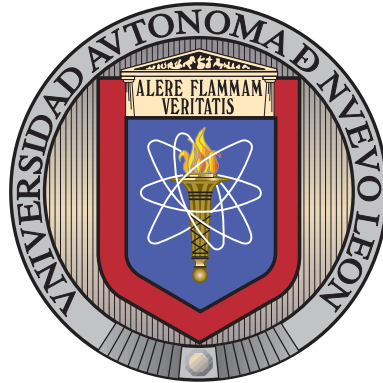


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO



ALTERNATIVA DE RUTA PARA LA EXPORTACIÓN  
DE TOMATE ROJO SINALOENSE A ESTADOS  
UNIDOS DE AMÉRICA

POR

RAFAEL LEÓN VERDUGO

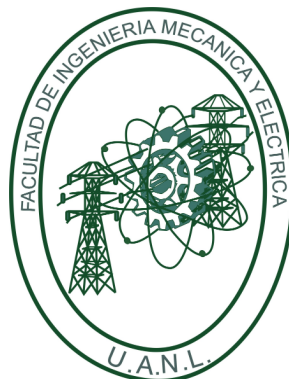
COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRÍA EN LOGÍSTICA Y CADENA DE SUMINISTRO

SEPTIEMBRE 2022

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO



ALTERNATIVA DE RUTA PARA LA EXPORTACIÓN  
DE TOMATE ROJO SINALOENSE A ESTADOS  
UNIDOS DE AMÉRICA

POR

RAFAEL LEÓN VERDUGO

COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRÍA EN LOGÍSTICA Y CADENA DE SUMINISTRO

SEPTIEMBRE 2022

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN**  
**Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica**  
**Posgrado**

Los miembros del Comité de Evaluación de Tesis recomendamos que la Tesis "Alternativa de ruta para la exportación de tomate rojo sinaloense a Estados Unidos de América", realizada por el/la estudiante Rafael León Verdugo, con número de matrícula 2082102, sea aceptada para su defensa como requisito parcial para obtener el grado de Maestría en Logística y Cadena de Suministro.

**El Comité de Evaluación de Tesis**


Dra. Jania Astrid Saucedo Martínez  
Director

Dra. Edith Lucero Ozuna Espinosa  
Revisor

Dr. Miguel Mata Pérez  
Revisor

Dr. Luis Alfonso Infante Rivera  
Revisor

Vo.Bo.

  
Dr. Simón Martínez Martínez  
Subdirector de Estudios de Posgrado



Institución 190001

Programa 642597

Acta Núm. 4115

Ciudad Universitaria, a 09 de diciembre del 2022.

*Agradezco profundamente a mi familia por ser mi inspiración y mi más grande tesoro.*

*A mis compañeros que fueron un gran apoyo en la consecución de este proyecto.*

# ÍNDICE GENERAL

---

<b>Agradecimientos</b>	<b>XIII</b>
<b>Resumen</b>	<b>XIV</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Descripción del problema . . . . .	2
1.2. Objetivo . . . . .	4
1.3. Hipótesis . . . . .	4
1.4. Justificación . . . . .	4
1.4.1. Panorama internacional . . . . .	4
1.4.2. Tránsito transfronterizo, transporte y distribución . . . . .	9
1.5. Metodología . . . . .	9
1.6. Estructura de la tesis . . . . .	10
<b>2. Antecedentes</b>	<b>11</b>
2.1. Cadena de suministro . . . . .	11
2.1.1. Cadena de suministro agroalimentaria . . . . .	12

2.1.2.	Principales causales de mermas dentro de la cadena de suministro	13
2.2.	Problemáticas de las cadenas de suministro agroalimentarias . . . . .	17
2.3.	Clasificación de los problemas de la cadena de suministro agroalimen- tarias . . . . .	19
2.4.	Metodologías utilizadas para abordar los problemas de transporte y distribución dentro de las cadenas de suministro agroalimentarias . .	20
2.5.	Modelos matemáticos aplicados a problemas de transporte y distribu- ción en las cadenas de suministro agroalimentaria . . . . .	22
2.5.1.	Aplicación de modelos de programación lineal entera mixta . .	23
2.5.2.	Software y solución del modelo . . . . .	26
2.6.	Conclusión del capítulo . . . . .	26
<b>3.</b>	<b>Metodología</b>	<b>27</b>
3.1.	Investigación de operaciones . . . . .	27
3.2.	Modelo matemático propuesto para la resolución del presente caso . .	29
3.2.1.	Modelo matemático . . . . .	32
<b>4.</b>	<b>Experimentación y análisis</b>	<b>34</b>
4.1.	Recopilación de datos para la aplicación del modelo . . . . .	34
4.2.	Instancia ilustrativa . . . . .	36
4.3.	Instancias de experimentación . . . . .	37
4.4.	Resultados y análisis . . . . .	39
4.5.	Recomendaciones operativas para la empresa . . . . .	43

---

<b>5. Conclusiones</b>	<b>49</b>
5.1. Conclusiones generales . . . . .	49
5.2. Contribuciones académicas . . . . .	50
5.3. Líneas de investigación futuras . . . . .	50
<b>A. Apéndice 1</b>	<b>51</b>

# ÍNDICE DE FIGURAS

---

1.1. Esquema de las operaciones actuales de exportación de tomate sinaloense hasta EUA. . . . .	3
1.2. Países con la mayor superficie cosechada destinada a tomate en el año 2020. . . . .	5
1.3. Hectáreas destinadas a la cosecha del tomate en EUA entre 2015 y 2020 y producción anual de tomate en EUA entre 2016 y 2021. . . . .	6
1.4. Principales países exportadores de tomate en el año 2020 y principales importadores de tomate en el año 2020. . . . .	6
1.5. Entidades productoras de tomate saladette y bola medidas en miles de toneladas. . . . .	8
1.6. Proceso metodológico utilizado. . . . .	9
2.1. Cadena de suministro simple. . . . .	12
2.2. Cadena de valor del tomate sinaloense. . . . .	17
2.3. Tipos de modelo aplicados a la distribución de productos perecederos en cadena de frío en la literatura. . . . .	23
3.1. Fases de la investigación de operaciones . . . . .	29

---

4.1. Funcionamiento de la página <i>Traza tu ruta</i> de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes. . . . .	35
4.2. Resultado arrojado por la página <i>Traza tu ruta</i> . . . . .	44
4.3. Funcionamiento de la página <i>Border wait times</i> de la agencia de protección de fronteras y aduanas. . . . .	45
4.4. Resultado de la página <i>Border wait times</i> de la agencia de protección de fronteras y aduanas. . . . .	46
4.5. Funcionamiento del software Funcionamiento del software <i>PC Miler</i> . . . . .	47
4.6. Instancia ilustrativa (datos). . . . .	47
4.7. Instancia ilustrativa (solución). . . . .	48
4.8. Método de conteo de tiempo. . . . .	48

# ÍNDICE DE TABLAS

---

1.1. Principales municipios productores de tomate de la República Mexicana. . . . .	8
2.1. Causales de problemas dentro de las cadenas de suministro agroalimentarias. . . . .	18
2.2. Problemáticas de la cadena de suministro y su técnica correspondiente de resolución. . . . .	21
2.3. Principales técnicas de modelación matemática y sus métodos de solución para los problemas de distribución en cadena de frío. . . . .	24
4.1. Resultado del modelo sobre las operaciones actuales de la empresa. . . . .	39
4.2. Resultado del modelo sobre las instancias medianas. . . . .	41
4.3. Comparativa de costos entre las instancias medianas y las instancias grandes. . . . .	42
4.4. Resultado del modelo sobre las instancias grandes. . . . .	42
4.5. Comparativa de costos entre las instancias reales y las instancias grandes. . . . .	42
A.1. Distancia entre los distintos orígenes y las distintas fronteras . . . . .	52

---

A.2. Distancia y tiempos de tránsito entre las distintas fronteras y los distintos centros de distribución . . . . .	53
A.3. Distancia y tiempos de tránsito entre los distintos centros de distribución y los distintos clientes . . . . .	54
A.4. Tiempo de cruce en la frontera 1 . . . . .	55
A.5. Tiempo de cruce en la frontera 2 . . . . .	56
A.6. Tiempo de cruce en la frontera 3 . . . . .	57
A.7. Tiempo de cruce en la frontera 4 . . . . .	58
A.8. Tiempo de cruce en la frontera 5 . . . . .	59
A.9. Tiempo de cruce en la frontera 6 . . . . .	60
A.10. Tiempo de cruce en la frontera 7 . . . . .	61
A.11. Tiempo de cruce en la frontera 8 . . . . .	62
A.12. Tiempo de cruce en la frontera 9 . . . . .	63
A.13. Tiempo de cruce en la frontera 10 . . . . .	64
A.14. Tiempo de cruce en la frontera 11 . . . . .	65
A.15. Tiempo de cruce en la frontera 12 . . . . .	66
A.16. Tiempo de cruce en la frontera 13 . . . . .	67
A.17. Tiempo de cruce en la frontera 14 . . . . .	68
A.18. Tiempo de cruce en la frontera 15 . . . . .	69
A.19. Tiempo de cruce en la frontera 16 . . . . .	70
A.20. Tiempo de cruce en la frontera 17 . . . . .	71

---

A.21. Tiempo de cruce en la frontera 18 . . . . .	72
A.22. Tiempo de cruce en la frontera 19 . . . . .	73

# AGRADECIMIENTOS

---

Agradezco profundamente a mi familia por su apoyo incondicional en todo momento durante mis estudios de posgrado.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca proporcionada para la consecución de este proyecto.

A la Universidad Autónoma de Nuevo León y especialmente a la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica por el apoyo económico otorgado durante mi estudio de maestría.

A mi directora de tesis, la doctora Janía Astrid Saucedo Martínez, quien con su apoyo invaluable y gran dedicación me guió en cada paso de este camino.

A mis revisores de tesis, la doctora Edith Lucero Ozuna Espinosa, el doctor Miguel Mata Pérez y el doctor Luis Alfonso Infante Rivera; cuyas aportaciones enriquecieron enormemente este proyecto.

Al comité de tesis por el tiempo y dedicación plasmado en este estudio.

Finalmente, un agradecimiento especial a los profesores por su empeño en formarnos cómo maestros.

# RESUMEN

---

Rafael León Verdugo.

Candidato para obtener el grado de Maestría en Logística y Cadena de Suministro.

Universidad Autónoma de Nuevo León.

Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.

Título del estudio: ALTERNATIVA DE RUTA PARA LA EXPORTACIÓN DE TOMATE ROJO SINALOENSE A ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA.

Número de páginas: 87.

**OBJETIVOS Y MÉTODO DE ESTUDIO:** El presente trabajo busca dar solución a la problemática de una empresa cuya principal actividad es la exportación de tomate en el estado de Sinaloa. El producto se embarca desde su origen hasta una serie de clientes ubicados en diferentes estados de la Unión Americana. Para ello, los vehículos cruzan por la frontera en Nogales en el estado de Sonora para después dirigirse a una serie de centros de distribución ubicados cerca de los clientes. Sin embargo, la ruta Cuiliacán-Nogales presenta una aglomeración importante de vehículos durante la temporada de exportación así como una serie de fallas estructurales que alargan el tiempo de tránsito de 8 horas hasta 36 horas lo cual se traduce en mermas de mercancía y pérdidas monetarias para la empresa.

El método de estudio se deriva de una revisión de literatura referente problemáticas de optimización de ruta para cadena de suministro agroalimentarias en base a la cual se propone un modelo matemático de programación lineal entera mixta.

El objetivo de este estudio es reducir los costos de transporte de exportación del tomate rojo desde su origen en Sinaloa hasta su destino en los Estados Unidos mediante el uso de rutas alternas de exportación considerando los tiempos de vida

del producto y las distintas fronteras disponibles.

**CONTRIBUCIONES Y CONCLUSIONES:** Se concluye que el uso de rutas alternas de exportación reduce de forma importante los costos de transporte. De la misma forma, la forma óptima de las operaciones requiere el uso de cuatro fronteras y no una sola cómo sucede actualmente en la empresa. A si mismo, se puede eliminar el uso del sexto centro de distribución puesto que solo cinco son utilizados al ejecutar el modelo.

La principal aportación de este trabajo es el demostrar de forma matemática que el uso de rutas alternas de exportación reduce los costos de transporte y, por tanto, mejora las operaciones de la empresa.

Firma del asesor: \_\_\_\_\_  
Dra. Jania Astrid Saucedo Martínez

## CAPÍTULO 1

# INTRODUCCIÓN

---

El tomate rojo es la hortaliza más importante del país, especialmente para el estado de Sinaloa. Actualmente las exportaciones de este producto ascienden a dos mil millones de dólares anuales. Las agrícolas sinaloenses han creado una infraestructura así como una serie de sistemas para poder concretar las exportaciones de tomate rojo; la importancia de dicho producto es tal que el gobierno del estado ha creado apoyos para el denominado clúster del tomate para fomentar el crecimiento del área y apoyar a los más de 180 mil trabajadores que laboran en el rubro (Posadas, 2017).

De la misma forma, el comercio internacional de productos agroalimentarios a tenido un aumento exponencial desde el año 2015 hasta el presente y ha representado una oportunidad de crecimiento importante para las empresas del rubro incentivándolas a orientarse a la exportación como medio para aumentar sus rendimientos (Karipidis *et al.*, 2020). Dicho lo anterior, dichas empresas deben de considerar ciertos factores para mantener la competitividad y sacar provecho de estas oportunidades.

Los factores más importantes para hacer que las actividades de exportación sean rentables son la calidad del producto (Karipidis *et al.*, 2017; Bogers *et al.*, 2018) y los costos competitivos dentro de las cadenas de suministros (Lehtinen *et al.*, 2016;

Bogers *et al.*, 2018). En este contexto, siendo que los costos logísticos representan los incrementables más importantes en una cadena de suministro agroalimentaria, es necesario optimizar procesos con el fin de reducirlos manteniendo la calidad del producto a lo largo de todos los eslabones de la cadena (Chauhan *et al.*, 2018).

La empresa objeto de este estudio se desempeña en el giro de la producción y exportación de tomate. El proceso de producción comienza con la siembra y el cuidado de la hortaliza en el mes de marzo hasta el mes de septiembre. Cuando la fruta está lista, esta se cosecha, durante los meses de octubre hasta febrero, cuando la fruta se empaca en cajas de cartón y se embarca a los Estados Unidos en vehículos con temperatura y atmósfera controlada. Los vehículos cruzan la frontera y se transportan a una serie de centros de distribución donde la mercancía se desconsolida y se distribuye a una serie de clientes en la unión americana.

Sin embargo, la ruta principal por la cual transitan los camiones que exportan el tomate rojo es por la carretera Culiacán-Nogales, la cual (debido al precario estado en el que se encuentra así como otras ineficiencias tales como retenes, etc.) dificulta la logística de exportación.

El presente documento es un análisis de diversas rutas alternativas para la exportación de tomate, cuya finalidad es reducir los costos de transporte de exportación teniendo en cuenta los tiempos de transporte.

## 1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Sinaloa es el principal productor de hortalizas del país y principal proveedor del vecino del norte en invierno. Dichas exportaciones se llevan en su mayoría vía Nogales, Arizona (esto es 90 % de las exportaciones de hortalizas). La ruta Culiacán-Nogales presenta problemas estructurales y operativos para la logística de tomate rojo. La carretera tiene una longitud aproximada de 980 kms; en teoría dicha distancia debería de ser recorrida en 8 horas. Sin embargo, debido a los retenes que el

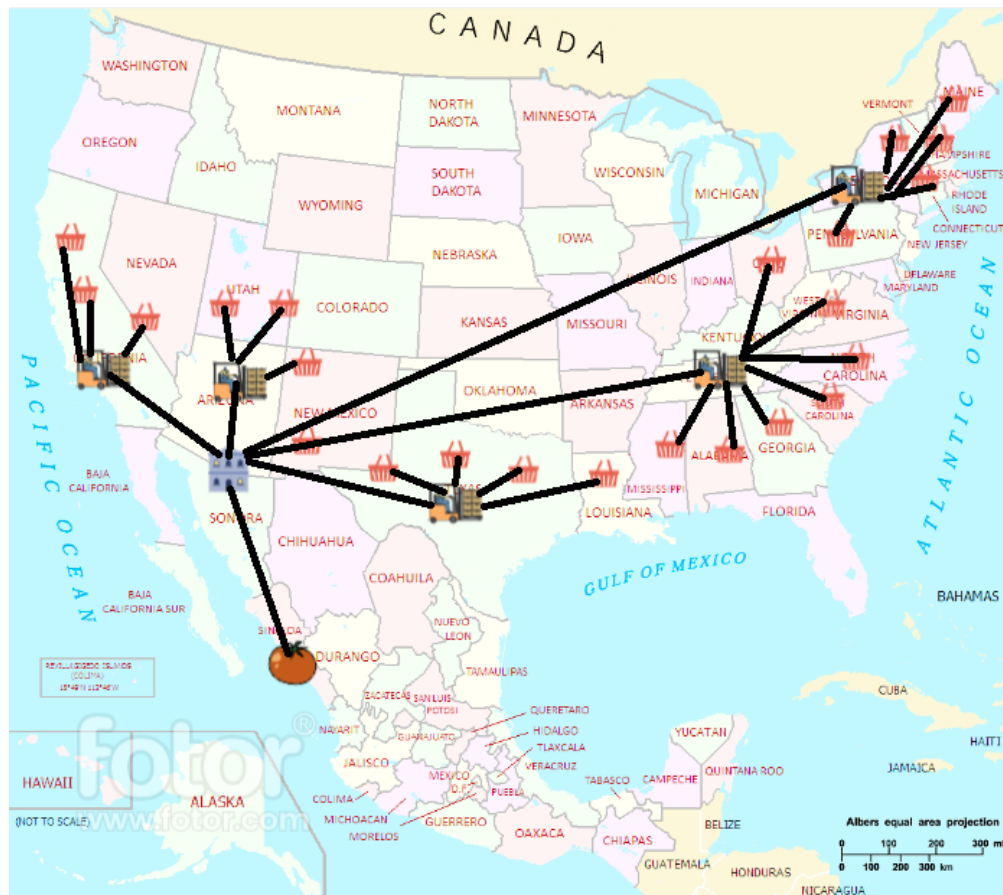


FIGURA 1.1: Esquema de las operaciones actuales de exportación de tomate sinaloense hasta EUA.

Gobierno Federal maneja en la carretera, la infraestructura deficiente de la carretera y la congestión que se suscita durante la temporada de exportación (200 camiones diarios durante la temporada otoño-invierno), este lapso tiende a recorrerse hasta 36 horas sobre un producto perecedero que no es manejado de la mejor manera por las autoridades. Este mal manejo tiende a causar mermas, las cuales ascienden a 70 millones de USD por temporada (García de León, 2016). En la figura 1.1 se puede ver un esquema del funcionamiento actual de las operaciones de exportación de tomate desde Sinaloa hasta EUA.

## 1.2 OBJETIVO

Reducir los costos de transporte de exportación del tomate rojo sinaloense desde su origen en Sinaloa hasta su destino en los Estados Unidos mediante el uso de rutas alternas de exportación considerando los tiempos de vida del producto y las distintas fronteras disponibles.

## 1.3 HIPÓTESIS

El uso de una ruta alterna de exportación reducirá los costos de transporte respetando los tiempos de tránsito requeridos para llevar el tomate rojo desde su origen en Sinaloa hasta su destino en los Estados Unidos.

## 1.4 JUSTIFICACIÓN

### 1.4.1 PANORAMA INTERNACIONAL

Según investigaciones de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) la superficie cosechada a nivel mundial a crecido de 4,824,192 hectáreas a 5,051,983 hectáreas 2015 y 2020 lo cual significa un aumento del 4.72% (FAO, 2022). Para el año 2020 el 50.6% de la superficie cosechada se concentraba solamente en cinco países: China (18.03%), Nigeria (13.7%), India (13.17%), Turquía (2.95%) y Egipto (2.77%). En este ranking México se posicionó como el undécimo productor en referencia a su superficie cosechada con una participación del 1.37% del total de ese año (FAO, 2022) (ver figura 1.2).

A pesar de que Estados Unidos se posiciona como el séptimo país con la mayor superficie cosechada destinada al tomate este solo cuenta con 1.7% del total de

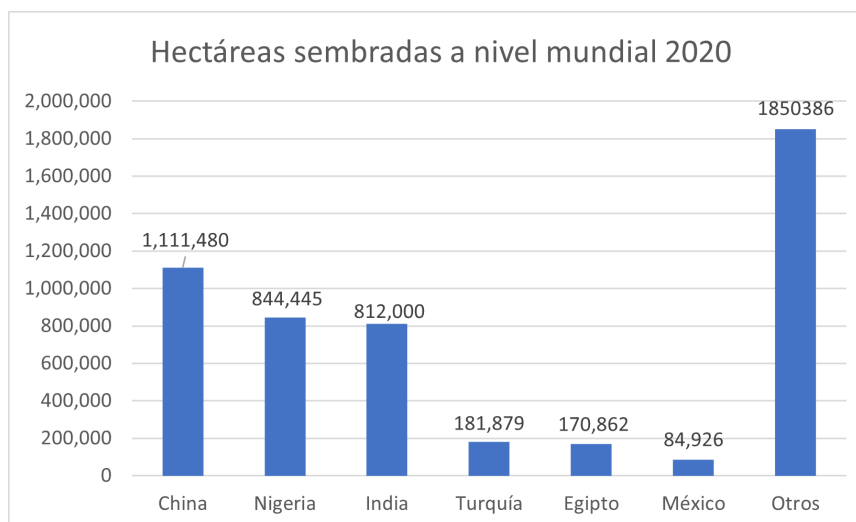


FIGURA 1.2: Países con la mayor superficie cosechada destinada a tomate en el año 2020 (FAO, 2022).

las hectáreas destinadas a esta hortaliza. Entre los años 2015-2020 las hectáreas cosechadas en este país se redujeron de 162,980 a 110,439 lo cual representa una reducción de 33.3 % (FAO, 2022). Aunado a esto la producción a caído en ese país, entre los años 2016 y 2022 la producción de tomate cayó un 19.7 % (USDA, 2022b) (ver figuras 1.3a y 1.3b). Durante el mismo tiempo, el consumo de tomate per-capita en ese país decreció de 49.3 a 37.7 kg por año donde el 89 % corresponde a productos procesados a base de tomate (pastas, purés, salsas, etc.) mientras que, el 11 % restante corresponde a consumo en fresco (USDA, 2022c).

Pese a que México es el undécimo productor a nivel mundial, en referencia a la superficie cosechada destinada al tomate, se posiciona como el primer exportador de esta hortaliza a nivel mundial con una participación del 22.7 % del total de las toneladas exportadas a nivel mundial en 2020. En ese mismo año, Estados Unidos se coronó como el primer importador de tomate a nivel mundial al recibir el 23.1 % del total de las toneladas importadas a nivel mundial (ver figuras 1.4a y 1.4b) (USDA, 2022a).

