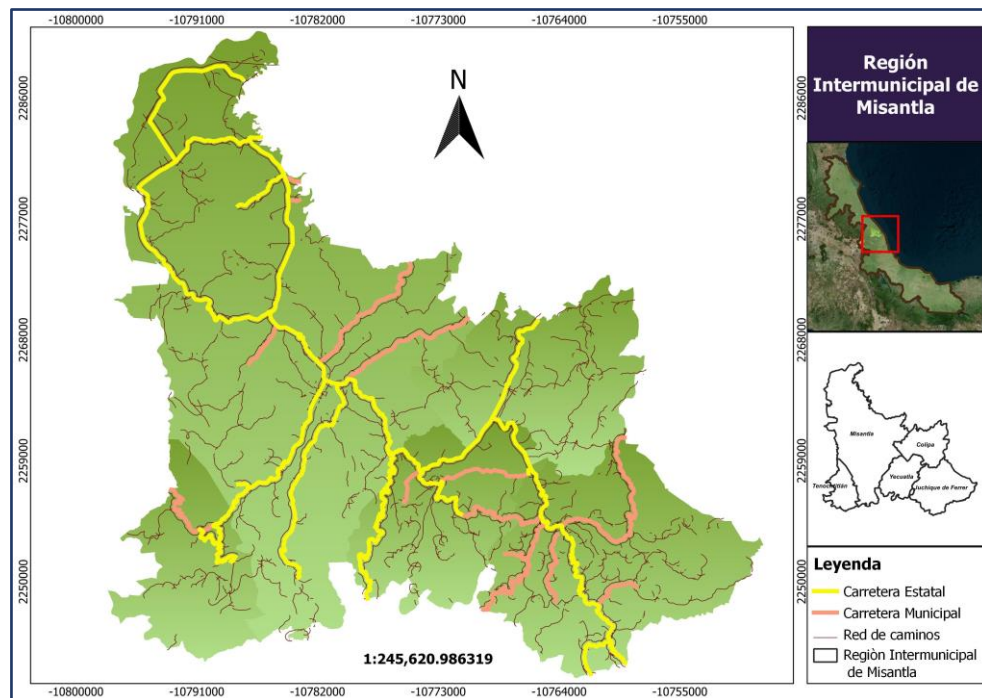


Figura 28. Carreteras Estatal, Municipal y Red de Caminos.

Fuente. Elaboración propia con información de (INEGI, 2022), Red de Carreteras y Caminos.

Para determinar las localidades que cumplen con este criterio, se realizó una base de datos a partir del listado de las 217 localidades (criterio 3). Se obtuvieron las coordenadas de cada una para calcular la distancia hacia la carretera estatal o municipal más cercana utilizando Google Maps y se eliminaron las localidades que tenían una distancia superior a 2km de las carreteras principales. En la Tabla 12, muestran las comunidades restantes por municipio, donde se obtuvo un total de 168 localidades que satisfacen este cuarto criterio.

Tabla 12. Distancia entre Comunidades no Mayor a 2km.

Municipio	Red de Agua Potable (Criterio 3)	Distancia no Menor a 2km (Criterio 4)
Colipa	26	18
Juchique de Ferrer	54	46
Misantla	92	70
Tenochtitlán	14	9
Yecuatla	31	25
Total	217	168

Fuente. Elaboración propia.

4.5.2.4 Criterio 5. Conexión Directa a Vías Transitables:

El Criterio 5, tiene como objetivo seleccionar las localidades viables de fácil acceso y que estén estratégicamente ubicadas para recibir producción agrícola traspasio de comunidades vecinas.

Para analizar las características y condiciones de las vías de comunicación terrestre en la Región Intermunicipal de Misantla, se empleó la lista de las 168 localidades seleccionadas por el Criterio 4, así como el estudio descrito en el apartado (4.4 Vías de Comunicación). Durante este análisis, se excluyeron todas las localidades que presentan las siguientes condiciones: carecen de una infraestructura de carretera adecuada, las localidades que solo se pueden acceder mediante vehículos en condiciones de clima seco, las que presentan caminos de terracería con una anchura igual o menor a 3m, y las que cuentan con caminos revestidos de tierra o grava. También se excluyeron las localidades que no están conectadas hacia otras localidades (ver Anexo 6). Los resultados derivados del Criterio 5 se presentan en la Tabla 13, mostrando el número de las localidades con vías de acceso viables y que garantizan el flujo del transporte. Con base en el criterio “Conexión directa a vías transitables”, se seleccionan un total de 99 localidades de estudio.

Tabla 13. Criterio 5. Conexión Directa a Vías Transitables.

Municipio	Distancia no Menor a 2km (Criterio 4)	Conexión Directa a Vías Transitables (Criterio 5)
Colipa	18	9
Juchique de Ferrer	46	24
Misantla	70	43
Tenochtitlán	9	5
Yecuatla	25	18
Total	168	99

Como resultado de aplicar los 5 criterios de inclusión y exclusión, se obtiene un total de 99 localidades, las cuales se representan en la Figura 29. Esta Figura muestra la región de estudio junto con las vías de acceso de mayor tránsito, así como la red de caminos. Las localidades seleccionadas cuentan con la infraestructura y los servicios necesarios para ubicar los centros de acopio.

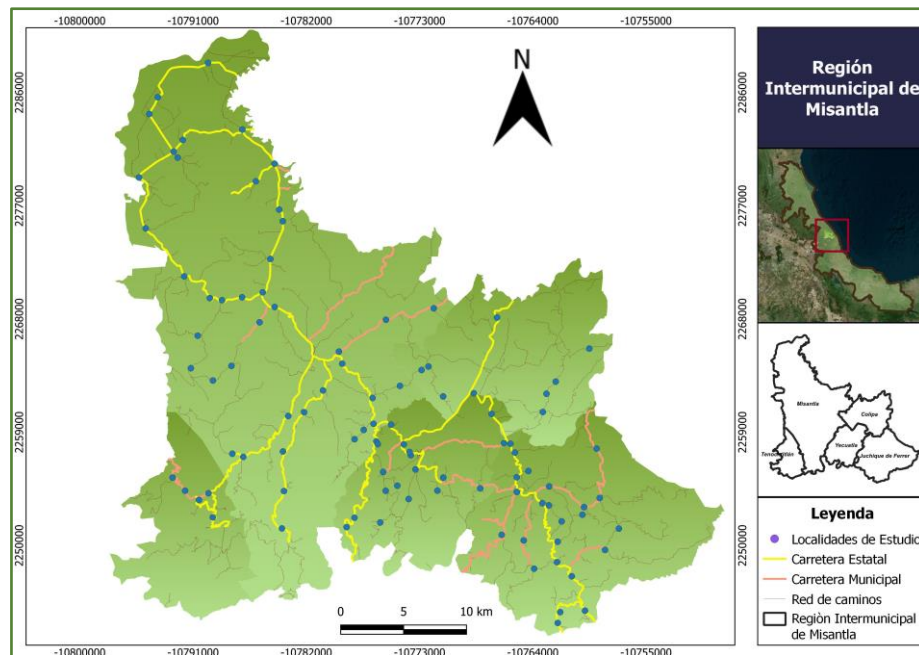


Figura 29. Región Intermunicipal, Localidades de Estudio.

Fuente. Elaboración propia

4.5.3 Lima Persa como Producto de Consolidación.

En la primera etapa de esta investigación, se identificó a la lima persa como uno de los productos traspatio potenciales que se comercializan en la región de estudio. La lima persa es uno de los productos traspatio cultivados en mayor proporción con base a la información de García Santamaría y Montalvo Romero, (2022). En este contexto, se llevó a cabo un estudio de la producción agrícola extensiva de la lima persa con el fin de conocer la producción y oferta que existe de esta fruta en la Región Intermunicipal de Misantla. El propósito de este estudio se debe a lo siguiente:

- Los productores traspatio tienen cosechas de lima persa que pueden consolidarse con la producción extensiva de la región.
- Debido a que algunos de los productos traspatio varían según la temporada, podría explorarse la opción de integrar la lima persa como un complemento para completar la carga de transporte en situaciones donde la producción traspatio no sea suficiente.
- La lima persa es una planta perenne de cosecha continua, lo que garantiza un suministro constante de una fruta ampliamente demandada en el mercado.

La producción agrícola de la lima persa se determinó mediante la consulta de los datos emitidos del Censo Agropecuario de INEGI. Primero se identificó la superficie total de terrenos con cultivos de lima persa en cada municipio; posteriormente, se utilizó la lista de las 99 localidades de estudio para identificar las localidades productoras de lima persa. A estas últimas se les asignaron los terrenos con cultivos de lima persa en función de los límites de la división municipal y la proximidad geográfica.

En la Figura 30 muestra un ejemplo de asignación de polígonos a una localidad, resaltados en color amarillo.

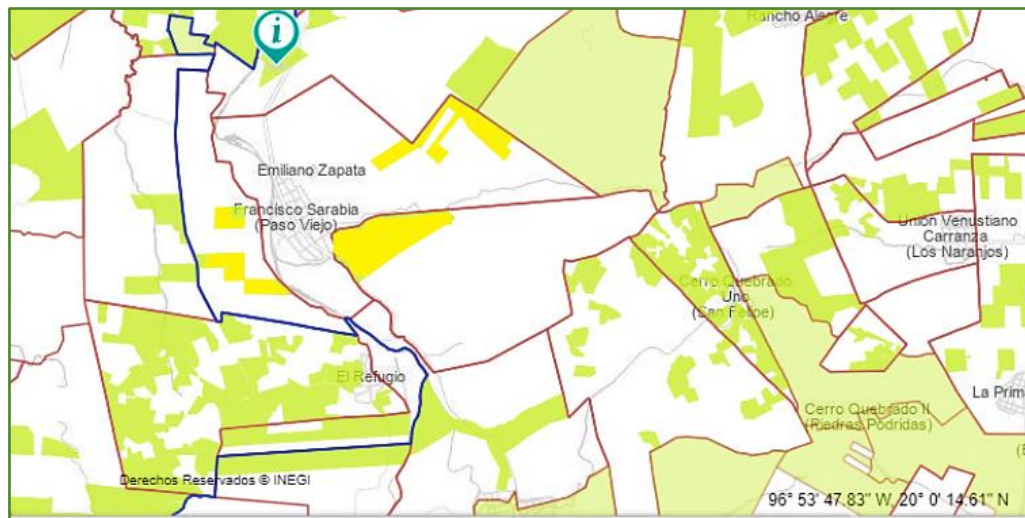


Figura 30. Asignación de Polígonos de Cultivos de Lima Persa.

Fuente. (ENA, 2019; INEGI, 2019).

La Tabla 14 muestra el total de terrenos y la superficie asignada (en hectáreas) para cada localidad. La superficie total de hectáreas de lima persa se dividió en dos zonas; cada polígono se integra por un determinado número de terrenos. Por lo tanto, cada localidad que se muestra en la Tabla contiene la suma de los terrenos y la superficie (ha) de los polígonos asignados (ver Anexo 4). A partir de esto, se obtuvo un total de 34 localidades.

Una vez asignados los polígonos a las localidades. En la Figura 31, se presentan las 34 localidades, las cuales cuentan con una alta producción de lima persa, lo que las hace idóneas para ser consideradas como ubicaciones candidatas de un centro de acopio. Estas localidades cuentan con ubicaciones geográficas estratégicas que facilitan el transporte y la distribución de productos agrícolas. Su proximidad a las carreteras principales las convierte en puntos de acceso convenientes para los agricultores y compradores.

Tabla 14. Localidades Productoras de Lima Persa en la Región Intermunicipal de Misantla.

N.º	Coordenadas		Localidad	Total, de Terrenos (Lima Persa)	Superficie Total (Ha)
1	96°56'02.931" W	19°56'47.160" N	Kilómetro 3 (Ignacio Allende)	12	37.1
2	96°55'31.940" W	19°58'17.700" N	Rancho Nuevo	12	13.5
3	96°53'31.552" W	20°02'59.502" N	Santa Cecilia	81	498.3
4	96°52'44.091" W	20°03'45.008" N	Santa Clara	17	137.4
5	96°52'33.795" W	20°01'47.684" N	San Francisco (Chamizal)	22	64.7
6	96°51'30.127" W	19°53'41.719" N	Los ídolos	15	34.6
7	96°56'19.252" W	19°55'28.851" N	Moxillón	5	41.3
8	96°47'20.892" W	19°54'47.942" N	La palma	19	89.2
9	96°56'40.358" W	20°04'40.215" N	Colorado Chico	21	91.1
10	96°56'51.562" W	20°03'55.905" N	Congregación Fundo Legal Palpoala Ixcán	30	211.7
11	96°54'58.294" W	19°58'11.688" N	Poxtitlán	7	28.5
12	96°55'21.683" W	20°07'47.431" N	La Reforma	144	564.9
13	96°45'53.890" W	19°57'55.642" N	Arroyo Frio	1	4.7
14	96°47'56.814" W	19°57'26.915" N	Plan de la Vega	8	18.7
15	96°57'05.782" W	20°04'10.949" N	Palpoala Ixcán	11	76.1
16	96°56'47.028" W	19°59'04.788" N	Ignacio Zaragoza	55	276.1
17	96°54'07.682" W	20°05'07.178" N	El Coapeche	25	111.2
18	96°58'12.305" W	20°05'32.457" N	Máximo García o la Guadalupe	118	254.9
19	96°54'06.826" W	19°51'53.355" N	Vicente Guerrero	6	28.8
20	96°58'14.370" W	20°01'07.006" N	Francisco Sarabia	20	154.6
21	96°52'59.489" W	19°59'53.825" N	Primavera	217	626.3
22	96°48'34.186" W	19°54'15.167" N	Venustiano Carranza	7	24.2
23	96°58'16.371" W	20°03'12.048" N	Libertad	51	481.8
24	96°57'34.825" W	20°06'19.674" N	La Defensa	118	369.1
25	96°52'27.322" W	20°01'22.625" N	Arroyo Hondo	44	248.4
26	96°46'25.685" W	19°55'24.442" N	La Cachetada	5	116.5
27	96°46'08.116" W	19°55'32.569" N	La Piedrilla	36	121.2
28	96°45'32.584" W	19°54'19.100" N	Colonia Teodoro A. Dehesa	8	8.7
29	96°42'04.706" W	19°48'31.963" N	Rancho Nuevo	1	6.8
30	96°39'31.184" W	19°49'33.274" N	El Tacahuite	3	1.4
31	96°43'03.506" W	19°48'42.126" N	El carrizal	1	2.0
32	96°55'33.611" W	19°50'25.852" N	La Desviación de Colorado	1	2.2
33	96°55'59.119" W	19°50'11.886" N	Colorado	1	6.0
34	96°47'57.862" W	19°50'33.263" N	Roca de Oro	1	3.9

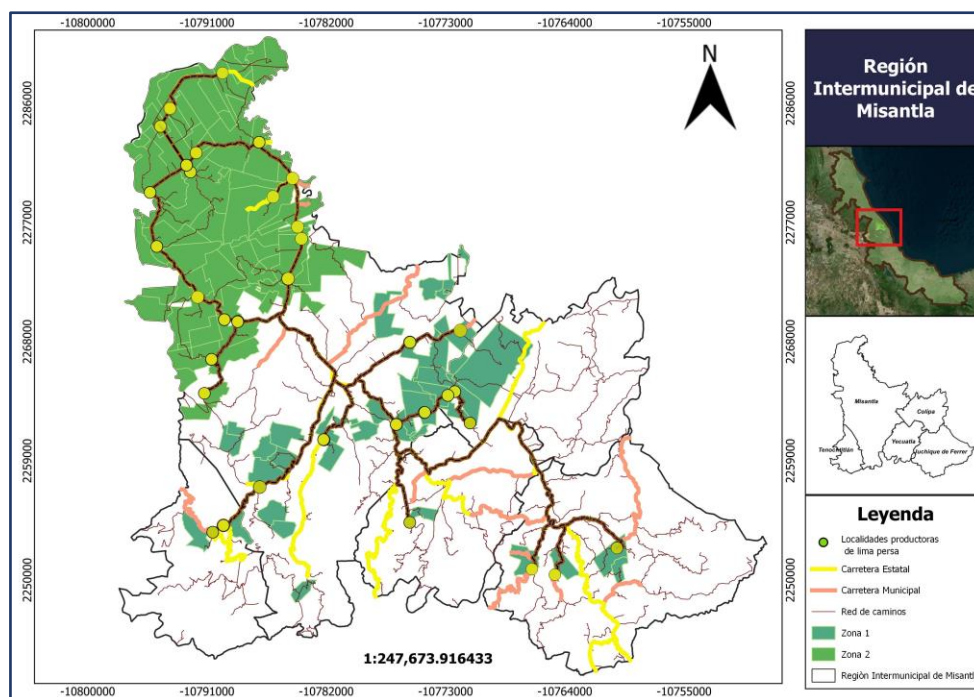


Figura 31. Localidades Productoras de Lima Persa.

Fuente. Elaboración propia.

4.5.3.1 Oferta de Lima Persa.

Con base a la información anterior, se realizó una proyección de cosecha de lima persa. En la Tabla 15 se detallan los municipios los cuales engloban la suma de las proyecciones de las 34 localidades correspondientes. El volumen de producción pertenece a la temporada baja (11 t.) y alta (17 t.) en cuanto al rendimiento en toneladas por hectárea y considerando la superficie total de cultivo de lima persa de la región de estudio.

Tabla 15. Rendimiento de Toneladas por Hectárea.

Municipio	Total, de Terrenos (Limón)	Superficie Total (ha)	Rendimiento de Toneladas por Hectárea (Ha)		Proyección de Cosecha
			Temporada Baja (11 t.)	Temporada Alta (17t.)	
Misantla	1066	4225.39	46479.29	71831.63	59155.46
Colipa	49	246.53	2711.83	4191.01	3451.42
Juchique de Ferrer	5	10.37	114.07	176.29	145.18
Tenochtitlán	2	8.31	91.41	141.27	116.34
Yecuatla	1	3.99	43.89	67.83	55.86
Total					62924.26

Fuente. Elaboración propia.

En la Tabla 16, se presenta una proyección anual de cosecha mínima y máxima en toneladas (t). Esta proyección abarca desde (7 t.) hasta (17 t.). Los resultados indican que el promedio anual de cosecha de lima persa es de 53,935.08 t. El municipio con mayor volumen de producción es Misantla seguido de Colipa. Así mismo el municipio con menor proporción en volumen de producción es Yecuatla (ver Anexo 5).

Tabla 16. Proyección de Cosecha de Lima Persa.

N.º	Municipio	Proyección de Cosecha Total
1	Misantla	50704.68
2	Colipa	2958.36
3	Juchique de Ferrer	124.44
4	Tenochtitlán	99.72
5	Yecuatla	47.88
Total		53,935.08

Fuente: Autor

4.5.3.2 Volumen de Producción de Lima Persa.

Con el fin de optimizar la distribución de la lima persa desde las unidades de explotación hacia los centros de acopio, y posteriormente su envío a los mercados locales y regionales, es necesario conocer la cantidad requerida de lima persa. La planificación de la demanda permite optimizar la red de transporte para reducir distancias, costos y tiempos de envío, al mismo tiempo que garantiza la frescura de los productos al llegar a los consumidores.

El mercado de lima persa se desarrolla en el municipio de Martínez de la Torre, Ver., y se caracteriza por contar con agroindustrias de cítricos que exportan a diversos mercados, tanto nacionales como internacionales. De acuerdo con la demanda de cuatro exportadoras de lima persa, la Tabla 17, contiene la cantidad promedio de toneladas que requieren por semana durante la temporada que abarca desde junio hasta octubre. Se estima que las cuatro exportadoras necesitarán un total de 215,000 toneladas de lima persa durante la temporada.

Tabla 17. Cantidad Promedio de Toneladas de Lima Persa.

Exportadora de limón	Número de Contenedores (25t) Semanal							Promedio Lima Persa (t)	Temporada (Toneladas)					
	80	90	100	110	120	130	140		Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Total (t)
Exportadora 1						3250	3500	3375	13500	13500	13500	13500	13500	67500
Exportadora 2				2750	3000			2875	11500	11500	11500	11500	11500	57500
Exportadora 3	2000	2250	2500					2250	9000	9000	9000	9000	9000	45000
Exportadora 4	2000	2250	2500					2250	9000	9000	9000	9000	9000	45000
Toneladas de Lima Persa														215000

4.5.4 Emplazamientos Potenciales para la Ubicación de Centros de Acopio.

A partir de la lista que contiene las 99 localidades de estudio seleccionadas por los 5 criterios de inclusión y exclusión, se identifican 45 localidades potenciales para la producción traspatio y de lima persa. Estas localidades se enumeran en la Tabla 18 y Tabla 19, de las cuales 34 son productoras de lima persa y 19 son potenciales de producción traspatio. Se identificó una localidad que no cumple con los 5 criterios establecidos; pero fue considerada en la lista por ser productora traspatio. Estas Tablas 18 y 19 además contiene las cabeceras municipales productoras traspatio las cuales no fueron consideradas en el análisis de los 5 criterios de inclusión y exclusión, pero cumplen con los criterios establecidos.

En total, se identificaron 7 localidades que presentan alto potencial de producción tanto traspatio como de lima persa (Tabla 18).

Tabla 18. Localidades con Infraestructura y Productoras Agrícolas.

Municipio	Coordenadas		Localidad (Rural y Urbana)	(Cumple con los 5 Criterios)	Productora de Lima Persa	Productora Traspatio
Misantla	96°51'09.850" W	19°55'43.084" N	Misantla	✓		✓
Misantla	96°56'02.931" W	19°56'47.160" N	Kilómetro 3	✓	✓	
Misantla	96°55'31.940" W	19°58'17.700" N	Rancho Nuevo	✓	✓	
Misantla	96°53'31.552" W	20°02'59.502" N	Santa Cecilia	✓	✓	
Misantla	96°52'02.334" W	20°02'46.905" N	La Soledad	✓		✓
Misantla	96°52'44.091" W	20°03'45.008" N	Santa Clara	✓	✓	✓
Misantla	96°52'33.795" W	20°01'47.684" N	San Francisco (Chamizal)	✓	✓	
Misantla	96°50'05.975" W	19°56'14.864" N	Colonia Veinte de Octubre	✓		✓
Misantla	96°51'30.127" W	19°53'41.719" N	Los Ídolos	✓	✓	
Misantla	96°56'19.252" W	19°55'28.851" N	Moxillón	✓	✓	
Misantla	96°47'20.892" W	19°54'47.942" N	La Palma	✓	✓	
Misantla	96°52'35.773" W	19°59'35.650" N	Mafafas			✓
Misantla	96°56'40.358" W	20°04'40.215" N	Colorado chico	✓	✓	
Misantla	96°56'51.562" W	20°03'55.905" N	Fundo Legal	✓	✓	
Misantla	96°54'58.294" W	19°58'11.688" N	Poxtitlan	✓	✓	
Misantla	96°55'21.683" W	20°07'47.431" N	La Reforma	✓	✓	
Misantla	96°45'53.890" W	19°57'55.642" N	Arroyo Frio	✓	✓	✓
Misantla	96°47'56.814" W	19°57'26.915" N	Plan de la vega	✓	✓	✓
Misantla	96°57'05.782" W	20°04'10.949" N	Palpoala Ixcán	✓	✓	
Misantla	96°56'47.028" W	19°59'04.788" N	Ignacio Zaragoza	✓	✓	✓
Misantla	96°54'07.682" W	20°05'07.178" N	El Coapeche	✓	✓	
Misantla	96°58'12.305" W	20°05'32.457" N	Máximo García	✓	✓	
Misantla	96°52'22.931" W	19°52'05.906" N	Paso Blanco	✓		✓
Misantla	96°54'06.826" W	19°51'53.355" N	Vicente Guerrero	✓	✓	✓
Misantla	96°58'14.370" W	20°01'07.006" N	Francisco Sarabia	✓	✓	

Tabla 18. Localidades con Infraestructura y Productoras Agrícolas. (Continúa).