Si bien, el porcentaje de participación en las exportaciones de tomate a nivel mundial de México es muy alto, es importante destacar que el 99.7 % de este volumen

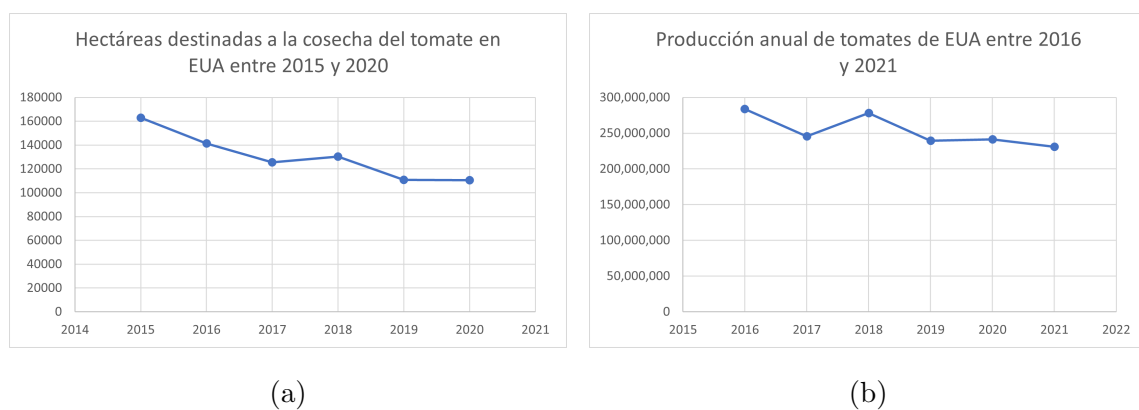


FIGURA 1.3: Hectáreas destinadas a la cosecha del tomate en EUA entre 2015 y 2020 y producción anual de tomate en EUA entre 2016 y 2021 (USDA, 2022b).

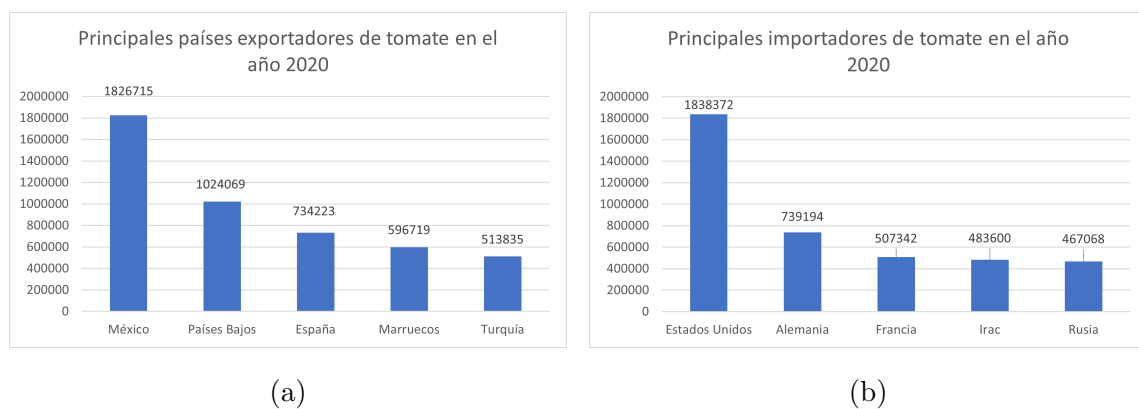


FIGURA 1.4: Principales países exportadores de tomate en el año 2020 y principales importadores de tomate en el año 2020 (USDA, 2022a).

tuvo como destino Estados Unidos en la primavera del año 2021 siendo los otros destinos Canadá, Japón y Emiratos Árabes en el mismo año (SADR, 2021).

El tomate se posiciona como la segunda hortaliza más importante para nuestro país así como el cuarto cultivo más importante en referencia a su aporte al valor de la producción agrícola a nivel primario de México (4.3 %). Le precede en importancia solamente al maíz (17.1 %), el aguacate (6.8 %) y la caña de azúcar (6.5 %). Debido a los avances en la tecnología de cultivo y las inversiones en infraestructura de agricultura protegida la superficie destinada a la producción de tomate ha disminuido a una tasa anual de 2.8 % desde el año 2007. El aumento ha sido tal que el rendimiento de las hectáreas con tecnología de agricultura protegida ha superado a aquel de las hectáreas en modalidad de agricultura abierta desde el año 2012 (FIRA, 2019).

El aumento de la superficie con infraestructura de agricultura protegida se debe a los requerimientos del mercado estadounidense de exportación. La importancia del tomate es tal que la superficie cultivada con agricultura del país destinada al cultivo de este producto se eleva al 35.7 % del total nacional (FIRA, 2019).

El estado de Sinaloa se posiciona como la primera entidad productora de las variedades saladette y bola con una participación del 23.3 % del total de la producción nacional de la primera variedad y una participación del 56.9 % en la segunda variedad (ver gráfica 1.5). El 51.9 % del total de la producción de tomate de todas las variedades se obtuvo mediante el uso de infraestructura de agricultura protegida. En el año 2017 el 22.7 % de la producción nacional de tomate se obtuvo de cuatro municipios del estado de Sinaloa los cuales se muestran en la tabla 1.1 (FIRA, 2019).

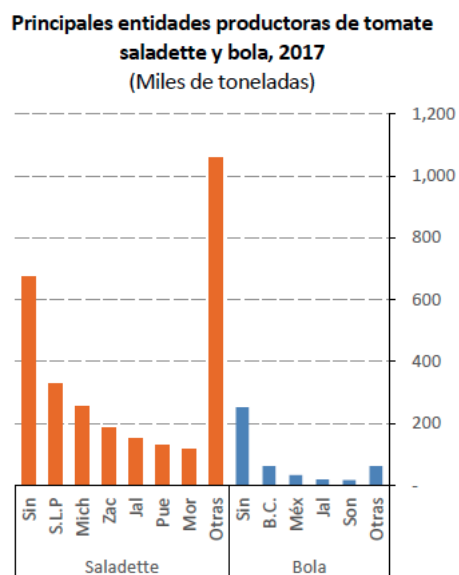


FIGURA 1.5: Entidades productoras de tomate Saladette y Bola medidas en miles de toneladas (FIRA, 2019).

TABLA 1.1: Principales municipios productores de tomate de la República Mexicana (FIRA, 2019).

Municipio	Producción (Toneladas)	Valor de la producción (Miles de pesos)	Participación	
			Producción (%)	Valor de la producción (%)
Navolato, Sin.	322,231	1,446,476	9.3	5.7
Culiacán, Sin.	299,527	1,544,945	8.6	6.1
Ensenada, B.C.	179,006	2,419,473	5.2	9.5
Elota, Sin.	91,308	427,006	2.6	1.7
Guasave, Sin.	76,934	194,462	2.2	0.8
Fresnillo, Zac.	58,886	673,578	1.7	2.6
Mulegé, B.C.S.	56,522	624,739	1.6	2.5
Villa de Guadalupe, S.L.P.	52,215	524,174	1.5	2.1
Tanhuato, Mich.	48,450	372,578	1.4	1.5
Colón, Qro.	47,730	334,653	1.4	1.3
Otros	2,236,899	16,921,350	64.5	66.4
Total	3,469,707	25,483,435	100	100

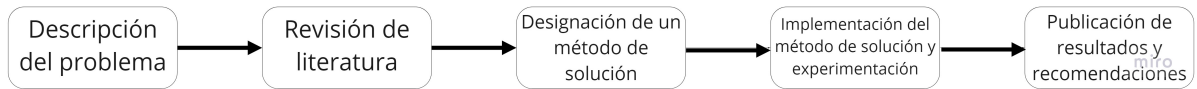


FIGURA 1.6: Proceso metodológico utilizado.

## 1.4.2 TRÁNSITO TRANSFRONTERIZO, TRANSPORTE Y DISTRIBUCIÓN

Según Maya Ambía y M. (2009), el tránsito transfronterizo, el transporte y la distribución conforman el eslabón más frágil de la cadena de suministros de hortalizas puesto que el tiempo de tránsito desde Culiacán hasta Nogales es de un mínimo de 12 horas pero puede extenderse hasta 24 horas o más dependiendo de los inconvenientes durante el trayecto tales como accidentes en carretera, el tráfico en los puntos de revisión, llegar fuera de horarios de aduana o que el producto presente irregularidades al momento de cruzar el trocadero de Nogales, Sonora. En contraste, García de León (2016) comenta que el tiempo ideal de tránsito en dicha ruta es de 8 horas pero que debido a los problemas que se suscitan en la misma este periodo puede alargarse hasta cuatro veces dicha cifra.

## 1.5 METODOLOGÍA

Para la consecución de este estudio se adaptó el método científico considerando las necesidades del mismo. El primer paso fue la descripción y comprensión del problema a resolver. El segundo paso fue una revisión de literatura científica ad hoc para investigar problemas similares y sus posibles soluciones. El tercer paso fue la designación de un método de solución para el problema antes mencionado. El cuarto paso fue la implementación del método de solución y la experimentación. El quinto paso es la publicación de resultados y la sugerencia de trabajos futuros (ver figura 1.6).

## 1.6 ESTRUCTURA DE LA TESIS

Como se mostró anteriormente, el primer capítulo versa de la importancia de la exportación de tomate tanto para el estado de Sinaloa como para México y de la relevancia que tiene este estudio. El segundo capítulo expone la revisión de la literatura en materia de cadena de suministros, entre los puntos más importantes encontramos las características de las cadenas agroalimentarias, la descripción de la cadena de suministro del tomate sinaloense y los diferentes métodos que se han utilizado para la resolución de problemas semejantes al del presente en este documento. El tercer capítulo muestra el modelo matemático propuesto para resolver la problemática presente. El cuarto capítulo contiene los resultados de la experimentación aplicando el modelo antes mencionado a la problemática de la empresa. El quinto capítulo expone las conclusiones a las que se llegaron con los datos obtenidos y los trabajos futuros que pudieran tomar como base la presente investigación.

## CAPÍTULO 2

# ANTECEDENTES

---

El presente capítulo es una recopilación del estado del arte referente a las problemáticas que afectan a la exportación de tomate y algunas medidas que se han implementado para solucionarlas. En sus secciones se abordan conceptos básicos de cadena de suministro, las características de una cadena de suministro agroalimentaria, la descripción de la cadena de suministro del tomate sinaloense, un listado de las principales problemáticas dentro de las cadenas de suministro agroalimentarias y una revisión de literatura sobre los métodos de solución más utilizados sobre los problemas de distribución de productos perecederos.

## 2.1 CADENA DE SUMINISTRO

A lo largo del tiempo se han dado diferentes definiciones de cadena de suministro. Chopra y Meindl (2008) mencionan que la cadena de suministro está formada por todas aquellas organizaciones que, de forma directa o indirecta, aportan a la consecución de las órdenes de un cliente (ver figura 2.1). La cadena de suministro no se limita a los proveedores y compradores de materia prima, sino que engloba también a los proveedores de servicios de transporte, proveedores de servicios de almacenaje, vendedores al menudeo o mayoreo, intermediarios y cualquier otro actor que facilite la satisfacción del cliente.

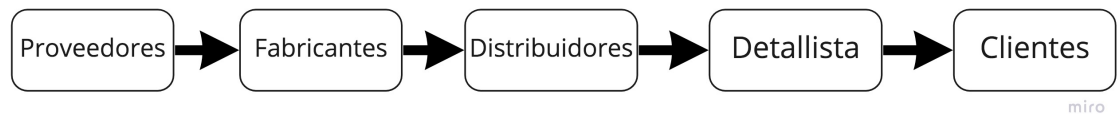


FIGURA 2.1: Cadena de suministro simple según Chopra y Meindl (2008).

### 2.1.1 CADENA DE SUMINISTRO AGROALIMENTARIA

Una cadena de suministros agroalimentaria es aquella que produce, procesa y distribuye productos provenientes de actividades agrícolas englobando a granjas productoras, empaques, fabricantes de productos alimenticios así como mayoristas, minoristas así como otras organizaciones involucradas en el manejo, transporte, almacenamiento, distribución y procesamiento de productos alimenticios (Granillo-Macías *et al.*, 2017; Stone y Rahimifard, 2018; Cagliano *et al.*, 2016).

Es importante mencionar que no todas las industrias presentan las mismas condiciones al afrontar retos logísticos. Según Nakandala *et al.* (2016a), las empresas dentro del rubro agroalimentario presentan problemas debido a la naturaleza perecedera de sus productos. El problema más importante que encaran las empresas del giro agroalimentario es mantener el estándar de calidad de sus productos puesto que estos están ligados directamente a su valor de mercado, aceptabilidad por parte del consumidor final, seguridad alimentaria y la confiabilidad de la empresa en el largo plazo.

Ramos *et al.* (2022) comentan que la principal diferencia entre las cadenas de suministro agroalimentarias y sus contrapartes no perecederas es que las primeras requieren de una serie de técnicas de manejo para afrontar el problema de la calidad del producto e incluso completar el proceso de maduración en más de una ocasión; de la misma forma el autor continúa comentando que algunas de las características comunes de las cadenas de suministro agroalimentarias incluyen la estacionalidad de la producción, la dispersión de la producción, la variabilidad en cantidad y calidad

así como las especificaciones logísticas que maneja cada producto.

### 2.1.2 PRINCIPALES CAUSALES DE MERMAS DENTRO DE LA CADENA DE SUMINISTRO

Basado en una revisión de literatura de 49 artículos hecha por Surucu-Balci y Tuna (2021), se hizo una comparativa de las principales causales de mermas dentro de la cadena de suministro. Los artículos objeto de esta revisión son un conjunto de estudios empíricos sobre organizaciones que distribuyen productos agroalimentarios tanto en cadena de frío como seco. Para realizar dicha investigación se hizo una recolección de artículos publicados en un lapso de tiempo entre los años 2000 y 2020. Las palabras clave utilizadas para recavar artículos fueron *food waste, food loss, food waste and loss, food wastage, cause, reason, driver, supply chain* y *food supply chain* así como operadores booleanos. Los autores utilizaron un conjunto de criterios y encontraron patrones semejantes pertinentes a la causales de merma dentro de las cadenas de suministro agroalimentarias. Basado en dicha investigación los autores dividen las causales de merma de la siguiente manera:

- Relacionados con el transporte.
- Relacionados con el almacenamiento.
- Relacionados con la administración de los inventarios.
- Relacionados con el proceso de empaque.
- Relacionados con la comunicación en los procesos logísticos.

Entre los problemas relacionados con el transporte, la literatura nos dice que los más recurrentes son:

- Condiciones de transporte impropias (Amicarelli y Lagioria, 2020; Ishangulyyev *et al.*, 2019; Gardas *et al.*, 2018; Canali *et al.*, 2017; Calvo-Porrall *et al.*, 2017; Corrado *et al.*, 2017; Emaná *et al.*, 2017; Gardas *et al.*, 2017).
- Retardos en el transporte (Gogo *et al.*, 2017; Göbel *et al.*, 2015; Mena *et al.*, 2014).
- Costos altos de transporte (Chauhan *et al.*, 2018; Fonseca y Vergara, 2014).
- Pobre manejo de las mercancías durante el transporte (Magalhaes *et al.*, 2021; Ishangulyyev *et al.*, 2019; Porat *et al.*, 2018; Arivazhagan *et al.*, 2016; Canali *et al.*, 2017; Calvo-Porrall *et al.*, 2017; Corrado *et al.*, 2017; Emaná *et al.*, 2017; Gardas *et al.*, 2017; Gogo *et al.*, 2017; Balaji y Arshinder, 2016; Manzocco *et al.*, 2016; Sibomana *et al.*, 2016).
- Infraestructura de transporte inadecuada (de Moraes *et al.*, 2020; Magalhaes *et al.*, 2021; Ishangulyyev *et al.*, 2019; Chauhan *et al.*, 2018; Gogo *et al.*, 2017; Arivazhagan *et al.*, 2016; Emaná *et al.*, 2017; Bahadur *et al.*, 2017; Balaji y Arshinder, 2016; Irani y Sharif, 2021; Sibomana *et al.*, 2016).

Mediante el uso del proceso de jerarquía analítica, Surucu-Balci y Tuna (2021) concluyeron que los problemas relacionados al transporte son la segunda causal de mermas detrás de los problemas relacionados con el almacenamiento.

#### 2.1.2.1 CADENA DE VALOR DEL TOMATE MEXICANO

Siendo que el tomate es la hortaliza más importante para nuestro país debido a sus valor como materia prima y el volumen de sus exportaciones, se ha documentado en diversos estudios la cadena de valor de dicho producto en México.

Según un estudio realizado por Álvarez Medina *et al.* (2017), la cadena de valor del tomate en México cuenta con cinco actividades primarias así como seis actividades de soporte que sirven de apoyo a la industria (ver figura 2.2).

En el primer eslabón se encuentran los proveedores se refiere a aquellos actores que proveen la maquinaria, semillas e infraestructura necesaria para la producción de tomate.

En el siguiente eslabón se encuentran aquellos actores encargados de la siembra y cosecha del producto, en este rubro encontramos organizaciones de diferentes dimensiones cuyos mercados meta son diferentes:

- En primer lugar, encontramos aquellas organizaciones que tienen la capacidad de producir a gran escala cuyo mercado meta es el mercado de exportación (principalmente a EUA).
- En segundo lugar, se encuentran los productores a menor escala cuyo mercado meta tiende a ser el mercado local; los productores de esta índole se caracterizan por destinar parte de su producción al autoconsumo y como forraje, la comercialización que logran para consumo humano tiende a ser a través de intermediarios en su mayoría.
- El tercer y último rubro, se refiere a los productores que utilizan sistemas de agricultura protegida tales como malla ciclónica e invernaderos especializados; dicho grupo obtiene un rendimiento mayor por hectárea. Su mercado meta tiende a ser tanto el de exportación como el local y, aunque son el grupo más reducido, el número de productores en este rubro esta acelerándose.

El tercer eslabón corresponde al de los empaques. En este eslabón se cataloga el producto dependiendo a su nivel de calidad, dimensiones; entre otras características. De la misma forma se realiza el empaque del producto para que pueda ser transportado hasta el lugar de su comercialización.

El cuarto eslabón de esta cadena corresponde a los comercializadores de este producto cuya tarea es funcionar como intermediario entre los productores y los clientes. Dentro de los comercializadores también existen diferentes rubros abarcando aquellos cuya participación termina cuando se entrega el producto en una central

de abastos hasta aquellos que ofrecen el producto a lo largo de la cadena llegando incluso al consumidor final. Señalan Álvarez Medina *et al.* (2017) que este eslabón tiende a conseguir la mayor ganancia mientras con el menor riesgo puesto que el productor tiene una posición de negociación débil debido a la corta vida de anaquel del producto y costos fijos y variables altos. Entre los comercializadores más importantes se destacan los súper mercados puesto que a ellos corresponde uno de los niveles de compra más alto. El último eslabón en la cadena es el consumidor final, el cual funciona como rector del resto de los eslabones, pues exige un producto de calidad (inocuo) con una vida de anaquel larga a un precio competitivo.

Dentro de las actividades complementarias dentro de la cadena de suministro Álvarez Medina *et al.* (2017) mencionan de la misma forma 6 actividades de apoyo. La primera de estas actividades corresponde a la investigación la cual busca producir conocimiento dentro del rubro al crear nueva tecnología y mejorar técnicas ya existentes dentro de todas las actividades que envuelven a la cadena agroalimentaria. Entre otras se pueden mencionar el desarrollo de mejores cultivos o el desarrollo de rutas de transporte más eficientes, entre otros. La segunda actividad de apoyo corresponde a la financiación, el cual juega un papel clave en el desarrollo de la agroindustria en el país. La financiación toma muchas formas dentro del rubro tales como el apoyo para conseguir insumos agrícolas, maquinaria, servicios de factoraje, entre otros. La tercera actividad de apoyo corresponde a la intermediación puesto que muchos de los productores carecen del conocimiento o de los medios para hacer llegar su producto al consumidor. La cuarta actividad de apoyo corresponde a la normatividad en materia agrícola puesto que un marco jurídico que apoye al agricultor servirá para hacer que este último sea más productivo. La quinta actividad de soporte se refiere a la asesoría y consultoría donde los productores reciben apoyos técnicos en materias varias tales como las actividades primarias de producción y comercialización. La sexta y última actividad de apoyo corresponde a la promoción donde se consideran mecanismos de promoción para posicionar el producto dentro de los mercados nacionales e internacionales (ver figura 2.2). El presente trabajo se

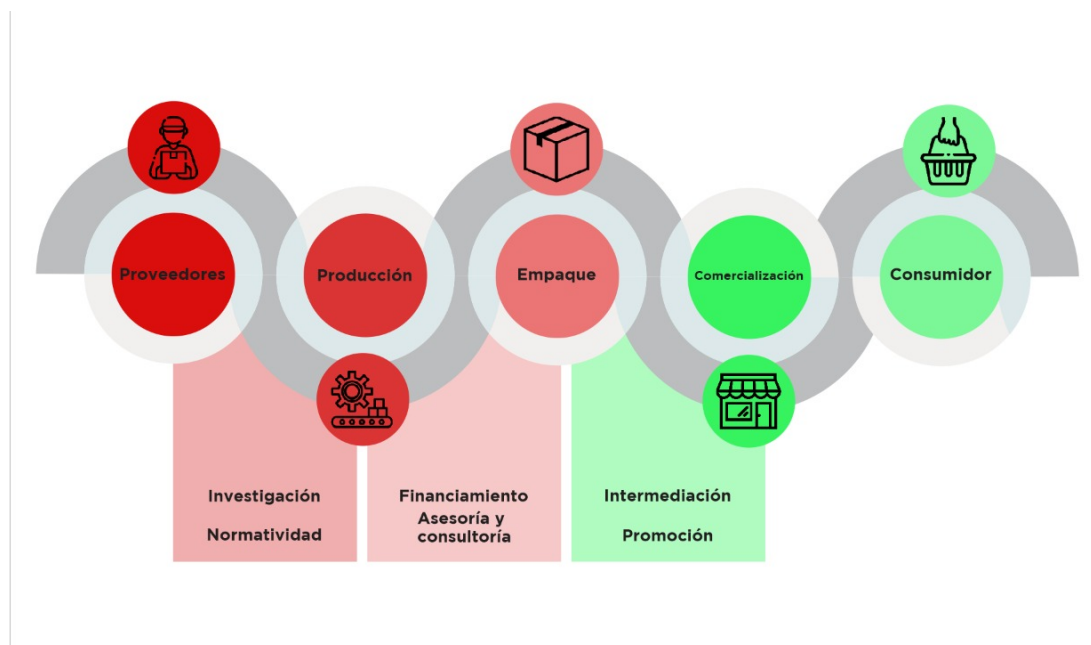


FIGURA 2.2: Cadena de valor del tomate sinaloense según Álvarez Medina *et al.* (2017).

centra en el proceso de transporte entre los eslabones de empaque y comercialización.

## 2.2 PROBLEMÁTICAS DE LAS CADENAS DE SUMINISTRO AGROALIMENTARIAS

Debido a las características intrínsecas de los productos que se manejan dentro de las cadenas agroalimentarias estos se ven expuestos a diferentes peligros dentro de los procesos de la propia cadena. A pesar de que hay una gran variedad de causales que hacen que peligre la calidad de los productos, el consenso general entre los expertos en cadenas agroalimentarias es que las principales causales de peligro son aquellas relacionadas a los procesos logísticos de la cadena (ver tabla 2.1) (Surucu-Balci y Tuna, 2021).

La primer causal de pérdidas de productos agroalimentarios durante los procesos logísticos se relacionan con sucesos durante el transporte. Entre estos se en-

TABLA 2.1: Causales de problemas dentro de las cadenas de suministro agroalimentarias (Surucu-Balci y Tuna, 2021).

Causales	Ejemplos
Transporte	Retrasos, Altos costos de transporte, falta de equipo con capacidad de cadena de frío, manejo pobre durante el proceso de transporte, infraestructura inadecuada de transporte
Almacenamiento	falta de infraestructura seca de almacenamiento, falta de infraestructura fría de almacenamiento, almacenamiento inapropiado, mal manejo de almacenamiento, Falta de equipo de manejo de almacenamiento
Administración de inventario	Falta de política de inventario estricta, pronósticos de demanda deficientes, implementación de órdenes de entrada deficiente
Empaque	Empaque dañado, material de empaque inadecuado, Daños durante el proceso de empaque
Comunicación	falta de comunicación, falta de coordinación, falta de colaboración

cuentran las condiciones de transporte impropias (no utilizar vehículos adecuados), los retardos en el transporte, los costos de transporte altos (si el costo del transporte supera a la ganancia generada por el agricultor), falta de equipo de transporte con capacidades de cadena de frío, manejo inadecuado de la mercancía durante el transporte y una infraestructura de caminos deficiente (Chauhan *et al.*, 2018; Ishangulyyev *et al.*, 2019; Arivazhagan *et al.*, 2016; Gogo *et al.*, 2017; Balaji y Arshinder, 2016; Magalhaes *et al.*, 2021; Canali *et al.*, 2017).

La segunda causal de pérdidas se suscitan durante las operaciones relacionadas con el almacenamiento. Algunos problemas que se suscitan incluyen falta de infraestructura seca de almacenamiento, falta de infraestructura fría de almacenamiento, almacenamiento inadecuado (falta de atmósfera controlada, exposición al sol, falta de higiene, etc.), manejo deficiente dentro de los almacenes y falta de equipo de almacenamiento (tal como torretas u otros) (Magalhaes *et al.*, 2021; Ishangulyyev *et al.*, 2019; Gardas *et al.*, 2018; Canali *et al.*, 2017)

La tercera causal de pérdidas están relacionadas con las operaciones de administración de inventarios. Dichas operaciones incluyen una falta de política de inventarios estricta, los pronósticos de demanda deficientes y la implementación de órdenes incorrectas (Magalhaes *et al.*, 2021; Canali *et al.*, 2017; Gardas *et al.*, 2018; Balaji y Arshinder, 2016; Irani y Sharif, 2021).

La cuarta causal está relacionada con las operaciones durante el proceso de empaque. Dentro de este rubro se encuentran aquellas pérdidas causadas por los

empaques dañados, uso de material de empaque inadecuado y los daños suscitados durante el proceso de empaque (Magalhaes *et al.*, 2021; Gardas *et al.*, 2018; Calvo-Porrall *et al.*, 2017; Gogo *et al.*, 2017).

La quinta y última causal está relacionada con la comunicación dentro de los procesos logísticos. Los autores listan dentro de este rubro la falta de comunicación, la falta de coordinación y la falta de cooperación entre las partes involucradas dentro de los procesos logísticos (Magalhaes *et al.*, 2021; Chauhan *et al.*, 2018; Gardas *et al.*, 2018; Canali *et al.*, 2017).

## 2.3 CLASIFICACIÓN DE LOS PROBLEMAS DE LA CADENA DE SUMINISTRO AGROALIMENTARIAS

Las cadenas de suministros tienden a tener problemas parecidos entre ellas. Sin embargo, las cadenas de suministro agroalimentarias presentan ciertas particularidades las cuales crean problemas endémicos de las mismas. Paam *et al.* (2016) identifican cuatro áreas funcionales comunes dentro de los problemas de la cadena de suministro: producción, cosecha, inventario y transporte o distribución.

Las variables de producción determinan qué, cuándo y cuánto producir y en que instalación así como determinar los recursos necesarios para la siembra de cada producto. En este rubro, el objetivo mas popular tiende a ser reducir las mermas suscitadas en la producción o maximizar la producción de cierto producto. El objetivo principal en este rubro según la literatura es las mermas de producto (Allen y Schuster, 2004; Widodo *et al.*, 2006; Blanco *et al.*, 2005) y maximizar las ganancias de la producción Ahumada y Villalobos (2011a).

En cuanto a las variables de cosecha, estas determinan los tiempos de cosecha, la cantidad cosechada y la asignación de trabajo y recursos requerido para la cosecha (Ampatzidis *et al.*, 2014; Caixeta-Filho, 2006). En materia de inventarios las varia-

bles de decisión pueden ser la cantidad de producto almacenada en una instalación, tiempos de orden y la cantidad de cada orden (Chen *et al.*, 2016; Herbon *et al.*, 2014; Duong *et al.*, 2015; Muriana, 2015; Venus *et al.*, 2013; Kouki *et al.*, 2013).

Por último, en materia de transporte o distribución algunas de las variables son el tipo de transportes utilizados, la cantidad transportada en cada vehículo, el número de vehículos transportados las rutas de entrega y los horarios de entrega (Allen y Schuster, 2004), la integridad del producto (Ghezavati *et al.*, 2017) y el valor de la mercancía degradada durante los procesos de transporte (Ahumada y Villalobos, 2011b; Bortolini *et al.*, 2016). Algunos estudios utilizan una función basada en el tiempo para garantizar la calidad del producto, donde al sobre pasar cierta cantidad de tiempo el producto no es apto para su consumo, teniendo el resto de los factores constante (Rong *et al.*, 2011; Zanoni y Zavanella, 2012). Estudios mas recientes buscan reducir la huella de carbono generada durante los procesos de transporte (Soysal *et al.*, 2015; Ghezavati *et al.*, 2017; de Keizer *et al.*, 2015).

Tomando en cuenta esta información y considerando las características del problema que atañe a este estudio queda claro que este último puede ser clasificado como un problema de transporte o distribución.

## 2.4 METODOLOGÍAS UTILIZADAS PARA ABORDAR LOS PROBLEMAS DE TRANSPORTE Y DISTRIBUCIÓN DENTRO DE LAS CADENAS DE SUMINISTRO AGROALIMENTARIAS

Basado en una revisión de literatura hecha por Shukla y Jharkharia (2013) se puede notar que la técnica de solución más utilizada para abordar los problemas de distribución dentro de la cadena de suministro es la modelación matemática, seguida por los estudios empíricos y los casos de estudio (ver tabla 2.2). Dicha investigación se llevó a cabo mediante el cotejo de artículos tratando diversas problemáticas de las

TABLA 2.2: Problemáticas de la cadena de suministro y su técnica correspondiente de resolución (Shukla y Jharkharia, 2013).

	Pronóstico de demanda	Planeación de la producción	Manejo de inventario	Transporte	Otros	Total
Modelación matemática		15	2	7	3	27
Simulación	1		1		3	5
Estudios empíricos	11	1	1	1	8	22
Caso de estudio	3	1		3	14	21
Investigación de acción					2	2
General	1	2		1	5	9
Total	16	19	4	12	35	86

cadena de suministro agroalimentarias. Los artículos fueron sustraídos de fuentes arbitradas en las bases de datos Emerald, Elsevier, Ebsco y Wiley. Las palabras clave utilizadas fueron: *Supply chain management*, *literature review*, *Agri-fresh produce*, *fruits* y *vegetables*. Siendo que hay una brecha entre la literatura de los autores antes mencionados y la literatura más actual se hizo una revisión de literatura propia basado en los mismos métodos considerando literatura producida entre los años 2018 y 2022, enfocados específicamente en problemas de transporte dentro de la cadena de suministro agroalimentaria. Se recopilaron un total de 13 artículos donde 10 de ellos utilizaron la modelación matemática para abordar los procesos de transporte (Li *et al.*, 2019; Patidar y Agrawal, 2020; Jabarzadeh *et al.*, 2020; Dwivedi *et al.*, 2020; Fatemi y Asgarian, 2019; Rahbari *et al.*, 2021; Hashemi *et al.*, 2021; Samarakkody y Alagalla, 2021; Dutta y Shrivastava, 2020; Wang *et al.*, 2020) mientras que 3 utilizaron el método de simulación (Song *et al.*, 2018; Ramos *et al.*, 2022; Ambekar y Kapoor, 2019).

Con base en la literatura revisada en la presente sección se llegó a la conclusión que se abordará el problema mediante el uso de un modelo matemático.

## 2.5 MODELOS MATEMÁTICOS APLICADOS A PROBLEMAS DE TRANSPORTE Y DISTRIBUCIÓN EN LAS CADENAS DE SUMINISTRO AGROALIMENTARIA

Los modelos de optimización más utilizados para afrontar las diferentes problemáticas de las cadenas de suministro agroalimentarias son los determinísticos y los estocásticos dependiendo de la certeza del valor de los parámetros a mano (Paam *et al.*, 2016). Cuando se tiene certeza sobre los datos (tales como niveles de producción, distancias a recorrer, costos, demanda, etc.) los modelos determinísticos proporcionan mejores resultados. Sin embargo, cuando se conoce el comportamiento de los datos mas no el dato puntual se aplican modelos estocásticos. Puesto que estos datos se conocen, el modelo a utilizar será determinístico.

Basado en la revisión de literatura que consta de 33 artículos cuya temática era la aplicación de modelos matemáticas sobre la distribución productos que requieren de cadena de frío (la mayoría alimentos en fresco, seguido de congelados y finalmente de la industria farmacéutica) hecha por Awad *et al.* (2020) se encontraron las diferentes técnicas de modelado de optimización aplicados a los problemas de distribución dentro de las cadenas de frío (ver Figura 2.3).

La técnica de modelado más común es la programación lineal entera mixta (MILP) (Des Freitas Borghi *et al.*, 2009; Rong y Grunow, 2010; Rong *et al.*, 2011; Ahumada y Villalobos, 2011a; Sel *et al.*, 2015; Rabbani *et al.*, 2016; Stellingwerf *et al.*, 2018; Tsang *et al.*, 2018; Albrecht y Steinrucke, 2018; Al Theeb *et al.*, 2020; Li *et al.*, 2020) seguida de la programación no lineal (NLP) (Yifeng y Ruhe, 2013; Hsu y Wu, 2013; Nakandala *et al.*, 2016b; Hsiao *et al.*, 2017; Hariga *et al.*, 2017; Lin *et al.*, 2019; Micale *et al.*, 2019) así como programación entera mixta (MIP) (García-Cáceres y Palacios-Gómez, 2015; Martínez-Salazar *et al.*, 2015; Saif y Elhedhli, 2016) y programación lineal (LP) (Pelton *et al.*, 2010; Bortolini *et al.*, 2016). Algunas otras

técnicas utilizadas fueron programación maestra linear relajada (RLMP) (Azi *et al.*, 2010) y programación lineal multi objetivo (MOLP) (Amorim y Almada-Lobo, 2014) (ver figura 2.3). Puesto que la literatura consultada versa que los modelos de programación lineal entera mixta ofrece los mejores resultados para problemas semejantes al que involucra este trabajo, se aplicará un modelo de programación entera mixta.

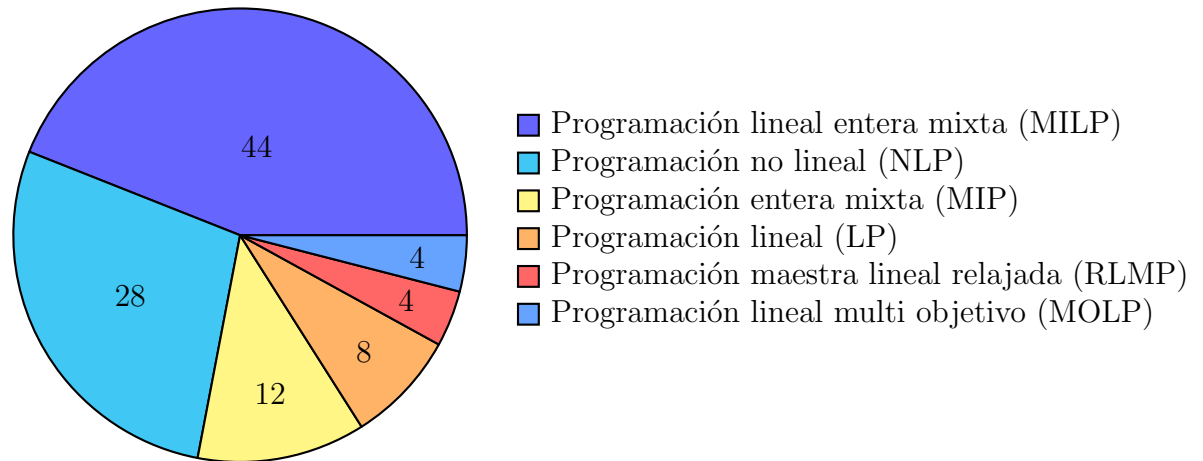


FIGURA 2.3: Tipos de modelo aplicados a la distribución de productos perecederos en cadena de frío en la literatura según (Awad *et al.*, 2020).

### 2.5.1 APLICACIÓN DE MODELOS DE PROGRAMACIÓN LINEAR ENTERA MIXTA

Pese a que la programación lineal entera mixta (MILP) es el tipo de modelo más popular en la literatura encontrada, diferentes autores le han dado una aplicación diferente. Rong y Grunow (2010); Rong *et al.* (2011); Ahumada y Villalobos (2011a) utilizaron sus modelos para minimizar los costos de transporte y distribución midiendo la degradación de sus productos durante sus procesos de transporte así como condiciones climáticas y sus efectos sobre la calidad del producto y los costos de distribución. Para poder medir la degradación del producto los autores utilizaron una serie de sensores para monitorear las condiciones dentro de los vehículos que

TABLA 2.3: Principales técnicas de modelación matemática y sus métodos de solución para los problemas de distribución en cadena de frío (Awad *et al.*, 2020).

Referencia	Tipo de modelo	Tipo de método de solución	Método de solución/Software
De Freitas Borghi et al. (2009)	MILP	exacto	CPLEX
Rong y Grunow (2010)	MILP	exacto	CPLEX y heurística de fusión
Rong et al. (2011)	MILP	exacto y heurístico	CPLEX
Ahumada and Villalobos (2011)	MILP	exacto	CPLEX
Sel et al. (2015)	MILP	exacto y heurístico	CPLEX y heurística de descomposición
Rabbani et al. (2016)	MILP	exacto y metaheurístico	GAMS y algoritmo genético
Stellingwerf et al. (2018)	MILP	exacto	FICO Xpress mosel
Tsang et al. (2018)	MILP	metaheurístico	Algoritmo genético
Albrecht y Steinrucke (2018)	MILP	exacto	GAMS y CPLEX
Al Theeb et al. (2020)	MILP	exacto y heurístico	CPLEX y búsqueda codiciosa aleatoria iterativa
Yifeng y Ruhe (2013)	NLP	metaheurístico	Sistema de hormigas MAX-MIN
Hsu et al. (2013)	NLP	metaheurístico	Simulated Annealing
Nakandala et al. (2016)	NLP	metaheurístico	Algoritmo genético y algoritmo genético difuso
Hsiao et al. (2017)	NLP	metaheurístico	Optimización basada en biografía
Hariga et al. (2017)	NLP	exacto y heurístico	Lingo y proceso de búsqueda iterativa
Lin et al. (2019)	NLP	metaheurístico	Algoritmo genético y búsqueda tabú
Micale et al. (2019)	NLP	metaheurístico	Algoritmo de libélulas
García Cáceres et al. (2015)	MIP	exacto	Lingo
Martínez Salazar et al. (2015)	MIP	exacto y metaheurístico	CPLEX y Proceso de búsqueda aleatoria adaptativa codiciosa
Saif y Elhedhli (2016)	MIP	heurístico	Simulación-optimización
Pelton et al. (2010)	LP	exacto	GAMS
Bortolini et al. (2016)	LP	exacto	Planeación de distribución de comida
Azi et al. (2010)	RLMP	exacto	Ramificación y poda con CPLEX
Amorim y Almada-Lobo (2014)	MOLP	exacto y metaheurístico	Algoritmo genético

transportaban los diferentes producto.

El caso de Sel *et al.* (2015) era más desafiante, puesto que, debía de minimizar costos cumpliendo con una demanda cuya granularidad era muy alta, es decir, teniendo muchos clientes cuya demanda es pequeña. En contraste, Rabbani *et al.* (2016) y Al Theeb *et al.* (2020) usaron la calidad del producto para optimizar rutas de transporte tomando como métrica el tiempo transcurrido entre el origen y el destino, donde la mercancía debía de pasar por una serie de centros de distribución. Li *et al.* (2020) concuerdan con los autores anteriores pero agrega el factor empaque dentro de su modelo. La organización sobre la que se hace este estudio

Por otro lado, Stellingwerf *et al.* (2018) buscan reducir las emisiones de carbono manteniendo al mínimo los costos de transporte, al medir las emisiones suscitadas por los medios de transporte y los aditamentos para mantener la temperatura. Tsang *et al.* (2018) buscan mantener la calidad de sus productos durante los procesos de transporte y alegan que la reducción de distancia transcurrida no es suficiente para mantener el producto en óptimo estado, sino condiciones como temperatura y atmósfera controlada para durante dichos procesos.

En contraste, Albrecht y Steinrucke (2018) nos dicen que reduciendo los tiempos de tránsito basta para asegurar la inocuidad de los productos reduciendo sus costos de transporte. El contraste se debe al tipo de estudio; Tsang *et al.* (2018) busca optimizar las rutas de transporte de vehículos los cuales cargan diferentes tipos de frutas cuyas condiciones de inocuidad varía entre sí, mientras que la cadena de suministro objeto de estudio de Albrecht y Steinrucke (2018) solamente maneja un producto.

La empresa objeto de este estudio subcontrata el servicio de transporte y no tiene forma de mantener registradas las condiciones del producto durante el trayecto; por tanto, se asegurará la inocuidad del producto al respetar un tiempo de tránsito de 72 horas indicado por la empresa suponiendo que todas las otras condiciones sean constantes. De la misma forma, la reducción de las emisiones de carbono depende

de condiciones externas a la empresa y las restricciones a las emisiones tienden a aumentar los costos del transporte, por lo cual el modelo se limitará a reducir los costos de transporte respetando el tiempo de tránsito.

### 2.5.2 SOFTWARE Y SOLUCIÓN DEL MODELO

La composición de un modelo matemático por si solo no es suficiente para la resolución del problema a tratar. Para ello, se aplica el modelo dentro de un paquete de software para que este le de solución. Entre aquellos que utilizan un paquete de software se encontró que el más común es CPLEX (de Keizer *et al.*, 2015; Rong *et al.*, 2011; Soysal *et al.*, 2015; Varsei y Polyakovskiy, 2017). Algunos implementaron CPLEX por medio del lenguaje de modelación GAMS o LINGO (Des Freitas Borghi *et al.*, 2009; Rong y Grunow, 2010; Rong *et al.*, 2011; Ahumada y Villalobos, 2011a; García-Cáceres y Palacios-Gómez, 2015; Sel *et al.*, 2015; Martínez-Salazar *et al.*, 2015; Hariga *et al.*, 2017; Albrecht y Steinrucke, 2018; Al Theeb *et al.*, 2020). Puesto que GAMS es parte de los recursos que la Universidad Autónoma de Nuevo León provee, este será utilizado para la resolución del modelo.

## 2.6 CONCLUSIÓN DEL CAPÍTULO

Basado en la revisión de literatura presentada en este capítulo y a las características del problema a tratar, se concluyó utilizar un modelo de programación lineal entera mixta así como aplicarlo en el software CPLEX para su solución. Según la literatura, el método y su medio de solución han presentado los mejores resultados para los problemas de distribución dentro de las cadenas de suministro agroalimentarias.

## CAPÍTULO 3

# METODOLOGÍA

---

En el presente capítulo se presenta el modelo matemático propuesto para dar solución al problema planteado. Este modelo tiene como objetivo principal minimizar los costos de transporte suscitados durante la exportación del tomate desde Sinaloa y su subsecuente distribución dentro de los Estados Unidos tomando en cuenta los tiempos de tránsito.

### 3.1 INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES

La investigación de operaciones es la aplicación del método científico sobre la toma de decisiones que busca mejorar el diseño y operación de un sistema, generalmente cuando los recursos son escasos. Este enfoque requiere la aplicación de uno o más modelos matemáticos sobre las problemáticas a tratar (Winston, 2005).

Los modelos matemáticos son representaciones idealizadas de problemas reales representados por expresiones y símbolos matemáticos (Hillier y Lieberman, 2010). Está conformado por cuatro componentes:

- Variables de decisión: decisiones cuantificables relacionadas entre sí.
- Función objetivo: medida del desempeño expresada como una función ma-

temática de las variables de decisión.

- Restricciones: limitaciones que se pueden imponer sobre los valores de las variables de decisión.
- Parámetros: constantes de las restricciones y de la función objetivo, es la información con la que se alimenta al modelo.

Los modelos matemáticos son medios para la resolución de problemas y no un fin en si mismos, por ello es necesario llevar un proceso para la resolución de dichos problemas. Dicho proceso consta de seis pasos (ver figura 3.1).

El primer paso consiste en la definición del problema y la recolección de datos. En esta etapa del proceso se determina el objetivo adecuado, las restricciones que se deben formular, los diferentes cursos de acción que se pueden tomar, los límites de tiempo que se tienen para poder trabajarlo, entre otras.

Después de haber definido el problema se procede a esquematizarlo de manera conveniente para su análisis; para este fin se procede a formular un modelo matemático. Se definen las variables de decisión, la función objetivo, las restricciones y los parámetros.

El tercer paso a seguir es la obtención de soluciones a partir del modelo. Para lograr esto se hace uso de cualquiera de los diferentes paquetes computacionales disponibles.

Habiendo encontrado soluciones posibles con el modelo formulado comienzan las pruebas con el modelo con el fin de validar su funcionalidad. Un ejemplo de esto es asegurarse que haya congruencia entre las unidades que se utilizaron en el modelo.

El quinto paso después de haber validado el modelo es prepararlo para su aplicación. En esta fase se documenta el funcionamiento del modelo así como la interpretación de los datos que el modelo arroje y sus implicaciones sobre la toma de decisiones dentro de la organización.