Municipio	Coordenadas		Localidad (Rural y Urbana)	(Cumple con los 5 Criterios)	Productora de Lima Persa	Productora Traspatio
Misantla	96°52'59.489" W	19°59'53.825" N	La Primavera	✓	✓	
Misantla	96°48'34.186" W	19°54'15.167" N	Venustiano Carranza	✓	✓	
Misantla	96°58'16.371" W	20°03'12.048" N	Libertad	✓	✓	
Misantla	96°57'34.825" W	20°06'19.674" N	La Defensa	✓	✓	
Misantla	96°52'27.322" W	20°01'22.625" N	Arroyo Hondo	✓	✓	✓
Tenochtitlán	96°54'58.917" W	19°48'36.479" N	Tenochtitlán	✓		✓
Tenochtitlán	96°55'59.119" W	19°50'11.886" N	El Colorado	✓	✓	
Tenochtitlán	96°55'33.611" W	19°50'25.852" N	La Desviación de Colorado	✓	✓	✓
Yecuatla	96°46'34.416" W	19°51'58.271" N	Yecuatla	✓		✓
Yecuatla	96°47'57.862" W	19°50'33.263" N	Roca de Oro	✓	✓	
Yecuatla	96°43'25.405" W	19°53'35.616" N	La Defensa	✓		✓
Yecuatla	96°48'05.672" W	19°51'13.159" N	Leona Vicario	✓		✓
Juchique de Ferrer	96°42'04.706" W	19°48'31.963" N	Rancho Nuevo	✓	✓	
Juchique de Ferrer	96°39'31.184" W	19°49'33.274" N	El Tacahuite	✓	✓	
Juchique de Ferrer	96°43'03.506" W	19°48'42.126" N	Carrizal	✓	✓	
Juchique de Ferrer	96°42'28.747" W	19°52'02.287" N	Dos Arroyos	✓		✓
Juchique de Ferrer	96°40'32.127" W	19°45'39.274" N	Plan de las Hayas	✓		✓
Colipa	96°43'36.228" W	19°55'26.399" N	Colipa	✓		✓
Colipa	96°46'25.685" W	19°55'24.442" N	La Cachetada	✓	✓	
Colipa	96°46'08.116" W	19°55'32.569" N	La Piedrilla	✓	✓	
Colipa	96°45'32.584" W	19°54'19.100" N	Colonia Teodoro A. Dehesa	✓	✓	
Total				45	34	19

4.5.4.1 Criterio 6. Elección de Localidades.

Con el fin de optimizar la logística de acopio y ubicar estratégicamente a los centros de acopio en áreas con alta producción agrícola, se establece un sexto criterio, el cual consiste en seleccionar las localidades que cumplen con los 5 criterios de inclusión y exclusión, además de ser productoras de traspatio y de lima persa. Para la elección de las localidades se utilizó la lista que contiene las 45 localidades y se identificaron 7 localidades que cumplen con este sexto criterio. Para representarlas, la región de estudio se dividió en 4 sectores.

En la Figura 32, se observan las 7 localidades identificadas como potenciales de producción traspatio y de lima persa. Estas localidades cubren los sectores I, II y III en la región de estudio. Sin embargo, para cubrir el Sector IV, fue necesario suavizar el criterio 6, seleccionando de la lista solo aquellas que son productoras traspatio y que se encuentran dentro del sector IV. Con la aplicación de este criterio adicional, se añaden los puntos 8,9,10,11 y 12. El punto (8) corresponde a la cabecera municipal de Colipa, el punto (9) comparte el sector III y IV, que

pertenece a la cabecera municipal de Yecuatla. Los puntos restantes corresponden a las localidades de la Defensa (10), Plan de las Hayas (11) y Dos Arroyos (12).

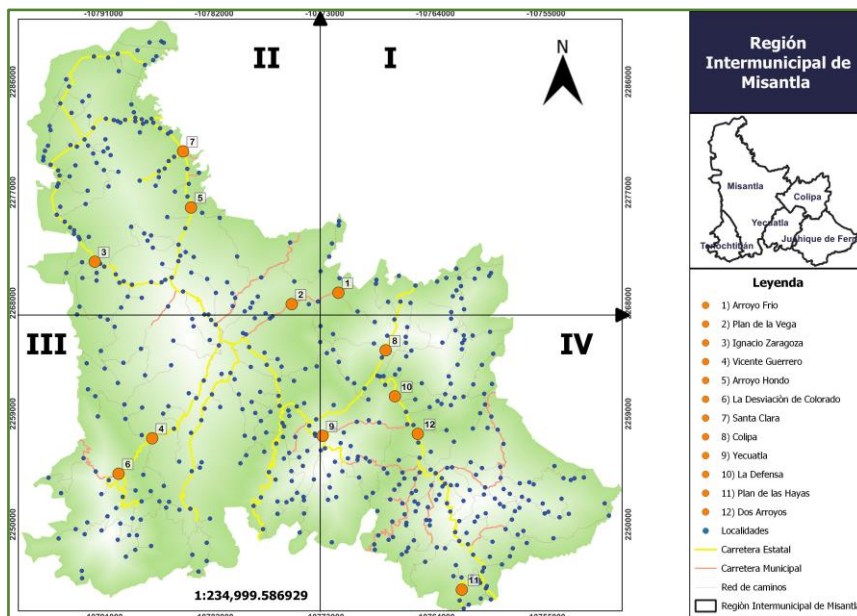


Figura 32. Localidades Candidatas para Emplazamientos de Centros de Acopio.

Fuente. Elaboración propia.

La Tabla 19 muestra las 12 localidades junto a sus respectivos sectores, sumando un total de 12 ubicaciones, de las cuales 2 son cabeceras municipales. Estas comunidades se proponen como posibles ubicaciones para los centros de acopio que concentrarán la producción agrícola de traspatio en la región de estudio.

Tabla 19. Distribución de Centros de Acopio por Sectores.

Centros de Acopio												
Sector	Arroyo Frio	Plan de la Vega	Ignacio Zaragoza	Vicente Guerrero	Arroyo Hondo	La Desviación de Colorado	Santa Clara	Colipa	Yecuatla	La Defensa	Plan de las Hayas	Dos Arroyos
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
I	X											
II		X	X		X		X					
III				X		X			X			
VI								X	X	X	X	X

La Tabla 20 presenta las características de las 12 localidades consideradas como posibles ubicaciones para los centros de acopio. Estas comunidades cuentan con la infraestructura necesaria y servicios básicos como energía eléctrica y red de agua potable, que aseguran la operatividad eficiente de las instalaciones. En efecto, estas comunidades tienen acceso a las vías

de mayor tránsito y se caracterizan por que sus habitantes se dedican a la producción de productos traspatio.

Tabla 20. Características de Localidades Potenciales Agrícolas.

N.º	Municipio	Coordenadas	Localidades	Población total	Infraestructura			Proyección promedio Cosecha de Lima Persa (t)	Proyección promedio de producción traspatio Primer semestre (t)	Proyección promedio de producción traspatio Segundo semestre (t)
					Distancia de carretera	Tipo de recubrimiento en carretera	Tipo de carretera			
1	Misantla	96°45'53.890" W 19°57'55.642" N	Arroyo Frio	567	36.3m	Asfalto	Municipal	56.4	6.02	9.03
2	Misantla	96°47'56.814" W 19°57'26.915" N	Plan de la vega	644	50.7m	Asfalto	Municipal	224.4	4.52	7.64
3	Misantla	96°56'47.028" W 19°59'04.788" N	Ignacio Zaragoza	697	416.4m	Graba	Estatal	3,314.4	1.98	1.56
4	Misantla	96°54'06.826" W 19°51'53.355" N	Vicente Guerrero	835	86.6m	Asfalto	Estatal	345.9	4.44	2.77
5	Misantla	96°52'27.322" W 20°01'22.625" N	Arroyo Hondo	2,121	123.5m	Asfalto	Estatal	2,980.8	2.54	3.2
6	Tenochtitlán	96°55'33.611" W 19°50'25.852" N	La Desviación C.	77	49.3m	Asfalto	Estatal	26.7	1.41	1.6
7	Misantla	96°52'44.091" W 20°03'45.008" N	Santa Clara	243	91.9m	Asfalto	Estatal	1,648.9	4.23	2.11
8	Colipa	96°43'36.228" W 19°55'26.399" N	Colipa	2,482	700.8m	Asfalto	Estatal	-	5.14	8.27
9	Yecuatla	96°46'34.416" W 19°51'58.271" N	Yecuatla	3,151	989.6m	Asfalto	Estatal	-	6.79	7.98
10	Yecuatla	96°43'25.405" W 19°53'35.616" N	La Defensa	382	25.9m	Asfalto	Estatal	-	6.59	6.60
11	Juchique de Ferrer	96°40'32.127" W 19°45'39.274" N	Plan de las Hayas	2,000	273.6m	Asfalto	Estatal	-	3.31	5.73
12	Juchique de Ferrer	96°42'28.747" W 19°52'02.287" N	Dos Arroyos	752	326.2m	Asfalto	Estatal	-	4.01	4.38

Tomando en cuenta la ubicación geográfica de los proveedores agrícolas de traspatio y las posibles ubicaciones candidatas a centros de acopio, se calculó la distancia de recorrido para cada localidad hacia cada uno de los centros de acopio respectivamente (Anexo 7). En la Figura 33 se plantea un gráfico de nodos que representa la red de recolección de la producción agrícola de traspatio en relación con el o los centro(s) de acopio. Esta red refleja la región geográfica de estudio, donde cada nodo representa una localidad productora, y los arcos representan las carreteras o caminos que conectan cada localidad.

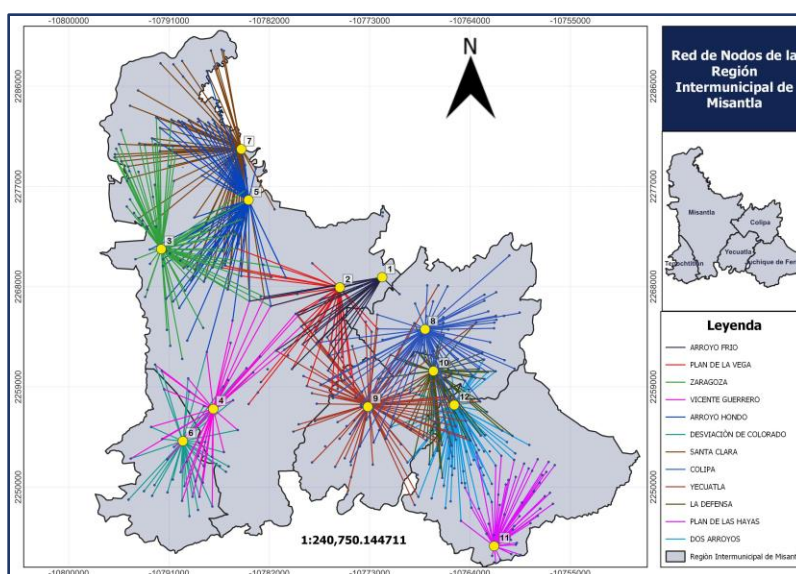


Figura 33. Red de Nodos de la Región Intermunicipal de Misantla.

Fuente. Elaboración propia.

4.5.5 Proyección Traspatio.

Todas las comunidades en las que existan familias dedicadas a la producción traspatio serán atendidas desde una perspectiva de justicia social. Es decir, no hay localidades más importantes que otras ni por ser mayormente productoras, si no que todas las localidades tendrán la misma importancia, independientemente de si producen uno o varios productos. Para lograr este propósito, se utilizará un enfoque de localización basado en la justicia social, para otorgar el mismo grado de importancia a los distintos tipos de proveedores. Bajo este concepto se busca integrar a las familias que no estén dedicadas a la venta de los productos traspatio tengan la oportunidad de comenzar a producir y cultivar, no solo para autoconsumo, sino también para generar ingresos y emprender.

En este contexto, se llevó a cabo un estudio en las 460 localidades de la región de estudio con el fin de determinar aquellas localidades que participan en actividades de traspatio. En el proceso de investigación, se realizó un estudio en campo para explorar las prácticas de traspatio presentes en las diferentes localidades. Este enfoque de investigación involucró visitas directas a diversas localidades dentro de la región, donde se tuvo la oportunidad de observar y analizar las actividades que se llevan a cabo. Además de realizar el estudio en campo, se completó la investigación utilizando las herramientas de Google Maps y Google Earth para efectuar un análisis visual, donde se obtuvo una vista panorámica de dichas actividades en cada localidad, (Figura 34).



Figura 34. Actividades de Producción Traspatio.

Fuente: (Google, n.d.).

El análisis de este estudio determinó que, de las 460 localidades evaluadas, se identificaron 403 localidades, las cuales presentan actividades de producción traspatio entre sus habitantes.

Además, se identifican dos mercados regionales: Misantla y Juchique de Ferrer. Por otro lado, las 55 localidades restantes, se determinó que no cumplían con los criterios establecidos en la evaluación para ser consideradas como productoras de traspato y, por lo tanto, no fueron incluidas en esta categoría.

Los criterios empleados para determinar las localidades productoras de traspato fueron los siguientes:

- Se consideraron todas las localidades en las que se observó que los habitantes realizan alguna actividad de traspato, ya sea agrícola o pecuaria.
- Se incluyeron todas las localidades, independientemente de si sus habitantes generan un volumen significativo o no de productos traspato.
- Se excluyeron las localidades (fincas) en las que no se lleva a cabo ninguna actividad agrícola o pecuaria a pequeña escala, sino actividades extensivas como la ganadería y monocultivos.

En este estudio, se tomaron en cuenta 25 productos reportados por los habitantes de la región intermunicipal siguiendo la referencia de García Santamaría y Montalvo Romero (2022). Estos productos seleccionados incluyen frutas, hortalizas y un producto pecuario, el blanquillo.

Estos 25 productos fueron utilizados para llevar a cabo un enfoque de proyección basado en datos ontológicos, con el propósito de determinar el volumen de producción traspato en las 403 localidades. Esto debido a la falta de datos disponibles y a la necesidad de anticipar las tendencias de cosecha.

Esta investigación permitió establecer la temporalidad o estación de cosecha de los 25 productos, identificando los meses específicos en los que se obtienen cosechas de temporada baja, media y alta. Además, brindó una comprensión de los patrones de producción y la disponibilidad de estos productos a lo largo del año. En la Tabla 21 se presentan los resultados de la investigación basados en información del SIAP.

El diseño del calendario de cosecha para los productos traspato de la región de estudio, está sujeto a dos temporadas: primavera-verano y otoño-invierno. Estas temporadas abarcan los meses en los que se efectúa la cosecha de cada producto, y se observa una variabilidad en los periodos de recolección entre temporadas. Además, se determinó que algunos de los productos pueden obtenerse durante todo el año.

Tabla 21. Calendario de Cosecha de Productos Traspatio.

N.º	Producto	Temporada (primavera-verano)						Temporada (otoño-invierno)					
		Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero
1	Chile	1	1	2	2	2	0	3	2	2	3	3	1
2	Maíz	3	2	1	2	3	3	3	2	1	1	1	2
3	Limón	3	3	3	2	2	2	2	1	1	1	3	3
4	Frijol	2	1	1	2	3	3	3	2	2	2	2	1
5	Plátano	3	2	1	1	1	1	2	1	2	2	3	3
6	Naranja	1	1	2	2	2	3	3	2	1	1	1	1
7	Cebollín	3	2	2	1	1	2	2	1	1	0	0	0
8	Capulín	0	3	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0
9	Calabaza	0	0	0	3	3	2	1	1	1	2	0	0
10	Litchi	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
11	Papaya	2	1	1	2	2	2	2	2	3	3	3	2
12	Hoja de papatla	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
13	Tomate	1	1	1	3	0	0	0	3	2	2	2	3
14	Chayote	1	3	3	0	0	0	2	1	1	1	1	1
15	Café	2	3	0	0	0	0	0	3	2	1	1	1
16	Guayaba	2	3	0	0	0	3	2	2	1	1	1	2
17	Durazno	0	0	0	0	3	0	0	0	0	1	1	0
18	Caña de azúcar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0
19	Cebolla	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1
20	Mango	3	2	1	1	1	2	3	0	0	0	0	0
21	Pepino	0	0	0	0	0	3	2	1	1	2	0	0
22	Cachichín	0	2	1	2	3	3	0	0	0	0	0	0
23	Ejote	0	0	0	1	1	1	1	1	1	2	2	3
24	Jícama	3	0	0	0	0	0	1	1	1	1	2	2
25	Huevo	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Fuente. Elaboración propia.

Una vez que se identificó la temporalidad de cosecha de los 25 productos traspatio, se empleó este calendario para llevar a cabo una proyección de cosecha para dos temporadas. Para ello, se calculó por producto la cantidad de toneladas que se cosechan por una hectárea con base a información del SIAP; posteriormente se sumaron los espacios destinados (terrenos) a las actividades de traspatio en la región de estudio para determinar la proyección promedio en kilogramos, en función del número de localidades que producen cada producto. El volumen de producción para cada localidad se asignó considerando el estudio en campo, la exploración satelital y con base al porcentaje de producción traspatio presentado por García Santamaría y Montalvo Romero (2022). Los detalles de este proceso de asignación se encuentran en el Anexo 1, donde se presenta la proyección traspatio basada en los rendimientos por hectárea y la estación de cosecha. Una vez asignado el volumen de producción a cada producto y localidad, este se transformó en unidades comerciales, como se describe en los Anexos 2 y 3.

4.5.6 Proyección Estimada de la Demanda de Productos Traspatio

de los Mercados Regionales de Juchique de Ferrer y Misantla.

En el contexto de esta investigación, los municipios de Misantla y Juchique de Ferrer son designados como los principales centros de demanda de la región de estudio. Esta elección se fundamenta en el hecho de que ambos municipios albergan una población considerable en la Región Intermunicipal de Misantla. Estos centros de demanda requieren cierta cantidad y tipos de productos agrícolas, que varían según sus necesidades específicas. Para determinar la proyección de los requerimientos de cada centro de demanda, se utiliza la simulación de escenarios para abordar la demanda de la red. Estos cuatro escenarios se diseñan con el propósito de evaluar la sensibilidad de los resultados esperados y determinar qué centros de acopio pueden abastecerlos. La Tabla 22, presenta los requerimientos de cada tipo de producto traspatio para los centros de demanda en cuatro escenarios durante la primera temporada.

Tabla 22. Proyección de la Demanda, Primera Temporada.

N.º	Proyección estimada		Proyección de la Demanda de Productos Traspatio en Unidades Comerciales							
	Productos Traspatio	Producción Total (Unidades Comerciales)	Primer Escenario		Segundo Escenario		Tercer Escenario		Cuarto Escenario	
			Juchique de Ferrer	Misantla	Juchique de Ferrer	Misantla	Juchique de Ferrer	Misantla	Juchique de Ferrer	Misantla
1	Tomate	119	48	71	0	10	300	400	30	89
2	Chile	117	67	50	0	10	300	200	23	94
3	Cebolla	266	120	146	40	0	3000	400	160	106
4	Chayote	606	306	300	30	0	900	900	456	150
5	Maíz	418	200	218	20	0	800	600	290	128
6	Frijol	118	68	50	40	0	200	200	93	25
7	Jícama	40	40	0	10	0	400	500	40	0
8	Pepino	25	25	0	20	0	100	100	25	0
9	Ejote	115	45	70	0	30	200	700	40	75
10	Cebollín	1471	771	700	0	100	2000	2000	400	1071
11	Caña	0	0	0	0	0	200	100	0	0
12	Limón	4000	0	4000	0	2000	6000	4000	0	4000
13	Naranja	926	626	300	300	0	1000	1000	776	150
14	Mango	550	200	350	0	200	6000	6000	150	200
15	Plátano	5472	3172	2300	1000	0	6000	8000	4972	500
16	Durazno	140	80	60	0	60	1000	800	56	84
17	Papaya	3152	1576	1576	0	400	8000	5000	1230	1922
18	Capulín	274	124	150	50	0	3000	400	224	50
19	Litchi	353	250	103	150	0	500	600	350	3
20	Guayaba	284	150	134	50	0	700	300	184	100
21	Papatla	5120	1920	3200	300	0	6000	7000	2620	2500
22	Cachichín	2400	1200	1200	0	400	3000	4000	1100	1300
23	Calabaza	297	97	200	0	50	3000	2000	70	227
24	Café	75	35	40	0	10	400	400	30	45
25	Blanquillo	25520	12760	12760	0	12760	50000	5000	12000	13520

La Tabla 23, presenta la demanda de Misantla y Juchique de Ferrer, por tipo de producto traspatio en cuatro escenarios durante la segunda temporada.

Tabla 23. Proyección de la Demanda, Segunda Temporada.

N.º	Proyección Estimada		Proyección de la Demanda de Productos Traspatio en Unidades Comerciales							
	Productos Traspatio	Producción Total (Unidades Comerciales)	Primer Escenario		Segundo Escenario		Tercer Escenario		Cuarto Escenario	
			Juchique de Ferrer	Misantla	Juchique de Ferrer	Misantla	Juchique de Ferrer	Misantla	Juchique de Ferrer	Misantla
1	Tomate	69	30	39	20	19	300	400	35	34
2	Chile	78	78	0	48	0	300	200	58	20
3	Cebolla	267	100	167	50	100	3000	400	100	167
4	Chayote	1976	976	1000	300	500	900	900	776	1200
5	Maíz	717	400	317	300	300	800	600	357	360
6	Frijol	98	68	30	60	20	200	200	60	38
7	Jícama	800	400	400	300	300	400	500	400	400
8	Pepino	268	168	100	68	70	100	100	128	140
9	Ejote	163	63	100	50	80	200	700	50	113
10	Cebollín	874	400	474	300	400	2000	2000	374	500
11	Caña	573	200	373	50	200	200	100	223	350
12	Limón	6875	3000	3875	100	2000	6000	4000	2100	4775
13	Naranja	1320	1000	320	500	300	1000	1000	720	600
14	Mango	27	27	0	0	0	6000	6000	27	0
15	Plátano	3936	2000	1936	1000	900	6000	8000	1536	2400
16	Durazno	793	100	693	50	200	1000	800	343	450
17	Papaya	1772	1000	772	500	400	8000	5000	900	872
18	Capulín	0	0	0	0	0	3000	400	0	0
19	Litchi	0	0	0	0	0	500	600	0	0
20	Guayaba	1334	334	1000	200	300	700	300	600	734
21	Papatlá	5160	2160	3000	100	1500	6000	7000	1600	3560
22	Cachichín	0	0	0	0	0	3000	4000	0	0
23	Calabaza	1000	500	500	250	200	3000	2000	450	550
24	Café	286	100	186	50	100	400	400	86	200
25	Blanquillo	25497	25000	497	2000	200	50000	5000	13297	12200

La propuesta de estos cuatro escenarios se aplica a ambas temporadas, ya que explora evaluar la sensibilidad de los resultados influenciados por diferentes condiciones.

Las condiciones propuestas para cada escenario son:

- **Escenario 1:** Equilibrar la demanda con la oferta.
- **Escenario 2:** Considerar una demanda menor que la capacidad de oferta.
- **Escenario 3:** Simular una demanda mayor que la oferta.
- **Escenario 4:** Solicitar nuevos requerimientos a los centros de acopio.

4.5.7 Costos Globales de la Red de Acopio de la Producción Traspatio.

El costo total de la red en la región de estudio corresponde a los costos asociados por la movilización de los productos de traspatio. También incluyen los costos asociados al impacto ambiental durante las operaciones de transporte, medidos en CO₂ (Dióxido de carbono), y los costos de operación relacionados con el funcionamiento de las instalaciones. La determinación de estos costos es fundamental para la toma de decisiones y mejora de la eficiencia logística.

4.5.7.1 Costos de Transporte.

El transporte implica el movimiento de mercancías entre un punto de origen hacia un destino específico, teniendo un impacto económico en el funcionamiento de cualquier cadena de suministro (Coyle et al., 2018). A medida que la distancia aumenta, se requieren más recursos para transportar las mercancías. En la Región Intermunicipal de Misantla, la red de proveeduría se extiende por 403 localidades, lo que da lugar a diversas rutas hacia los 12 posibles centros de acopio y los centros de demanda, generando distintos escenarios en términos de costos de transporte. Cada una de estas rutas implica el uso de camiones con determinada capacidad de acuerdo al volumen de cosecha de cada proveedor.

Para calcular los costos de transporte, fue necesario calcular el costo por kilómetro recorrido, considerando los siguientes factores: consumo de combustible, mantenimiento del vehículo, viáticos y maniobras. No se incluyeron los costos relacionados con las tarifas de peajes ya que las carreteras en la región son de libre acceso, ni los costos por almacenamiento de los productos. La Tabla 24 y 25 presentan los costos por kilómetro recorrido para los vehículos de 1 y 3 toneladas:

Tabla 24. Costo de Transporte por Kilómetro de Recorrido.

Tipo de Vehículo	Costos por Kilómetro Recorrido				
Capacidad de 1 Tonelada	Factores	Unidad de Medida	Costo por Unidad (\$)	Total (\$)	Costo Total (1km)
	Combustible	Litros/kilómetros 1L/8Km=0.125	Costo por litro de combustible 24.38	3.0475	
	Mantenimiento	Kilómetros 1 km	Costo por kilómetro 0.0375	0.15	
	Viáticos y maniobras	Hora de trabajo 1h	Costo por hora 49.23	0.8205	
		Velocidad promedio km/h 60km/h	Costo por kilómetro 0.8205		\$4.018

Tabla 25. Costo de Transporte por Kilómetro de Recorrido. (Continúa).

Tipo de Vehículo	Costos por Kilómetro Recorrido					
Capacidad de 3 Toneladas	Factores		Unidad de Medida	Costo por Unidad (\$)	Total (\$)	Costo Total (1km)
	Combustible	Litros/kilómetros 1L/4Km=0.25		Costo por litro de combustible 24.38	6.095	
	Mantenimiento	Kilómetros 1 km		Costo por kilómetro 0.0375	0.15	
	Viáticos y maniobras	Hora de trabajo 1h		Costo por hora 49.23	0.8205	
		Velocidad promedio km/h 60km/h		Costo por kilómetro 0.8205		
						\$7.0655

4.5.7.2 Costos por Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (CO₂).

En los últimos años, la contaminación por emisiones de gases efecto invernadero se ha convertido en una preocupación a nivel global. Sin embargo, existen pocos estudios que abordan este problema en relación con los costos ambientales asociados al transporte de productos agropecuarios, particularmente en zonas rurales y periurbanas. Este vacío en la investigación presenta una oportunidad para cuantificar y abordar este tema.

En este contexto, en la Tabla 26 se presenta el cálculo de los costos por emisiones de gases de efecto invernadero (CO₂) por kilómetro recorrido en relación con el transporte de la cosecha de traspato de la región de estudio, en un escenario de transporte de mercancías agropecuarias sin refrigeración para vehículos de 1 y 3 toneladas.

Tabla 26. Costo por Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (CO₂).

Costo por Kilómetro de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (CO ₂).			
Descripción	Fórmula	Valor	Valor
Distancia recorrida en Km	-----	1km	1km
Tipo de vehículo utilizado	-----	1 tonelada	3 toneladas
Consumo de combustible (Litros/100km)	1L/8km para vehículo de 1 tonelada. 1L/4km para vehículo de 3 toneladas.	0.125L	0.25L
Emisiones de CO ₂ por litro de combustible (kg/L)	3.159 kg CO ₂ /L (factor de emisión de CO ₂ para gasolina)	3.159 kg CO ₂ /L	3.159kg CO ₂ /L
Emisiones totales de CO ₂ (kg)	(Consumo de combustible) * Factor de emisión de CO ₂ * Distancia recorrida. Emisiones CO ₂ = 0.125L * 3.159Kg/L*1km Emisiones CO ₂ = 0.25L * 3.159Kg/L*1km	0.394875 kg de CO ₂	0.78975kg de CO ₂
Costo por tonelada de Co ₂	-----	\$262	\$262
Costo total de Co ₂	(Emisiones totales de Co ₂ /1000) * Costo por tonelada de Co ₂ . Costo total de CO ₂ = (0.394875/1000) * 262 Costo total de CO ₂ = (0.78975/1000) * 262	\$0.10345725	\$0.2069145

Fuente: Base de cálculo (INECC, 2014).

4.5.7.3 Costos de Operación de un Centro de Acopio.

Los centros de acopio propuestos en la región de estudio serán instalaciones diseñadas para recibir las cosechas de los campesinos antes del envío a los centros de demanda. Estos centros de acopio, en particular, serán de tipo itinerante y se ubicarán en lugares óptimos o factibles que pueden ser desplazados según las necesidades y escenarios de la temporada de cosecha.

Para determinar los costos de operación de estos centros de acopio, es necesario considerar varios elementos que influyen en los gastos asociados con su funcionamiento.

Estos elementos son:

- **Infraestructura:** Se presupone el costo del alquiler del espacio físico para los centros de acopio.
- **Equipamiento:** Se tiene en cuenta los costos de adquisición y mantenimiento de los equipos utilizados en estas instalaciones.
- **Personal y mano de obra:** Esto incluye los salarios del personal que trabaja en los centros de acopio.
- **Servicios públicos:** Engloba los gastos de servicios básicos como electricidad y agua.

A continuación, se presenta una estimación de los costos de operación aproximados para los centros de acopio durante un semestre, detallados en la Tabla 27.

Tabla 27. Costos Estimados de Operación de los Centros de Acopio.

N.º	Elementos	Costos de Operación de los Centros de Acopio.	
		Costo Mensual (\$)	Costo Semestral (\$)
1	Infraestructura (Alquiler y mantenimiento)	15,000.	90,000.
2	Mano de obra:		
	Encargado de operaciones (1)	9,000.	54,000.
	Recepción y descarga (2)	12,000.	72,000.
	Clasificadores (2)	12,000.	72,000.
3	Servicios básicos:		
	Agua	500.	3,000.
	Electricidad	1000.	6,000.
	Servicios de comunicación	1500.	9,000.
4	Otros costos	10,000.	60,000.
Total		61,000.	366,000.

Fuente: Elaboración propia.

Capítulo 5. Resultados.

5.1 Descripción del Modelo Matemático.

En este apartado, se plantea un modelo matemático de localización de instalaciones no capacitado de tres niveles y multiproducto, “Three-echelon Multiproduct Uncapacitated Facility Location Problem”, (TMUUFLP), formulado en programación lineal multiobjetivo. Este modelo de localización es discreto, y el número de centros de acopio y centros de demanda es conocido y finito. El objetivo es diseñar una red de acopio de productos agrícolas de traspatio en la Región Intermunicipal de Misantla, con el objetivo de que las comunidades rurales inmersas en la región de estudio entreguen a dos centros de demanda a través de centros de acopio. En esta red de acopio no se permite que una comunidad entregue directamente su cosecha agrícola-traspatio a los centros de demanda.

Este modelo evalúa la red de acopio mediante la simulación de escenarios, con el propósito de valorar el comportamiento del sistema en distintas condiciones de la demanda. Cuenta con dos funciones objetivo: la primera función objetivo busca reducir los costos globales de transporte en función de la distancia de recorrido de los proveedores traspatio hacia los posibles centros de acopio, y posteriormente de los centros de acopio a los centros de demanda. En estos costos se incorporan los costos asociados por las emisiones de gases de efecto invernadero (CO_2) generados durante el transporte de la mercancía, y también se suman los costos de operación de los centros de acopio. La segunda función objetivo busca maximizar la carga de transporte, teniendo en cuenta la temporada de cosecha de los productos agrícolas de traspatio. Las unidades de transporte son de una y de tres toneladas de carga.

Los elementos de información incluyen 403 localidades productoras-traspatio que representan los nodos de origen, y 12 ubicaciones candidatas para la ubicación de los centros de acopio que representan los centros de acopio como nodos de transbordo. Por otro lado, se establecen dos centros de demanda: Misantla y Juchique de Ferrer; que actúan como nodos de destino. La región de estudio produce 25 tipos de productos traspatio, divididos en dos categorías principales: productos agrícolas y productos pecuarios. El volumen de producción se proyecta en unidades comerciales, dividido en dos temporadas: primavera-verano (correspondiente a la producción del primer semestre) y otoño-invierno (correspondiente a la producción del segundo semestre). El problema se plantea como un TMUUFLP y se desarrolla en Python® 3.11; una

herramienta de programación de lenguaje de alto nivel de programación interpretado que ejecuta directamente el código, línea por línea.

La Figura 35 representa la red de conexión entre los centros de acopio y las comunidades proveedoras de productos agrícolas-traspatio de la recolección traspatio en la red de transporte propuesta en la región de estudio. El flujo de productos comienza en las localidades productoras (i), donde los productores transportarán sus mercancías hacia un centro de acopio (ki); posteriormente, en el centro de acopio, se prepara la carga de acuerdo con la demanda de cada producto, y finalmente, la mercancía se transporta hacia los centros de demanda (ji). Para el transporte desde una localidad hacia un posible centro de acopio, se emplean vehículos de 1 tonelada, mientras que, para el transporte desde un centro de acopio hacia un centro de demanda, se utilizan vehículos de 3 toneladas.

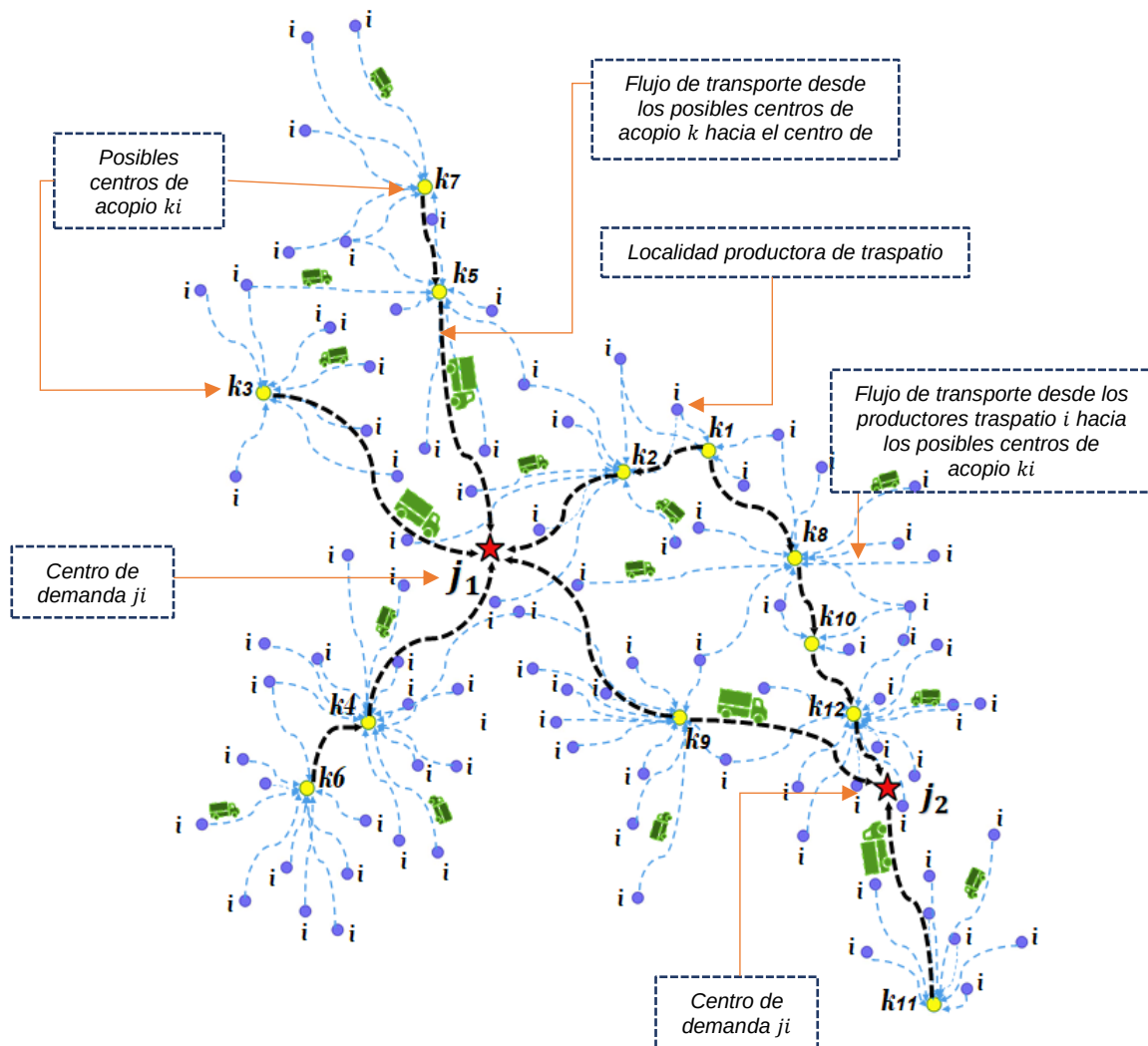


Figura 35. Representación del Flujo de la Red de Transporte de la Región de Estudio.

En el marco de esta investigación, es indispensable comprender la siguiente nomenclatura:

- **Producción Agrícola de Traspatio:** Representa los 25 productos de traspatio, que se integran por frutas y hortalizas, además de un producto pecuario: el blanquillo.
- **Localidades Productoras de Traspatio:** Se refiere a las 403 localidades de la Región Intermunicipal de Misantla donde se lleva a cabo el cultivo y crianza de animales de forma traspatio, en cada una de las cuales se ubica un número indeterminado de productores agrícolas de traspatio.
- **Productores Agrícolas de Traspatio:** Son los habitantes de una localidad en la región de estudio que se dedican en alguna actividad de traspatio, ya sea agrícola o pecuaria.
- **Localidades Candidatas a Centros de Acopio:** Corresponden a las 12 localidades identificadas como posibles ubicaciones para los centros de acopio.
- **TMUUFLP:** Modelo matemático de localización de instalaciones no capacitado de tres niveles y multiproducto.
- **Centro de Acopio:** Instalaciones que concentrarán la producción agrícola de traspatio de la Región Intermunicipal de Misantla.
- **Centros de Demanda:** Son los mercados de abastecimiento que pertenecen a los municipios de Misantla y Juchique de Ferrer.
- **Primera Temporada:** Son las cosechas de la producción traspatio de primavera-verano, correspondiente al primer semestre.
- **Segunda Temporada:** Son las cosechas de la producción traspatio de otoño-invierno, correspondiente al segundo semestre.

5.2 Supuestos y Consideraciones del Modelo.

Con base al modelo TMUUFLP se propone diseñar una red de acopio y transporte productos agrícolas de traspatio en la Región Intermunicipal de Misantla. Este modelo considera aspectos relacionados con el acopio desde comunidades agrícolas a los centros de acopio rurales y la distribución de los productos traspatio a los centros de demanda ubicados en Misantla y Juchique de Ferrer. El objetivo es determinar la ubicación óptima de los centros de acopio en la región de estudio, caracterizados por su capacidad ilimitada para recibir la producción agrícola de traspatio, es decir, no toma en cuenta restricciones de capacidad. Específicamente se busca optimizar la distribución de los productos de traspatio en la cantidad de productos solicitados por los centros de demanda, lo que implica una adaptación dinámica a las necesidades de los centros

de demanda y los pedidos específicos. El modelo TMUUFLP programado en Python® (Python Software Foundation, 2023) se construye bajo las siguientes consideraciones:

- I. Los centros de acopio para atender un requerimiento se priorizan de acuerdo con la capacidad de proveeduría y la diversidad de los productos agrícolas de las comunidades más cercanas —en su radio de cobertura—. Esta jerarquización se realiza cada vez que se atiende un nuevo requerimiento en tanto el centro de acopio tenga productos agrícolas de sus comunidades para asegurar las necesidades de sus mercados.
- II. La demanda se satisface hasta que los centros de demanda estén completamente abastecidos, por lo que los centros de acopio que vayan agotando su producción se irán descartando en el sistema.
- III. La proyección del volumen de producción traspatio es anual, representada en unidades comerciales en dos temporadas: la cosecha de primavera-verano, que corresponde a la producción del primer semestre, y la cosecha de otoño-invierno, que pertenece a la producción del segundo semestre.
- IV. En esta red de acopio y de distribución de productos agrícolas de traspatio, los productores agrícolas de traspatio transportarán sus productos en función de la menor distancia entre su ubicación (comunidad) y el centro de acopio más cercano.
- V. Los centros de acopio abastecerán a los centros de demanda siguiendo un orden de prioridad. Esto es, primero los centros de acopio que cuenten con una mayor diversidad de productos agrícolas de traspatio y, además, tengan un mayor volumen de producción para suministrar primero a los centros de demanda. Esta prioridad busca que los centros de acopio con mayor oferta diversificada en mayor volumen, sean los primeros que agoten sus existencias para maximizar el transporte de la producción agrícola.
- VI. La demanda solicitada por cada centro de demanda se realiza por tipo de producto y varía según los requerimientos de cada centro de demanda.
- VII. EL requerimiento de cada centro de demanda se atiende de acuerdo con la mayor cantidad y un volumen de productos solicitados, en comparación al otro centro de demanda. Es decir, primero se atiende al centro de demanda que solicite mayor requerimiento.
- VIII. Si la oferta de los productos agrícolas de traspatio en los centros de acopio no se agota del todo cuando se atiende un requerimiento o bien no se ocupa dicha oferta para atender dicho requerimiento; el centro de acopio mantiene un inventario en sus comunidades —no cosechado— para atender un nuevo requerimiento de los centros de demanda.

- IX. Los productores agrícolas traspatio $\{I\}$ no entregan directamente al centro de demanda $\{J\}$; por lo tanto, ellos, solamente transportarán sus cosechas a las 12 localidades determinadas como centros de acopio $\{K\}$.
- X. La producción agrícola de traspatio $\{H_I\}$ se divide en dos tipos: productos agrícolas, que incluyen frutas y hortalizas; y se incluye un producto pecuario el blanquillo.
- XI. Para el transporte de la producción agrícola traspatio $\{V\}$, desde las localidades hacia los centros de acopio se considera vehículos de 1 tonelada, mientras que, para el transporte de los centros de acopio hacia los centros de demanda, se utilizan vehículos de 3 toneladas.
- XII. Los productos agrícolas-traspatio no requieren de refrigeración para su transporte.
- XIII. Debido a la temporalidad de cosecha de los productos agrícolas de traspatio, algunas localidades dejan de cultivarlos. Entonces, para asegurar el funcionamiento eficiente de los centros de acopio para atender el requerimiento de los centros de demanda, una comunidad rural teniendo producto agrícola en oferta, puede llevar su cosecha al siguiente centro de acopio más cercano, aun y cuando se localice fuera del radio de cobertura del centro de acopio. Esta consideración, permite que las comunidades agrícolas encuentren la alternativa de “sacar” su producción agrícola.

5.3 Pseudocódigo en Python®.

Con el propósito de resolver el modelo TMUUFPLP, se ha desarrollado un pseudocódigo que establece la estructura lógica de programación y representa la secuencia de operaciones de la red logística de acopio de producción traspatio. Posteriormente, este pseudocódigo se codifica en Python® 3.11. Las líneas del pseudocódigo son las siguientes:

- I. En la primera etapa, se selecciona el número de centros de acopio que se consideran para cada escenario y estos pueden ser de 1 a 12. Este proceso es determinado por el tomador de decisiones.
- II. La siguiente etapa corresponde a la relación entre las localidades y los centros de acopio, es decir el modelo determina y asigna qué localidades deben enviar a los centros de acopio en función de la distancia mínima.
- III. La tercera etapa determina la producción total de cada centro de acopio, que consiste en la suma total de cada producto proporcionado por las localidades asignadas.

- IV. En la cuarta etapa, se determina qué centro de demanda debe abastecerse primero, es decir, se establecen las prioridades, y se determina qué centros de acopio deben abastecer a los centros de demanda por orden de prioridad, considerando el producto que se está solicitando.
- V. En la quinta etapa, el código verifica y selecciona a los centros de acopio que tienen productos disponibles. Si un centro de acopio no tiene productos, se elimina de la lista. Además, determina que, si aún hay productos traspasio disponibles en los centros de acopio, se puede hacer un nuevo requerimiento tantas veces sea necesario o hasta agotar los productos.
- VI. En la sexta etapa, el código determina los costos totales de la red. Sin embargo, si existen nuevos requerimientos el código actualiza los costos de la red.

A continuación, se presenta el pseudocódigo de la codificación del modelo TMUUFLP en Python®:

1. Leer un archivo CSV llamado **"archivoBDD"**, el cual contiene los costos de transporte de una tonelada desde las localidades productoras traspasio hacia los centros de acopio y luego guardar los datos en la variable **'dataset'**.
2. Convertir el DataFrame **"dataset"** en un arreglo de valores, y almacenarlos en una variable llamada **"arreglo"**.
3. Leer un archivo CSV llamado **"archivoBDD2"** que contiene los costos de transporte de tres toneladas desde los centros de acopio hacia los centros de demanda y cargar su contenido en el DataFrame denominado **"dataset2"**.
4. Convertir el DataFrame **"dataset2"** en un arreglo de valores y almacenarlos en una variable llamada **"demanda"**.
5. Crear un DataFrame llamado **"df"** utilizando los valores almacenados en la variable **"demanda"**.
6. Definir las columnas del DataFrame **"df"** como **'CentroA'**, **'demanda Juchique de Ferrer'** y **'Demanda Misantla'**.
7. Leer el archivo CSV llamado **"archivoBDD3"**, que contiene los costos por emisiones de gases de efecto invernadero (CO₂) relacionados con el transporte de una tonelada desde las localidades productoras traspasio hacia los centros acopio y cargar su contenido en un DataFrame llamado **"dataset3"**.

8. Convertir el DataFrame **"dataset3"** en un arreglo de valores y almacenarlos en una variable llamada **"costoCO2L"**.
9. Leer un archivo CSV **"archivoBDD4"**, que contiene los costos por emisiones (CO₂) relacionados con el transporte de tres toneladas desde los centros acopio hasta los centros de demanda y cargar su contenido en un DataFrame denominado **"dataset4"**.
10. Convertir el DataFrame **"dataset4"** en un arreglo de valores y almacenarlos en una variable llamada **"costoCO2De"**.
11. Crear una lista llamada **"Centro"** con los siguientes elementos: **"Arroyo Frio"**, **"Ignacio Zaragoza"**, **"Vicente Guerrero"**, **"Arroyo Hondo"**, **"La Desviación de Colorado"**, **"Santa Clara"**, **"Colipa"**, **"Yecuatla"**, **"La Defensa"**, **"Plan de las Hayas"** y **"Dos Arroyos"**.
12. Crear una lista vacía llamada **"CentroA"**.
13. Crear una lista llamada **"CentroA2"** con los siguientes elementos: **'Localidad'**, **'Arroyo Frio'**, **'Plan De La Vega'**, **'Ignacio Zaragoza'**, **'Vicente Guerrero'**, **'Arroyo Hondo'**, **'La Desviación De Colorado'**, **'Santa Clara'**, **'Colipa'**, **'Yecuatla'**, **'La Defensa'**, **'Plan De Las Hayas'** y **'Dos Arroyos'**.
14. Crear un DataFrame llamado **"dfCostoCO2L"** utilizando los valores almacenados en la variable **"costoCO2L"**.
15. Definir las columnas del DataFrame **"dfCostoCO2L"** utilizando la lista **"CentroA2"**.
16. Imprimir el DataFrame **"dfCostoCO2L"**.
17. Crear un DataFrame llamado **"costoCO2De"** utilizando los valores almacenados en la variable **"costoCO2De"**.
18. Definir las columnas del DataFrame **"costoCO2De"** como **'CentroA'**, **'Demanda Juchique de Ferrer'** y **'Demanda Misantla'**.
19. Leer el archivo CSV llamado **"archivoProduccion"** que contiene el volumen de producción agrícola traspatio de las 403 localidades del primer semestre y cargar su contenido en un DataFrame llamado **"produccion"**.
20. Leer el archivo CSV llamado **"archivoDemanda"**, el cual contiene la demanda de la producción agrícola traspatio de Juchique de Ferrer y Misantla. Luego cargar su contenido en un DataFrame llamado **"demandaA"**.
21. Inicializar la variable **"tamanno"** con el valor 403 (Número localidades productoras traspatio).
22. Crear una lista vacía llamada **"indicesCentroAcopio"**.

23. Obtener la lista de valores almacenada en **"arreglo"** en la posición 0 y almacenarla en **"listaAna"**.
24. Crear una lista llamada **"CentroD"** con los siguientes elementos: **"Juchique de Ferrer"** y **"Misantla"**.
25. Inicializar la variable **"numeroCAcopio"** con el valor **"n"**, el cual es asignado por el decisor, y estos valores comprenden desde 1 hasta 12, correspondientes al número de centros de acopio.
26. Definir una función llamada **"mejorCentroA"**.
27. Imprimir el contenido de la variable **"arreglo"**.
28. Crear una lista vacía llamada **"centroAcopioDistancia"**.
29. Para **"i"** en el rango de 1 a 13, calcular la suma de los valores en la columna **"i"** de **"arreglo"** y agregarla a **"centroAcopioDistancia"**.
30. Definir una variable **"numeroCAcopio"** con el valor **"n"**, el cual fue ingresado por el decisor.
31. Crear una lista llamada **"centroAcopioDistancia"** que contiene valores numéricos.
32. Obtener los **"numeroCAcopio"** más pequeños de la lista **"centroAcopioDistancia"** y guardarlos en la variable **"top"** utilizando la función **"heapq. nsmallest (numeroCAcopio, centroAcopioDistancia)"**.
33. Imprimir los elementos de **"top"**.
34. Para cada elemento **"ca"** en la lista **"top"**, hacer lo siguiente:
35. Encontrar el índice de **"ca"** en la lista **"centroAcopioDistancia"** y almacenarlo en la variable **"indiceMCA"**.
36. Agregar (**indiceMCA + 1**) a la lista **"indicesCentroAcopio"**.
37. Imprimir **'indice'** seguido del valor de **"indiceMCA"**.
38. Imprimir **'CentroA'** seguido del valor de **"ca"**.
39. Agregar el elemento correspondiente de la lista **"Centro"** (en la posición **"indiceMCA"**) a la lista **"CentroA"**.
40. Imprimir **'Centro Acopio'** seguido del valor de **"indiceMCA"**.
41. Imprimir **'NCentro Acopio'** seguido del contenido de la lista **"CentroA"**.
42. Devolver la lista **"indicesCentroAcopio"** como resultado de la función.
43. Definir una función llamada **"Transporte"**.