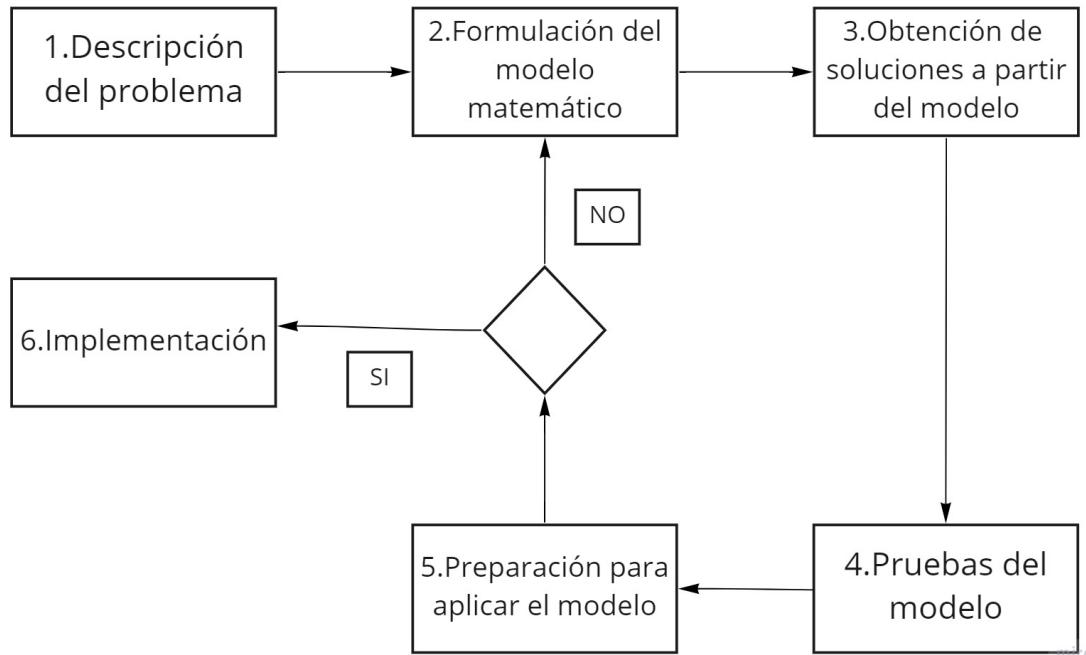


FIGURA 3.1: Fases de la investigación de operaciones según Hillier y Lieberman (2010)

El sexto y último paso después de haber terminado los preparativos para la aplicación del modelo es manejar el control del propio modelo dentro la organización. Este paso es crítico para el proceso puesto que el modelo debe de servir de apoyo tanto a la alta dirección (tomadores de decisiones) como al cuerpo operativo de la empresa quienes lo utilizarán para concretar sus labores. El equipo de administración operativa debe de crear protocolos para empatar el funcionamiento del modelo con las operaciones reales de la empresa.

## 3.2 MODELO MATEMÁTICO PROPUESTO PARA LA RESOLUCIÓN DEL PRESENTE CASO

Como se mencionó anteriormente, la empresa en cuestión maneja operaciones de distribución en los Estados Unidos. El producto parte desde distintos orígenes en

el estado de Sinaloa y cruza por la aduana fronteriza de Nogales en Sonora. Desde la frontera la mercancía es transportada a una serie de centros de distribución en diferentes estados de la Unión Americana donde se desconsolida la mercancía y se entrega la cantidad de producto solicitada por los clientes.

Se parte de una serie de supuestos, siendo estos los siguientes:

- Se conoce la demanda del cliente, esta es constante entre los meses de exportación.
- La oferta siempre puede satisfacer la demanda.
- Se conoce la distancia entre los orígenes, las diferentes fronteras del norte del país, los diferentes centros de distribución en los Estados Unidos y los distintos clientes finales.
- Siendo que el servicio de transporte es subcontratado, siempre hay disponibilidad de equipo de transporte.
- Dicho equipo de transporte puede mantener la cadena de frío en todo momento.

## Conjuntos

$I$  : Orígenes.

$J$  : Fronteras.

$K$  : Centros de distribución.

$L$  : Clientes.

De la misma forma contamos con una serie de parámetros con la que se alimentará el modelo para obtener un resultado:

## Parámetros

$a_i$  : Capacidad de producción de cada origen  $i$  en toneladas.

$b_j$  : Capacidad de procesamiento de cada frontera  $j$  en toneladas por día.

$c_k$  : Capacidad de almacenamiento de cada centro de distribución  $k$  en toneladas.

$d_l$  : Demanda de cada cliente  $l$  en toneladas.

$COF_j$  : Costo de operación en frontera  $j$  en dólares.

$COC_k$  : Costo de operación en centro de distribución  $k$  en dólares.

$VA_l$  : Vida útil del producto para cada cliente  $l$  en horas.

$e_{ij}$  : Costo de transporte desde origen  $i$  hasta frontera  $j$  en dólares por tonelada.

$f_{jk}$  : Costo de transporte desde frontera  $j$  hasta un centro de distribución  $k$  en dólares por tonelada.

$g_{kl}$  : Costo de transporte desde centro de distribución  $k$  hasta un cliente  $l$  en dólares por tonelada.

$h_{ij}$  : Tiempo de tránsito desde origen  $i$  hasta frontera  $j$  en horas.

$s_{jk}$  : Tiempo de tránsito desde frontera  $j$  hasta un centro de distribución  $k$  en horas.

$w_{kl}$  : Tiempo de tránsito desde centro de distribución  $k$  hasta un cliente  $l$  en horas.

$M$  : Parámetro de diseño, un número suficientemente grande.

El siguiente apartado indica las variables de decisión que se utilizarán en este modelo. El modelo cuenta con un total de once variables. Siendo que se trata de un modelo de programación lineal entero mixto las variables son de diferentes tipos. En este caso se cuenta con tres tipos de variables enteras, tres tipos de variables continuas y cinco tipos de variables binarias. Las variables de decisión se formaron de la siguiente manera:

## Variables

### Enteras

$x_{ij}$  : Toneladas transportadas desde origen  $i$  hasta frontera  $j$ .

$y_{jk}$  : Toneladas transportadas desde frontera  $j$  hasta un centro de distribución  $k$ .

$z_{kl}$  : Toneladas transportadas desde centro de distribución  $k$  hasta un cliente  $l$ .

### Continuas

$tmaxf_j$  : Tiempo máximo de transporte desde origen  $i$  hasta la frontera  $j$  en horas.

$tmaxc_k$  : Tiempo máximo de transporte desde frontera  $j$  hasta el centro de distribución  $k$  en horas.

$tmax_l$  : Tiempo máximo de transporte desde el centro de distribución  $k$  hasta el cliente  $l$  en horas.

### Binarias

$r_j$  : 1 si se utiliza la frontera  $j$ , 0 en caso contrario.

$p_k$  : 1 si se utiliza el centro de distribución  $k$ , 0 en caso contrario.

$xb_{ij}$  : 1 si se utiliza cierta ruta desde origen  $i$  hasta la frontera  $j$ , 0 en caso contrario.

$yb_{jk}$  : 1 si se utiliza cierta ruta desde frontera  $j$  hasta el centro de distribución  $k$ , 0 en caso contrario.

$zb_{kl}$  : 1 si se utiliza cierta ruta desde un centro de distribución  $k$  hasta el cliente  $l$ , 0 en caso contrario.

### 3.2.1 MODELO MATEMÁTICO

$$\min \sum_i \sum_j e_{ij} x_{ij} + \sum_j \sum_k f_{jk} y_{jk} + \sum_k \sum_l g_{kl} z_{kl} + \sum_j COF_j r_j + \sum_k COC_k p_k \quad (3.1)$$

s. a:

$$\sum_j x_{ij} \leq a_i \quad \forall i \in I \quad (3.2)$$

$$\sum_k z_{kl} \geq d_l \quad \forall l \in L \quad (3.3)$$

$$\sum_i x_{ij} \leq r_j b_j \quad \forall j \in J \quad (3.4)$$

$$\sum_j y_{jk} \leq p_k c_k \quad \forall k \in K \quad (3.5)$$

$$\sum_i x_{ij} = \sum_k y_{jk} \quad \forall j \in J \quad (3.6)$$

$$\sum_j y_{jk} = \sum_l z_{kl} \quad \forall k \in K \quad (3.7)$$

$$x_{ij} \leq M x b_{ij} \quad \forall i, j \in I, J \quad (3.8)$$

$$y_{jk} \leq M y b_{jk} \quad \forall j, k \in J, K \quad (3.9)$$

$$z_{kl} \leq Mz_{b_{kl}} \quad \forall k, l \in K, L \quad (3.10)$$

$$xb_{ij} \leq Mx_{ij} \quad \forall i, j \in I, J \quad (3.11)$$

$$yb_{jk} \leq My_{jk} \quad \forall j, k \in J, K \quad (3.12)$$

$$zb_{kl} \leq Mz_{kl} \quad \forall k, l \in J, K \quad (3.13)$$

$$h_{ij}xb_{ij} \leq tmaxf_j \quad \forall i, j \in I, J \quad (3.14)$$

$$tmaxf_j + s_{jk}yb_{jk} \leq tmaxc_k \quad \forall j, k \in J, K \quad (3.15)$$

$$tmaxc_k + w_{kl}zb_{kl} \leq tmaxl_l \quad \forall k, l \in K, L \quad (3.16)$$

$$tmaxl_l \leq Va_l \quad \forall l \in L \quad (3.17)$$

$$x_{ij}, y_{jk}, z_{kl}, tmaxf_j, tmaxc_k, tmaxl_l \geq 0 \quad \forall i, j, k, l \in I, J, K, L \quad (3.18)$$

La ecuación (3.1) es la función objetivo la cual busca minimizar los costos de transporte desde el origen hasta el destino final. Seguido de la función objetivo se encuentran las restricciones.

La restricción (3.2) garantiza que no se embarque un número de toneladas que rebase la capacidad de producción de los orígenes. La restricción (3.3) asegura que la demanda de todos los clientes se cumpla. La restricción (3.4) activa una frontera en caso de que la capacidad de cruce de la frontera no sea rebasada. La restricción (3.5) permite el uso de un centro de distribución si este cuenta con capacidad de almacenamiento. Las restricciones (3.6) y (3.7) aseguran que la mercancía no permanecerá en una frontera ni en un almacén sino que se entregará al cliente final. Las restricciones (3.8), (3.9) y (3.10) le permiten al modelo contabilizar los tiempos de tránsito desde origen hasta destino. Las restricciones (3.11), (3.12) y (3.13) contabilizan el tiempo de aquellos arcos que se han utilizado. Las restricciones (3.14), (3.15) y (3.16) nos ayudan a tomar el tiempo de tránsito máximo desde el origen a la frontera, desde frontera hasta centro de distribución y desde centro de distribución hasta el cliente respectivamente. La restricción (3.17) asegura que el tiempo de tránsito desde origen hasta el cliente no sobre pase el tiempo de vida útil del producto. Por último, la restricción (3.18) funciona como restricción lógica la cual asegura que los valores de las variables continuas y enteras sean positivos.

## CAPÍTULO 4

# EXPERIMENTACIÓN Y ANÁLISIS

---

En este capítulo se expone la experimentación que se realizó para validar el modelo mencionado en el capítulo 3. Para llegar a este fin se generaron instancias con los datos reales de la empresa así como instancias con datos de generación aleatoria pero dentro del caso a tratar para verificar el comportamiento del modelo en diferentes escenarios.

Dichos equipos se llevaron a cabo en un equipo de cómputo con procesador Intel Xenon con un procesador de 2.4 Ghz, RAM de 64 Gb y disco duro con capacidad de 2 TB. El modelo se desarrolló en el software GAMS versión 23.8.2.

### 4.1 RECOPIACIÓN DE DATOS PARA LA APLICACIÓN DEL MODELO

Para alimentar el modelo se necesitan una serie de datos, los datos más importantes son la distancia y el tiempo de tránsito entre los nodos de cada escalón. Para calcular la distancia entre los orígenes en Sinaloa y las fronteras al norte se utilizó la información de la página *Traza tu ruta* de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes. El mecanismo de la página funciona de la siguiente manera: se introducen las ciudades y estados de origen y destino así como el tipo de transporte

que se utilizará. En la figura 4.1 se presenta un ejemplo con Guasave como origen y Tijuana como frontera.

The screenshot shows the 'SELECCION' (Selection) page of the 'Traza tu ruta' website. At the top, there are logos for SCT (Secretaría de Comunicaciones y Transportes), the Mexican coat of arms, 'TRAZA TU RUTA', and 'mappir MÉXICO'. Below the logos are three red warning banners: 'évelo a mantenimiento', 'Evite conducir si ha ingerido bebidas alcohólicas o enervantes', and 'Respete a los dem'. The main content area is titled 'SELECCION' and includes an 'English Version' link. It contains instructions for selecting origin and destination states and cities, and vehicle type. The form shows 'Estado origen: Sinaloa', 'Ciudad origen: Guasave', 'Estado destino: Baja California', and 'Ciudad destino: Tijuana'. There are also options for 'Tarifas de: Camión 6 ejes' and radio buttons for 'Solución simplificada' (selected) and 'Solución detallada'. A 'Consultar' button is at the bottom, and the text 'Su consulta es la No. 147060570' is visible in the bottom right corner.

FIGURA 4.1: Funcionamiento de la página *Traza tu ruta* de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

En la figura 4.2 se presenta el resultado que arroja la página siendo estos la distancia en kilómetros desde el origen hasta el destino, el tiempo de tránsito en el que se transcurre y el costo de los peajes para el equipo que se estará utilizando (Vehículo de 6 ejes). El resto de la información utilizando los demás orígenes y las demás fronteras se encuentran en el Apéndice A de este documento.

Para recavar el tiempo que toma en cruzar la mercancía por cada una de las fronteras posibles se utilizó la página *Border wait times* de la agencia americana de protección de aduanas y fronteras (U.S. Customs and Border Protection). Para ejemplificar el uso de la plataforma se tomó como ejemplo el puente de cruce de Otay Mesa colindante con la aduana de Tijuana (ver figura 4.3). La plataforma especifica

el uso de vehículos comerciales y no de pasajeros, así como el mes del año donde se tomará la estadística, en este caso es octubre.

En la figura 4.4 se muestran los registros históricos de tiempo de cruce en minutos para la aduana antes mencionada para el mes de octubre, en los horarios donde se trabaja y en los días donde opera la aduana. Es importante mencionar que los horarios y registros de cada una de las aduanas varía, los resultados de tiempo de cruce para cada una de las aduanas se encuentran en el apéndice. Para términos de este estudio se utilizaron solo los días y horarios donde todas las aduanas están habilitadas, siendo estos de lunes a viernes de 9 a.m. a 3 p.m. respectivamente. Para darle certeza al modelo se utilizó el promedio de tiempos mensuales de cada aduana y se busco la desviación estándar para que encontrar la varianza de los mismos. Para la realización de estos experimentos se utilizaron los promedios mensuales de aquellos meses donde suceden las operaciones de exportación (octubre, noviembre, diciembre, enero y febrero).

Para medir la distancia desde las fronteras hasta los centros de distribución en los Estados Unidos así como a los clientes finales se utilizó el software PC Miler. Este software mide la distancia menor entre dos puntos dentro del país antes mencionado.

## 4.2 INSTANCIA ILUSTRATIVA

Para exponer el funcionamiento de forma más clara se muestra la siguiente instancia ilustrativa por medio de un ejercicio simplificado. En la figura 4.6 se puede observar un esquema del problema a resolver el cual cuenta con dos orígenes ( $I$ ), tres fronteras activas ( $J$ ), tres centros de distribución ( $K$ ) y cuatro clientes ( $L$ ). Cada origen tiene una capacidad de producción diferenciada ( $a_i$ ), cada frontera su capacidad de procesamiento respectiva ( $b_j$ ), cada centro de distribución su capacidad de almacenamiento diferenciada ( $c_k$ ) y cada cliente una demanda respectiva ( $d_l$ ). De la misma forma se muestra la vida útil del producto ( $VA_l$ ). Cada arco del grafo

cuenta con un costo de transporte y un tiempo de tránsito con la cual el modelo tomará una decisión.

En la figura 4.7 se muestra el resultado que arrojó el modelo con los datos que se mencionan anteriormente. como se puede apreciar, se mandaron 50 toneladas desde el primer origen hacia la primera frontera así como 100 toneladas desde el mismo origen hasta la segunda frontera; de la misma forma se mandaron 50 toneladas desde el segundo origen hacia la tercera frontera. Al ser un producto perecedero, el control del tiempo de tránsito es un menester importante. El modelo tiene la capacidad de contabilizar el tiempo en cada escalón para que el tiempo total de tránsito desde el origen hasta los clientes no supere el tiempo de vida de anaquel del producto (ver figura 4.8).

Siguiendo con el ejemplo, se mandaron 50 toneladas desde la primera frontera hasta el primer centro de distribución, 100 toneladas desde la segunda frontera hasta el segundo centro de distribución y 50 toneladas desde la tercera frontera hasta el tercer centro de distribución.

### 4.3 INSTANCIAS DE EXPERIMENTACIÓN

Por motivos de confidencialidad, la empresa objeto de este estudio no puede revelar los conceptos que conforman los costos de transporte. Sin embargo, la organización confirmó que el costo de transporte es proporcional a la distancia total recorrida por los vehículos que cargan el producto. No obstante, según (Hillier y Lieberman, 2010), el supuesto de la proporcionalidad nos indica que la participación de cada actividad sobre la función objetivo es proporcional al nivel de dicha actividad representada en dicha función objetivo. A través de del supuesto de la proporcionalidad se puede razonar que mientras menor sea la distancia total recorrida menor será el costo de transporte de la misma.

La primera instancia se llevó a cabo utilizando los datos de las operaciones

actuales de la empresa, para fines de validación del modelo. Las instancias subsecuentes se hicieron en condiciones diferentes a las operaciones actuales de la empresa. Se plantearon cuatro escenarios con tres tamaños de instancia diferentes considerando el comportamiento del modelo utilizando los datos proporcionados empresa en cuestión. Para los escenarios se consideró el nivel de demanda de los clientes en diferentes zonas de la unión americana. Los escenarios se categorizan de la siguiente manera:

- Primer escenario: Todos los clientes tienen la misma demanda
- Segundo escenario: El grueso de la demanda se aglomera en los estados del oeste del país los cuales son California y Arizona (70 %).
- Tercer escenario: El grueso de la demanda se aglomera en los estados del centro del país los cuales son Nuevo México y Texas (70 %).
- Cuarto escenario: El grueso de la demanda se aglomera en los estados del este los cuales son Tennessee y Virginia (70 %).

Para el tamaño de las instancias se tomó en cuenta la cantidad de aduanas fronterizas disponibles para cruce y se categorizaron de la siguiente manera:

- Real: una sola frontera.
- Medianas: 9 fronteras seleccionadas de forma aleatoria.
- Grandes: Todas las 19 aduanas fronterizas en el norte del país.

Cómo se mencionó anteriormente, la frontera mas utilizada en las operaciones de exportación es Nogales, Sonora. El camino desde el origen hacía dicha frontera, según datos oficiales, debería de recorrerse en 8 horas. Sin embargo, según comentan en la organización así cómo la literatura de divulgación consultada, dicho tramo puede alargarse hasta 36 horas en el peor de los casos. Para simular este fenómeno

TABLA 4.1: Resultado del modelo sobre las operaciones actuales de la empresa.

<b>Instancia</b>	<b>Frontera utilizada</b>	<b>Tipo de escenario</b>	<b>Mes de operación</b>	<b>CEDIS utilizados</b>
Real	Nogales	Igual	Oct-Feb	1,2,3,5
		Este	Oct-Feb	2,3,5
		Centro	Oct-Feb	2,3,5
		Oeste	Oct-Feb	1,2,3,5

se realizaron experimentos donde el tiempo de tránsito corresponde al peor de los casos para las instancias reales y para las grandes con el fin de ver el comportamiento del modelo ante dicha situación.

## 4.4 RESULTADOS Y ANÁLISIS

Para la resolución de este problema se utilizó el lenguaje de modelación GAMS. De la misma forma, el optimizador que usa dicho programa es CPLEX. El software encontró la solución óptima para las instancias en un promedio de 2 segundos.

La tabla 4.1 muestra la operación actual de la empresa. Se cruza la mercancía por una sola frontera. En los escenarios del centro y este el modelo hace uso de tres de los 6 centros de distribución disponibles (CEDIS 2,3 y 5) mientras que en los escenarios igual y oeste el modelo utiliza cuatro (CEDIS 1,2,3 y 5). Al final de dicha tabla se encuentran los costos totales de transporte y almacenamiento. Al cambiar el parámetro del tiempo de tránsito de 8 a 36 horas el modelo confirmó que no hay un resultado viable, es decir, que no es posible satisfacer las demandas de todos los clientes.

En la tabla 4.2 se muestran los resultados de las instancias medianas. En dichas instancias las fronteras disponibles se designaron de forma aleatoria simulando una contingencia donde no todas las fronteras estuvieran abiertas (tal es el caso durante

el comienzo de la pandemia, donde un número limitado de fronteras de cruce obligó a muchas empresas a cambiar sus procesos de exportación). como se puede notar en la solución se hace uso de tres o cuatro fronteras dependiendo del caso y se hace uso de cinco de los seis centros de distribución disponibles (del 1 al 5). En la tabla 4.3 se hace una comparativa de los costos obtenidos entre las instancias reales y las instancias medianas. como se puede notar hay una reducción importante entre los costos suscitados al utilizar una sola frontera y el usar múltiples fronteras. Esto se debe a una reducción de las distancias recorridas totales. Pese a esta reducción de costos no es posible asegurar aun que sea el costo óptimo puesto que no están disponibles todas las fronteras para cruce.

En la tabla 4.4 se encuentra el resultado de las instancias grandes. De las 19 fronteras disponibles se utilizaron solamente cuatro (3,7,8 y 13 para los escenarios igual, este y centro y 3,7,10 y 13 para los escenarios del oeste respectivamente) y de los centros de distribución disponibles utiliza cinco (CEDIS 1 a 5). En la tabla 4.5 se puede ver una reducción importante entre los costos reales actuales de la empresa contra los costos que se manejarían al utilizar rutas alternativas. Dichos costos se deben a la reducción de la distancia total recorrida para satisfacer la demanda del cliente. Al cambiar el parámetro del tiempo para la ruta hacia la frontera de Nogales el modelo arrojó el mismo resultado. Al contrario de la instancia real, esta instancia tiene mas opciones en materia de fronteras a elegir. Por tanto, pese a que el tiempo de tránsito es mayor en esta ruta, el modelo arroja el mismo resultado que si pudiera moverse en 8 horas.

Por otra parte, pese a que las fronteras utilizadas en las instancias grandes es relativamente constante, los volúmenes de mercancía que se transportaron por las distintas rutas varía mucho. Es natural que si el volumen de demanda mas elevado se decanta en cierta dirección el volumen de mercancía aumentará a los centros de distribución cercanos a los clientes que exigen dicha demanda; sin embargo, la procedencia de la mercancía fluctúa mucho dependiendo de donde se decante la demanda. Siendo que el origen 4 (Guasave) se ubica geográficamente al norte del estado y

TABLA 4.2: Resultado del modelo sobre las instancias medianas.