44. Dentro de la función **"Transporte"**, realizar lo siguiente: crear un DataFrame llamado **"resultados"** con columnas vacías: **'Localidad'**, **'Centro de Acopio'**, **'L-C'**, **'Demanda'** y **'C - CD'**. Luego se Inicializa la variable **"distancia"** con el valor 0.
45. Obtener los índices de los mejores centros de acopio utilizando la función **"mejorCentroA ()"** y almacenarlos en **"indicesMCA"**.
46. Para **"i"** en el rango de 0 a **"tamanno - 1"**, realizar lo siguiente:
47. Obtener la lista de valores **"listaAna"** desde **"arreglo"** en la posición **"i"**.
48. Encontrar el valor mínimo en la sublista de **"listaAna"** correspondiente a los índices almacenados en **"indicesMCA"** y almacenarlo en **"minimo"**.
49. Incrementar la variable **"distancia"** sumando el valor mínimo.
50. Buscar el índice en **"listaAna"** donde se encuentra el valor mínimo y almacenarlo en **"indice"**.
51. Imprimir **"listaAna"** con los índices correspondientes a **"indicesMCA"**.
52. Imprimir el valor de **"minimo"**.
53. Imprimir **'indice del centro de acopio'** seguido del valor de **"indice"**.
54. Imprimir **'indice del centro de acopio'** seguido de los valores de **"listaAna"** desde la posición 0 hasta la 12 (13 elementos en total).
55. Obtener la lista de demanda correspondiente al índice **"indice [0] - 1"** y almacenarla en **"listaDemanda"**.
56. Imprimir **'Paso'**.
57. Encontrar el valor mínimo en la sublista de **"listaDemanda"** desde la posición 1 hasta la 2 (3 elementos en total) y almacenarlo en **"CDemanda"**.
58. Encontrar el índice en **"listaDemanda"** donde se encuentra el valor mínimo **"CDemanda"** y almacenarlo en **"indiceDemanda"**.
59. Imprimir **'Paso2'**.
60. Incrementar la variable **"distancia"** sumando el valor mínimo **"minimo"** y el valor mínimo de demanda **"CDemanda"**.
61. Imprimir **'Paso3'**.
62. Imprimir el valor de **"indice [0]"**.
63. Crear un DataFrame llamado **"nueva"** con las siguientes columnas y valores:
64. **'Localidad'**: valor correspondiente a **"listaAna [0]"**.
65. **'Centro de Acopio'**: valor correspondiente a **"Centro [indice [0]-1]"**.
66. **'L-C'**: valor correspondiente a **"listaAna [indice [0]]"**.

67. '**Demanda**': valor correspondiente a "**CentroD [indiceDemanda [0]-1]**".
68. '**C - CD**': valor correspondiente a "**CDemanda**".
69. Asignar este DataFrame a la variable "**nueva**" y utilizar "**i**" como índice.
70. Agregar el contenido del DataFrame "**nueva**" al final del DataFrame "**resultados**".
71. Asignar el resultado de la operación anterior nuevamente a la variable "**resultados**".
72. Obtener las columnas de "**produccion**" y almacenarlas en la variable "**productos**".
73. Crear un nuevo array de columnas llamado "**columnasName**" que contiene '**Centro de Acopio**' seguido de las columnas de "**productos**" desde la posición 1 en adelante.
74. Crear un DataFrame llamado "**produccionCATotal**" con las columnas especificadas en "**columnasName**".
75. Para cada "**CentroAco**" en la lista "**CentroA**":
76. Encontrar los índices en "**resultados**" donde la columna "**Centro de Acopio**" coincide con "**CentroAco**" y almacenarlos en la variable "**indices**".
77. Imprimir '**Localidades A**' seguido del valor de "**CentroAco**".
78. Calcular el número de productos como la longitud de la lista "**productos**" y almacenarlo en "**numerodeProductos**".
79. Crear una nueva matriz "**nuevoR**" a partir del contenido de "**resultados**" convertido en un arreglo numpy.
80. Convertir el DataFrame "**produccion**" en un arreglo numpy y almacenarlo en la variable "**proRn**".
81. Obtener las filas correspondientes a los índices almacenados en "**indices**" del arreglo numpy "**proRn**" y almacenarlas en "**produc2**".
82. Crear un DataFrame llamado "**produccionCA**" con las siguientes especificaciones:
83. Crear un DataFrame vacío con un número de columnas igual a "**numerodeProductos - 1**".
84. Las columnas del DataFrame se obtienen de "**productos**" comenzando desde la segunda columna (índice 1).
85. Asignar la columna "**Centro de Acopio**" del DataFrame "**produccionCA**" con los valores de la lista "**CentroAco**".
86. Para cada elemento "**idx**" en "**produc2**", hacer lo siguiente:
87. Para cada columna en el rango desde 1 hasta el número de columnas en "**produccionCA**" (excluyendo la columna "**Centro de Acopio**"), hacer lo siguiente:

88. Sumar el valor en la columna correspondiente de **"idx"** al valor en la misma columna de **"produccionCA"** y actualizar **"produccionCA"** con el resultado.
89. Agregar el contenido del DataFrame **"produccionCA"** al final del DataFrame **"produccionCATotal"**.
90. Imprimir el DataFrame **"produccionCATotal"** después de agregar **"produccionCA"**.
91. Para cada valor **"j"** en el rango desde 0 hasta la longitud de **"productos"** menos 1, hacer lo siguiente:
92. Imprimir **'Productos'**.
93. Crear un DataFrame llamado **"demandaP"** al seleccionar una única fila de **"demandaA"** que corresponde a la posición **"j"**.
94. Crear una variable llamada **"numeroProductosDemanda"** y obtener los valores de la columna **'Demanda Juchique de Ferrer'** en el DataFrame **"demandaP"**, convertir estos valores en un arreglo NumPy, y asignarlo a **"numeroProductosDemanda"**.
95. Crear una variable llamada **"posiblesCA"**. En el DataFrame **"produccionCATotal"**, buscar la columna correspondiente al producto **"productos[j+1]"**. Encontrar los índices donde los valores sean mayores o iguales a **"numeroProductosDemanda [0]"** y almacenar los índices resultantes en la variable **"posiblesCA"**.
96. Calcular los índices de productos donde la columna **'Demanda Misantla'** en **"demandaA"** es mayor que la columna **'Demanda Juchique de Ferrer'** y almacenarlos en **"mayorD"**.
97. Crear una variable llamada **"mayorD2"**. Convertir el DataFrame **"demandaA"** en un arreglo NumPy y asignarlo a la variable **"mayorD2"**.
98. Crear una variable llamada **"mayorDMisantla"** y asignarle las filas del arreglo **"mayorD2"** correspondientes a los índices almacenados en **"mayorD [0]"**. Luego asignar estas filas a la variable **"mayorDMisantla"**.
99. Imprimir la cadena **'Demanda Misantla'** seguida de la longitud del arreglo **"mayorDMisantla"**.
100. Calcular los índices donde la demanda en **'Demanda Misantla'** es menor que la demanda en **'Demanda Juchique De Ferrer'** en el DataFrame **"demandaA"** y almacenarlos en la variable **"mayorD_JuFe"**.
101. Crear una variable llamada **"mayorD2_JuFe"** y convertir el DataFrame **"demandaA"** en un arreglo NumPy, asignándolo a esta variable.

102. Crear una variable llamada **"mayorDJuFe"** y obtener las filas del arreglo **"mayorD2_JuFe"** que corresponden a los índices almacenados en **"mayorD_JuFe [0]"**. Asignar estas filas a la variable **"mayorDJuFe"**.
103. Imprimir la cadena 'Demanda Juchique' seguida de la longitud (cantidad de elementos) de la variable **"mayorDJuFe"**.
104. Crear una variable llamada **"mayorDemandaCD"** y asignarle una cadena vacía inicialmente.
105. Si la longitud de **"mayorDJuFe"** es mayor que la longitud de **"mayorDMisantla"**, entonces: asignar la cadena **'Demanda Juchique de Ferrer'** a la variable **"mayorDemandaCD"**.
106. En caso contrario: asignar la cadena **'Demanda Misantla'** a la variable **"mayorDemandaCD"**.
107. Obtener la primera fila del DataFrame **"produccionCATotal"**. Convertir esta fila en un arreglo NumPy y asignar el arreglo NumPy resultante a la variable **"CentroAcopio"**.
108. Crear una variable llamada **"mayorA"** y asignarle el valor numérico 0.
109. Crear un DataFrame vacío llamado **"ProductosPorCentroAcopio"** con las columnas **'Centro de Acopio'** y **'P'**.
110. Para cada valor **"c"** en el rango desde 0 hasta la longitud de **"produccionCATotal" - 1**, hacer lo siguiente: Obtener la fila **"c"** del DataFrame **"produccionCATotal"** y convertirla en un arreglo NumPy, asignándola a la variable **"CentroAcopio"**.
111. Imprimir **'CentroAcopio'**.
112. Imprimir la cantidad de elementos distintos de cero en **"CentroAcopio"** (excluyendo el primer elemento).
113. Si el número de elementos distintos de cero en **"CentroAcopio"** (excluyendo el primer elemento) es mayor que el valor actual de **"mayorA"**, actualizar **"mayorA"** con este nuevo valor.
114. Definir **numeroD** como 0.
115. Inicializar una variable llamada **"numeroD"** con el valor 0.
116. Establecer la variable **"indiceProducto"** con el valor 1.
117. Iterar a través de las columnas de **"produccionCATotal"** comenzando desde la segunda columna (índice 1).
118. Obtener el valor máximo en la columna **"d"** y asignarlo a **"maximo"**.

119. Si el valor en **"CentroAcopio"** en la posición **"indiceProducto"** es igual a **"maximo"**, entonces:
120. Incrementar **"numeroD"** en 1.
121. Incrementar **"indiceProducto"** en 1.
122. Imprimir **'Número de veces'** seguido del valor de **"numeroD"**.
123. Crear un nuevo DataFrame llamado **"nueva2"** con las siguientes columnas:
124. **'Centro de Acopio'**: Asignar el valor en la posición 0 de la variable **"CentroAcopio"**. **'P'**: Contar la cantidad de elementos distintos de cero en **"CentroAcopio"** a partir del segundo elemento **'TP'**: Asignar el valor de la variable **"numeroD"**.
125. Asignar este nuevo DataFrame a **"nueva2"** con un índice único **"c"**.
126. Agregar **"nueva2"** a **"ProductosPorCentroAcopio"**.
127. Imprimir el DataFrame **"ProductosPorCentroAcopio"**.
128. Ordenar el DataFrame **"ProductosPorCentroAcopio"** por las columnas **'P'** y **'TP'** en orden descendente y asignarlo a **"PPCAOrdenados"**.
129. Imprimir el DataFrame **"PPCAOrdenados"**.
130. Inicializar una variable llamada **"bandera"** con el valor **True**.
131. Obtener un arreglo NumPy llamado **"CentroAcopioOrdenado"** a partir de la columna **'Centro de Acopio'** del DataFrame **"PPCAOrdenados"**.
132. Asignar el nombre de la primera columna del DataFrame **"demandaA"** a la variable **"columnName"**.
133. Imprimir la cadena **'MNombre columna'** seguida del valor almacenado en la variable **"columnName"**.
134. Crear un nuevo DataFrame llamado **"red"** con columnas llamadas **'Centro de Acopio'**, **'L-C'**, **'Demanda'** y **'C - CD'**, inicializado sin datos.
135. Definir **"contadorPruebas"** como 0.
136. Establecer la variable **"pasoPrimerContingente"** en **"False"**.
137. Crear un DataFrame llamado **produccionCATotal1** a partir del DataFrame **"produccionCATotal"**, con el índice configurado como la columna **'Centro de Acopio'**.
138. Mientras **"bandera"** sea verdadero, hacer lo siguiente:
139. Asignar el valor de la primera entrada en la lista ordenada **"CentroAcopioOrdenado"** a la variable **"CAPasar"**.

140. Obtener la fila del DataFrame **"produccionCATotal1"** que tiene un índice igual a **"CAPasar"** y asignarla a la variable **"Prioridad1"**.
141. Imprimir la cadena **'La Prioridad: '** seguida del valor almacenado en la variable **"Prioridad1"**.
142. Crear una variable llamada **"demandaSolicitada"** y asignarle los valores de la columna correspondiente a **"mayorDemandaCD"** en el DataFrame **"demandaA"**.
143. Imprimir **'Centro de Acopio'** seguido del valor en la posición 0 del arreglo **"CentroAcopioOrdenado"**.
144. Imprimir **'Demanda solicitada'** seguido de los valores en la variable **"demandaSolicitada"**.
145. Establecer el valor de la variable **"index"** a 0.
146. Para cada columna **"f"** en **"produccionCATotal1"**, hacer lo siguiente:
147. Seleccionar las filas en el DataFrame **"demandaA"** donde el valor en la columna **"columnName"** sea igual a **"f"**.
148. Si el valor entero en la fila **"index"** y la columna **"mayorDemandaCD"** del DataFrame **"demandaA"** es mayor que el valor entero en la variable **"Prioridad1[f]"**, entonces:
149. Restar la cantidad de la demanda solicitada en **"mayorDemandaCD"** en la fila actual de **"demandaA"** por la cantidad de prioridad para el producto en la columna **"f"** en **"Prioridad1"**. Luego, actualizar el valor en la celda correspondiente en **"demandaA"**.
150. Establecer la columna **"f"** de **"Prioridad1"** como 0.
151. Establecer la columna **"f"** de **"produccionCATotal1"** en la fila **"CAPasar"** como 0.
152. Si la demanda en la fila **"index"** y columna **"mayorDemandaCD"** de **"demandaA"** es mayor que 0, entonces:
153. Imprimir **'Producto =', f, 'Centro de acopio:', CAPasar, 'Cantidad:',** el valor entero en **produccionCATotal1** en la fila **CAPasar** y columna **f**.
154. Imprimir **'Demanda:',** valor de **demandaA** en la fila **"index"** y columna **"mayorDemandaCD"**.
155. Restar el valor entero de **demandaA** en la fila **index** y columna **mayorDemandaCD** al valor entero en **Prioridad1[f]**.
156. Imprimir **'Produccion a cambiar después:',** valor entero en **produccionCATotal1** en la fila **CAPasar** y columna **f**.
157. Imprimir **'Demanda a cambiar después:',** seguido del valor entero en **demandaA** en la fila **index** y columna **mayorDemandaCD**.

158. Establecer el valor en **demandaA** en la fila **index** y columna **mayorDemandaCD** a 0.
159. Imprimir '**Quedaría:** ' seguido del valor en **produccionCATotal1** en la fila **CAPasar** y columna **f**.
160. Aumentar el valor de **index** en 1.
161. Imprimir '**A Yecuatla le quedan de ', f, " productos: "**, el valor en **produccionCATotal1** en la fila **CAPasar** y columna **f**.
162. Establecer la variable **elim** como Verdadero.
163. Establecer la variable **pNuevo** como 0.
164. Establecer la variable **NuevonumeroD** como 0.
165. Para cada valor '**v**' en las columnas de **produccionCATotal1**:
166. Imprimir el valor de '**v**' y el valor de **Prioridad1[v]**.
167. Si el valor de **Prioridad1[v]** es diferente de cero, entonces:
168. Incrementar el valor de '**pNuevo**' en 1.
169. Establecer '**elim**' en False.
170. Imprimir '**La mayor producción de:', v, ' es '**, el valor máximo de **produccionCATotal1[v]**.
171. Imprimir "**La producción de:** " seguido de la variable "**v**", luego "**es** " y finalmente el valor en "**produccionCATotal1**" en la fila "**CAPasar**" y columna "**v**".
172. Calcular el valor máximo en la columna "**v**" de "**produccionCATotal1**" y almacenarlo en la variable "**maximo**".
173. Si el valor en la columna "**v**" de "**Prioridad1**" es igual al valor máximo almacenado en "**maximo**", entonces: Incrementar el valor de "**NuevonumeroD**" en 1 unidad.
174. Si la variable "**elim**" es verdadera, entonces:
175. Eliminar todas las filas en el DataFrame "**PPCAOrdenados**" donde el valor en la columna '**Centro de Acopio**' sea igual a "**CAPasar**".
176. Ordenar el DataFrame "**PPCAOrdenados**" en función de las columnas '**P**' y '**TP**' en orden descendente.
177. Eliminar el primer elemento del arreglo "**CentroAcopioOrdenado**" utilizando la función **np. delete ()**.
178. Sino: Obtener los índices de **PPCAOrdenados** y almacenarlos en "**index**".
179. Crear una nueva variable "**new_val**" que indique si los valores de la columna '**Centro de Acopio**' en **PPCAOrdenados** son iguales a **CAPasar**.

180. Crear una variable **"b"** que almacene los índices de **PPCAOrdenados** que cumplen con la condición de **"new_val"**.
181. Actualizar el valor en la columna **'P'** de **PPCAOrdenados** en las filas especificadas por los índices en **"b"** con el valor de **"pNuevo"**.
182. Actualizar la columna **'TP'** en el DataFrame **'PPCAOrdenados'** para las filas especificadas por los índices contenidos en **'b'** con el valor de **'NuevonumeroD'**.
183. Ordenar el DataFrame **'PPCAOrdenados'** por las columnas **'P'** y **'TP'** en orden descendente.
184. Imprimir el DataFrame **'demandaA'**.
185. Imprimir el DataFrame **'PPCAOrdenados'**.
186. Crear un nuevo DataFrame llamado **"red2"** con las siguientes columnas: **'Centro de Acopio': CAPasar**, **'L-C': 0**; **'Demanda': mayorDemandaCD**, **'C - CD': 0**.
187. Crear un nuevo DataFrame llamado **red2** con las siguientes columnas y valores:
188. **'Centro de Acopio'** con el valor de **"CAPasar"**.
189. **'L-C'** con el valor 0.
190. **'Demanda'** con el valor de **"mayorDemandaCD"**.
191. **'C - CD'** con el valor 0.
192. Establecer el índice de **"red2"** como la longitud actual del DataFrame **"red"**.
193. Agregar las filas de **"red2"** al DataFrame **"red"** y reorganizar los índices de **"red"** para incluir las nuevas filas.
194. Imprimir el DataFrame **"red"**.
195. Establecer la variable **"suficiente"** como Verdadero.
196. Establecer la variable **"tienePS"** como Falso.
197. Establecer la variable **"hayDemanda"** como Falso.
198. Imprimir **'Total de elementos en CentroAcopioOrdenado: [cantidad de elementos en CentroAcopioOrdenado]'**.
199. Mientras el número de elementos en **"CentroAcopioOrdenado"** sea mayor que cero y **"tienePS"** sea igual a Falso:
200. Para cada elemento **"g"** en la lista de columnas de **"produccionCATotal"**, comenzando desde el segundo elemento hasta el último, haz lo siguiente:
201. Si la demanda del producto **"g"** en la columna **"mayorDemandaCD"** en el DataFrame **"demandaA"**, donde el nombre de la columna es igual a **"columnName"**, es mayor que cero, entonces hacer lo siguiente:

202. Establecer la variable **"hayDemanda"** como Verdadero.
203. Mostrar **"Centro acopio evaluar"** seguido del valor en la posición 0 del arreglo **"CentroAcopioOrdenado"**.
204. Imprimir **"Paso Por Aquí"** seguido del valor de la variable **"g"**.
205. Imprimir **"Todavía falta"** seguido de la cantidad faltante de la demanda correspondiente a la variable **"g"**.
206. Asignar el valor False a la variable llamada **"suficiente"**.
207. Obtener la fila correspondiente al primer elemento de **CentroAcopioOrdenado** en **produccionCATotal1** y asignar la fila seleccionada a la variable **nP**.
208. Imprimir un nuevo mensaje con el valor correspondiente de **nP** en la columna **g**.
209. Verificar si el valor de **nP** en la columna **g** es mayor que cero.
210. Asignar **True** a la variable **"tienePS"**.
211. Verificar si tanto **'suficiente'** como **'tienePS'** son **False**: eliminar el primer elemento de **'CentroAcopioOrdenado'**.
212. Verificar si **'hayDemanda'** es **False** y salir del bucle.
213. Imprimir **"Suficiente es: ", suficiente**.
214. Si suficiente es igual a Verdadero y **"pasoPrimerContingente"** es igual a Verdadero, entonces:
215. Para cada **pc** en las columnas de **"produccionCATotal1"** excepto la primera:
216. Imprimir **"Quedo de ", pc, " en total "**, la suma de **"produccionCATotal1[pc]"**.
217. Solicitar al usuario si desea realizar un nuevo requerimiento y almacenar la respuesta en la variable **n**.
218. Si **n** es igual a **'y'**, entonces:
219. Imprimir **"Centro de Demanda: "**
220. Imprimir **"1.- Misantla"**.
221. Imprimir **"2.- Juchique"**.
222. Imprimir **"3.- Los 2 centros de demanda"**.
223. Solicitar al usuario que ingrese un valor y almacenarlo en una variable llamada **"term"**.
224. Si el valor ingresado por el usuario (almacenado en **"term"**) es igual a 1, entonces:
225. Imprime el mensaje **"Elegiste 1.- Misantla"**.
226. Inicializar una variable llamada **"indiceP"** con valor 0.
227. Para cada columna **"pnw"** en las columnas de **"produccionCATotal"** a partir de la segunda: Imprimir un espacio en blanco y luego el nombre del producto **"pnw"**. Solicitar

al usuario que ingrese la cantidad a pedir en la entrada de texto **"Ingresa la cantidad a pedir:"** convertir la entrada de texto en valor entero y almacenarla en la variable **"cproducto"**.

228. Mostrar **'Demanda anterior: '** seguido del valor de **demandaA** en la posición **indiceP**.
229. Actualizar el valor de **'Demanda Misantla'** en la fila identificada por el índice **'indiceP'** en el DataFrame **demandaA** con el nuevo valor **'cproducto'**.
230. Incrementar el valor de **'indiceP'** en 1 unidad.
231. Asignar el valor **'Demanda Misantla'** a la variable llamada **'mayorDemandaCD'**.
232. Imprimir el mensaje **'Demanda Final'**.
233. Imprimir el contenido del DataFrame **'demandaA'**.
234. Si **'term'** es igual a 2, entonces: Imprimir **"Elegiste 2.- Juchique"**.
235. Inicializar **'indiceP'** en 0.
236. Para cada **'pnw2'** en las columnas de **'produccionCATotal'** a partir de la segunda columna: Imprimir una línea en blanco. Posteriormente Imprimir el valor de **'pnw2'**.
237. Solicitar al usuario ingresar la cantidad a pedir y almacenarla en la variable **'cproducto'**.
238. Imprimir **'Demanda anterior'** seguido del valor de **'demandaA'** en la ubicación indicada por la variable **'indiceP'**.
239. Actualizar el valor de **demandaA** en la ubicación especificada por la variable **indiceP** y la columna **'Demanda Juchique de Ferrer'** con el valor de **cproducto**.
240. Incrementar **'indiceP'** en 1.
241. Establecer **'mayorDemandaCD'** como **'Demanda Juchique de Ferrer'**
242. Imprimir **"Demanda Final"**.
243. Imprimir **'demandaA'**.
244. En caso contrario: Imprimir **"Elegiste las 2.- Juchique - Misantla \n"**.
245. Inicializar la variable **'indiceP'** a 0.
246. Para cada columna **'pnw3'** en las columnas de **'produccionCATotal'**, comenzando desde la segunda columna: Imprimir una línea en blanco. Posteriormente imprimir el valor de **'pnw3'**.
247. Solicitar al usuario que ingrese la cantidad de producto **'cproducto'** para la ubicación **"Juchique"**.
248. Actualizar la cantidad de demanda en la fila identificada por **'indiceP'** y la columna **'Demanda Juchique de Ferrer'** de la variable **'demandaA'** con el valor ingresado por del usuario **'cproducto'**.

249. Solicitar al usuario que ingrese la cantidad a pedir para Misantla y almacenar la cantidad ingresada en la variable **'cproducto'**.
250. En el DataFrame **'demandaA'**, en la fila con índice **'indiceP'** y en la columna **'Demanda Misantla'**, asignar el valor de **'cproducto'**.
251. Incrementar la variable **'indiceP'** en 1 unidad.
252. Imprimir **"Demanda Final"** e imprimir DataFrame **'demandaA'**.
253. En el DataFrame **'demandaA'**, encontrar los índices donde la **'Demanda Misantla'** sea mayor que **'Demanda Juchique de Ferrer'** y almacenarlos en la variable **'mayorD'**.
254. Convertir el DataFrame **'demandaA'** en una matriz numpy llamada **'mayorD2'**.
255. Usando la matriz numpy **'mayorD2'**, seleccionar las filas que corresponden a los índices almacenados en **'mayorD [0]'** y Almacenar estas filas seleccionadas en la variable **'mayorDMisantla'**.
256. Imprimir **"Demanda Misantla "** seguido de la longitud (número de filas) de la matriz **'mayorDMisantla'**.
257. En el DataFrame **'demandaA'**, encontrar los índices donde **'Demanda Misantla'** sea menor que **'Demanda Juchique de Ferrer'**. Almacenar los índices encontrados en la variable **'mayorD_JuFe'**.
258. Convertir el DataFrame **'demandaA'** en una matriz numpy llamada **'mayorD2_JuFe'**.
259. Usando la matriz numpy **'mayorD2_JuFe'**, seleccionar las filas que corresponden a los índices almacenados en **'mayorD_JuFe [0]'**. y las almacena estas filas seleccionadas en la variable **'mayorDJuFe'**.
260. Imprimir **"Demanda Juchique "** seguido de la longitud (número de filas) de la matriz **'mayorDJuFe'**.
261. Inicializar la variable **'mayorDemandaCD'** como una cadena vacía.
262. Si la longitud de **'mayorDJuFe'** es mayor que la longitud de **'mayorDMisantla'**, entonces:
263. Asignar la cadena **'Demanda Juchique de Ferrer'** a la variable **'mayorDemandaCD'**.
264. Si la condición anterior no se cumple (es decir, si la longitud de **'mayorDJuFe'** no es mayor que la longitud de **'mayorDMisantla'**), entonces:
265. Asignar la cadena **'Demanda Misantla'** a la variable **'mayorDemandaCD'**.
266. Establecer la variable **'pasoPrimerContingente'** como False.
267. Establecer la variable **'suficiente'** como False.
268. Crear un arreglo **'CentroAcopioOrdenado'** a partir de los datos en la columna **'Centro de Acopio'** de **'PPCAOrdenados'**.

269. Imprimir los datos de **'PPCAOrdenados'**.
270. Si no se cumple la condición anterior: Inicializar la variable **'costo'** en 0.
271. Para cada valor en el rango desde 0 hasta la cantidad de filas en el DataFrame **'resultados'**:
272. Imprimir los datos del registro actual en el DataFrame **'resultados'**.
273. Asignar el valor de la columna **'Localidad'** del registro actual en el DataFrame **'resultados'** a la variable **'localidad'**.
274. Asignar el valor de **'Centro de Acopio'** del registro actual en **'resultados'** a la variable **'centroAcopio'**.
275. Obtener el **precio del CO** (dióxido de carbono) desde el DataFrame **'dfCostoCO2L'** utilizando los valores de **'registro'** y **'centroAcopio'** como índices y asignarlo a la variable **'precioCO'**.
276. Imprimir el mensaje **'Antes precio Co Registro,'** seguido del valor de la variable **'precioCO'**.
277. Imprimir en la consola el mensaje **"La localidad es:"** seguido del valor de la variable **'localidad'**.
278. Calcular el costo actualizado:
279. Obtener el valor de **'L-C'** del registro actual en **'resultados'**.
280. Obtener el valor de **'precioCO'** y convertirlo a un número decimal.
281. Sumar el valor de **'L-C'** al costo actual.
282. Sumar el valor convertido de **'precioCO'** al costo actual.
283. Imprimir **"Costos de la red para localidades a acopio:"** seguido del valor de la variable **'costo'**.
284. Para cada valor en el rango desde 0 hasta la cantidad de filas en el DataFrame **'red'**, realizar las siguientes acciones:
285. Obtener el valor de la columna **'Centro de Acopio'** en la fila actual del DataFrame **'red'** y asignar ese valor a la variable **'centro'**.
286. Obtener el valor de la columna **'Demanda'** en la fila actual del DataFrame **'red'**, y asignar ese valor a la variable **'centroDe'**.
287. Imprimir **"Resultado:"** seguido del valor de la variable **'centro'**.
288. Imprimir **"centroDe:"** seguido del valor de la variable **'centroDe'**.
289. Filtrar el DataFrame **'df'** para obtener las filas donde el valor en la columna **'CentroA'** sea igual al valor de la variable **'centro'**, y asignar el resultado a la variable **'datos'**.

290. Filtrar el DataFrame **'costoCO2De'** para obtener las filas donde el valor en la columna **'CentroA'** sea igual al valor de la variable **'centro'**, y asignar el resultado a la variable **'centroDemanda'**.
291. Imprimir el contenido del DataFrame **'datos'**.
292. Imprimir el mensaje **"Precio:"** seguido del valor convertido a decimal de la columna **'centroDe'** en el DataFrame **'datos'**.
293. Imprimir el contenido del DataFrame **'centroDemanda'**.
294. Imprimir el mensaje **"Precio 2 Cd:"** seguido del valor convertido a decimal de la columna **'centroDe'** en el DataFrame **'centroDemanda'**.
295. Actualizar el **costo** total: Sumar al **costo** actual el valor convertido a decimal de la columna **'centroDe'** en el DataFrame **'datos'**. Posteriormente sumar al **costo** actual el valor convertido a decimal de la columna **'centroDe'** en el DataFrame **'centroDemanda'**.
296. Actualizar el costo total:
297. Calcular el **costo** adicional multiplicando el número de centros de acopio (**'numeroCAcopio'**) por 366,000, y sumar el costo adicional al costo actual.
298. Imprimir el mensaje **"Costos de la red para localidades total a acopio:"** seguido del valor de la variable **'costo'**.
299. Asignar el valor booleano False a la variable **'bandera'**.
300. Si **'suficiente'** es igual a True y **'pasoPrimerContingente'** es igual a False, realizar las siguientes acciones:
301. Establecer **'pasoPrimerContingente'** como True.
302. Obtener los valores de la columna **'Centro de Acopio'** del DataFrame **'PPCAOrdenados'**, convertir la columna en un arreglo NumPy, y asignar el arreglo resultante a la variable **'CentroAcopioOrdenado'**.
303. Si **'mayorDemandaCD'** es igual a **'Demanda Juchique de Ferrer'**, entonces:
304. Asignar la cadena de texto **'Demanda Misantla'** a la variable **'mayorDemandaCD'**.
305. De lo contrario: Asignar la cadena de texto **'Demanda Juchique de Ferrer'** a la variable **'mayorDemandaCD'**.
306. Imprimir en la consola el mensaje "Paso mal". Posteriormente imprimir el valor de la variable **'suficiente'**, y llamar a la función **"Transporte ()"**.

5.4 Términos y Definiciones del Modelo Matemático.

En este apartado se definen los elementos que componen el modelo TMUUFLP, los cuales forman parte del conjunto de actores de la red de abastecimiento, la distribución de los productos traspatio, la temporada, entre otros aspectos.

5.4.1 Índices.

i Localidades productoras traspatio; donde $(i = 1, 2, 3, \dots, 403)$; $i \in \{I\}$.

k_i Localidades candidatas a centros de acopio; donde $(k_i = 1, 2, 3, \dots, 12)$; $k_i \in \{K\}$.

j_i Indica los centros de demanda; donde $(j_i = 1, 2)$; $j_i \in \{J\}$.

h_i Tipos de productos de traspatio, agrícolas y pecuario (h_i); para todo $(h_i = 1, 2, 3, \dots, 25)$; $h_i \in \{H_I\}$.

t_i Temporada de la producción traspatio del primer semestre (t_1), y temporada del segundo semestre (t_2); donde $(t_i = 1, 2)$; $t \in \{T\}$.

r Representa la Región Intermunicipal de Misantla, donde $(r = 1)$; $r \in \{R\}$.

v_i Tipo de vehículo para el transporte de productos traspatio; donde $(v_i = 1, 2)$; $v_i \in \{VI\}$.

5.4.2 Parámetros.

A continuación, se presentan los parámetros considerados en la construcción del modelo matemático:

o_i Producción de traspatio en unidades comerciales de la localidad productora " i " ($i = 1, 2, 3, \dots, I$), del producto traspatio " h_i " ($h_i = 1, 2, 3, \dots, H_I$) en la temporada " t_i " ($t_i = 1, 2$).

O_i Producción traspatio regional, por tipo de producto " h_i " ($h_i = 1, 2, 3, \dots, H_I$).

d_{i,k_i} Distancia desde la localidad productora traspatio " i " ($i = 1, 2, 3, \dots, I$), hasta la localidad candidata a centro a centro de acopio " k_i " ($k_i = 1, 2, 3, \dots, K$).

d_{k_i,j_i} Distancia desde la localidad candidata a centro de acopio " k_i " ($k_i = 1, 2, 3, \dots, K$), hasta el centro de demanda ($j_1, j_2 \in \{J\}$).

$D_{j_i}^{h_i, t_i}$ Demanda del producto " h_i " ($h_i=1,2,3,...,H_i$), para cada centro de demanda ($j_1, j_2 \in \{J\}$), en la temporada " t_i " ($t_i = 1,2$).

M_{k_i} Capacidad de procesamiento del centro de acopio " k_i " ($k_i = 1,2,3, \dots, K$).

W_{v_i} Capacidad del vehículo ($v_1, v_2 \in \{VI\}$).

C_{v_i} Costo de transporte por kilómetro para el vehículo ($v_1, v_2 \in \{VI\}$).

$C_e^{v_i}$ Costo por emisiones de CO_2 por kilómetro recorrido, para el vehículo ($v_1, v_2 \in \{VI\}$).

C_{op} Costo de operación de un centro de acopio " k_i " ($k_i = 1,2,3, \dots, K$).

w_i Costos de viáticos, maniobra y mantenimiento; " w_i " ($w_i = 1,2,3, \dots, W$).

5.4.3 Variables.

Las variables de decisión empleadas para la modelación matemática se componen de variables binarias y variables continuas.

$Y_i \begin{cases} 1, \text{Indica si la localidad candidata a centro de acopio } (k_i), \text{ es seleccionada;} \\ \text{para ubicar un centro de acopio } (k_i); \text{ donde } y_i \in \{Y\}. \\ 0, \text{en caso contrario.} \end{cases}$

$X_j \begin{cases} 1, \text{Si el centro de demanda } (j_i), \text{ es seleccionado para ser abastecido por el centro de acopio } (k_i). \\ \text{donde } X_j \in \{X\}. \\ 0, \text{en caso contrario.} \end{cases}$

$Z_i \begin{cases} 1, \text{Si se selecciona } (v_1) . \\ 0, \text{Se utiliza el } (v_2). \end{cases}$

$Z_{v_i, k_i} \begin{cases} 1, \text{Si el tipo de vehículo } (v_i) \text{ se asigna al centro de acopio } (k_i). \\ 0, \text{en caso contrario.} \end{cases}$

$X_{o_i, k_i}^{h_i, t_i, v_i}$ Son los kilogramos a transportar del producto (h_i), enviado por la localidad productora (i), hacia el centro de acopio (k_i), en la temporada (t_i), en el tipo de vehículo (v_i).

$X_{k_i, j_i}^{h_i, t_i, v_i}$ Son los kilogramos a transportar del producto (h_i), enviado desde el centro de acopio (k_i), hacia el centro de demanda (j), en la temporada (t_i), en el tipo de vehículo (v_i).

5.4.4 Función Objetivo.

La primera función objetivo (1) consiste en minimizar los costos globales de transporte, las emisiones de gases de efecto invernadero (CO_2), y los costos de operación de un centro de acopio en la localidad candidata $\{K\}$, en función de la distancia de recorrido en la red de acopio de los productos traspatio de la Región Intermunicipal de Misantla.

$$FO_1: Min C = \sum_{i=1}^I \sum_{k_i=1}^K d_{i,k_i} C_{v_i} + w_i + \sum_{k_i=1}^K \sum_{j=1}^J d_{k_i,j_i} C_{v_i} + w_i \quad (1)$$

$$+ \sum_{i=1}^I \sum_{k_i=1}^K d_{i,k_i} C_e^{v_i} + \sum_{k_i=1}^K \sum_{j=1}^J d_{k_i,j_i} C_e^{v_i} + \sum_{k_i=1}^K C_{op}$$

La segunda función objetivo (2) tiene como objetivo maximizar la carga de transporte de la producción traspatio $\{H_I\}$, desde una localidad productora $\{I\}$, hacia un centro de acopio $\{K\}$, y posteriormente hacia un centro de demanda $\{J\}$, en la temporada $\{T\}$.

$$FO_2: Max Z = \sum_{o_i=1}^n \sum_{k_i=1}^K X_{o_i,k_i}^{h_i,t_i,v_i} + \sum_{k_i=1}^K \sum_{j=1}^J X_{k_i,j_i}^{h_i,t_i,v_i} \quad (2)$$

5.4.5 Restricciones.

El modelo propuesto contiene restricciones de oferta, transbordo y demanda, asociadas a la disponibilidad de la producción agrícola de traspatio en la región $\{R\}$. Las restricciones del modelo TMUFLP se describen a continuación:

La restricción (R1) garantiza que, la oferta (o_i), del producto (h_i), suministrada por la localidad (o_i), puede ser enviada a un centro de acopio (k_i), en la temporada (t_i), mediante el tipo de transporte (v_i).

$$[Oferta] \sum_{o_i=1}^n \sum_{k_i=1}^K X_{o_i,k_i}^{h_i,t_i,v_i} \leq O_i Y_i; \quad \forall h_i \in \{H_I\}; \forall t_i \in \{T\}; \forall v_i \in \{V\}; \quad (R1)$$

La restricción (R2), establece que la cantidad total del producto (h_i), enviado desde todas las localidades (o_i) hacia todos los centros de acopio (k_i), teniendo en cuenta la temporada (t_i),

y el tipo de vehículo (v_i), para un producto en específico no debe exceder el volumen de oferta establecida para este producto en la región.

$$[Oferta] \sum_{o_i=1}^n \sum_{k_i=1}^K X_{o_i,k_i}^{h_i,t_i,v_i} \leq O_i; \quad \forall h_i \in \{H_I\}; \forall t_i \in \{T\}; \forall v_i \in \{V\}; \quad (R2)$$

La restricción (R3) asegura que una localidad productora traspatio (o_i) envíe su producción (h_i) a cuando menos un centro de acopio (k_i), en la temporada (t_i), mediante el transporte (v_i).

$$\sum_{o_i=1}^n X_{o_i,k_i}^{h_i,t_i,v_i} = 1; \quad \forall k_i \in \{K\}; \forall h_i \in \{H_I\}; \forall t_i \in \{T\}; \forall v_i \in \{V\}; \quad (R3)$$

La restricción (R4) establece que el envío de la producción (o_i) del producto (h_i) en la temporada (t_i), mediante el tipo de vehículo (v_i), puede enviarse solo si la instalación (k_i) se encuentra abierta.

$$\sum_{y_i}^Y X_{o_i,k_i}^{h_i,t_i,v_i} \leq k_i Y_i; \quad \forall o_i \in \{O_i\}; \forall k_i \in \{K\}; \forall h_i \in \{H_I\}; \forall t_i \in \{T\}; \forall v_i \in \{V\}; \quad (R4)$$

La restricción (R5) asegura que un centro de acopio (k_i) envíe su producción (h_i) a cuando menos un centro de demanda (j_i), en la temporada (t_i), mediante el transporte (v_i).

$$\sum_{y_i=1}^Y X_{k_i,j_i}^{h_i,t_i,v_i} = 1; \quad \forall k_i \in \{K\}; \forall j_i \in \{J\}; \forall h_i \in \{H_I\}; \forall t_i \in \{T\}; \forall v_i \in \{V\}; \quad (R5)$$

La restricción (R6) establece que el volumen de producción del producto (h_i) de un centro de acopio (k_i), en la temporada (t_i), mediante el tipo de vehículo (v_i), puede abastecer a un centro de demanda solo si este es seleccionado (j_i).

$$\sum_{x_j}^X X_{k_i,j_i}^{h_i,t_i,v_i} \leq j_i X_j \quad (R6)$$

La restricción (R7) determina el número de centros de acopio $\{Y_i\}$, a los que se puede asignar la producción (o_i).

$$\sum_{y_i=1}^Y Y_i = P \quad (R7)$$

La restricción (R8), prohíbe el envío directo de los productos (h_i) desde una localidad (o_i), en la temporada (t_i), mediante el vehículo (v_i), hacia un centro de demanda (j).

$$\sum_{o_i=1}^n \sum_{j=1}^J X_{o_i,ki}^{h_i,t_i,v_i} = 0; \quad \forall k_i \in \{K\}; \forall h_i \in \{H_I\}; \forall t_i \in \{T\}; \forall v_i \in \{V\}; \quad (R8)$$

La restricción (R9) controla la producción traspatio (h_i), de cada localidad productora (o_i) que recibe un centro de acopio (k_i), en la temporada (t_i), debe ser menor o igual a su capacidad de procesamiento por tonelada de hortaliza (M_k). Se asume que la capacidad de procesamiento (M_k) es una cantidad significativamente grande. El propósito de esta restricción es asegurar que los centros de acopio cuenten con suficiente capacidad para procesar todo lo que reciben.

$$\sum_{o_i=1}^n \sum_{k_i=1}^K X_{o_i,k_i}^{h_i,t_i,v_i} \leq M_{k_i}; \quad \forall h_i \in \{H_I\}; \forall t_i \in \{T\}; \forall v_i \in \{V\}; \quad (R9)$$

La restricción (R10) establece que el envío de toda la producción traspatio (o_i) hacia un centro de acopio (k_i), con respecto al tipo de producto (h_i), y la temporada (t_i), mediante el vehículo (v_i), debe ser igual a la demanda del destino (j).

$$\sum_{o_i=1}^n \sum_{k_i=1}^K X_{o_i,k_i}^{h_i,t_i,v_i} = \sum_{j=1}^J D_j^{h_i,t_i}; \quad \forall h_i \in \{H_I\}; \forall t_i \in \{T\}; \forall v_i \in \{V\}; \quad (R10)$$

El acopio de productos agrícolas y pecuarios, implica manejar productos perecederos que no se almacenan a largo plazo. Por lo tanto, la restricción (R11) establece que la producción que llegué a un centro de acopio (k_i), se envíe de inmediato a la central de demanda (j).

$$[Transbordo] \sum_{o_i=1}^n \sum_{k_i=1}^K X_{o_i,k_i}^{h_i,t_i,v_i} - \sum_{k_i=1}^K \sum_{j=1}^J X_{k_i,j}^{h_i,t_i,v_i} = 0; \quad \forall h_i \in \{H_I\}; \forall t_i \in \{T\}; \forall v_i \in \{V\}; \quad (R11)$$

El envío de los productos de traspatio (o_i), no deben exceder la capacidad de carga del transporte para evitar daños y pérdidas en los productos. Por lo tanto, con el fin de lograr un envío eficiente de productos de traspatio, las restricciones (R12) y (R13), determinan el tipo de unidad de transporte (v_i) a utilizar para el envío de productos (h_i), desde una localidad (i) hacia un centro de acopio (k_i). La capacidad de cada vehículo se describe a continuación:

$v_1 = 1000\text{kg}$ (*Vehículo de 1 tonelada con capacidad de 40 rejas de 25 kg*).

$v_2 = 3000\text{kg}$ (*Vehículo de 3 toneladas con capacidad de 120 rejas de 25 kg*).

Las restricciones (R12) y (R13), establecen que si la producción de un conjunto de comunidades (o_i), respecto a la producción traspasio (h_i) para enviar a un centro de acopio (k_i), es menor o igual a 1000kg, entonces se selecciona el tipo de vehículo (v_1). Sin embargo, si el volumen de producción es mayor a 1000kg, entonces se debe utilizar el vehículo (v_2).

$$\sum_{o_i=1}^n \sum_{k_i=1}^K X_{o_i, k_i}^{h_i, t_i, v_i} \leq 1000 \Rightarrow v_1 ; \quad \forall h_i \in \{H_I\}; \forall t_i \in \{T\}; \forall v_i \in \{V\}; \quad (R12)$$

$$\sum_{o_i=1}^n \sum_{k_i=1}^K X_{o_i, k_i}^{h_i, t_i, v_i} > 1000 \Rightarrow v_2 ; \quad \forall h_i \in \{H_I\}; \forall t_i \in \{T\}; \forall v_i \in \{V\}; \quad (R13)$$

Por otra parte, la restricción (R14), determina que, si el volumen de producción es menor o igual a 3000kg, entonces se debe utilizar el vehículo (v_2).

$$\sum_{o_i=1}^n \sum_{k_i=1}^K X_{o_i, k_i}^{h_i, t_i, v_i} \leq 3000 \Rightarrow v_2 ; \quad \forall h_i \in \{H_I\}; \forall t_i \in \{T\}; \forall v_i \in \{V\}; \quad (R14)$$

La restricción (R15), garantiza que un vehículo (v_i), debe ser asignado a un solo centro de acopio (k_i).

$$\sum_{k_i=1}^K Z_{v_i, k_i} \leq 1; \quad \forall v_i \in \{V\}; \quad (R15)$$

La restricción (R16), establece que un centro de acopio (k_i) debe recibir al menos una unidad de transporte (v_i).

$$\sum_{k_i=1}^K Z_i \geq 1; \quad (R16)$$

Las restricciones (R17) y (R20), establecen la naturaleza binaria de las variables de decisión y las restricciones (R21) a (R22) asociadas a la no negatividad.

$$Y_i \in \{0,1\}; \quad \forall y_i \in \{Y_i\}; \quad (R17)$$

$$X_j \in \{0,1\}; \forall x_j \in \{X_j\}; \quad (R18)$$

$$Z_i \in \{0,1\}; \forall v_i \in \{V\}; \quad (R19)$$

$$Z_{v_i,k_i} \in \{0,1\}; \forall v_i \in \{V\}; \forall k_i \in \{K\}; \quad (R20)$$

$$X_{o_i,k_i}^{h_i,t_i,v_i} \geq 0 ; \forall o_i \in \{n\}; \forall k_i \in \{K\}; \forall h_i \in \{H_I\}; \forall t_i \in \{T\}; \forall v_i \in \{V\}; \quad (R21)$$

$$X_{k_i,j}^{h_i,t_i,v_i} \geq 0 ; \forall k_i \in \{K\}; \forall j \in \{J\}; \forall h_i \in \{H_I\}; \forall t_i \in \{T\}; \forall v_i \in \{V\}; \quad (R22)$$

5.5 Simulación de Escenarios.

La simulación de escenarios tiene el propósito de evaluar que el programa responda a las instrucciones asignadas que corresponden. En este caso, se simulan las condiciones en las que tanto la Temporada-Uno como en la Temporada-Dos se agota la oferta de todos los productos implicados en la región de estudio. Es decir, se solicita al programa que atienda una demanda equivalente a la Oferta Total con diversos centros de acopio activados. Por ejemplo: primero se le pide al programa que atienda una demanda equivalente a toda la oferta (Escenario 1), con los 12 centros de acopio activados. Posteriormente, se solicita al programa que atienda una demanda correspondiente a la oferta total con 11 centros de acopio; y así sucesivamente, hasta solicitarlo a un solo Centro de Acopio. Esta acción se repite para el Escenario 2 que simula una demanda menor que la capacidad de oferta, y en el escenario 4, se solicita un nuevo requerimiento a los centros de acopio. Para ambos casos, se determinan las variaciones de los centros de acopio activos en las dos temporadas. Es importante mencionar que el escenario 3 consistió en hacer un requerimiento mayor a la oferta. El programa responde indicando que centros de acopio hubiesen abastecido a dicho requerimiento, pero no refleja dichos costos de la red. La razón es porque la demanda supera a la oferta, lo cual hace in factible una solución (Tabla 28).

Tabla 28. Consideraciones de los Escenarios.

Escenarios	Descripción del Escenario
Escenario 1:	Este escenario permite equilibrar la demanda con la oferta.
Escenario 2:	Considera una demanda menor que la capacidad de oferta de los centros de acopio.
Escenario 3:	Simula una demanda mayor que la oferta. Para modelos de programación lineal, esta condición resulta in factible de cumplirse, por lo que el programa no brinda los costos globales de la red.
Escenario 4:	Solicita nuevos requerimientos a los centros de acopio, por tipo de producto.

Fuente: Elaboración propia.