Instancias	Tipo de escenario	Meses de operación	Fronteras disponibles	Fronteras utilizadas	CEDIS Utilizados
Mediana	Igual	Oct-Feb	2,5,7,8,14,16,17,18,19	5,7,8,14	1 a 5
			4,5,6,7,8,9,10,13,14	5,7,8,13	
			4,5,7,8,9,10,11,12,19	5,7,8,12	
			1,3,4,7,8,11,13,15,17	3,7,8,13	
			6,7,8,9,10,12,15,16,18	7,8,15	
	Este	Oct-Feb	2,3,4,5,13,14,15,16,19	3,6,8,14	1 a 5
			2,3,6,7,10,14,15,16,17	3,4,10,13	
			1,5,11,12,13,15,16,18,19	3,7,13	
			7,9,10,11,12,14,17,18,19	3,5,9,13	
			1,3,4,5,8,9,12,13,17	1,7,15	
	Centro	Oct-Feb	1,3,7,8,10,11,15,16,18	3,7,8,15	1 a 5
			4,5,7,8,10,14,15,16,18	5,7,8,14	
			1,3,4,6,8,12,13,14,17	3,6,8,13	
			3,5,6,7,11,12,15,17,19	3,6,7,15	
			1,2,5,6,9,13,14,15,18	1,6,13	
	Oeste	Oct-Feb	3,5,6,8,12,14,16,17,18	3,5,13	1 a 5
			1,2,3,4,10,13,14,17,18	3,7,10,14	
			1,3,4,5,7,9,11,13,18	1,5,11,13	
			2,3,5,9,10,11,13,16,18	7,10,14	
			1,4,7,9,12,15,16,18,19	3,8,13	

TABLA 4.3: Comparativa de costos entre las instancias medianas y las instancias grandes.

<b>Tipo de escenario</b>	<b>Costo promedio de las instancias medianas</b>	<b>Costo promedio de las instancias reales</b>	<b>Reducción de costos (porcentaje)</b>
Igual	\$ 6,891,112.60	\$ 8,076,709.50	15 %
Este	\$ 8,856,831.20	\$ 10,616,416.75	17 %
Centro	\$ 6,286,769.97	\$ 7,303,675.93	14 %
Oeste	\$ 5,791,749.20	\$ 6,257,126.83	7 %

TABLA 4.4: Resultado del modelo sobre las instancias grandes.

<b>Instancia</b>	<b>Frontera utilizada</b>	<b>Tipo de escenario</b>	<b>Mes de operación</b>	<b>CEDIS utilizados</b>
Grande	3,7,8,13	Igual	Oct-Feb	1 a 5
	3,7,8,13	Este	Oct-Feb	1 a 5
	3,7,8,13	Centro	Oct-Feb	1 a 5
	3,7,10,13	Oeste	Oct-Feb	1 a 5

TABLA 4.5: Comparativa de costos entre las instancias reales y las instancias grandes.

<b>Tipo de escenario</b>	<b>Costo promedio de las instancias grandes</b>	<b>Costo promedio de las instancias reales</b>	<b>Reducción de costos (porcentaje)</b>
Igual	\$ 6,823,757.50	\$ 8,076,709.50	16 %
Este	\$ 8,748,210.37	\$ 10,616,416.75	18 %
Centro	\$ 6,213,043.07	\$ 7,303,675.93	15 %
Oeste	\$ 5,579,085.47	\$ 6,257,126.83	11 %

por consiguiente al noreste del país, la mercancía procedente de dicho origen tiende a satisfacer la demanda de los clientes en los estados del oeste del vecino del norte (California y Arizona). De la misma forma, el origen 3 (Elota) se encuentra al sur del estado y por consiguiente más cercano a los estado del centro y este de los Estados Unidos. Por su parte, los orígenes 1 y 2 (Navolato y Culiacán respectivamente) se encuentran al centro del estado. Cuando la demanda se decanta al oeste, el origen 1 satisface la demanda de los estados correspondientes a esa locación mientras que el origen 2 satisface a los estados del centro. Cuando la demanda se concentra en el este el origen 2 satisface a los estados del este y el centro mientras que el origen 1 satisface a una parte de las demandas de los estados del centro. Esta fluctuación se debe a la reducción del total de kilómetros transitados para satisfacer la demanda de los distintos clientes lo cual es el objetivo del modelo.

## 4.5 RECOMENDACIONES OPERATIVAS PARA LA EMPRESA

Tomando como referencia los resultados obtenidos en este estudio se pueden hacer siguientes las siguientes recomendaciones a la empresa:

- Puesto que el modelo no utilizó el centro de distribución 6 en ninguno de los escenarios se recomienda dejar de contemplarlo.
- Si la demanda se decanta al oeste (como se presentó en anteriormente) la empresa debe de hacer uso de las fronteras 3,7,10 y 13 para la operación. En cualquiera de los otros escenarios la empresa debe contemplar las fronteras 3,7,8 y 13 para la operación puesto que presentan los costos totales más bajos cumpliendo con los tiempos de entrega estipulados por el cliente.
- No se debe de manejar toda la operación por una sola frontera. Es necesario hacer uso de diferetes rutas para satisfacer la demanda de distintos clientes.

★ Ruta de Guasave, Sinaloa a Tijuana, Baja California						
Nombre	Edo.	Carretera	Long. (km)	Tiempo (hrs)	Caseta o puente	Camión e ejes
Guasave - San Miguel Zapotitlán	Sin	Mex 015	74.371	00:48		
San Miguel Zapotitlán - Gustavo Diaz Ordaz	Sin	Mex 015D	38.693	00:21	San Miguel	203.0
Gustavo Diaz Ordaz - Estación Don	Son	Mex 015D	18.911	00:10		
Estación Don - Navojoa	Son	Mex 015D	86.032	00:46	La Jaula	222.0
Navojoa - Fundición	Son	Mex 015D	40.169	00:22	Fundición	222.0
Fundición - Esperanza	Son	Mex 015D	36.991	00:22		
Esperanza - Vicam	Son	Mex 115D	39.783	00:21	Esperanza	222.0
Vicam - Libramiento de Guaymas (Ent. Este Empalme)	Son	Mex 015D	60.172	00:33		
Libramiento de Guaymas	Son	Mex 015D	21.600	00:11	Guaymas	121.0
Entronque El Valiente - Entronque San Pedro	Son	Mex 015	182.675	01:24		
Entronque San Pedro - Santa Ana	Son	Mex 015D	137.233	01:25	Hermosillo	222.0
Santa Ana - Altar	Son	Mex 002D	73.965	00:40	Santa Ana	275.0
Altar - San Luis Rio Colorado	Son	Mex 002	382.530	04:17		
San Luis Rio Colorado - Entronque Cuernavaca	BCN	Mex 002	49.679	00:29	San Luis Rio Colorado	58.0
Libramiento de Mexicali (Ent. Cuernavaca - El Centinela)	BCN	Mex 002D	40.015	00:21	Mexicali	215.0
El Centinela - Flor del Desierto	BCN	Mex 002D	23.343	00:14		
Flor del Desierto - Entronque La Rumorosa	BCN	Mex 002D	20.841	00:17	La Rumorosa	166.0
Entronque La Rumorosa - Libramiento de Tecate (Ent. Sandovál)	BCN	Mex 002D	55.336	00:30	El Hongo	403.0
Libramiento de Tecate (Ent. Sandovál) - Ent. Tijuana	BCN	Mex 002D	27.220	00:16		
Entronque Tijuana - Tijuana	BCN	Mex 002D	19.891	00:19	Tijuana	350.0
Totales			1,399.050	14:16		2,679.0

FIGURA 4.2: Resultado arrojado por la página *Traza tu ruta*.

The screenshot shows the 'Historical Wait Times' web application. At the top, there is a dark blue navigation bar with the U.S. Customs and Border Protection logo on the left and links for Home, Travel Advisories, About, Contact, and Español on the right. Below the navigation bar, there is a secondary bar with links for Favorites, Historic, View All Ports, Customize RSS, XML, and Help. The main content area is titled 'Historical Wait Times' and has two tabs: 'Advanced' (selected) and 'Holiday'. The 'Advanced' tab contains the following form elements:

- Select Port:** A dropdown menu with 'Otay Mesa - Commercial' selected.
- Select Lane:** A dropdown menu with 'Commercial' selected.
- Show/Hide Selection Form:** A blue button.
- Select Sub-Lane:** A dropdown menu with 'General' selected.
- Select Month:** A dropdown menu with 'October' selected.
- Select Day:** A dropdown menu with 'All' selected.
- Calculate:** A blue button.

Below the form, the text 'Otay Mesa - Commercial' and 'Commercial - General' is displayed.

FIGURA 4.3: Funcionamiento de la página *Border wait times* de la agencia de protección de fronteras y aduanas.

Average Wait Times for October

Time	Sunday (min)	Monday (min)	Tuesday (min)	Wednesday (min)	Thursday (min)	Friday (min)	Saturday (min)
Midnight							
1:00 AM							
2:00 AM							
3:00 AM							
4:00 AM							
5:00 AM							
6:00 AM		40	40	41	45	51	
7:00 AM		30	46	43	48	67	
8:00 AM	7	31	46	45	50	66	54
9:00 AM	7	33	45	51	59	80	52
10:00 AM	8	33	48	59	65	70	54
11:00 AM	6	39	66	63	66	75	48
Noon	8	41	70	69	74	68	43
1:00 PM	12	40	83	70	79	62	40
2:00 PM	13	35	85	70	80	63	23
3:00 PM	5	35	88	85	80	60	8
4:00 PM		48	83	74	76	55	

FIGURA 4.4: Funcionamiento de la página *Border wait times* de la agencia de protección de fronteras y aduanas.

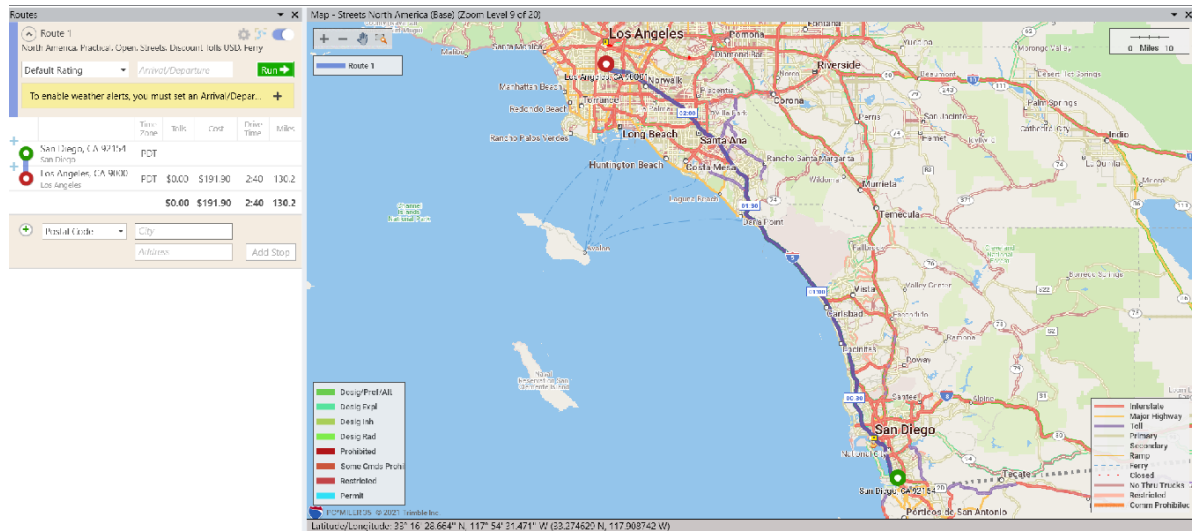


FIGURA 4.5: Funcionamiento del software Funcionamiento del software *PC Miller*.

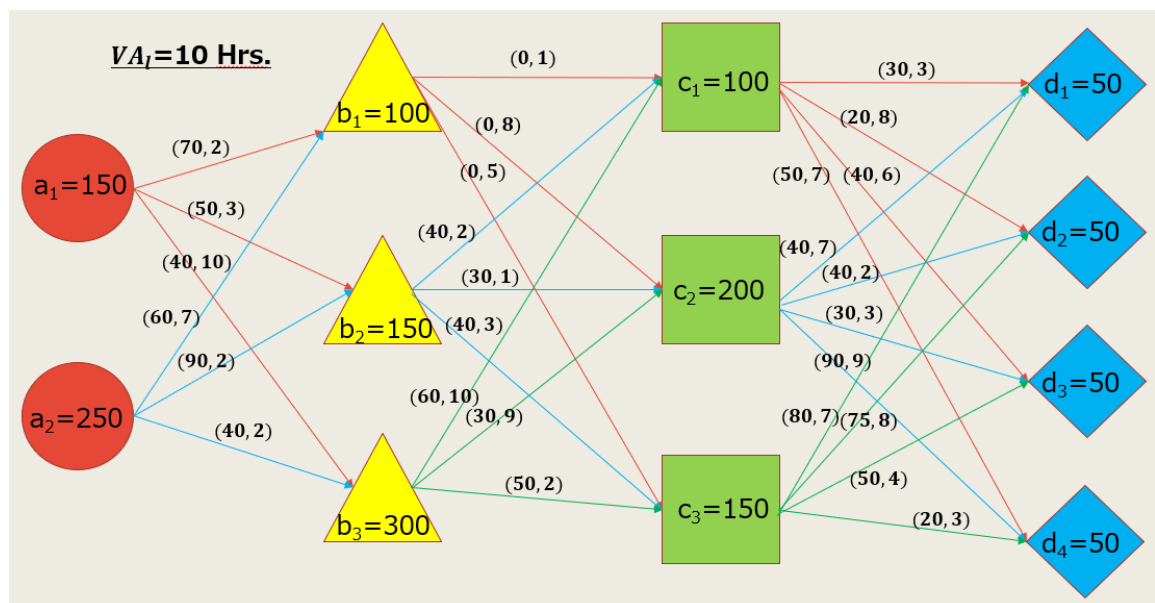


FIGURA 4.6: Instancia ilustrativa (datos) Fuente: Elaboración propia.

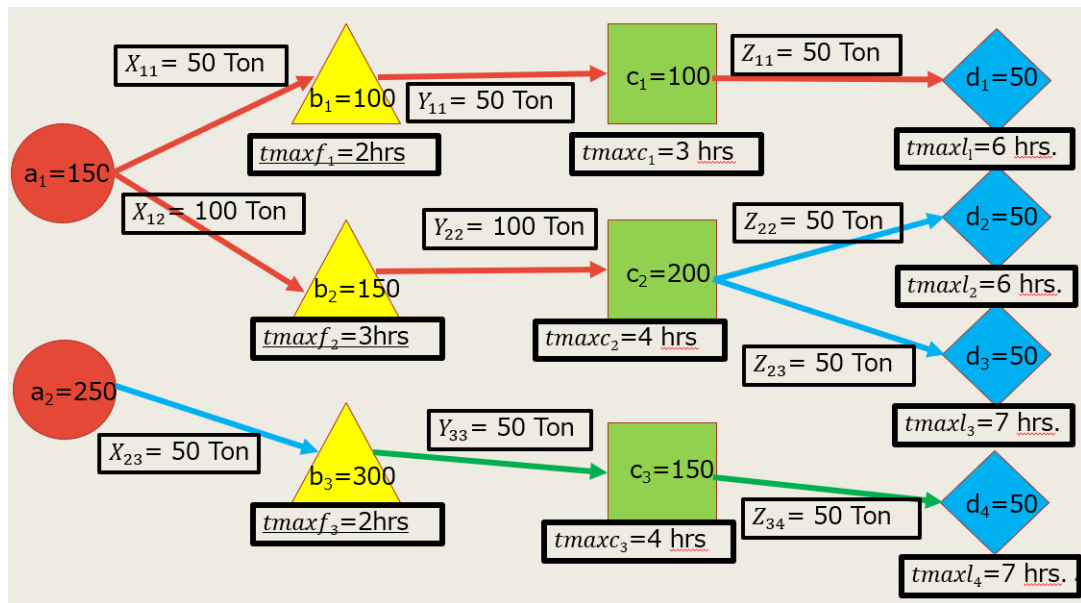


FIGURA 4.7: Instancia ilustrativa (solución) Fuente: Elaboración propia.

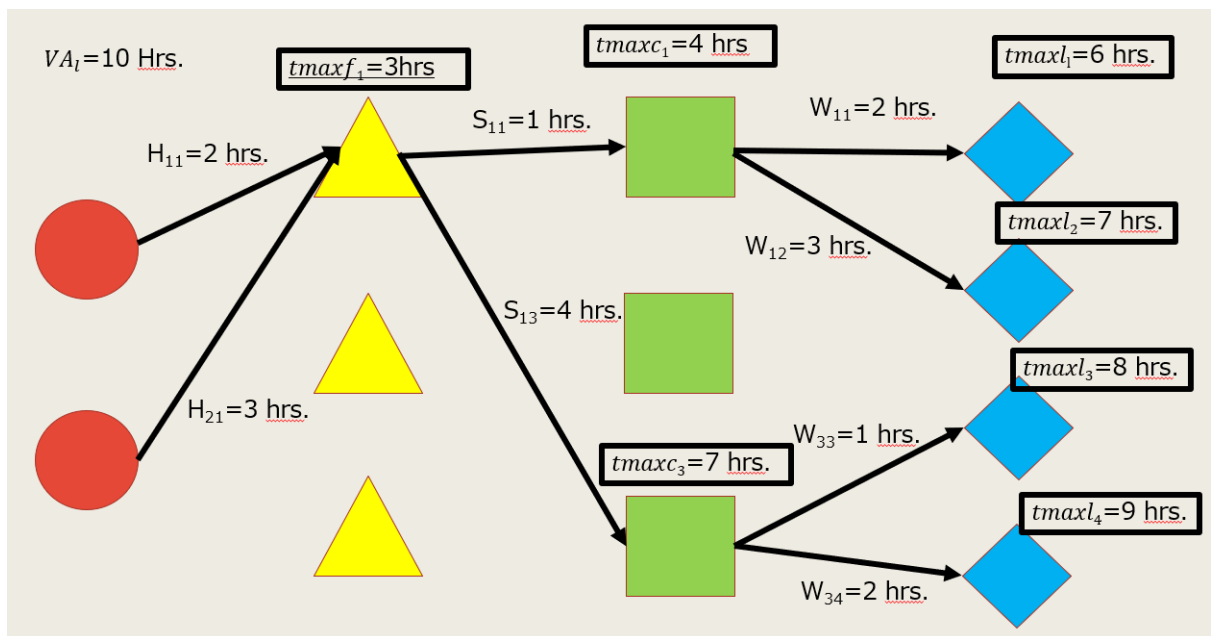


FIGURA 4.8: Método de conteo de tiempo Fuente: Elaboración propia.

## CAPÍTULO 5

# CONCLUSIONES

---

En el presente capítulo se encuentran las conclusiones surgidas durante la investigación. De la misma forma, se presentan las contribuciones del presente trabajo así como líneas de investigación futuras a raíz del mismo.

### 5.1 CONCLUSIONES GENERALES

La distribución es la columna vertebral de los procesos logísticos dentro de la cadena de suministro. Representa uno de los incrementables de más peso y, para las industrias agroalimentarias, es el proceso donde se suscitan más mermas de mercancía. La aplicación de métodos científicos sobre procesos agroindustriales lleva a tomar decisiones más acertadas al momento de planear procesos dentro de la organización (en este caso, específicamente sobre los procesos de distribución) en vez de mera usanza o intuición.

Mediante el uso del modelo matemático presente en esa investigación se confirmó que el uso de rutas alternativas para la exportación de tomate reduce los costos de transporte de forma importante respetando los tiempos de tránsito estipulados por el cliente. Dicha reducción de costos representa una ventaja competitiva frente a sus contra partes del estado.

## 5.2 CONTRIBUCIONES ACADÉMICAS

El presente trabajo cubre muchas áreas de oportunidad para problemáticas de distintas índoles. Entre las más grandes se encuentran las contribuciones a la logística de exportación terrestre, a la logística de productos perecederos (o simplemente que deban cumplir con tiempos de entrega rígidos) y a la logística para las industrias agroalimentarias.

La logística de exportación es un rubro importante, no solo a nivel empresa, sino a nivel nacional como ventaja competitiva. Pese a que la literatura es rica en ejemplos de aplicaciones matemáticas a las diferentes industrias en materia de distribución, son pocos los casos donde el proceso de exportación se contempla como parte integral de la cadena de suministro, aun menor en ejemplos de exportaciones terrestres.

La logística de perecederos es uno de los rubros más estudiados en la literatura actual; sin embargo, en nuestro país es un área en desarrollo, son necesarias más técnicas y

## 5.3 LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN FUTURAS

Para futura líneas de investigación se podrán realizar trabajos que incluyan una función para calcular la degradación de los productos durante el trayecto. De la misma forma, se podrán implementar métodos estocásticos para amortiguar la incertidumbre de aglomeración de tránsito en los caminos o la demanda de los clientes.

El propio modelo es perfectible. Es posible agregar el funcionamiento de un VRP para la entrega de última milla.

## APÉNDICE A

# APÉNDICE 1

---

El presente apéndice contiene la información con la que se alimentó al modelo para generar un resultado. La tabla (A.1) presenta los tiempos de tránsito en horas y las distancias en kilómetros entre los orígenes y las fronteras. La tabla (A.2) presenta los tiempos de tránsito en horas y las distancias en kilómetros entre las fronteras y los centros de distribución. La tabla (A.3) presenta los tiempos de tránsito en horas y las distancias en kilómetros entre los centros de distribución y los clientes.