Con base a los escenarios factibles, 1, 2 y 4, la Tabla 29 se detalla la demanda total de los productos traspato en toneladas de Misanthla y Juchique de Ferrer. También se especifican los costos de la red para cada uno de los escenarios, incluyendo sus variaciones que determinan los centros de acopio activados en la región de estudio.

Tabla 29. Evaluación del Modelo: Primera Temporada.

	N.º	CA	Demanda (toneladas)		Costo de Transporte (\$)	Costo CO2 (\$)	Costo de Operación de CA (\$)	Costo Total de la Red (\$)	C.A. Activados	Almacén (ton)
			Misanthla	Juchique de Ferrer						
Escenario 1	1	12-12	241.425	183.917	12,132.450	2,853.704	4,392.000.	4,406,986.154	9,10,8,12,2,5,4,1,3,7,6,11	0
	2	11-12	241.425	183.917	12,900.370	2,438.664	4,026.000.	4,041,339.034	9,10,8,12,2,5,4,1,3,7,6	0
	3	10-12	241.425	183.917	13,428.420	2,302.544	3,660.000.	3,675,730.964	9,10,8,12,2,5,4,1,3,7	0
	4	9-12	241.425	183.917	13,973.889	2,459.805	3,294.000.	3,310,433.694	9,10,8,12,2,5,4,1,3	0
	5	8-12	241.425	183.917	15,295.260	2,056.774	2,928.000.	2,945,352.034	9,10,8,12,2,5,4,1	0
	6	7-12	241.425	183.917	15,383.610	1,760.674	2,562.000.	2,579,144.284	9,10,8,12,2,5,4	0
	7	6-12	241.425	183.917	17,922.760	1,414.364	2,196.000.	2,215,337.124	9,10,8,12,2,5	0
	8	5-12	241.425	183.917	23,306.780	1,045.364	1,830.000.	1,854,352.144	9,10,8,12,2	0
	9	4-12	241.425	183.917	26,965.030	836.304	1,464.000.	1,491,801.334	9,10,8,12	0
	10	3-12	241.425	183.917	27,732.050	660.144	1,098.000.	1,126,392.194	9,10,8	0
	11	2-12	241.425	183.917	28,107.659	470.145	732.000.	760,577.804	9,10	0
	12	1-12	241.425	183.917	30,848.599	244.835	366.000.	397,093.434	9	0
Escenario 2	1	12-12	75.01	37.06	12,132.450	2197.060	4,392.000.	4,406,329.510	9,10,8,12,2,5,4,1,3,7,6,11	313.272
	2	11-12	75.01	37.06	12,900.370	2090.190	4,026.000.	4,040,990.560	9,10,8,12,2,5,4,1,3,7,6	313.272
	3	10-12	75.01	37.06	13,428.420	2058.050	3,660.000.	3,675,486.470	9,10,8,12,2,5,4,1,3,7	313.272
	4	9-12	75.01	37.06	13,973.889	1744.501	3,294.000.	3,309,718.390	9,10,8,12,2,5,4,1,3	313.272
	5	8-12	75.01	37.06	15,295.260	1598.634	2,928.000.	2,944,893.894	9,10,8,12,2,5,4,1	313.272
	6	7-12	75.01	37.06	15,383.610	1376.264	2,562.000.	2,578,759.874	9,10,8,12,2,5,4	313.272
	7	6-12	75.01	37.06	17,922.760	861.694	2,196.000.	2,214,784.454	9,10,8,12,2,5	313.272
	8	5-12	75.01	37.06	23,306.780	244.060	1,830.000.	1,853,550.840	9,10,8,12,2	313.272
	9	4-12	75.01	37.06	26,965.030	244.834	1,464.000.	1,491,209.864	9,10,8,12	313.272
	10	3-12	75.01	37.06	27,732.050	244.834	1,098.000.	1,125,976.884	9,10,8	313.272
	11	2-12	75.01	37.06	28,107.659	244.834	732.000.	760,352.494	9,10	313.272
	12	1-12	75.01	37.06	30,848.599	244.834	366.000.	397,093.434	9	313.272
Escenario 4	1	12-12	219.197	206.146	12,132.450	5,344.814	4,392.000.	4,409,477.264	9,10,8,12,2,5,4,1,3,7,6,11	0
	2	11-12	219.197	206.146	12,900.370	5,131.074	4,026.000.	4,044,031.444	9,10,8,12,2,5,4,1,3,7,6	0
	3	10-12	219.197	206.146	13,428.420	4,689.604	3,660.000.	3,678,118.024	9,10,8,12,2,5,4,1,3,7	0
	4	9-12	219.197	206.146	13,973.889	4,131.205	3,294.000.	3,312,105.094	9,10,8,12,2,5,4,1,3	0
	5	8-12	219.197	206.146	15,295.260	3,385.778	2,928.000.	2,946,681.038	9,10,8,12,2,5,4,1	0
	6	7-12	219.197	206.146	15,383.610	3,041.788	2,562.000.	2,580,425.398	9,10,8,12,2,5,4	0
	7	6-12	219.197	206.146	17,922.760	1,977.008	2,196.000.	2,215,899.768	9,10,8,12,2,5	0
	8	5-12	219.197	206.146	23,306.780	1,233.014	1,830.000.	1,854,539.794	9,10,8,12,2	0
	9	4-12	219.197	206.146	26,965.030	929.878	1,464.000.	1,491,894.908	9,10,8,12	0
	10	3-12	219.197	206.146	27,732.050	641.228	1,098.000.	1,126,373.278	9,10,8	0
	11	2-12	219.197	206.146	28,107.659	546.079	732.000.	760,653.738	9,10	0
	12	1-12	219.197	206.146	30,848.599	489.669	366.000.	397,338.268	9	0

En donde: [Centros de Acopio - C.A]; [Centros de Acopio Activados - C.A. Activados], [Yecuatla - 9], [La Defensa -10], [Colipa - 8], [Dos Arroyos-12], [Plan de la Vega-2]; [Arroyo Hondo -5]; [Vicente Guerrero -4]; [Arroyo Frio - 1]; [Ignacio Zaragoza-3]; [Santa Clara-7]; [La Desviación de Colorado -6]; [Plan de las Hayas -11].

En cuanto a la Tabla 30, muestra los resultados de la producción traspato de la segunda temporada, para los escenarios 1,2 y 4, donde se especifica la demanda total de productos traspato en toneladas para los centros de demanda de Misanthla y Juchique de Ferrer y se presentan los costos de la red para cada uno de los escenarios asociados a sus variaciones que determinan los centros de acopio que se activan en la región de estudio.

Tabla 30. Evaluación del Modelo: Segunda Temporada.

	N.º	CA	Demanda (toneladas)		Costo de Transporte (\$)	Costo CO2 (\$)	Costo de Operación de CA (\$)	Costo Total de la Red (\$)	C.A. Activados	Almacén (ton)
			Misantla	Juchique de Ferrer						
Escenario 1	1	12-12	233.513	254.418	12,132.450	3637.424	4,392.000.	4,407,769.874	9,10,8,12,2,5,4,1,3,7,6,11	0
	2	11-12	233.513	254.418	12,900.370	3053.484	4,026.000.	4,041,953.854	9,10,8,12,2,5,4,1,3,7,6	0
	3	10-12	233.513	254.418	13,428.420	2717.254	3,660.000.	3,676,145.674	9,10,8,12,2,5,4,1,3,7	0
	4	9-12	233.513	254.418	13,973.889	2290.905	3,294.000.	3,310,264.794	9,10,8,12,2,5,4,1,3	0
	5	8-12	233.513	254.418	15,295.260	1,887.874	2,928.000.	2,945,183.134	9,10,8,12,2,5,4,1	0
	6	7-12	233.513	254.418	15,383.610	1591.774	2,562.000.	2,578,975.384	9,10,8,12,2,5,4	0
	7	6-12	233.513	254.418	17,922.760	1104.304	2,196.000.	2,215,027.064	9,10,8,12,2,5	0
	8	5-12	233.513	254.418	23,306.780	735.304	1,830.000.	1,854,042.084	9,10,8,12,2,5	0
	9	4-12	233.513	254.418	26,965.030	526.244	1,464.000.	1,491,491.274	9,10,8,12	0
	10	3-12	233.513	254.418	27,732.050	491.244	1,098.000.	1,126,223.294	9,10,8	0
	11	2-12	233.513	254.418	28,107.659	301.245	732.000.	760,408.904	9,10	0
	12	1-12	233.513	254.418	30,848.599	244.835	366.000.	397,093.434	9	0
Escenario 2	1	12-12	128.83	94.53	12,132.450	2,500.844	4,392.000.	4,406,633.294	9,10,8,12,2,5,4,1,3,7,6,11	264.571
	2	11-12	128.83	94.53	12,900.370	2449.434	4,026.000.	4,041,349.804	9,10,8,12,2,5,4,1,3,7,6	264.571
	3	10-12	128.83	94.53	13,428.420	2144.084	3,660.000.	3,675,572.504	9,10,8,12,2,5,4,1,3,7	264.571
	4	9-12	128.83	94.53	13,973.889	1614.791	3,294.000.	3,309,588.680	9,10,8,12,2,5,4,1,3	264.571
	5	8-12	128.83	94.53	15,295.260	1343.054	2,928.000.	2,944,638.314	9,10,8,12,2,5,4,1	264.571
	6	7-12	128.83	94.53	15,383.610	999.064	2,562.000.	2,578,382.674	9,10,8,12,2,5,4	264.571
	7	6-12	128.83	94.53	17,922.760	725.854	2,196.000.	2,214,648.614	9,10,8,12,2,5	264.571
	8	5-12	128.83	94.53	23,306.780	548.744	1,830.000.	1,853,855.524	9,10,8,12,2	264.571
	9	4-12	128.83	94.53	26,965.030	244.834	1,464.000.	1,491,209.864	9,10,8,12	264.571
	10	3-12	128.83	94.53	27,732.050	244.834	1,098.000.	1,125,976.884	9,10,8	264.571
	11	2-12	128.83	94.53	28,107.659	301.245	732.000.	760,408.904	9,10	264.571
	12	1-12	128.83	94.53	30,848.599	244.834	366.000.	397,093.434	9	264.571
Escenario 4	1	12-12	240.873	247.058	12,132.450	5975.688	4,392.000.	4,410,108.138	9,10,8,12,2,5,4,1,3,7,6,11	0
	2	11-12	240.873	247.058	12,900.370	5188.438	4,026.000.	4,044,088.808	9,10,8,12,2,5,4,1,3,7,6	0
	3	10-12	240.873	247.058	13,428.420	4841.818	3,660.000.	3,678,270.238	9,10,8,12,2,5,4,1,3,7	0
	4	9-12	240.873	247.058	13,973.889	3927.135	3,294.000.	3,311,901.024	9,10,8,12,2,5,4,1,3	0
	5	8-12	240.873	247.058	15,295.260	3257.418	2,928.000.	2,946,552.678	9,10,8,12,2,5,4,1	0
	6	7-12	240.873	247.058	15,383.610	2517.128	2,562.000.	2,579,900.738	9,10,8,12,2,5,4	0
	7	6-12	240.873	247.058	17,922.760	1728.708	2,196.000.	2,215,651.468	9,10,8,12,2,5	0
	8	5-12	240.873	247.058	23,306.780	1132.488	1,830.000.	1,854,439.268	9,10,8,12,2,5	0
	9	4-12	240.873	247.058	26,965.030	619.518	1,464.000.	1,491,584.548	9,10,8,12	0
	10	3-12	240.873	247.058	27,732.050	640.928	1,098.000.	1,126,372.978	9,10,8	0
	11	2-12	240.873	247.058	28,107.659	602.489	732.000.	760,710.148	9,10	0
	12	1-12	240.873	247.058	30,848.599	489.669	366.000.	397,338.268	9	0

En donde: [Centros de Acopio - C.A]; [Centros de Acopio Activados - C.A. Activados], [Yecuatla - 9], [La Defensa -10], [Colipa - 8], [Dos Arroyos-12], [Plan de la Vega-2]; [Arroyo Hondo -5]; [Vicente Guerrero -4]; [Arroyo Frio - 1]; [Ignacio Zaragoza-3]; [Santa Clara-7]; [La Desviación de Colorado -6]; [Plan de las Hayas -11].

De acuerdo con los criterios y consideraciones establecidos en el modelo TMUUFPLP, los resultados computacionales determinaron los centros de acopio óptimos en cada escenario. Se verificó que los mismos centros de acopio permanecen activos durante ambas temporadas en las doce variaciones de cada escenario. La representación gráfica de estos escenarios se llevó a cabo mediante el software QGis 3.22.10. A continuación, se presentan las imágenes que muestran los centros de acopio activos y sus localidades asignadas. En la Figura 36, se observa el escenario 12-12, donde se activan doce centros de acopio a ubicar en la región de estudio. Las localidades asignadas a los centros de acopio, el modelo las determina en función de la distancia mínima. Se observa que, debido a la dispersión de los centros de acopio en la región, los centros de acopio Arroyo Frio y Arroyo hondo, tienen una cobertura limitada de localidades. En la Figura 37, se muestra el escenario 11-12, los centros de acopio activados son: Yecuatla, La Defensa, Colipa, Dos Arroyos, Plan de la Vega, Arroyo Hondo, Vicente Guerrero, Arroyo Frio, Ignacio

Zaragoza, Santa Clara y La Desviación de Colorado. Se observa que Plan de las Hayas se desactiva y sus localidades son asignadas a Dos Arroyos.

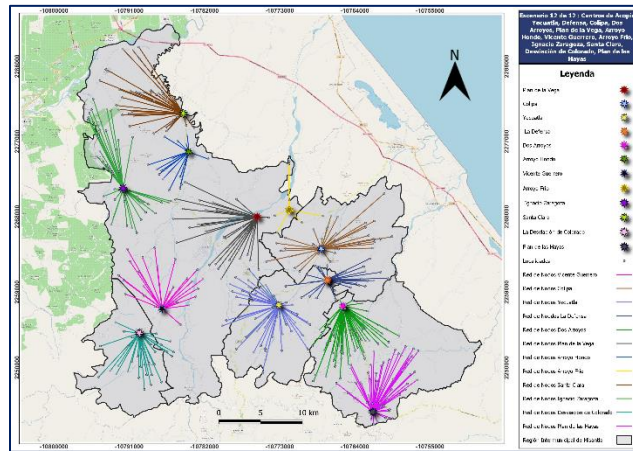


Figura 36. Escenario 12-12.

Se Activan Doce Centros de Acopio.

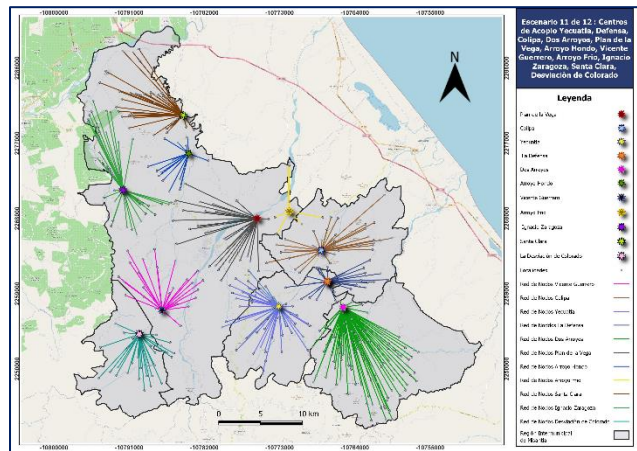


Figura 37. Escenario 11-12.

Se Activan Once Centros de Acopio.

En la Figura 38 se presenta el escenario 10-12, los centros de acopio activados son: Yecuatla, La Defensa, Colipa, Dos Arroyos, Plan de la Vega, Arroyo Hondo, Vicente Guerrero, Arroyo Frio, Ignacio Zaragoza y Santa Clara. Se observa que las localidades asignadas a La Desviación de Colorado, al desactivarse se reasignan al centro de acopio de Vicente Guerrero. El escenario 9-12, se seleccionan: Yecuatla, Defensa, Colipa, Dos Arroyos, Plan de la Vega, Arroyo Hondo, Vicente Guerrero, Arroyo Frio e Ignacio Zaragoza. El centro de acopio Santa Clara se desactiva y sus localidades son asignadas a Arroyo Hondo e Ignacio Zaragoza, (Figura 39).

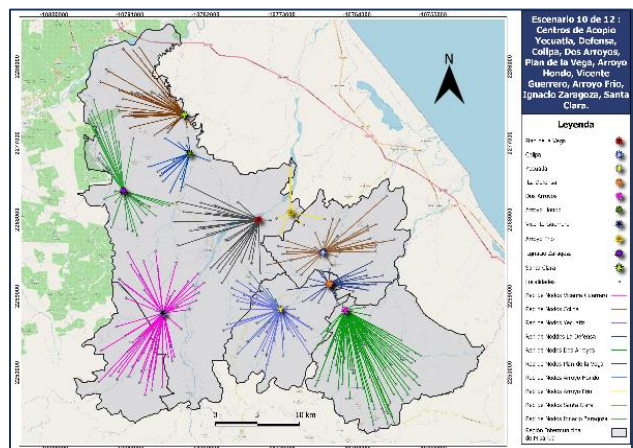


Figura 38. Escenario 10-12.

Se Activan Diez Centros de Acopio.

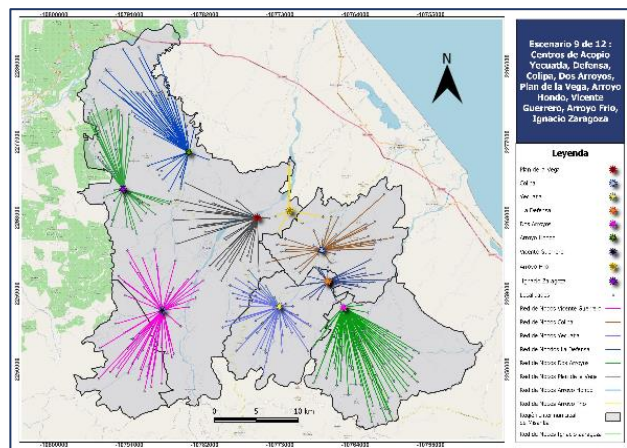
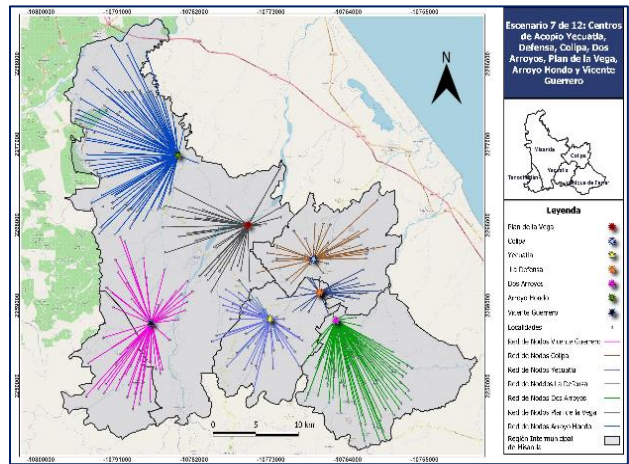


Figura 39. Escenario 9-12.

Se Activan Nueve Centros de Acopio.

[illegible]

Se Activan Ocho Centros de Acopio.



Se Activan Siete Centros de Acopio.

142

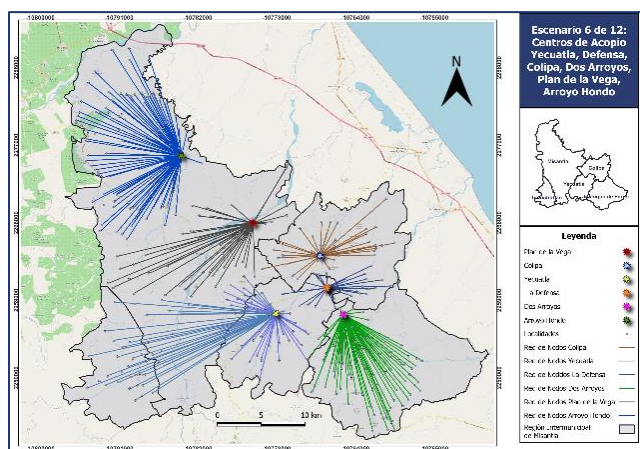


Figura 42. Escenario 6-12.

Se Activan Seis Centros de Acopio.

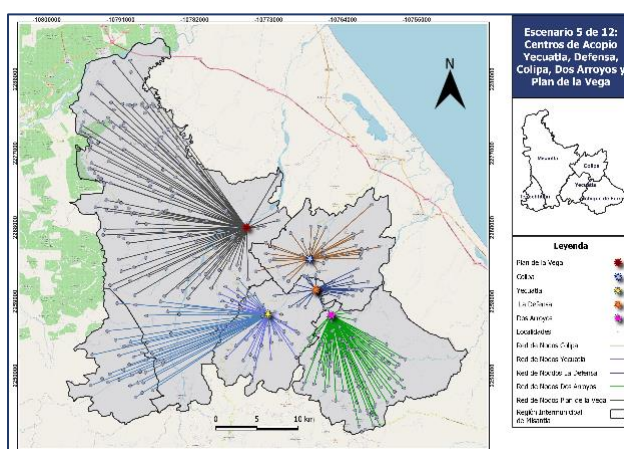


Figura 43. Escenario 5-12.

Se Activan Cinco Centros de Acopio.

En el escenario 4-12, se observa que las localidades son reasignadas a los centros de acopio más cercanos. El centro de acopio Plan de la Vega se desactiva y el programa reasigna las localidades a Yecuatla y Colipa, ver Figura 44. La selección de tres centros de acopio en la región de estudio implica que las localidades se reasignen a centros de acopio disponibles, por lo que disminuirían los costos de operación en la red. La Figura 45 presenta el escenario 3-12 en el cual se activa: Yecuatla, La Defensa y Colipa, y se desactiva Dos Arroyos, sus localidades se asignan a Yecuatla y La Defensa.

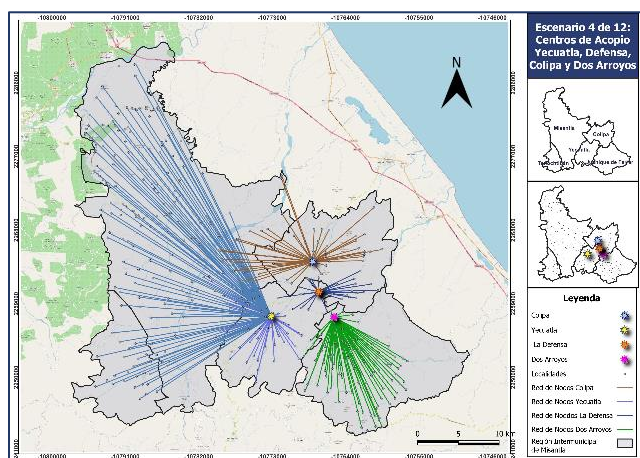


Figura 44. Escenario 4-12.

Se Activan Cuatro Centros de Acopio.

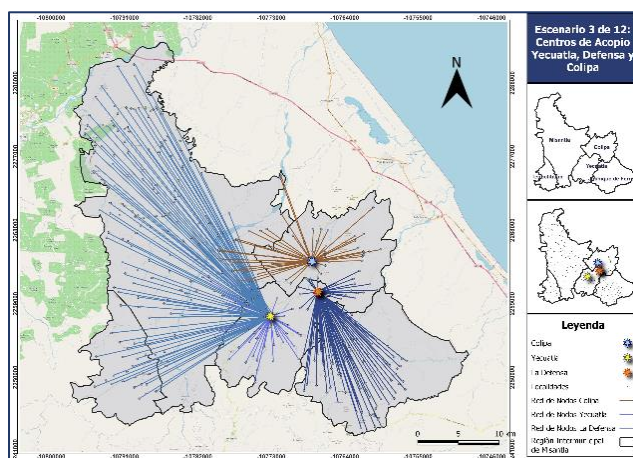


Figura 45. Escenario 3-12.

Se Activan Tres Centros de Acopio.

La Figura 46 muestra el escenario 2-12 en el cual se activa Yecuatla y La Defensa en la región de estudio, por lo que en función de la distancia mínima estos centros de acopio activados tienen el menor costo de la red, esto comprende el transporte desde las localidades productoras

traspatio hacia los centros de acopio y posteriormente a los centros de demanda. Después de la simulación de los doce escenarios (variantes), el programa determina que el centro de acopio más óptimo es aquel que presenta un menor costo en la red. En el escenario 1-12, se activa Yecuatla debido a su ubicación estratégica hace que la red de acopio sea la de menor costo si se opta por instalar un centro de acopio (Figura 47).