Las tablas (A.4) a (A.22) presentan los tiempos promedio en horas de cruce en cada una de las fronteras durante los diferentes horarios y días de operación en los meses donde suceden los procesos de exportación. Como complemento se presenta la desviación estándar de cada uno de los horarios para asegurar que la varianza no sea significativa (máximo 15 minutos)

TABLA A.1: Distancia entre los distintos orígenes y las distintas fronteras

Origen	1		2		3		4	
	Distancia (Km.)	Tiempo (Hrs.)	Distancia (Km.)	Tiempo (Hrs.)	Distancia (Km.)	Tiempo (Hrs.)	Distancia (Km.)	Tiempo (Hrs.)
Frontera								
1	1554.29	15.81	1559.02	15.86	1687.21	17.13	1399.05	14.26
2	1512.48	15.33	1517.21	15.36	1645.4	16.63	1357.25	13.76
3	1384.18	14.06	1388.92	14.11	1517.11	15.38	1228.95	12.51
4	1317.96	13.33	1322.7	13.36	1450.88	14.63	1162.73	11.76
5	1115.95	11.08	1120.68	11.11	1248.87	12.38	960.72	9.53
6	1044.31	10.73	1049.04	10.76	1177.23	12.03	889.08	9.16
7	969.19	9.58	973.92	9.61	1102.11	10.88	813.96	8.03
8	1064.9	10.96	1069.63	11	1197.82	12.28	909.67	9.41
9	1348.24	14.53	1352.97	14.56	1489.8	14.5	1193.01	12.96
10	1502.36	14.25	1490.33	14.16	1370.84	13.18	1287.05	14.01
11	1259.86	12.63	1247.83	12.55	1128.34	11.56	1378.13	13.7
12	1301.67	13.26	1289.65	13.16	1170.15	12.2	1419.94	14.31
13	1247.67	12.56	1235.65	12.46	1116.15	11.5	1365.94	13.63
14	1261.67	13.3	1249.65	13.2	1130.15	12.23	1379.94	14.36
15	1282.18	12.53	1270.15	12.43	1150.65	11.46	1400.44	13.6
16	1232.08	12.51	1220.05	12.43	1100.56	11.46	1350.35	13.58
17	1266.08	12.95	1254.05	12.85	1134.56	11.88	1384.35	14.01
18	1288.09	12.56	1276.07	12.46	1156.57	11.5	1406.36	13.63
19	1380.43	13.53	1368.41	13.48	1248.91	12.5	1498.7	14.63

TABLA A.2: Distancia entre las distintas fronteras y los distintos centros de distribución

CEDIS	1		2		3		4		5		6	
	Distancia (Km.)	Tiempo (Hrs.)	Distancia (Km.)	Tiempo (Hrs.)	Distancia (Km.)	Tiempo (Hrs.)	Distancia (Km.)	Tiempo (Hrs.)	Distancia (Km.)	Tiempo (Hrs.)	Distancia (Km.)	Tiempo (Hrs.)
Frontera												
1	211.31	2.66	668.20	7.31	1311.62	14.28	2372.98	25.06	3281.30	34.96	4253.99	45.76
2	261.52	3.3	618.15	6.9	1261.57	13.86	2322.77	24.63	3231.09	34.55	4203.94	45.35
3	367.25	4.48	480.55	5.15	1124.13	12.11	2185.33	22.9	3093.65	32.8	4066.50	43.61
4	475.40	5.7	411.03	4.36	1054.44	11.33	2115.81	22.11	3024.12	32.01	3996.97	42.81
5	654.04	8.06	237.86	3.3	970.44	10.83	1939.10	21.01	2847.42	30.93	3820.27	41.73
6	952.57	10.61	167.69	2	677.37	7.7	1661.81	17.71	2570.29	27.61	3542.98	38.43
7	884.34	9.68	100.91	1.08	808.70	8.71	1793.13	18.73	2701.45	28.63	3674.30	39.45
8	975.75	10.86	190.71	2.25	628.45	7.06	1612.73	17.08	2521.20	26.98	3494.05	37.8
9	1183.03	12.95	398.15	4.33	428.89	4.91	1325.30	14.2	2233.77	24.1	3206.62	34.9
10	1299.23	14	514.19	5.38	434.04	4.55	1197.03	12.51	2105.51	22.41	3078.36	33.23
11	1701.24	18.36	916.20	9.75	836.06	8.9	1056.38	11.28	2019.09	21.93	2991.78	32.73
12	1975.63	21.4	1190.59	12.78	972.69	11.66	585.48	6.51	1784.77	19.5	2732.03	29.43
13	2068.98	22.38	1283.94	13.76	1066.03	12.65	544.44	6.01	1743.73	19	2690.99	28.93
14	2423.68	25.7	1638.64	17.08	1420.57	15.98	561.98	5.93	1761.27	18.91	2708.69	28.83
15	2427.86	25.71	1642.98	17.1	1424.75	16	566.17	5.95	1765.61	18.93	2712.88	28.86
16	2573.83	27.43	1788.79	18.81	1570.72	17.71	645.35	7.38	1911.42	20.65	2792.22	30.25
17	2595.72	27.68	1810.84	19.06	1592.61	17.96	623.78	7.15	1933.47	20.9	2770.49	30
18	2573.99	27.53	1789.11	18.91	1570.88	17.81	570.03	6.58	1892.75	20.53	2716.74	29.43
19	2626.29	27.96	1841.41	19.35	1623.19	18.25	569.07	6.46	1945.06	20.96	2715.77	29.31

TABLA A.3: Distancia y tiempos de tránsito entre los distintos centros de distribución y los distintos clientes

CEDIS	1		2		3		4		5		6	
	Distancia (Km.)	Tiempo (Hrs.)	Distancia (Km.)	Tiempo (Hrs.)	Distancia (Km.)	Tiempo (Hrs.)	Distancia (Km.)	Tiempo (Hrs.)	Distancia (Km.)	Tiempo (Hrs.)	Distancia (Km.)	Tiempo (Hrs.)
1	5.95	0.18	780.69	8.57	1264.46	13.78	2484.67	26.32	3225.94	34.60	4204.90	45.45
2	12.55	0.28	786.17	8.57	1275.09	13.77	2490.14	26.32	3236.56	34.58	4215.52	45.43
3	23.98	0.62	798.24	8.93	1282.49	14.03	2502.21	26.67	3243.96	34.85	4222.93	45.68
4	18.02	0.50	809.02	8.88	1294.24	14.00	2513.00	26.63	3255.71	34.80	4234.51	45.65
5	12.39	0.38	776.35	8.47	1261.41	13.58	2480.33	26.22	3222.88	34.38	4201.84	45.23
6	16.74	0.33	800.01	8.75	1285.06	13.85	2503.98	26.48	3246.54	34.67	4225.50	45.50
7	20.28	0.37	795.98	8.70	1289.09	13.88	2500.12	26.43	3250.56	34.70	4229.53	45.53
8	6.92	0.20	778.92	8.52	1264.14	13.65	2482.90	26.27	3225.61	34.47	4204.58	45.30
9	4.51	0.13	784.40	8.67	1271.22	13.82	2488.37	26.42	3232.70	34.62	4211.66	45.47
10	65.18	1.05	837.99	9.23	1310.33	14.20	2541.96	26.98	3271.80	35.02	4250.77	45.87
11	447.24	5.37	383.99	4.03	1026.28	10.98	2087.97	21.78	2997.25	31.70	3976.05	42.55
12	624.43	7.02	201.97	2.18	734.18	7.75	1906.11	19.93	2695.66	28.55	3674.46	39.40
13	667.24	7.48	167.37	1.87	671.26	7.90	1871.35	19.60	2632.73	28.72	3611.70	39.55
14	579.20	7.27	159.16	1.80	661.44	7.92	1863.14	19.55	2623.24	28.73	3602.20	39.58
15	602.38	6.93	200.52	2.28	747.70	8.02	1904.50	20.03	2709.17	28.83	3688.14	39.67
16	635.05	7.15	171.72	2.07	649.53	7.72	1875.69	19.82	2611.00	28.53	3589.97	39.38
17	1350.08	7.05	176.71	2.00	657.58	7.75	1880.68	19.75	2619.05	28.57	3598.02	39.42
18	613.97	6.92	214.85	2.45	724.85	7.65	1918.82	20.20	2686.32	28.45	3665.13	39.30
19	680.27	7.60	111.21	1.22	713.10	8.62	1815.18	18.95	2724.46	28.88	3703.43	39.72
20	590.63	6.70	230.46	2.48	748.83	7.92	1934.44	20.23	2710.30	28.73	3689.27	39.58
21	1256.90	13.60	723.88	7.90	15.29	0.20	1446.16	15.63	1976.76	21.03	2955.73	31.87
22	1279.91	13.88	735.63	7.95	11.43	0.17	1438.43	15.60	1968.88	21.00	2947.84	31.83
23	1266.56	13.73	724.37	7.93	13.52	0.20	1443.10	15.63	1973.54	21.02	2952.51	31.87
24	1285.55	13.97	735.47	7.97	17.38	0.23	1426.11	15.45	1956.48	20.85	2935.45	31.68
25	1276.37	13.88	708.27	7.68	14.81	0.22	1447.93	15.72	1978.37	21.12	2957.34	31.95
26	1288.12	14.03	750.44	8.15	26.55	0.38	1453.08	15.82	1983.68	21.20	2962.49	32.03
27	1363.92	14.78	813.85	8.78	95.76	1.05	1423.31	15.60	1953.91	20.98	2932.87	31.83
28	1245.15	13.90	792.76	9.77	294.35	3.62	1715.08	19.00	2245.68	24.40	3224.49	35.23
29	1628.02	17.80	908.80	10.42	358.72	4.10	1097.41	11.82	1669.38	18.02	2648.34	28.85
30	1276.53	14.00	689.28	7.47	40.56	0.45	1471.27	15.93	2001.87	21.32	2980.83	32.17
31	2328.73	24.73	1543.85	16.13	584.35	11.10	407.97	4.45	1079.71	11.78	2058.68	22.63
32	2322.61	24.67	1537.73	16.08	1019.52	11.05	411.51	4.47	1086.79	11.87	2065.60	22.70
33	2323.09	24.63	1538.21	16.03	1017.11	11.03	416.34	4.52	1091.62	11.92	2070.59	22.77
34	2304.59	24.50	1519.71	15.90	1024.83	11.25	405.23	4.50	1088.40	12.08	2067.37	22.92
35	2320.84	24.63	1536.12	16.03	1015.02	11.02	416.50	4.53	1091.78	11.93	2070.59	22.77
36	2344.98	24.80	1560.10	16.20	1062.17	11.53	393.00	4.18	1057.50	11.55	2036.47	22.40
37	2347.39	25.17	1562.52	16.58	1049.13	11.43	409.42	4.57	1062.17	11.65	2041.13	22.48
38	2358.50	25.07	1573.62	16.47	1051.87	11.43	415.69	4.67	1063.94	11.63	2042.74	22.47
39	2308.29	24.45	1518.58	15.85	1030.14	11.28	409.42	4.45	1089.85	12.05	2068.82	22.90
40	2342.73	24.90	1557.85	16.30	1035.78	11.27	412.15	4.45	1077.14	11.80	1975.63	22.65
41	3269.07	35.32	2650.76	28.38	1999.77	21.62	1295.85	14.93	66.95	0.85	1041.57	11.63
42	3189.56	34.22	2571.25	27.30	1920.27	20.52	1216.34	13.83	74.35	0.92	1053.16	11.75
43	3311.07	35.57	2692.92	28.65	2041.78	21.87	1337.85	15.18	79.82	1.00	918.13	10.23
44	3253.78	34.90	2635.47	27.97	1984.49	21.20	1362.96	14.35	42.81	0.57	999.73	11.13
45	3227.06	34.68	2608.91	27.77	1957.93	20.98	1253.84	14.30	36.69	0.53	1015.66	11.37
46	3306.89	35.62	2688.58	28.70	2037.59	21.92	1416.06	15.08	79.66	1.13	926.18	10.47
47	3301.41	35.40	2683.26	28.47	2032.28	21.70	1353.78	14.58	80.95	0.92	951.77	11.07
48	3289.99	35.42	2671.68	28.48	2020.70	21.72	1310.81	13.87	100.91	1.27	1047.20	11.83
49	3304.79	35.55	2686.48	28.63	2035.50	21.85	1342.84	14.40	84.33	1.08	964.48	11.25
50	3291.60	35.37	2673.29	28.45	2022.31	21.67	1318.38	14.98	63.25	0.83	970.44	10.87
51	4280.70	46.18	3662.55	39.27	3011.57	32.48	2248.10	24.10	1049.62	11.60	140.82	1.77
52	4370.34	47.17	3714.86	39.47	3101.21	33.47	2204.81	23.87	1139.26	12.60	170.11	2.13
53	4371.31	47.57	3723.06	39.60	3102.02	33.87	2212.85	24.02	1140.22	12.98	189.74	2.50
54	4271.69	46.10	3653.38	39.18	3002.40	32.40	2238.92	24.00	1040.44	11.52	193.28	2.50
55	4284.08	46.20	3665.77	39.27	3014.79	32.50	2251.32	24.10	1052.83	11.62	162.38	2.08
56	4274.43	46.02	3656.11	39.10	3005.29	32.32	2241.82	23.93	1043.34	11.45	165.44	2.10
57	4195.73	45.58	3577.42	38.67	2926.60	31.88	2163.12	23.48	964.64	11.00	100.42	1.32
58	4219.23	45.88	3601.08	38.97	2950.09	32.18	2186.62	23.78	988.14	11.30	110.24	1.40
59	3892.85	41.97	3274.54	35.03	2623.72	28.27	1860.24	19.87	661.76	7.38	341.83	4.00
60	4294.06	46.43	3675.91	39.52	3024.93	32.73	2261.45	24.35	1062.97	11.85	169.46	2.17

TABLA A.4: Tiempo de cruce en la frontera 1

Mes	OCT				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	33	45	51	59	80
10:00 a. m.	33	48	59	65	70
11:00 a. m.	39	66	63	66	75
Mediodía	41	70	69	74	68
01:00 p. m.	40	83	70	79	62
02:00 p. m.	35	85	70	80	63
03:00 p. m.	35	88	85	80	60
Promedio	0.60952381	1.1547619	1.11190476	1.19761905	1.13809524
Desviación Estandar	3.35942172	17.5091813	10.6569897	8.51329492	7.31925055
Mes	NOV				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	46	54	58	50	73
10:00 a. m.	53	57	61	54	78
11:00 a. m.	55	59	65	49	80
Mediodía	57	61	76	46	85
01:00 p. m.	61	64	80	48	91
02:00 p. m.	60	66	80	45	90
03:00 p. m.	60	74	83	44	91
Promedio	0.93333333	1.03571429	1.19761905	0.8	1.4
Desviación Estandar	5.29150262	6.61887633	10.2539191	3.41565026	7.16472842
Mes	DIC				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	24	31	42	42	42
10:00 a. m.	26	34	50	46	36
11:00 a. m.	29	44	52	49	46
Mediodía	30	48	54	48	49
01:00 p. m.	33	49	54	53	42
02:00 p. m.	33	55	54	61	42
03:00 p. m.	29	50	56	53	38
Promedio	0.48571429	0.74047619	0.86190476	0.83809524	0.70238095
Desviación Estandar	3.33809184	8.81016729	4.68025233	6.10230245	4.41318371
Mes	ENE				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	15	38	36	41	29
10:00 a. m.	13	49	38	44	31
11:00 a. m.	16	48	41	45	44
Mediodía	19	53	40	49	51
01:00 p. m.	18	60	45	75	41
02:00 p. m.	21	58	41	49	47
03:00 p. m.	21	56	39	55	49
Promedio	0.29285714	0.86190476	0.66666667	0.85238095	0.6952381
Desviación Estandar	3.047247	7.49920631	2.82842712	11.4371991	8.65475372
Mes	FEB				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	23	26	45	33	36
10:00 a. m.	26	28	45	34	39
11:00 a. m.	20	38	40	35	34
Mediodía	21	54	48	40	34
01:00 p. m.	23	56	50	41	41
02:00 p. m.	22	58	50	54	44
03:00 p. m.	16	63	50	60	46
Promedio	0.35952381	0.76904762	0.78095238	0.70714286	0.65238095
Desviación Estandar	3.10145895	15.1924167	3.76069902	10.5333936	4.77593172

TABLA A.5: Tiempo de cruce en la frontera 2

Mes	OCT				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	19	16	20	19	20
10:00 a. m.	26	16	15	15	22
11:00 a. m.	19	20	15	15	17
Mediodía	20	18	14	13	18
01:00 p. m.	20	16	14	12	11
02:00 p. m.	18	19	14	11	8
03:00 p. m.	13	13	11	9	7
Promedio	0.32142857	0.28095238	0.2452381	0.22380952	0.2452381
Desviación Estandar	3.81725406	2.34012617	2.69037084	3.25868802	5.99205824
Mes	NOV				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	26	20	28	17	15
10:00 a. m.	26	19	33	15	21
11:00 a. m.	26	22	33	17	10
Mediodía	24	18	30	20	13
01:00 p. m.	26	17	23	20	10
02:00 p. m.	21	16	13	15	11
03:00 p. m.	21	16	10	8	11
Promedio	0.4047619	0.3047619	0.4047619	0.26666667	0.21666667
Desviación Estandar	2.36038738	2.21466971	9.41123948	4.0824829	3.95811403
Mes	DIC				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	15	24	21	22	20
10:00 a. m.	14	29	21	23	25
11:00 a. m.	16	25	18	23	25
Mediodía	15	24	17	20	22
01:00 p. m.	11	21	13	17	20
02:00 p. m.	9	27	23	11	17
03:00 p. m.	6	29	17	10	12
Promedio	0.2047619	0.42619048	0.30952381	0.3	0.33571429
Desviación Estandar	3.72890894	2.93582146	3.35942172	5.53774924	4.59813627
Mes	ENE				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	6	6	11	16	14
10:00 a. m.	6	5	16	10	18
11:00 a. m.	6	8	16	9	19
Mediodía	7	9	9	9	38
01:00 p. m.	7	6	8	11	31
02:00 p. m.	8	8	8	11	20
03:00 p. m.	8	8	9	11	9
Promedio	0.11428571	0.11904762	0.18333333	0.18333333	0.3547619
Desviación Estandar	0.89973541	1.46385011	3.55902608	2.38047614	9.96183192
Mes	FEB				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	8	21	25	19	16
10:00 a. m.	10	24	20	20	29
11:00 a. m.	10	28	20	20	28
Mediodía	13	28	24	15	46
01:00 p. m.	15	20	20	29	31
02:00 p. m.	15	28	20	31	26
03:00 p. m.	15	29	14	26	26
Promedio	0.2047619	0.42380952	0.34047619	0.38095238	0.48095238
Desviación Estandar	2.92770022	3.7352886	3.55232989	5.87164291	8.95225431

TABLA A.6: Tiempo de cruce en la frontera 3

Mes	OCT				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	5	4	5	5	6
10:00 a. m.	5	4	6	10	6
11:00 a. m.	5	10	5	20	11
Mediodía	8	10	11	28	10
01:00 p. m.	11	5	11	29	11
02:00 p. m.	18	6	10	29	12
03:00 p. m.	18	6	16	25	22
Promedio	0.16666667	0.10714286	0.15238095	0.34761905	0.18571429
Desviación Estandar	5.88784058	2.57275098	4.05908739	9.75412001	5.3674504
Mes	NOV				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	5	10	15	8	15
10:00 a. m.	6	11	14	17	15
11:00 a. m.	9	14	13	10	19
Mediodía	10	11	19	13	15
01:00 p. m.	16	29	23	23	15
02:00 p. m.	19	17	25	23	16
03:00 p. m.	20	23	25	33	24
Promedio	0.20238095	0.27380952	0.31904762	0.30238095	0.28333333
Desviación Estandar	6.14894493	7.16140449	5.2417736	8.80205604	3.41565026
Mes	DIC				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	11	2	10	14	17
10:00 a. m.	7	20	10	11	20
11:00 a. m.	5	24	8	10	24
Mediodía	8	28	8	11	6
01:00 p. m.	8	9	7	14	7
02:00 p. m.	8	6	7	19	5
03:00 p. m.	14	10	16	35	11
Promedio	0.1452381	0.23571429	0.15714286	0.27142857	0.21428571
Desviación Estandar	2.92770022	9.83918309	3.15473944	8.78852065	7.51506424
Mes	ENE				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	5	8	5	8	9
10:00 a. m.	11	11	5	6	19
11:00 a. m.	9	11	13	11	10
Mediodía	9	6	16	8	18
01:00 p. m.	9	9	13	8	10
02:00 p. m.	10	10	6	9	9
03:00 p. m.	10	10	25	9	9
Promedio	0.15	0.1547619	0.19761905	0.14047619	0.2
Desviación Estandar	1.91485422	1.79947082	7.31274165	1.51185789	4.47213595
Mes	FEB				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	15	15	26	10	13
10:00 a. m.	14	25	25	14	10
11:00 a. m.	10	29	25	14	26
Mediodía	9	16	21	16	19
01:00 p. m.	10	24	20	24	24
02:00 p. m.	16	20	20	23	19
03:00 p. m.	8	23	30	21	20
Promedio	0.1952381	0.36190476	0.39761905	0.29047619	0.31190476
Desviación Estandar	3.19970237	5.0237531	3.71611676	5.28700113	5.64843004

TABLA A.7: Tiempo de cruce en la frontera 4

Mes	OCT				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	0	0	4	1	1
10:00 a. m.	0	3	5	1	6
11:00 a. m.	2	3	6	4	7
Mediodía	1	3	5	8	7
01:00 p. m.	0	5	1	8	5
02:00 p. m.	0	1	3	5	3
03:00 p. m.	0	3	2	3	2
Promedio	0.00714286	0.04285714	0.06190476	0.07142857	0.07380952
Desviación Estandar	0.78679579	1.61834719	1.79947082	2.92770022	2.43975018
Mes	NOV				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	0	0	4	1	1
10:00 a. m.	0	3	5	1	6
11:00 a. m.	2	3	6	4	7
Mediodía	1	3	5	8	7
01:00 p. m.	0	5	1	8	5
02:00 p. m.	0	1	3	5	3
03:00 p. m.	0	3	2	3	2
Promedio	0.00714286	0.04285714	0.06190476	0.07142857	0.07380952
Desviación Estandar	0.78679579	1.61834719	1.79947082	2.92770022	2.43975018
Mes	DIC				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	0	3	1	0	0
10:00 a. m.	1	4	5	3	4
11:00 a. m.	5	4	8	6	7
Mediodía	8	8	9	12	10
01:00 p. m.	9	5	5	6	9
02:00 p. m.	8	8	5	9	3
03:00 p. m.	5	11	3	6	0
Promedio	0.08571429	0.10238095	0.08571429	0.1	0.07857143
Desviación Estandar	3.53216513	2.91138978	2.73426233	3.87298335	4.07080196
Mes	ENE				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	1	0	3	0	0
10:00 a. m.	4	0	3	0	4
11:00 a. m.	3	1	3	2	7
Mediodía	5	3	6	2	6
01:00 p. m.	3	4	1	4	10
02:00 p. m.	5	1	4	3	3
03:00 p. m.	4	1	5	3	3
Promedio	0.05952381	0.02380952	0.05952381	0.03333333	0.07857143
Desviación Estandar	1.39727626	1.51185789	1.61834719	1.52752523	3.25137334
Mes	FEB				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	3	0	0	1	1
10:00 a. m.	11	3	5	3	3
11:00 a. m.	20	5	5	4	7
Mediodía	21	9	5	6	8
01:00 p. m.	18	5	7	8	9
02:00 p. m.	16	4	5	6	5
03:00 p. m.	8	1	3	4	2
Promedio	0.23095238	0.06428571	0.07142857	0.07619048	0.08333333
Desviación Estandar	6.71884344	2.9680842	2.21466971	2.29906813	3.10912635

TABLA A.8: Tiempo de cruce en la frontera 5

Mes	OCT				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	0	0	0	0	0
10:00 a. m.	0	0	0	0	0
11:00 a. m.	0	0	0	0	0
Mediodía	0	0	0	0	0
01:00 p. m.	0	0	0	0	0
02:00 p. m.	0	0	0	0	0
03:00 p. m.	0	0	0	1	0
Promedio	0	0	0	0.00238095	0
Desviación Estandar	0	0	0	0.37796447	0
Mes	NOV				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	1	0	0	0	0
10:00 a. m.	3	0	0	0	0
11:00 a. m.	3	0	0	0	0
Mediodía	2	0	0	0	0
01:00 p. m.	0	0	0	0	0
02:00 p. m.	0	0	0	0	0
03:00 p. m.	0	0	0	0	0
Promedio	0.02142857	0	0	0	0
Desviación Estandar	1.38013112	0	0	0	0
Mes	DIC				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	0	0	0	0	0
10:00 a. m.	0	0	0	0	0
11:00 a. m.	0	0	0	1	0
Mediodía	0	0	0	0	0
01:00 p. m.	0	0	0	0	0
02:00 p. m.	0	0	0	0	0
03:00 p. m.	0	0	0	0	0
Promedio	0	0	0	0.00238095	0
Desviación Estandar	0	0	0	0.37796447	0
Mes	ENE				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.				0	0
10:00 a. m.		0			0
11:00 a. m.		0	0	0	0
Mediodía		0	0	0	0
01:00 p. m.	0	0	0	0	0
02:00 p. m.	0	0	0	0	0
03:00 p. m.	0	0	0	0	0
Promedio	0	0	0	0	0
Desviación Estandar	0	0	0	0	0
Mes	FEB				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	0	0	0	0	0
10:00 a. m.	0	0	0	0	0
11:00 a. m.	0	0	0	0	0
Mediodía	0	0	0	0	0
01:00 p. m.	0	0	0	0	0
02:00 p. m.	0	0	0	0	0
03:00 p. m.	0	0	0	0	0
Promedio	0	0	0	0	0
Desviación Estandar	0	0	0	0	0