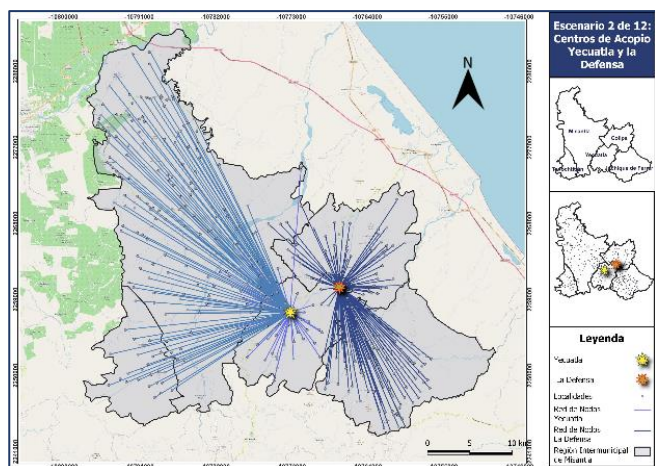


Figura 46. Escenario 2-12.

Se Activan Dos Centros de Acopio.

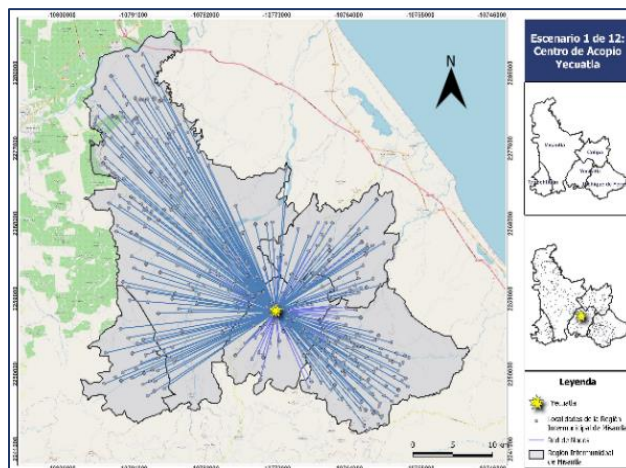


Figura 47. Escenario 1-12.

Se Activa Un Centro de Acopio.

Estos resultados demuestran la aptitud del modelo para resolver el diseño de la red de acopio de la producción traspatio propuesta en la región de estudio.

5.5.1 Escenario 1: Oferta y Demanda Equilibrada.

El primer escenario se simula bajo la condición de contar con una oferta y demanda equilibrada para la primera y la segunda temporada de la producción traspatio. Así mismo, se establecen doce variaciones bajo esta condición y se determinan en orden descendente, los centros de acopio más óptimos.

Resultados esperados:

En este primer escenario, se requiere que el programa atienda una oferta y una demanda equilibradas y determine los centros de acopio más eficientes para instalar en la región de estudio, con el objetivo de minimizar los costos totales de la red. Esta evaluación consiste en calcular los costos de la red, comenzando con la activación de doce centros de acopio. Luego, en cada escenario, estos centros se desactivarán de manera descendente hasta simular solo un centro de acopio.

Además, se busca, de acuerdo a las consideraciones y prioridades del modelo TMUUFLP, maximizar la carga de transporte, garantizando así la entrega de la producción traspatio a los centros de demanda y aprovechando la capacidad total de los vehículos. En este proceso, se espera que el modelo determine los requerimientos solicitados por los centros de demanda de Juchique de Ferrer y Misantla, asegurando que lo solicitado sea suministrado y que los centros de acopio entreguen toda la producción que han concentrado.

En la Figura 48, muestra los resultados obtenidos del primer escenario del modelo TMUUFLP para la primera temporada de la producción traspatio. Esta representa en porcentajes los resultados obtenidos del escenario 1, los cuales se encuentran detallados en la Tabla 29, y corresponden a la proyección traspatio de la primera temporada.

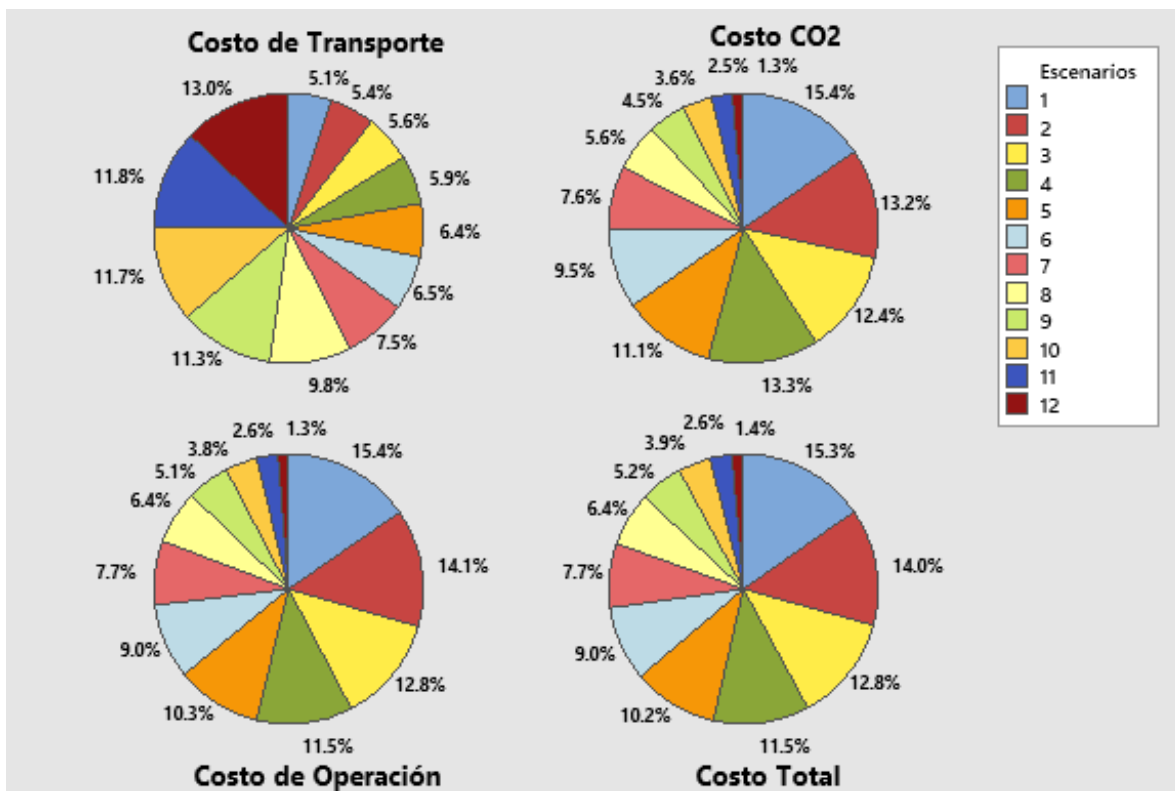


Figura 48. Primera Temporada Escenario 1: Oferta y Demanda Equilibrada.

La Figura 49 muestra los resultados del Escenario 1, para la segunda temporada de la producción traspatio. Esta Figura representa en porcentajes los resultados obtenidos del escenario 1, los cuales se encuentran detallados en la Tabla 30, y corresponden a la proyección traspatio de la segunda temporada.

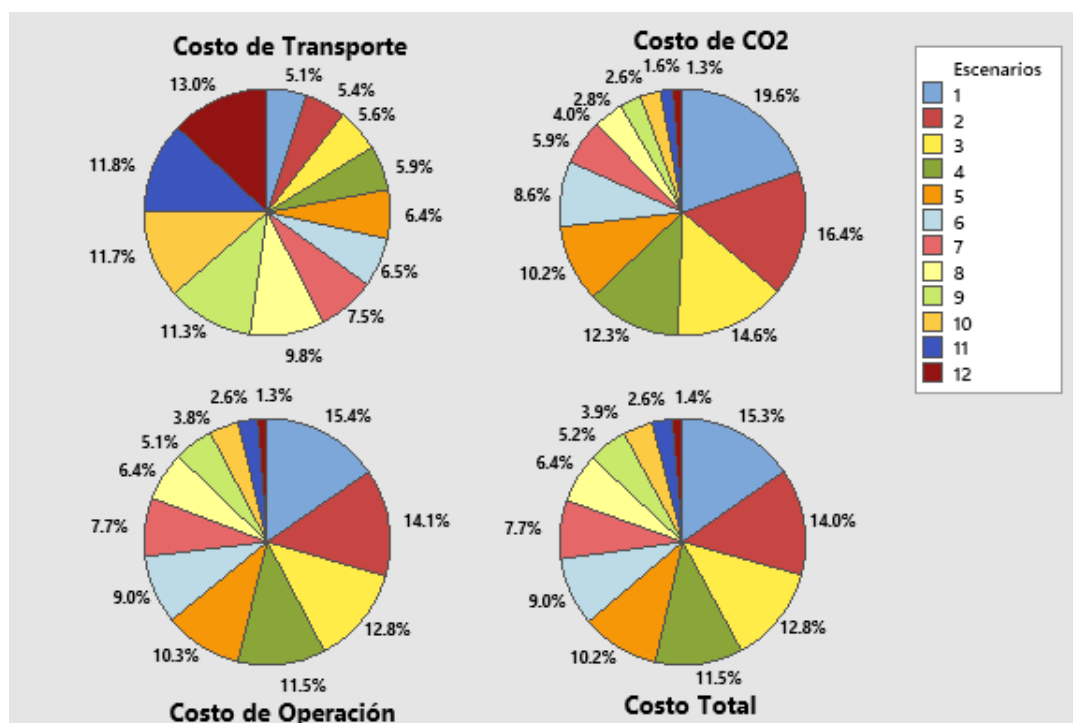


Figura 49. Segunda Temporada Escenario 1: Oferta y Demanda Equilibrada.

Resultados simulados:

En cada una de las doce variaciones del escenario uno, el modelo asigna y reasigna las localidades productoras traspasio a los centros de acopio a medida que estos se activan. Así mismo, el modelo ordena por prioridad los centros de acopio que deben abastecer primero a cada centro de demanda, de acuerdo a su oferta y demanda solicitada. El modelo determina los requerimientos por tipo de producto y la cantidad solicitada por cada centro de demanda, diferenciando los requerimientos de cada uno. Además, determina el centro de demanda que debe ser abastecido primero en función de su demanda.

En la primera temporada, el modelo determina que Misantla es el centro de demanda que solicito mayor producción traspasio, con un total de 241.425 toneladas, que corresponden a la suma total de sus requerimientos por producto. Mientras tanto, en la segunda temporada, los requerimientos de Juchique de Ferrer fueron mayores, con un total de 254.418 toneladas.

Por otra parte, se encontró que los centros de acopio activos en cada escenario lograron satisfacer los requerimientos totales por tipo de producto para cada centro de demanda y no se almacenaron productos en las dos temporadas. Esto confirma que el modelo responde adecuadamente a esta condición. Se determina que los costos totales de la red, activando doce

centros de acopio para la primera temporada es de \$4,406,986.154 y para la segunda es de \$4,407,769.874, mientras que al activar un centro de acopio los costos totales de la red disminuyen, obteniendo un total de \$397,093.434, para ambas temporadas.

En este sentido, a medida que los centros de acopio se activan en cada escenario, los costos de transporte disminuyen. Sin embargo, esta ventaja se ve limitada por los costos de operación y los costos de CO₂, ya que, al aumentar el número de centros de acopio, estos costos se incrementan. Por otra parte, al minimizar la cantidad de centros de acopio se logra una reducción significativa de los costos de operación, esto puede ser beneficioso si se opta por optimizar los recursos.

Finalmente, se determina que, al reducir la cantidad de centros de acopio activados, los costos totales de la red se reducen significativamente, no obstante, al haber menos centros de acopio activos, las localidades productoras traspatio deben recorrer distancias mayores para abastecer a los centros de acopio. Esto comprueba que el modelo responde eficientemente bajo este primer escenario al determinar los costos totales de la red y para cada una de las doce variaciones.

5.5.2 Escenario 2: La Demanda es Menor a la Oferta.

El segundo escenario consiste en simular una demanda menor a la capacidad de oferta de los productos traspatio, y se simulan doce variaciones bajo esta condición, identificando de manera descendente los centros de acopio óptimos en cada escenario. Este enfoque es aplicado tanto en la primera como en la segunda temporada de la producción traspatio.

Resultados esperados:

Evaluar el mayor volumen de producción traspatio en los centros de acopio para determinar la capacidad del modelo de identificar qué centros de acopio atenderán los requerimientos de los centros de demanda. Además, se espera que describa la oferta residual de cada centro de acopio y se solicita al programa que determine los centros de acopio más óptimos para instalar, basándose en estas condiciones.

La Figura 50 presenta los resultados del segundo escenario de la producción traspatio para la primera temporada. En esta Figura se detallan los costos en porcentajes para cada escenario. Esta representa en porcentajes los resultados obtenidos del escenario 2, los cuales se encuentran detallados en la Tabla 29, y corresponden a la proyección de la producción traspatio de la primera temporada.

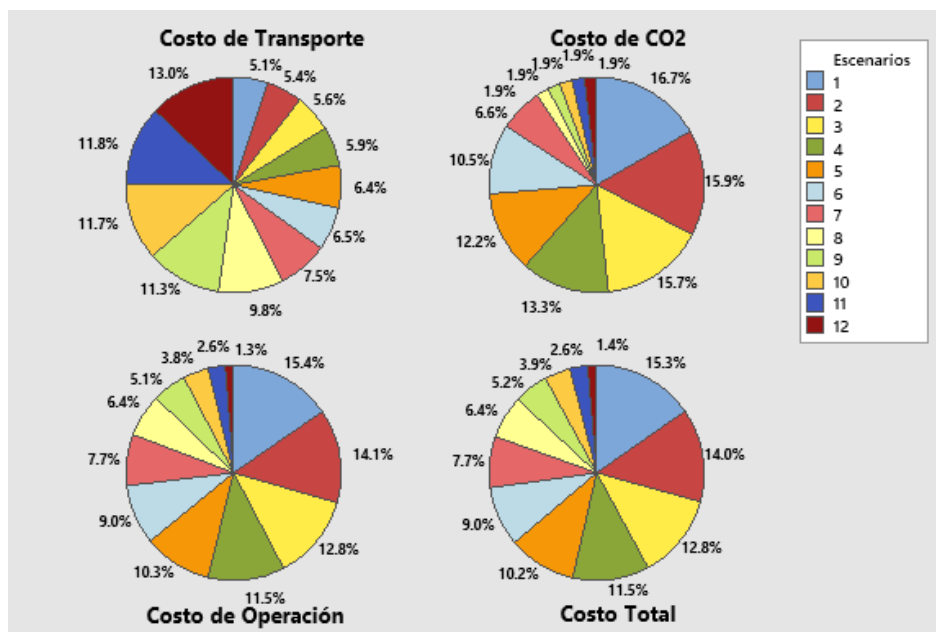


Figura 50. Primera Temporada Escenario 2. Demanda Menor que la Oferta.

La Figura 51 muestra los resultados de la producción traspatio de la segunda temporada. En donde se detallan los costos de la red en las diferentes variantes del escenario 2. Esta Figura representa en porcentajes los resultados obtenidos del escenario 2, los cuales se encuentran detallados en la Tabla 30, y corresponden a la proyección de la producción traspatio de la segunda temporada.

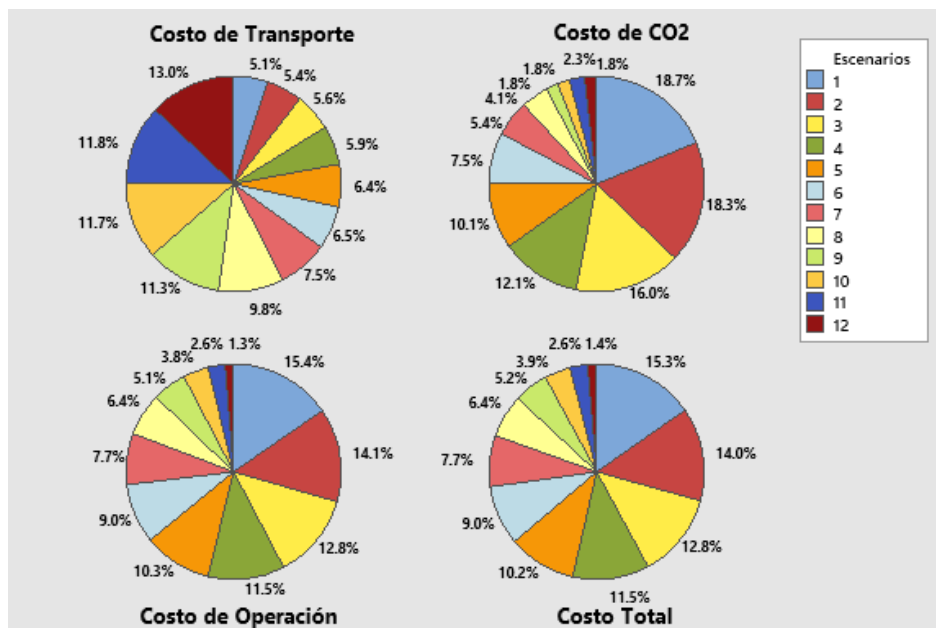


Figura 51. Segunda Temporada Escenario 2: Demanda Menor que la Oferta.

Resultados obtenidos:

Los resultados demuestran que el modelo determinó las localidades que suministran los centros de acopio activos e identifica, por orden de prioridad, los centros de acopio que deben suministrar a los centros de demanda, así como el centro de demanda que debe ser abastecido primero. La demanda se satisface por tipo de producto y con la cantidad exacta solicitada por cada centro de demanda. En el caso de los productos de traspatio que no fueron requeridos, el programa determina la cantidad y tipo de producto que debe permanecer en los centros de acopio activos. En este sentido, el modelo determina que, en ambas temporadas el centro de demanda que solicitó mayor variedad y cantidad de productos fue Misantla. Se obtiene que el modelo logró determinar los remanentes de la producción traspatio. Para la primera temporada, se almacenan un total de 313.272 toneladas de productos traspatio en los centros de acopio, mientras que en la segunda temporada se almacenan 264.571 toneladas. Además, el modelo calcula los costos totales de la red para cada escenario, bajo estas condiciones. Los costos por activar doce centros de acopio para la primera temporada son: \$4,406,329.510; y para la segunda temporada \$4,406,633.294. Por otra parte, al activar solo un centro de acopio es de \$397,093.434, para ambas temporadas.

Se observa que, a pesar de enviar un volumen de producción menor a los centros de demanda, los costos totales de la red se ven afectados, ya que el modelo optimiza la distribución al solicitar solo los productos traspatio requeridos, asegurando el abastecimiento del tipo de producto solicitado por el centro de demanda. Estos productos son seleccionados de los centros de acopio activos que cuentan con el producto, por lo que posiblemente la carga de los vehículos no se aproveche al máximo. En esta evaluación el modelo maximiza la carga de transporte, eligiendo los centros de acopio que ofrecen mayor variedad de productos. Estas decisiones se reflejan en los costos totales del sistema: a mayor cantidad de centros de acopio activos, los costos de operación aumentan, mientras que una menor cantidad de centros de acopio se reducen los costos de transporte. Por lo tanto, se determina que el modelo responde las consideraciones del escenario 2 y calcula los costos de la red en cada una de sus variaciones, identificando los productos residuales, esto garantiza su eficiencia en esta condición.

5.5.3 Escenario 3: Demanda Mayor que la Oferta.

El tercer escenario consiste en simular una demanda mayor que la capacidad de oferta disponible de productos traspatio en los centros de acopio, aplicado en la producción traspatio de la primera y segunda temporada.

Resultados esperados:

Se espera que el modelo determine cuándo la demanda de productos traspatio supera la oferta disponible. Esto es aplicable en dos escenarios: cuando la demanda supera la oferta en la totalidad de los productos traspatio y cuando la demanda supera la oferta solo en algunos productos. Asimismo, se espera que el programa responda evidenciando si existe factibilidad para atender la demanda requerida.

Resultados obtenidos:

El programa determina cuando existe una demanda mayor a la capacidad de oferta de la producción traspatio de los centros de acopio de la siguiente manera:

- El modelo determina que no es posible atender la demanda cuando supera la oferta en la totalidad de los productos. Por lo que, el modelo no puede calcular los costos totales de la red.
- El modelo logra abastecer la demanda con los productos disponibles en los centros de acopio activados al centro de demanda seleccionado por orden de prioridad, sin satisfacer completamente los requerimientos. Mientras tanto, el segundo centro de demanda no recibe ningún envío.
- Determina que no es posible atender la demanda por tipo de producto cuando la cantidad de demanda es mayor que la oferta, por lo que identifica el producto que no puede ser abastecido entre los demás, marcando los demás en 0, lo que indica que la demanda fue satisfecha, y señala la cantidad faltante para el producto en la demanda que no se pudo satisfacer.

5.5.3 Escenario 4: Nuevos Requerimientos de Productos Traspasio.

En este escenario se le solicita al programa la condición que atienda una demanda menor a la oferta y dado que se espera que exista una oferta remanente o residual, entonces se le pide nuevamente un segundo requerimiento de productos. En todos los escenarios no se restringen la activación de los centros de acopio.

Resultados esperados:

Que el programa determine en la primera demanda que centros de acopio atenderán este primer requerimiento y describa la oferta remanente para cada centro de acopio de acuerdo a su oferta. Evaluar que el modelo identifique un segundo requerimiento y que suministre a los centros

de demanda con los productos remanentes y que tenga la capacidad de que se logre cubrir la demanda hasta agotar la oferta total.

Resultados obtenidos:

En el cuarto escenario, se encontró que el sistema identifica cuando aún hay productos traspatio disponibles en los centros de acopio. El modelo ofrece la opción de realizar nuevos pedidos por tipo de producto, que pueden repetirse según sea necesario, solicitando uno o más productos traspatio. Esta acción puede repetirse hasta agotar los productos disponibles, evidenciando un inventario de cero (0).

También se observó que, durante la primera atención de requerimientos, existió un reordenamiento de prioridad de centros de acopio. Dado que aquellos que atendieron el primer requerimiento agotaron sus existencias, el programa repriorizó la capacidad de oferta de los centros de acopio. En consecuencia, el modelo calcula los costos adicionales para la entrega de estos nuevos requerimientos, considerando los traslados desde los centros de acopio hasta los centros de demanda. Estos traslados se realizan tantas veces como sea necesario, dependiendo de la capacidad de oferta de los centros de acopio que se encuentren activos.

Los resultados computacionales de la primera temporada se grafican y se presentan en la Figura 52. Esta Figura representa en porcentajes los resultados obtenidos del escenario 4, los cuales se encuentran detallados en la Tabla 29, y corresponden a la proyección traspatio de la primera temporada.

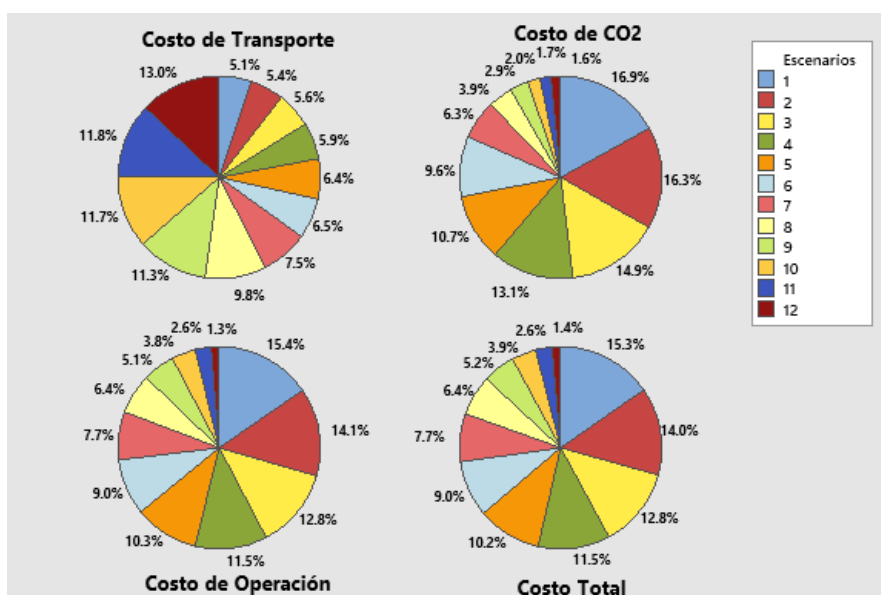


Figura 52. Primera Temporada Escenario 4: Nuevos Requerimientos.

La Figura 53 muestra los resultados del cuarto escenario para la segunda temporada de la producción traspatio. Esta Figura representa en porcentajes los resultados obtenidos del escenario 4, los cuales se encuentran detallados en la Tabla 30, y corresponden a la proyección traspatio de la segunda temporada.