TABLA A.9: Tiempo de cruce en la frontera 6

Mes	OCT				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	1	0	0	1	1
10:00 a. m.	1	0	0	1	1
11:00 a. m.	1	0	0	1	1
Mediodía	0		0	1	1
01:00 p. m.	1	0	0	1	1
02:00 p. m.	0	1	1	1	0
03:00 p. m.	0	1	1	1	0
Promedio	0.00952381	0.00555556	0.0047619	0.01666667	0.01190476
Desviación Estandar	0.53452248	0.51639778	0.48795004	0	0.48795004
Mes	NOV				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	1	1	0	0	1
10:00 a. m.	1	1	0	0	3
11:00 a. m.	1	1	0	0	3
Mediodía	1	1	0	0	3
01:00 p. m.	1	1	0	0	3
02:00 p. m.	0	0	0	0	2
03:00 p. m.	0	0	0	0	2
Promedio	0.01190476	0.01190476	0	0	0.04047619
Desviación Estandar	0.0081325	0.48795004	0	0	0.78679579
Mes	DIC				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	1	1	1	1	1
10:00 a. m.	1	1		1	1
11:00 a. m.	1	1	1	1	1
Mediodía	1	1	1	1	1
01:00 p. m.	1	1	1	1	0
02:00 p. m.	0	0	1	0	1
03:00 p. m.	0	0	0	1	0
Promedio	0.01190476	0.01190476	0.01388889	0.01428571	0.01190476
Desviación Estandar	0.48795004	0.48795004	0.40824829	0.37796447	0.48795004
Mes	ENE				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.				0	
10:00 a. m.				0	
11:00 a. m.				0	
Mediodía				0	
01:00 p. m.				0	
02:00 p. m.	10				
03:00 p. m.	10				
Promedio	0.16666667	0	0	0	0
Desviación Estandar	0	0	0	0	0
Mes	FEB				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	0		0	0	
10:00 a. m.	0		0		
11:00 a. m.	0	0	0		
Mediodía	0	0	0		
01:00 p. m.		0	0		
02:00 p. m.	0	0	0		
03:00 p. m.	0	0	0	5	
Promedio	0	0	0	0.04166667	0
Desviación Estandar	0	0	0	3.53553391	0

TABLA A.10: Tiempo de cruce en la frontera 7

Mes	OCT				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	4	5	6	8	11
10:00 a. m.	10	10	14	21	15
11:00 a. m.	29	35	31	34	31
Mediodía	20	39	43	43	29
01:00 p. m.	18	36	55	35	18
02:00 p. m.	20	9	38	25	14
03:00 p. m.	8	14	10	16	6
Promedio	0.25952381	0.35238095	0.46904762	0.43333333	0.2952381
Desviación Estandar	8.63823174	14.8034745	18.5600698	12.1380943	9.19627254
Mes	NOV				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	4	9	6	0	3
10:00 a. m.	14	22	14	10	15
11:00 a. m.	26	32	30	27	41
Mediodía	40	47	51	47	39
01:00 p. m.	32	32	75	57	36
02:00 p. m.	25	5	21	7	19
03:00 p. m.	18	3	5	3	10
Promedio	0.37857143	0.35714286	0.48095238	0.35952381	0.38809524
Desviación Estandar	11.8983792	16.5414343	25.8032851	22.6852165	15.2612176
Mes	DIC				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	1	3	0	6	1
10:00 a. m.	5	18	15	14	9
11:00 a. m.	35	26	19	19	20
Mediodía	55	28	8	32	25
01:00 p. m.	30	11	6	26	4
02:00 p. m.	23	8	3	9	2
03:00 p. m.	11	1	3	15	3
Promedio	0.38095238	0.22619048	0.12857143	0.28809524	0.15238095
Desviación Estandar	19.0125272	10.7215848	6.9213266	9.19627254	9.58172864
Mes	ENE				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	6	14	6	9	13
10:00 a. m.	23	15	20	23	35
11:00 a. m.	40	19	21	39	44
Mediodía	51	25	26	34	38
01:00 p. m.	43	25	28	28	21
02:00 p. m.	28	8	14	16	4
03:00 p. m.	24	3	15	1	1
Promedio	0.51190476	0.25952381	0.30952381	0.35714286	0.37142857
Desviación Estandar	15.1185789	8.24332342	7.56873267	13.6242081	17.1047195
Mes	FEB				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	4	5	3	13	13
10:00 a. m.	14	14	28	25	25
11:00 a. m.	35	23	46	31	41
Mediodía	31	16	36	60	24
01:00 p. m.	30	10	25	36	20
02:00 p. m.	3	3	5	4	14
03:00 p. m.	3	0	1	1	1
Promedio	0.28571429	0.16904762	0.34285714	0.4047619	0.32857143
Desviación Estandar	14.4848032	8.11230694	17.7656705	20.5727513	12.4326758

TABLA A.11: Tiempo de cruce en la frontera 8

Mes	OCT				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	2	0		5	0
10:00 a. m.	1	0	0	5	2
11:00 a. m.	2	0	0	5	3
Mediodía	0	0	0	5	2
01:00 p. m.	0		0	5	2
02:00 p. m.	4	0	3	5	2
03:00 p. m.	0	1	2	5	0
Promedio	0.02142857	0.00277778	0.01388889	0.08333333	0.02619048
Desviación Estandar	1.49602648	0.40824829	1.32916014	0	1.13389342
Mes	NOV				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	0	3	0	0	0
10:00 a. m.	0	3	0	0	0
11:00 a. m.	8	0	0	0	0
Mediodía	8	0	0	0	0
01:00 p. m.	5	0	0	0	0
02:00 p. m.	4	0	0	1	0
03:00 p. m.	0	0	0	1	0
Promedio	0.05952381	0.01428571	0	0.0047619	0
Desviación Estandar	3.64495738	1.46385011	0	0.48795004	0
Mes	DIC				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	0	0	2	0	5
10:00 a. m.	0	0	2	3	0
11:00 a. m.	0	0	0	3	2
Mediodía	0	0	0	3	0
01:00 p. m.	0	0	2	3	0
02:00 p. m.	0	0	0	0	2
03:00 p. m.	0	0	0	0	0
Promedio	0	0	0.01428571	0.02857143	0.02142857
Desviación Estandar	0	0	1.06904497	1.60356745	1.88982237
Mes	ENE				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	0	0	8	45	
10:00 a. m.	0	0	15	45	
11:00 a. m.	0	0	15	30	
Mediodía	0	0	20	30	
01:00 p. m.	0	0	23	30	
02:00 p. m.	0	0	13	0	0
03:00 p. m.	0	0	13	0	0
Promedio	0	0	0.2547619	0.42857143	0
Desviación Estandar	0	0	4.92322001	18.8034951	0
Mes	FEB				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	0	0		0	60
10:00 a. m.	0			0	23
11:00 a. m.	0	0		0	15
Mediodía	0	0		1	15
01:00 p. m.	0			1	20
02:00 p. m.	0	0	1	26	20
03:00 p. m.	0	0	1	28	0
Promedio	0	0	0.01666667	0.13333333	0.36428571
Desviación Estandar	0	0	0	13	18.4158317

TABLA A.12: Tiempo de cruce en la frontera 9

Mes	OCT				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	19	17	18	18	20
10:00 a. m.	16	22	24	25	17
11:00 a. m.	16	19	23	21	19
Mediodía	16	23	25	20	17
01:00 p. m.	18	21	23	24	16
02:00 p. m.	14	14	19	19	16
03:00 p. m.	18	19	24	15	15
Promedio	0.27857143	0.32142857	0.37142857	0.33809524	0.28571429
Desviación Estandar	1.70433621	3.09377255	2.69037084	3.4503278	1.77281052
Mes	NOV				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	19	20	20	22	18
10:00 a. m.	16	24	23	13	17
11:00 a. m.	16	25	19	20	20
Mediodía	16	21	13	13	15
01:00 p. m.	16	26	21	15	10
02:00 p. m.	14	21	20	13	18
03:00 p. m.	18	19	23	15	13
Promedio	0.27380952	0.37142857	0.33095238	0.26428571	0.26428571
Desviación Estandar	1.61834719	2.69037084	3.38765265	3.67099312	3.43649877
Mes	DIC				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	17	15	16	15	13
10:00 a. m.	18	9	11	16	10
11:00 a. m.	18	10	13	10	8
Mediodía	23	6	11	14	17
01:00 p. m.	16	8	14	8	15
02:00 p. m.	19	6	13	13	15
03:00 p. m.	15	8	12	12	15
Promedio	0.3	0.14761905	0.21428571	0.20952381	0.22142857
Desviación Estandar	2.5819889	3.07834216	1.77281052	2.81999662	3.19970237
Mes	ENE				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	15	10	13	15	15
10:00 a. m.	15	15	20	13	16
11:00 a. m.	13	11	10	11	18
Mediodía	15	11	13	10	13
01:00 p. m.	16	8	13	9	8
02:00 p. m.	18	7	8	9	8
03:00 p. m.	18	8	10	8	5
Promedio	0.26190476	0.16666667	0.20714286	0.17857143	0.19761905
Desviación Estandar	1.79947082	2.7080128	3.86683087	2.49761791	4.87950036
Mes	FEB				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	12	13	10	13	12
10:00 a. m.	13	13	12	13	12
11:00 a. m.	13	9	10	10	11
Mediodía	15	8	9	14	12
01:00 p. m.	8	9	10	14	13
02:00 p. m.	10	10	10	8	4
03:00 p. m.	8	8	10	7	4
Promedio	0.18809524	0.16666667	0.16904762	0.18809524	0.16190476
Desviación Estandar	2.69037084	2.1602469	0.89973541	2.92770022	3.94606495

TABLA A.13: Tiempo de cruce en la frontera 10

Mes	OCT				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	28	28	30	23	28
10:00 a. m.	29	28	30	25	27
11:00 a. m.	23	28	30	28	29
Mediodía	26	29	30	28	30
01:00 p. m.	28	28	30	28	28
02:00 p. m.	26	30	33	33	24
03:00 p. m.	28	25	31	26	22
Promedio	0.44761905	0.46666667	0.50952381	0.4547619	0.44761905
Desviación Estandar	2.03540098	1.52752523	1.13389342	3.14718317	2.85356919
Mes	NOV				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	27	27	24	28	17
10:00 a. m.	23	26	24	26	21
11:00 a. m.	25	27	23	26	23
Mediodía	22	28	25	27	24
01:00 p. m.	28	28	25	26	23
02:00 p. m.	24	28	26	20	24
03:00 p. m.	19	28	28	22	26
Promedio	0.4	0.45714286	0.41666667	0.41666667	0.37619048
Desviación Estandar	3.05505046	0.78679579	1.63299316	2.88675135	2.87849167
Mes	DIC				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	18	27	26	25	28
10:00 a. m.	24	25	27	26	28
11:00 a. m.	24	21	26	26	26
Mediodía	28	23	26	27	23
01:00 p. m.	24	23	26	21	20
02:00 p. m.	26	24	25	25	13
03:00 p. m.	26	23	21	26	17
Promedio	0.4047619	0.3952381	0.42142857	0.41904762	0.36904762
Desviación Estandar	3.14718317	1.88982237	1.97604704	1.95180015	5.75698334
Mes	ENE				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	27	22	26	29	25
10:00 a. m.	29	28	33	29	29
11:00 a. m.	28	25	33	31	29
Mediodía	20	25	30	35	28
01:00 p. m.	28	28	25	34	20
02:00 p. m.	24	24	32	34	30
03:00 p. m.	33	30	33	32	24
Promedio	0.45	0.43333333	0.5047619	0.53333333	0.44047619
Desviación Estandar	4.0824829	2.76887462	3.4503278	2.44948974	3.59894164
Mes	FEB				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	15	14	12	16	13
10:00 a. m.	10	16	16	16	20
11:00 a. m.	14	11	21	19	20
Mediodía	8	18	20	19	16
01:00 p. m.	10	19	20	16	24
02:00 p. m.	12	18	18	15	23
03:00 p. m.	14	16	13	21	24
Promedio	0.19761905	0.26666667	0.28571429	0.29047619	0.33333333
Desviación Estandar	2.60950643	2.76887462	3.57903951	2.22539456	4.2031734

TABLA A.14: Tiempo de cruce en la frontera 11

Mes	OCT				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	3	0	0	3	4
10:00 a. m.	3	3	0	3	5
11:00 a. m.	3	4	0	3	4
Mediodía	8	0	0	3	4
01:00 p. m.	8	3	4	3	3
02:00 p. m.	3	8	5	8	3
03:00 p. m.	3	0	3	8	0
Promedio	0.07380952	0.04285714	0.02857143	0.07380952	0.0547619
Desviación Estandar	2.43975018	2.93582146	2.21466971	2.43975018	1.60356745
Mes	NOV				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	4	0	0	3	0
10:00 a. m.	4	0	0	3	0
11:00 a. m.	4	5	0	3	0
Mediodía	4	4	0	0	5
01:00 p. m.	4	4	0	3	6
02:00 p. m.	5	4	3	3	6
03:00 p. m.	4	4	3	3	6
Promedio	0.06904762	0.05	0.01428571	0.04285714	0.0547619
Desviación Estandar	0.37796447	2.081666	1.46385011	1.13389342	3.09377255
Mes	DIC				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	0	8	4	3	2
10:00 a. m.	0	11	5	5	3
11:00 a. m.	0	13	10	4	2
Mediodía	3	13	10	6	2
01:00 p. m.	0	8	8	7	0
02:00 p. m.	1	11	8	8	0
03:00 p. m.	0	6	3	4	0
Promedio	0.00952381	0.16666667	0.11428571	0.08809524	0.02142857
Desviación Estandar	1.13389342	2.7080128	2.85356919	1.79947082	1.25356634
Mes	ENE				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	4	3	2	8	4
10:00 a. m.	8	5	3	11	7
11:00 a. m.	10	5	4	13	9
Mediodía	10	7	4	11	8
01:00 p. m.	10	5	4	10	9
02:00 p. m.	8	8	0	5	8
03:00 p. m.	3	7	2	2	8
Promedio	0.12619048	0.0952381	0.0452381	0.14285714	0.12619048
Desviación Estandar	2.93582146	1.70433621	1.49602648	3.86683087	1.71824939
Mes	FEB				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	3	8	8	5	4
10:00 a. m.	6	6	8	3	4
11:00 a. m.	3	8	5	5	4
Mediodía	0	8	0	8	4
01:00 p. m.	2	10	10	4	4
02:00 p. m.	3	8	2	3	0
03:00 p. m.	10	3	0	1	8
Promedio	0.06428571	0.12142857	0.07857143	0.06904762	0.06666667
Desviación Estandar	3.23669437	2.21466971	4.11154009	2.19306266	2.30940108

TABLA A.15: Tiempo de cruce en la frontera 12

Mes	OCT				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	0	0	0	0	0
10:00 a. m.	0	0	0	0	0
11:00 a. m.	0	0	0	0	1
Mediodía	0	0	0	1	1
01:00 p. m.	0	0	3	0	0
02:00 p. m.	0	1	0	0	0
03:00 p. m.	0	1	0	1	1
Promedio	0	0.0047619	0.00714286	0.0047619	0.00714286
Desviación Estandar	0	0.48795004	1.13389342	0.48795004	0.53452248
Mes	NOV				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	0	1	0	0	0
10:00 a. m.	0	0	0	0	0
11:00 a. m.	0	0	3	0	0
Mediodía	0	1	8	0	0
01:00 p. m.	20	2	0	0	0
02:00 p. m.	20	0	3	0	0
03:00 p. m.	8	0	0	0	0
Promedio	0.11428571	0.00952381	0.03333333	0	0
Desviación Estandar	9.44154951	0.78679579	3	0	0
Mes	DIC				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	0	0	0	0	0
10:00 a. m.	0	0	0	0	0
11:00 a. m.	0	0	0	0	0
Mediodía	0	0	0	0	0
01:00 p. m.	0	1	0	0	0
02:00 p. m.	0	1	2	1	0
03:00 p. m.	1	0	0	2	0
Promedio	0.00238095	0.0047619	0.0047619	0.00714286	0
Desviación Estandar	0.37796447	0.48795004	0.75592895	0.78679579	0
Mes	ENE				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	0	0	0	0	1
10:00 a. m.	0	0	0	0	0
11:00 a. m.	0	1	0	4	0
Mediodía	0	0	0	0	0
01:00 p. m.	0	0	0	0	0
02:00 p. m.	1	0	4	0	1
03:00 p. m.	5	0	0	0	3
Promedio	0.01428571	0.00238095	0.00952381	0.00952381	0.01190476
Desviación Estandar	1.86445447	0.37796447	1.51185789	1.51185789	1.11269728
Mes	FEB				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	0	0	0	0	0
10:00 a. m.	0	0	0	0	0
11:00 a. m.	0	0	0	0	0
Mediodía	0	0	0	0	0
01:00 p. m.	0	0	0	0	0
02:00 p. m.	0	0	4	0	0
03:00 p. m.	0	0	1	0	0
Promedio	0	0	0.01190476	0	0
Desviación Estandar	0	0	1.49602648	0	0

TABLA A.16: Tiempo de cruce en la frontera 13

Mes	OCT				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	2	1	1	1	1
10:00 a. m.	2	1	1	1	1
11:00 a. m.	2	6	1	1	1
Mediodía	2	1	1	1	1
01:00 p. m.	2	1	1	1	1
02:00 p. m.	2	11	1	1	
03:00 p. m.	1	3	1	1	1
Promedio	0.03095238	0.05714286	0.01666667	0.01666667	0.01666667
Desviación Estandar	0.37796447	3.82348632	0	0	0
Mes	NOV				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	2	1	1	1	1
10:00 a. m.	2	1	1	1	1
11:00 a. m.	2	1	1	1	1
Mediodía	2	1	1	1	1
01:00 p. m.	2	1	1	1	1
02:00 p. m.	3	1	1	1	1
03:00 p. m.	1	1	1	1	1
Promedio	0.03333333	0.01666667	0.01666667	0.01666667	0.01666667
Desviación Estandar	0.57735027	0	0	0	0
Mes	DIC				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	2	1	5	5	4
10:00 a. m.	3	3	5	5	4
11:00 a. m.	2	3	5	5	4
Mediodía	3	3	5	3	4
01:00 p. m.	3	3	5	5	4
02:00 p. m.	3	3	5	5	4
03:00 p. m.	2	3	3	1	3
Promedio	0.04285714	0.0452381	0.07857143	0.06904762	0.06428571
Desviación Estandar	0.53452248	0.75592895	0.75592895	1.57359158	0.37796447
Mes	ENE				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	2	5	6	5	3
10:00 a. m.	3	6	6	6	4
11:00 a. m.	6	9	6	8	4
Mediodía	6	5	4	6	5
01:00 p. m.	5	7	5	5	7
02:00 p. m.	5	4	4	5	7
03:00 p. m.	5	5	9	6	5
Promedio	0.07619048	0.09761905	0.0952381	0.09761905	0.08333333
Desviación Estandar	1.51185789	1.67616342	1.70433621	1.06904497	1.52752523
Mes	FEB				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	3	4	3	3	3
10:00 a. m.	4	3	19	4	4
11:00 a. m.	4	5	11	5	7
Mediodía	4	4	9	4	4
01:00 p. m.	5	5	5	5	6
02:00 p. m.	5	6	8	6	3
03:00 p. m.	5	6	10	7	6
Promedio	0.07142857	0.07857143	0.1547619	0.08095238	0.07857143
Desviación Estandar	0.75592895	1.11269728	5.12231347	1.34518542	1.60356745

TABLA A.17: Tiempo de cruce en la frontera 14

Mes	OCT				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	3	1	3	3	2
10:00 a. m.	1	6	4	3	11
11:00 a. m.	10	23	4	3	28
Mediodía	28	19	4	18	34
01:00 p. m.	29	10	3	13	22
02:00 p. m.	20	11	8	5	10
03:00 p. m.	14	11	3	3	1
Promedio	0.25	0.19285714	0.06904762	0.11428571	0.25714286
Desviación Estandar	11.2249722	7.43543639	1.77281052	6.12178001	12.8043891
Mes	NOV				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	2	2	3	5	3
10:00 a. m.	6	1	14	8	3
11:00 a. m.	11	9	24	4	8
Mediodía	7	9	25	10	15
01:00 p. m.	7	6	14	9	16
02:00 p. m.	6	7	14	9	10
03:00 p. m.	4	2	5	3	3
Promedio	0.10238095	0.08571429	0.23571429	0.11428571	0.13809524
Desviación Estandar	2.79455252	3.43649877	8.39500986	2.79455252	5.64843004
Mes	DIC				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	4	0	2	2	5
10:00 a. m.	6	1	5	2	11
11:00 a. m.	13	3	14	15	13
Mediodía	14	3	12	11	8
01:00 p. m.	11	0	3	7	14
02:00 p. m.	6	0	9	14	6
03:00 p. m.	1	0	1	12	2
Promedio	0.13095238	0.01666667	0.10952381	0.15	0.14047619
Desviación Estandar	4.87950036	1.41421356	5.12695956	5.4160256	4.42933941
Mes	ENE				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	5	6	6	5	8
10:00 a. m.	4	6	7	5	9
11:00 a. m.	12	11	8	8	9
Mediodía	10	13	17	14	13
01:00 p. m.	7	13	17	10	10
02:00 p. m.	8	10	11	8	7
03:00 p. m.	10	11	7	6	9
Promedio	0.13333333	0.16666667	0.17380952	0.13333333	0.1547619
Desviación Estandar	2.88675135	2.94392029	4.75594866	3.21455025	1.88982237
Mes	FEB				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	9	5	8	6	5
10:00 a. m.	6	5	9	6	5
11:00 a. m.	8	7	8	11	7
Mediodía	13	8	10	12	10
01:00 p. m.	6	8	17	8	9
02:00 p. m.	6	11	8	7	9
03:00 p. m.	9	10	6	6	8
Promedio	0.13571429	0.12857143	0.15714286	0.13333333	0.12619048
Desviación Estandar	2.54483604	2.28868854	3.55232989	2.51661148	1.98805959