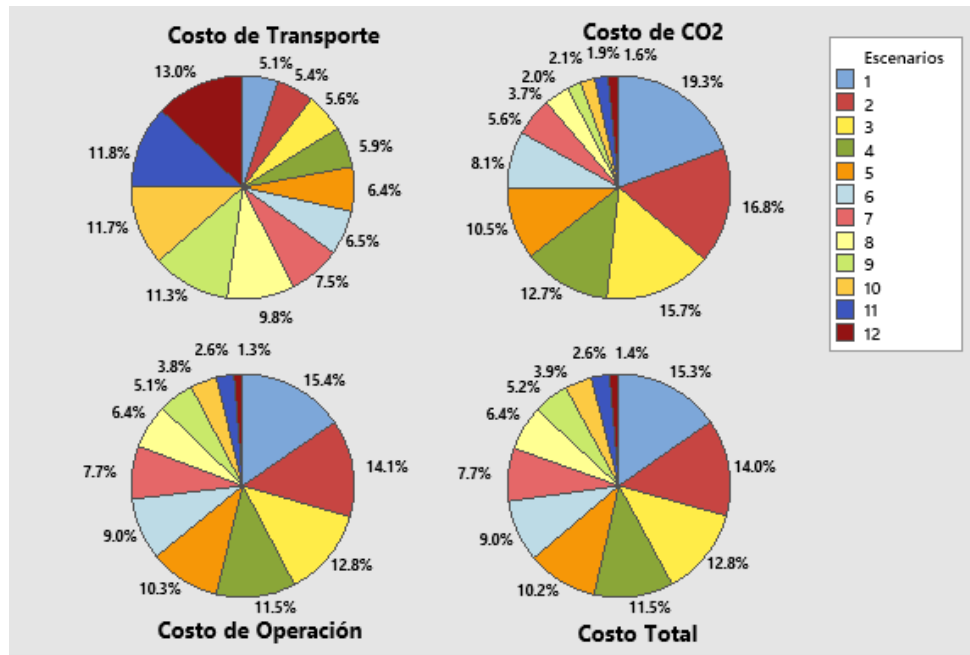


Figura 53. Segunda Temporada Escenario 4: Nuevos Requerimientos.

Los resultados de la primera y segunda temporada incluyen doce variaciones del escenario 4 que determinan los costos totales de la red. Además, estos costos están asociados con los nuevos requerimientos basados en los productos residuales en el almacén hasta que se agotó la producción en los centros de acopio. Por lo tanto, estos costos adicionales se reflejan en la red. Se observa que en el escenario doce es el que presenta menor costo de la red con \$397,338.268, para ambas temporadas, mientras que el escenario uno es el que presenta mayor costo de la red, en la temporada uno con \$4,409,477.264 y en la segunda temporada con \$4,410,108.138.

Para la primera temporada, el centro de demanda de Misantla fue el que solicitó mayor producción con un total de 219.197 toneladas, mientras que Juchique de Ferrer obtuvo 206.146 toneladas. En la segunda temporada, Misantla solicitó 240.873 toneladas y Juchique de Ferrer 247.058 toneladas, por lo que fue el que demandó más en la segunda temporada. Por lo tanto, el programa atiende los requerimientos con base al tipo de producto y la cantidad solicitada por los centros de demanda, demostrando que el modelo atiende esta cuarta condición de forma eficiente.

Conclusiones.

En este estudio se logró ubicar de manera óptima centros de acopio para la concentración de cosechas traspatio en la Región Intermunicipal de Misantla a través de un enfoque de programación matemática. Se identificaron a los proveedores agrícolas de traspatio, se estimó el volumen de producción traspatio y se diseñó una red de nodos, lo que nos llevó a desarrollar un modelo para la ubicación óptima de estos centros. Para ello, se utilizó un modelo de localización de instalaciones no capacitado de tres niveles y multiproducto, denominado “Three-echelon Multiproduct Uncapacitated Facility Location Problem”, (TMUUFLP). Este modelo fue formulado en programación lineal multiobjetivo y evaluado programado en Python® 3.11.

El modelo se aplicó a través de cuatro escenarios que determinaron la proyección de los requerimientos de cada centro de demanda y evaluaron la sensibilidad de los resultados en la distribución y planeación de los productos traspatio desde las localidades productoras hacia los centros de acopio y luego a los centros de demanda. Se identificaron 12 lugares potenciales para establecer los centros de acopio en la región de estudio, estos son: Yecuatla, La Defensa, Colipa, Dos Arroyos, Plan de la Vega, Arroyo Hondo, Vicente Guerrero, Arroyo Frio, Ignacio Zaragoza, Santa Clara, La Desviación de Colorado y Plan de las Hayas. Al analizar los costos globales de la red, se determinó que el centro de acopio óptimo es Yecuatla, lo que indica que el modelo responde eficazmente al priorizar los centros de acopio en cada escenario, destacándose Yecuatla como la opción más favorable. Estos resultados responden a las preguntas de investigación que dieron origen a este trabajo y validan la hipótesis planteada y confirman la viabilidad del modelo, demostrando su utilidad para decidir la ubicación óptima de centros de acopio y reducir los costos globales de la red para optimizar la recolección de la producción traspatio en la región estudiada.

Por otra parte, si se considera una distribución más equitativa de centros de acopio en la región de estudio, la opción viable es elegir seis centros de acopio, los cuales son: Yecuatla, La Defensa, Colipa, Dos Arroyos, Plan de la Vega y Arroyo Hondo. Esta opción no solamente reduce los costos globales de la red, sino que también proporciona una mayor cobertura a las diversas localidades de la región. Si se opta por instalar un centro de acopio, Yecuatla se presenta como la elección óptima. El seguimiento a los resultados de esta Tesis, pueden centrarse en considerar que exista movimiento e intercambio entre centros de acopio, para el caso en el que la carga de un transporte no sea completa.

Referencias.

- Aldemir, G., Emre, Y., Meral, K., Gür, G., Aldemir, G., & Çebi, F. (2019). *Network Design Of Regulated Sales Points For Raw Vegetables: a Case in Istanbul*. <https://www.researchgate.net/publication/337166402>
- Almeida Guimarães, V., Skroder, G. C., Mattos Ribeiro, G., & González, P. H. (2021). Strategic planning of freight transportation to support smart cities design: The Brazilian soybean case. *Revista Facultad de Ingeniería*, 104–116. <https://doi.org/10.17533/udea.redin>
- Ambrosio Montoya, M. (2020). El huerto Agroecológico Colectivo Flor de Mayo. *Red Chiapaneca de Huertos Educativos*, 4–8.
- Andrés Navarro, B., & Sempere Ripoll, M. F. (2021). *Localización de instalaciones*. <https://riunet.upv.es:443/handle/10251/167943>
- Armin, L., Benavente, M., Bustos, J., & Venegas, B. (2009). *El Problema de Rutas de Vehículos: Extensiones y Métodos de Resolución, estado del Arte*.
- Arteaga Ordóñez, F. A., Hernández Zetino, E. P., & Ramírez Garay, S. I. (2012). *Diseño de un Centro de Acopio y el Manual de Buenas Prácticas de Manufactura para el Procesamiento de Tilapia (Oreochromis niloticus) de Cultivo Acuícola*.
- Ballesteros Gómez, C. (2017). Estrategia para la reducción de pérdidas de productos perecederos en el proceso de distribución. Caso de estudio plátano en la región de Cundinamarca. In *Universidad Nacional de Colombia*. Universidad Nacional de Colombia.
- Barbosa Avellaneda, L., & Gómez Gómez, M. L. (2017). *Localización de la plataforma logística de abastecimiento de alimentos frutihortícolas en la zona occidente de Bogotá* [Universidad de la Salle Facultad de ingeniería]. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_industrial
- Barrera, H. M., Castellanos Pulido, E. Z., Dionisio Reyes, Y. C., Hernández Tapia, R. A., & Romero Hernández, A. V. (2020). Caracterización de la cadena de suministro alimentaria corta de una pyme: caso Frijoles Rodríguez Misantla, Veracruz. *Congreso Interdisciplinario de Ingenierías*, 114–119. <https://misantla.tecnm.mx/>,
- Bello Mendoza, C. D., & Muñoz Anaya, J. C. (2009). *Las mega tendencias sociales actuales y su impacto en la identificación de oportunidades estratégicas de negocios* (FEMSA, Ed.).
- Bermeo Muñoz, E. A., & Calderón Sotero, J. H. (2009). Diseño de un modelo de optimización de rutas de transporte. *El Hombre y La Máquina*, 32, 52–676. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=47811604005>
- Bermúdez Colina, Y. (2011). Aplicaciones de programación lineal, entera y mixta. *Ingeniería Industrial. Actualidad y Nuevas Tendencias, II*, 85–104.
- Borja Arteaga, M. J. (2021). Un nuevo enfoque para el problema de localización y ruteo de vehículos en la cadena de suministros de productos perecederos. In *Universidad de Córdoba, Colombia*. Universidad de Córdoba Facultad de Ingenierías.

- Bravo Quintero, H. A. A. U. J. F. L. G. (2016). *Aplicación de programación binaria entera: caso de estudio en una distribuidora de zapatos por catálogo*. 44–49.
- Camacho-Camacho, H., Espinosa-Gómez, L. K., & Monroy, C. A. (2012). *Importancia de la cadena de suministros en las organizaciones*. <http://www.liderempresarial.com/num115/13.php>
- Canós Darós, M. J., Martínez Romero, M. L., & Mocholí Arce, M. (2005). Un algoritmo para el cálculo del conjunto dominante finito del problema generalizado de la p-centdiana. *Electrónica de Comunicaciones y Trabajos de ASEPUMA*, 6, 87–112.
- Carreño Solís, A. J. (2017). *Cadena de suministro y logística*.
- Carro Paz, R. (2009). *Investigación de Operaciones en Administración*.
- Carro Paz, R., & González Gómez, D. (2012). *Localización de Instalaciones*.
- Castañeda Macías, M. Á. (2015). “*Modelo matemático del sistema de distribución en dos escalones*.”
- Castillo Duarte, E. A. (2015). *Metodología para la localización de instalaciones de producción de biocombustibles con enfoque de cadenas de suministro. Aplicaciones en el contexto colombiano*. 1–216.
- CEIEG. (2021). *Cuadernillos Municipales*. <http://ceieg.veracruz.gob.mx/2021/06/17/cuadernillos-municipales-2021/>
- Chouhan, V. K., Khan, S. H., & Hajiaghaei Keshteli, M. (2021). Metaheuristic approaches to design and address multi-echelon sugarcane closed-loop supply chain network. *Soft Computing*, 25(16), 11377–11404. <https://doi.org/10.1007/s00500-021-05943-7>
- CMSA-LPZ. (2016). *Centros de Acopio*.
- COFECE. (2015). *Reporte sobre las Condiciones de Competencia en el Sector Agroalimentario*.
- CONABIO. (2021). *La biodiversidad en Veracruz Estudio de Estado*. https://www.biodiversidad.gob.mx/region/EEB/estudios/ee_veracruz
- CONEVAL. (2020). *Medición de la pobreza, Estados Unidos Mexicanos, 2010-2020, Indicadores de pobreza por municipio*.
- CONEVAL. (2021). *CONEVAL Presenta las Estimaciones de Pobreza Multidimensional 2018 Y 2020*. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5542421&fecha=30/10/2018
- Coyle, J. J., Langley, JR., C. J., Novack, R. A., & Gibson, B. J. (2018). *Administración de la cadena de suministro una perspectiva logística* (R. H. Rodríguez, Ed.; Décima edición). Cengage Learning.
- Cuca García J.M., Gutiérrez Arenas D.A., & López Pérez E. (2015). *La Avicultura en México: Historia y Caracterización*. 30–36.

- Cuervo Cruz, R. A., Martínez Bernal, J., & Orjuela-Castro, J. A. (2021). Modelos logísticos estocásticos aplicados a la cadena de suministro: una revisión de la literatura. *Ingeniería*, 26(3), 334–366. <https://doi.org/10.14483/23448393.16357>
- Current, J., Dasking, M., & Schilling, D. (2002). *Discrete Network Location Models*. 81–118.
- Desarrollo Rural, R. E. (2012). Los alimentos locales y las cadenas de suministro cortas. *Revista Rural de La UE*, 1–72. <https://webgate.ec.europa.eu/>
- Duché García, A. T. T., Bernal Mendoza, H., Ocampo Fletes, I., Juárez Ramón, D., Agustín, O., & Barros Villarreal, E. (2017). Agricultura de Traspatio y Agroecología en el Proyecto Estratégico de Seguridad Alimentaria (Pesa-Fao) del Estado de Puebla. In *Publicado como Artículo en ASyD* (Vol. 14).
- ENA. (2019). *Encuesta Nacional Agropecuaria 2019*.
- Etemadnia, H., Goetz, S. J., Canning, P., & Tavallali, M. S. (2015). Optimal wholesale facilities location within the fruit and vegetables supply chain with bimodal transportation options: An LP-MIP heuristic approach. *European Journal of Operational Research*, 244(2), 648–661. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.01.044>
- Fernández Lambert, G. (2020). *Principales Productos Agroindustriales de Exportación en la Región de Misantla*.
- Fernández Lambert, G., Aguilar Lasserre, A. A., Martínez Castellanos, G., Ruvalcaba-Sánchez, M. L. G., Correa Medina, J. G., & Martínez Flores, J. L. (2015). *Contexto y Caracterización de la Cadena de Suministro del Limón Persa (Citrus latifolia Tanaka) en Veracruz-México*.
- FIRCO. (2017a). *Agricultura de Traspatio, producción agrícola en beneficio de comunidades marginadas*. <https://www.gob.mx/firco/articulos/agricultura-de-traspatio-produccion-agricola-en-beneficio-de-comunidades-marginadas?idiom=es>
- FIRCO. (2017b). *¿Sabes qué es un centro de acopio de alimentos y mermas?* <https://www.gob.mx/firco/articulos/sabes-que-es-un-centro-de-acopio-de-alimentos-y-mermas>
- Fonseca Núñez, J. E. (2017). *Modelos de programación lineal entera mixta para la planificación de la producción en artículos con vida útil corta*. 1–107.
- Gamboa Alayón, J. A. (2015). *Ganadería de traspatio en la vida familiar*. www.ecosur.mx/libros
- García-Santamaría, L. E., & Montalvo-Romero, N. (2022). *Producción Traspatio y Experiencia de Familias Vulnerables de Misantla-México en Modelos de Circuitos Cortos de Comercialización*. 01, 1–25.
- Ge, H., & Goetz, S. (2016). *Hub Location in Fresh Produce Supply Chains*.
- González Ortiz, F., Pérez Magaña, A., Fletes, I. O., Paredes Sánchez, J. A., & De La Rosa Peñaloza, P. (2013). *Contribuciones de la producción en traspatio a los grupos domésticos campesinos*.

Google. (n.d.). *Ubicación de Google Maps de una localidad rural de la región de estudio.*

Guarneros Zarandona, N., Morales Jiménez, J., Cruz Hernández, J., Huerta Peña, A., & Ávalos Cruz, D. A. (2014). Economía familiar e índice de biodiversidad de especies en los traspatios comunitario de Santa María Nepopualco, Puebla. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1701–1712. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263137781014>

H. Ayuntamiento de Misantla. (2016). *Enciclopedia de Los Municipios y Delegaciones de México*. <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM30veracruz/municipios/30109a.html>

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de Investigación* (Sexta edición).

Hillier, F. S., & Lieberman, G. J. (2010). *Introducción a la Investigación de Operaciones*.

Hongli, Y., Yongming, W., & Institute of Electrical and Electronics Engineers. (2017). *Transportation expenses minimal modelling application to fresh food supply chain*.

Hosseini-Motlagh, S. M., Samani, M. R. G., & Abbasi Saadi, F. (2021). Strategic optimization of wheat supply chain network under uncertainty: a real case study. *Operational Research*, 21(3), 1487–1527. <https://doi.org/10.1007/s12351-019-00515-y>

INECC. (2014). *"Factores de Emisión para los Diferentes Tipos de Combustibles Fósiles y Alternativos que se Consumen en México"*. <http://www.inecc.gob.mx>

INEGI. (2019). *Actualización del Marco Censal Agropecuario 2016*. Agricultura.

INEGI. (2020). *Censo de Población y Vivienda*. <https://www.inegi.org.mx/app/cpv/2020/resultadosrapidos/default.html?texto=misantla>

INEGI. (2022). *Red Nacional de Caminos RNC. 2022*. Vías de Comunicación.

Kambli, A., & McGarvey, R. G. (2021). Network design for local agriculture using robust optimization. *Information Processing in Agriculture*, 8(3), 469–483. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2020.09.004>

Klose, A., & Drexl, A. (2005). Facility location models for distribution system design. *European Journal of Operational Research*, 162(1), 4–29. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2003.10.031>

Lara Velasco, C., Bonrostro Pacheco, J. A., & Orden Hernán, G. (2017). *Optimización Multiobjetivo del Transporte de Personas Discapacitadas. Diseño de Nuevas Metodologías Metaheurísticas*.

Leyva Máximo, M. D., & Salas Bacalla, J. (2013). Una Taxonomía del Problema de Distribución de Planta por Procesos y sus Métodos de Solución. *Industrial Data*, 132–143.

López Potosme, R. A., & Parajón Guevara, A. (2017). *Algunos problemas clásicos de Optimización Combinatoria: una propuesta metodológica*.

Luria Chavez, N. (2018). *Regiones del Estado de Veracruz*. 1–10.

- Martínez Araneda, H. R., & Suazo Moraga, J. R. (2004). *The Facility Location Decisions in the Supply Chain*. 1–12.
- Martínez Salazar, I. A., Vèrtiz Camaròn, G., López Pérez, J. F., Guillermo Jiménez, L., & Moncayo Martínez, L. A. (2014). *Investigaciones de operaciones*. www.editorialpatria.com.mx
- Matson, J., & Thayer, J. (2013). The role of food hubs in food supply chains. *Journal of Agriculture, Food Systems, and Community Development*, 1–5. <https://doi.org/10.5304/jafscd.2013.034.004>
- Medina Chena, A., Salazar Chimal, T. E., & Álvarez Palacios, J. L. (2010). Fisiografía y Suelos. In *Atlas del Patrimonio Natural, Histórico y Cultural de Veracruz: Vol. I* (pp. 32–42).
- Monroy Sánchez, M. C., & Poveda Ávila, M. V. (2017). *Propuesta de localización geográfica de un centro de acopio zonal para la selección y clasificación de residuos sólidos en las localidades Santa Fe y La Candelaria*. 1–118. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_industrial
- Narro Ramírez, A. E. (1996). Aplicación de algunos modelos matemáticos a la toma de decisiones. *Política y Cultura*, 183–198.
- Neungmatcha, W., Sethanan, K., Gen, M., & Theerakulpisut, S. (2013). Adaptive genetic algorithm for solving sugarcane loading stations with multi-facility services problem. *Computers and Electronics in Agriculture*, 98, 85–99. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2013.07.016>
- Olivera Cortina, D. A. (2014). Modelo para la Ubicación Física de Seguridad de la Universidad de las Ciencias Informáticas. *Instituto Superior Politécnico*, 1–76.
- Olvera Hernández, J. I., Álvarez Calderón, N. M., Aceves Ruiz, E., & Guerrero-Rodríguez, J. de D. (2017). *Perspectivas del Traspasamiento y su Importancia en la Seguridad Alimentaria*. www.colpos.mx.
- ONU. (2018). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe*. www.cepal.org/es/suscripciones
- Orjuela-Castro, J. A., Sanabria-Coronado, L. A., & Peralta-Lozano, A. M. (2017). Coupling facility location models in the supply chain of perishable fruits. *Research in Transportation Business and Management*, 24, 73–80. <https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2017.08.002>
- Palao Barberá, J., Navarro Baños, R., & Fernández De Bobadilla, W. G. (2016). *Aplicación en la Gestión Estratégica de Sistemas de Información Geográfica para la Localización de Instalaciones* (Vol. 2, Issue 1). <http://www.anec.cu/ekotemas>
- Paredes Belmar, G., Montero, E., & Leonardini, O. (2022). A milk transportation problem with milk collection centers and vehicle routing. *ISA Transactions*, 122, 294–311. <https://doi.org/10.1016/j.isatra.2021.04.020>
- Pérez Méndez, M., Hernández Gutiérrez, E., & Cobos Prior, F. J. (2018). *La Lluvia en el Centro de Veracruz*.

- PROGOB. (2019). *Plan Veracruzano de Desarrollo*. 1–306. <http://www.veracruz.gob.mx/programadegobierno/plan-veracruzano-de-desarrollo-2019-2024/>
- Python Software Foundation. (2023). *The Python Software Foundation is an organization devoted to advancing open source technology related to the Python programming language*. <https://www.python.org/psf-landing/>
- Ramírez Lavoignet, D. (2020). *Datos geográficos de Misantla, del libro de un gran maestro veracruzano*. <http://misantla.mx/del-libro-de-un-gran-maestro-veracruzano/>
- Render, B., Stair JR, R. M., & Hanna, M. E. (2012). *Métodos cuantitativos para los negocios*. <http://www.pearsonenespa>
- SADER. (2018). *Huerto de traspatio, sustentable y saludable*. <https://www.gob.mx/agricultura/coahuila/articulos/huerto-de-traspatio-sustentable-y-saludable-162440?idiom=es>
- SADER. (2020). *Huerto de traspatio: alimentos, salud y esparcimiento*. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/huerto-de-traspatio-alimento-salud-y-esparcimiento?idiom=esplantas>
- Sanabria Coronado, L. A., Peralta Lozano, A. M., & Orjuela, J. A. (2016). Modelos de Localización para Cadenas Agroalimentarias Perecederas: una Revisión al Estado del Arte. *Ingeniería*, 22(1), 23–45. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.reving.2017.1.a04>
- Sánchez Galván, F., Bautista Santos, H., Martínez Flores, J. L., Ireta Paredes, A. del R., & Sánchez Partida, D. (2020). Cadena de suministro de productos agrícolas de traspatio. *Agro Productividad*, 13(8), 39–46. <https://doi.org/10.32854/agrop.vi.1705>
- SEDECOP. (2018). *El estado de Veracruz*. <http://www.veracruz.gob.mx/desarrolloeconomico/el-estado-de-veracruz/>
- SIAP. (2018). *Análisis del Comportamiento del Empleo en el Sector Primario (Primer Semestre de 2018)*. <https://www.gob.mx/siap/documentos/analisis-del-comportamiento-del-empleo-en-el-sector-primario-134578>
- SIAP. (2020). *La importancia del sector primario en México*. <https://www.gob.mx/siap/articulos/la-importancia-del-sector-primario-en-mexico?idiom=es>
- SIAP. (2022). *Estadística de Producción Agrícola*. <https://www.gob.mx/siap>
- SIEGVER. (2021). *Cuadernillos Municipales 2021*. <https://misantla.gob.mx/>
- Silva Rodríguez, J., Díaz Cárdenas, C., & Galindo Carabalí, J. (2017). Herramientas cuantitativas para la planeación y programación de la producción: estado del arte. *Ingeniería Industrial. Actualidad y Nuevas Tendencias*, 18, 99–114.
- Sima, S. A. (2021). Mathematical Programming Model for the Two-Level Facility Location Problem: The Case of Tanzanian Emergence Maize Distribution Network for 2004–2010

Maize Data. *Tanzania Journal of Science*, 47(3), 1020–1032.
<https://doi.org/10.4314/tjs.v47i3.13>

Terrazas Pastor, R. (2012). *Aplicación de la programación matemática a la localización de proyectos*.

Theeraviriya, C., Pitakaso, R., Sethanan, K., Kaewman, S., & Kosacka Olejnik, M. (2020). A new optimization technique for the Location and Routing Management in Agricultural Logistics. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 6(1), 1–21.
<https://doi.org/10.3390/joitmc6010011>

Valdez Alcaraz, O. C., & Jiménez Santiago, E. M. (2014). *La Competitividad de las microempresas artesanales del estado de Morelos y el Capital Social como alternativa de solución*.

Walha, F., Chaabane, S., Bekrar, A., & Loukil, T. (2014). *The Cross docking under uncertainty: state of the art*.

Winarno, H., Perdana, T., Handayati, Y., & Purnomo, D. (2020). Efforts to Realize Regional Food Distribution Center (Case Study on the Establishment of a Food Distribution Center in Banten Province, Indonesia). In *Int. J Sup. Chain. Mgt* (Vol. 9, Issue 3). <http://excelingtech.co.uk/>

Yeh, D., Nishi, I., & Gómez, M. I. (2017). *Working Paper A Supply Chain Impacts of Vegetable Demand Growth: The Case of Cabbage in the U.S.*