TABLA A.18: Tiempo de cruce en la frontera 15

Mes	OCT				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	5	1	5	5	6
10:00 a. m.	10	18	8	5	10
11:00 a. m.	14	40	8	25	12
Mediodía	43	50	40	35	28
01:00 p. m.	43	46	49	38	25
02:00 p. m.	30	45	40	38	27
03:00 p. m.	35	50	40	38	20
Promedio	0.42857143	0.5952381	0.45238095	0.43809524	0.3047619
Desviación Estandar	15.892496	18.8742707	19.1348597	15.2502927	8.92028187
Mes	NOV				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	5	13	4	5	4
10:00 a. m.	4	14	8	3	3
11:00 a. m.	3	24	14	13	15
Mediodía	26	34	18	30	49
01:00 p. m.	24	43	43	29	38
02:00 p. m.	21	22	38	39	40
03:00 p. m.	24	25	35	26	43
Promedio	0.2547619	0.41666667	0.38095238	0.3452381	0.45714286
Desviación Estandar	10.6726174	10.6458129	15.6037236	13.7684941	19.483815
Mes	DIC				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	4	3	7	5	3
10:00 a. m.	3	5	8	6	4
11:00 a. m.	5	5	11	14	6
Mediodía	4	14	17	24	14
01:00 p. m.	18	9	19	31	17
02:00 p. m.	10	14	19	27	23
03:00 p. m.	8	11	12	23	21
Promedio	0.12380952	0.1452381	0.22142857	0.30952381	0.20952381
Desviación Estandar	5.28700113	4.49867705	5.05682001	10.3094963	8.26351707
Mes	ENE				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	4	5	6	6	6
10:00 a. m.	5	6	7	6	6
11:00 a. m.	6	9	12	10	6
Mediodía	13	17	21	18	9
01:00 p. m.	10	13	12	10	8
02:00 p. m.	7	9	10	7	8
03:00 p. m.	9	9	11	7	9
Promedio	0.12857143	0.16190476	0.18809524	0.15238095	0.12380952
Desviación Estandar	3.14718317	4.11154009	4.88924963	4.25944329	1.39727626
Mes	FEB				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	6	5	5	6	6
10:00 a. m.	6	5	6	8	6
11:00 a. m.	6	8	7	10	7
Mediodía	9	14	14	13	10
01:00 p. m.	6	10	17	10	10
02:00 p. m.	9	11	13	8	12
03:00 p. m.	6	9	10	8	9
Promedio	0.11428571	0.14761905	0.17142857	0.15	0.14285714
Desviación Estandar	1.46385011	3.23669437	4.53557368	2.23606798	2.29906813

TABLA A.19: Tiempo de cruce en la frontera 16

Mes	OCT				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	2	0	0	0	0
10:00 a. m.	4	0	3	7	5
11:00 a. m.	7	1	2	7	2
Mediodía	9	1	0	3	0
01:00 p. m.	7	0	0	2	8
02:00 p. m.	5	0	0	0	3
03:00 p. m.	2	0	0	2	2
Promedio	0.08571429	0.0047619	0.01190476	0.05	0.04761905
Desviación Estandar	2.67261242	0.48795004	1.25356634	2.94392029	2.85356919
Mes	NOV				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	0	0	1	0	0
10:00 a. m.	0	4	1	0	0
11:00 a. m.	4	0	1	0	0
Mediodía	4	2	1	1	2
01:00 p. m.	2	0	1	0	2
02:00 p. m.	3	0	1	0	0
03:00 p. m.	0	0	1	0	0
Promedio	0.03095238	0.01428571	0.01666667	0.00238095	0.00952381
Desviación Estandar	1.86445447	1.57359158	0	0.37796447	0.97590007
Mes	DIC				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	2	0	3	0	1
10:00 a. m.	0	0	2	3	2
11:00 a. m.	3	3	1	1	0
Mediodía	2	2	3	2	1
01:00 p. m.	0	3	3	2	3
02:00 p. m.	6	6	2	1	3
03:00 p. m.	4	3	1	1	2
Promedio	0.04047619	0.04047619	0.03571429	0.02380952	0.02857143
Desviación Estandar	2.14919697	2.07019668	0.89973541	0.97590007	1.11269728
Mes	ENE				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	0	1	1	1	8
10:00 a. m.	0	1	0	1	8
11:00 a. m.	9	1	4	1	0
Mediodía	11	1	1	0	5
01:00 p. m.	12	0	0	0	5
02:00 p. m.	10	1	1	2	0
03:00 p. m.	7	1	2	2	0
Promedio	0.11666667	0.01428571	0.02142857	0.01666667	0.06190476
Desviación Estandar	5.03322296	0.37796447	1.38013112	0.81649658	3.68394199
Mes	FEB				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	0	0	0	3	2
10:00 a. m.	0	0	1	5	0
11:00 a. m.	1	0	2	4	0
Mediodía	2	0	2	3	2
01:00 p. m.	4	0	2	1	5
02:00 p. m.	1	0	3	1	2
03:00 p. m.	1	0	3	0	0
Promedio	0.02142857	0	0.03095238	0.04047619	0.02619048
Desviación Estandar	1.38013112	0	1.06904497	1.81265393	1.81265393

TABLA A.20: Tiempo de cruce en la frontera 17

Mes	OCT				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	5	0	3	1	4
10:00 a. m.	3	3	3	3	3
11:00 a. m.	3	0	0	1	3
Mediodía	5	0	0	1	3
01:00 p. m.	0	0	0	1	2
02:00 p. m.	0	0	0	1	1
03:00 p. m.	0	0	0	1	1
Promedio	0.03809524	0.00714286	0.01428571	0.02142857	0.04047619
Desviación Estandar	2.28868854	1.13389342	1.46385011	0.75592895	1.13389342
Mes	NOV				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	6	3	4	10	9
10:00 a. m.	4	3	3	5	9
11:00 a. m.	4	4	5	5	6
Mediodía	3	4	4	5	7
01:00 p. m.	4	0	3	0	4
02:00 p. m.	1	0	0	1	1
03:00 p. m.	1	0	3	3	1
Promedio	0.0547619	0.03333333	0.05238095	0.06904762	0.08809524
Desviación Estandar	1.79947082	1.91485422	1.57359158	3.28778403	3.40168026
Mes	DIC				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	3	4	3	6	3
10:00 a. m.	1	0	4	6	4
11:00 a. m.	8	0	5	6	5
Mediodía	1	3	2	7	1
01:00 p. m.	3	0	1	0	5
02:00 p. m.	0	0	1	0	4
03:00 p. m.	0	3	3	0	3
Promedio	0.03809524	0.02380952	0.0452381	0.05952381	0.05952381
Desviación Estandar	2.81154084	1.81265393	1.49602648	3.35942172	1.39727626
Mes	ENE				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	3	1	2	1	6
10:00 a. m.	5	1	4	4	6
11:00 a. m.	10	1	1	1	5
Mediodía	10	1	1	0	3
01:00 p. m.	3	4	3	0	4
02:00 p. m.	1	4	2	0	3
03:00 p. m.	3	2	2	0	3
Promedio	0.08333333	0.03333333	0.03571429	0.01428571	0.07142857
Desviación Estandar	3.60555128	1.41421356	1.06904497	1.46385011	1.38013112
Mes	FEB				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	15	3	7	8	6
10:00 a. m.	11	4	13	8	6
11:00 a. m.	10	5	5	4	3
Mediodía	9	5	4	3	3
01:00 p. m.	3	3	3	5	5
02:00 p. m.	4	2	3	3	4
03:00 p. m.	3	2	3	3	4
Promedio	0.13095238	0.05714286	0.09047619	0.08095238	0.07380952
Desviación Estandar	4.63424109	1.27241802	3.64495738	2.26778684	1.27241802

TABLA A.21: Tiempo de cruce en la frontera 18

Mes	OCT				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	49	49	49	52	50
10:00 a. m.	53	56	50	56	50
11:00 a. m.	54	55	58	60	53
Mediodía	55	59	60	58	55
01:00 p. m.	58	59	61	58	56
02:00 p. m.	58	53	61	58	56
03:00 p. m.	55	55	61	59	50
Promedio	0.90952381	0.91904762	0.95238095	0.9547619	0.88095238
Desviación Estandar	3.10145895	3.48466026	5.33630869	2.62769136	2.85356919
Mes	NOV				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	41	51	50	44	53
10:00 a. m.	47	59	58	53	53
11:00 a. m.	52	58	59	55	54
Mediodía	58	60	60	52	58
01:00 p. m.	61	60	60	53	58
02:00 p. m.	62	60	60	56	62
03:00 p. m.	60	60	60	49	61
Promedio	0.90714286	0.97142857	0.96904762	0.86190476	0.95
Desviación Estandar	8.01783726	3.30223589	3.67099312	4.07080196	3.74165739
Mes	DIC				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	28	33	39	36	39
10:00 a. m.	36	43	44	43	44
11:00 a. m.	43	48	53	47	51
Mediodía	46	55	53	53	52
01:00 p. m.	49	58	57	58	44
02:00 p. m.	53	56	60	56	42
03:00 p. m.	60	51	52	58	46
Promedio	0.75	0.81904762	0.85238095	0.83571429	0.75714286
Desviación Estandar	10.6458129	8.78310066	7.28991476	8.43462253	4.6853368
Mes	ENE				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	34	38	28	42	40
10:00 a. m.	34	33	40	48	45
11:00 a. m.	39	44	46	48	51
Mediodía	44	49	49	50	50
01:00 p. m.	53	55	55	53	49
02:00 p. m.	54	60	58	54	53
03:00 p. m.	55	56	62	54	55
Promedio	0.7452381	0.79761905	0.8047619	0.83095238	0.81666667
Desviación Estandar	9.34013358	9.99047165	11.6435144	4.33699479	5.06622805
Mes	FEB				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	35	29	40	34	34
10:00 a. m.	28	33	50	46	46
11:00 a. m.	35	53	55	45	48
Mediodía	40	56	56	45	49
01:00 p. m.	45	56	58	51	43
02:00 p. m.	33	59	58	55	47
03:00 p. m.	47	59	60	53	50
Promedio	0.62619048	0.82142857	0.89761905	0.78333333	0.7547619
Desviación Estandar	6.77881855	12.711075	6.89029684	7	5.46852466

TABLA A.22: Tiempo de cruce en la frontera 19

Mes	OCT				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	22	16	36	31	29
10:00 a. m.	35	14	39	29	33
11:00 a. m.	33	20	35	29	35
Mediodía	22	15	34	30	26
01:00 p. m.	18	28	40	27	28
02:00 p. m.	46	22	26	23	18
03:00 p. m.	51	20	21	20	18
Promedio	0.54047619	0.32142857	0.55	0.45	0.4452381
Desviación Estandar	12.6603995	4.85504156	6.97614985	4.04145188	6.67618368
Mes	NOV				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	20	35	31	18	20
10:00 a. m.	31	41	43	20	8
11:00 a. m.	33	42	38	20	27
Mediodía	40	38	41	22	23
01:00 p. m.	30	43	41	20	40
02:00 p. m.	20	48	41	20	37
03:00 p. m.	13	42	30	28	10
Promedio	0.4452381	0.68809524	0.63095238	0.35238095	0.39285714
Desviación Estandar	9.34013358	4.07080196	5.2417736	3.23669437	12.2591074
Mes	DIC				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	24	32	45	23	33
10:00 a. m.	38	50	35	34	28
11:00 a. m.	32	28	15	21	23
Mediodía	33	22	20	40	20
01:00 p. m.	42	23	20	35	19
02:00 p. m.	25	15	15	37	19
03:00 p. m.	25	7	14	33	19
Promedio	0.52142857	0.42142857	0.39047619	0.53095238	0.38333333
Desviación Estandar	7.01698619	13.6591152	11.9283576	7.12807995	5.50757055
Mes	ENE				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	27	20	34	21	25
10:00 a. m.	37	21	29	39	43
11:00 a. m.	45	26	38	39	40
Mediodía	20	26	39	29	31
01:00 p. m.	30	30	41	34	49
02:00 p. m.	15	23	25	17	40
03:00 p. m.	15	23	26	21	34
Promedio	0.45	0.40238095	0.55238095	0.47619048	0.62380952
Desviación Estandar	11.3284303	3.43649877	6.51737604	9.08950206	8.01783726
Mes	FEB				
Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
09:00 a. m.	23	18	13	28	26
10:00 a. m.	30	20	17	25	43
11:00 a. m.	35	41	17	31	45
Mediodía	38	40	21	27	50
01:00 p. m.	33	40	26	41	44
02:00 p. m.	32	23	20	36	46
03:00 p. m.	22	25	25	38	43
Promedio	0.50714286	0.49285714	0.33095238	0.53809524	0.70714286
Desviación Estandar	5.96816954	10.3094963	4.63424109	6.10230245	7.63450812

# BIBLIOGRAFÍA

---

- AHUMADA, O. y J. VILLALOBOS (2011a), «A tactical model for planning the production and distribution of fresh produce», *Annals of Operations Research*, **190**, págs. 339–358, DOI:10.1016/j.agsy.2012.06.002.
- AHUMADA, O. y J. R. VILLALOBOS (2011b), «Operational model for planning the harvest and distribution of perishable agricultural products», *International Journal of Production Economics*, **133**(2), págs. 677–687, DOI:10.1016/j.ijpe.2011.05.015, URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2011.05.015>.
- AL THEEB, N., H. SMADI, T. AL-HAWARI y M. ALJARRAH (2020), «Optimization of vehicle routing with inventory allocation problems in Cold Supply Chain Logistics», *Computers and Industrial Engineering*, **142**, págs. 1–16, DOI:10.1016/j.cie.2020.106341.
- ALBRECHT, W. y M. STEINRUCKE (2018), «Coordinating continuous-time distribution and sales planning of perishable goods with quality grades», *International Journal of Production Research*, **56**(7), págs. 2646–2665, DOI:10.1080/00207543.2017.1384584.
- ALLEN, S. y E. SCHUSTER (2004), «Controlling the risk for an agricultural harvest.», *Manufacturing and Service Operation Management*, **6**(3), págs. 225–236, DOI:doi:10.1287/msom.1040.0035.
- ÁLVAREZ MEDINA, M. T., M. A. NÚÑEZ RAMÍREZ y T. R. WENDLANDT AME-

- ZAGA (2017), «Caracterización de la cadena de valor del tomate rojo fresco en México», *Revista Global de Negocios*, **5**(3), págs. 45–58.
- AMBEKAR, S. y R. KAPOOR (2019), «Optimization of inventory policies of food grain distribution stage in public distribution system», *Benchmarking: An International Journal*, **26**(2), págs. 692–713, DOI:10.1108/BIJ-01-2018-0001, URL <https://doi.org/10.1108/BIJ-01-2018-0001>.
- AMICARELLI, C., V. AND BUX y G. LAGIORIA (2020), «How to measure food loss and waste? A material flow analysis application.», *British Food Journal*, **123**(1), DOI:10.1108/BFJ-03-2020-0241.
- AMORIM, P. y B. ALMADA-LOBO (2014), «The impact of food perishability issues in the vehicle routing problem», *Computers and Industrial Engineering*, **67**, págs. 223–233, DOI:10.1016/j.cie.2013.11.006.
- AMPATZIDIS, Y. G., S. G. VOUGIOUKAS, M. D. WHITING y Q. ZHANG (2014), «Applying the machine repair model to improve efficiency of harvesting fruit», *Biosystems Engineering*, **120**, págs. 25–33, DOI:10.1016/j.biosystemseng.2013.07.011, URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2013.07.011>.
- ARIVAZHAGAN, R., P. GEETHA y P. RAVILOCHANAN (2016), «Assessment of wastages in fruit supply chain with respect to fruit processing units in Tamilnadu, India», *International Food Research Journal*, **23**(2), págs. 723–732, DOI:10.7763/IJTEF.2012.V3.199.
- AWAD, M., M. NDIAYE y A. OSMAN (2020), «Vehicle routing in cold food supply chain logistics: a literature review», *The International Journal of Logistics Management*, **32**(2), págs. 592–617, DOI:10.1108/IJLM-02-2020-0092, URL <https://doi.org/10.1108/IJLM-02-2020-0092>.
- AZI, N., M. GENDREAU y J. POTVIN (2010), «An exact algorithm for a vehicle rou-

- ting problem with time windows and multiple use of vehicles», *European Journal of Operational Research*, **202**(3), págs. 756–763, DOI:10.1016/j.ejor.2009.06.034.
- BAHADUR, I., M. B.R., M. V.J., M. SAHA, A. KUMAR y A. AERON (2017), «Mineral Release Dynamics of Tricalcium Phosphate and Waste Muscovite by Mineral-Solubilizing Rhizobacteria Isolated from Indo-Gangetic Plain of India», *Geomicrobiology Journal*, **34**(5), págs. 454–466, DOI:10.1080/01490451.2016.1219431.
- BALAJI, M. y K. ARSHINDER (2016), «Modeling the causes of food wastage in Indian perishable food supply chain.», *Resources, Conservation and Recycling*, **114**, págs. 153–167, DOI:10.1016/j.resconrec.2016.07.016.
- BLANCO, A. M., G. MASINI, N. PETRACCI y J. A. BANDONI (2005), «Operations management of a packaging plant in the fruit industry», *Journal of Food Engineering*, **70**(3), págs. 299–307, DOI:10.1016/j.jfoodeng.2004.05.075.
- BOGERS, M., N. J. FOSS y J. LYNGSIE (2018), «The “human side” of open innovation: The role of employee diversity in firm-level openness», *Research Policy*, **47**(1), págs. 218–231, DOI:10.1016/j.respol.2017.10.012.
- BORTOLINI, M., M. FACCIO, E. FERRARI, M. GAMBERI y F. PILATI (2016), «Fresh food sustainable distribution: cost, delivery time and carbon footprint three-objective optimization», *Journal of Food Engineering*, **174**, págs. 56–67, DOI:10.1016/j.jfoodeng.2015.11.014.
- CAGLIANO, R., C. WORLEY y F. CANIATO (2016), «The challenge of sustainable innovation in agri-food supply chains», *Supply Chain Management*, **5**(1), pág. 30, DOI:10.1108/S2045-060520160000005009.
- CAIXETA-FILHO, J. V. (2006), «Orange harvesting scheduling management: A case study», *Journal of the Operational Research Society*, **57**(6), págs. 637–642, DOI:10.1057/palgrave.jors.2602041.

- CALVO-PORRAL, C., A. FAIÑA MEDÍN y C. LOSADA-LÓPEZ (2017), «Can Marketing Help in Tackling Food Waste?: Proposals in Developed Countries», *Journal of Food Products Marketing*, **23**(1), págs. 42–60, DOI:10.1080/10454446.2017.1244792.
- CANALI, P., M. AND AMANI, L. ARAMYAN, M. GHEOLDUS, G. MOATES, K. OSTERGREN, K. SILVERNNOINEN, K. WALDRON y M. VITTUARI (2017), «Food Waste Drivers in Europe.», *Sustainability*, **9**(1), págs. 1–33, DOI:10.3390/su9010037.
- CHAUHAN, A., R. DEBNATH y S. SINGH (2018), «Modelling the drivers for sustainable agri-food waste management», *Benchmarking: An International Journal*, **25**(3), págs. 981–993, DOI:10.1108/BIJ-07-2017-0196.
- CHEN, W., J. LI y X. JIN (2016), «The replenishment policy of agri-products with stochastic demand in integrated agricultural supply chains», *Expert Systems with Applications*, **48**, págs. 55–66, DOI:10.1016/j.eswa.2015.11.017, URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2015.11.017>.
- CHOPRA, S. y P. MEINDL (2008), *Administración de la cadena de suministro Estrategia, Planeación y Operación*, tercera edición, Pearson, Prentice Hall, Atlacomulco 500 5o piso Col. Industrial Atoto 53519, Naucalpan de Juárez, Estado de México.
- CORRADO, S., F. ARDENTE, S. SALA y E. SAOUTER (2017), «Modelling of food loss within life cycle assessment: From current practice towards a systematisation», *Journal of Cleaner Production*, **140**, págs. 847–859, DOI:10.1016/j.jclepro.2016.06.050.
- DE KEIZER, M., R. HAIJEMA, J. BLOEMHOF y J. MVAN DER VORST (2015), «Hybrid optimization and simulation to design a logistics network for distributing perishable products», *Computers and Industrial Engineering*, **88**, págs. 26–38, DOI:10.1016/j.cie.2015.06.017, URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.cie.2015.06.017>.

- DE MORAES, C. C., F. H. DE OLIVEIRA COSTA, C. R. PEREIRA, A. L. DA SILVA y I. DELAI (2020), «Retail food waste: mapping causes and reduction practices», *Journal of Cleaner Production*, **256**, pág. 120-124, DOI:10.1016/j.jclepro.2020.120124.
- DES FREITAS BORGHI, D., R. GUIRARDELLO y L. FILHO (2009), «Storage logistics of fruits and vegetables: effect of temperature», *Chemical Engineering Transactions*, **17**, págs. 951–956, DOI:10.3303/CET0917159.
- DUONG, L., L. C. WOOD y W. WANG (2015), «A Multi-criteria Inventory Management System for Perishable & Substitutable Products», *Procedia Manufacturing*, **2**(February), págs. 66–76, DOI:10.1016/j.promfg.2015.07.012, URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.012>.
- DUTTA, P. y H. SHRIVASTAVA (2020), «The design and planning of an integrated supply chain for perishable products under uncertainties», *Journal of Modelling in Management*, **15**(4), págs. 1301–1337, DOI:10.1108/JM2-03-2019-0071, URL <https://doi.org/10.1108/JM2-03-2019-0071>.
- DWIVEDI, A., A. JHA, D. PRAJAPATI, N. SREENU y S. PRATAP (2020), «Meta-heuristic algorithms for solving the sustainable agro-food grain supply chain network design problem», *Modern Supply Chain Research and Applications*, **2**(3), págs. 161–177, DOI:10.1108/MS CRA-04-2020-0007, URL <https://doi.org/10.1108/MS CRA-04-2020-0007>.
- EMANA, B., V. AFARI-SEFA, N. NENGUWO, A. AYANA, D. KEBEDE y H. MOHAMMED (2017), «Characterization of pre- and post-harvest losses of tomato supply chain in Ethiopia», *Agricultural Food Security*, **6**(3), págs. 1–11, DOI:10.1186/s40066-016-0085-1.
- FAO (2022), «FAOSTAT», <https://www.fao.org/faostat/es/#compare>.
- FATEMI, G. y B. ASGARIAN (2019), «Development of metaheuristics to solve a transportation inventory location routing problem considering lost

- sale for perishable goods», *Journal of Modelling in Management*, **14**(1), págs. 175–198, DOI:10.1108/JM2-05-2018-0064, URL <https://doi.org/10.1108/JM2-05-2018-0064>.
- FIRA (2019), «Panorama agroalimentario Tomate Rojo 2019», *Dirección de investigación y Evaluación Económica Sectorial*, págs. 01–21, URL <https://es.scribd.com/document/502336019/Panorama-Agroalimentario-Tomate-rojo-2019>.
- FONSECA, J. y N. VERGARA (2014), «Logistics systems need to scale up reduction of produce losses in the Latin America and Caribbean region», *Acta Horticulturae*, **1047**, págs. 173–180.
- GARCÍA DE LEÓN, V. (2016), «Sinaloa redirecciona su estrategia de exportación», *HortiCultivos*, **1**(1), pág. 01.
- GARCÍA-CÁCERES, M., R. AND MARTÍNEZ-AVELLA y F. PALACIOS-GÓMEZ (2015), «Tactical optimization of the oil palm agribusiness supply chain», *Applied Mathematical Modelling*, **39**(20), págs. 6375–6395.
- GARDAS, B., R. RAUT y B. NARKHEDE (2017), «Modeling causal factors of post-harvesting losses in vegetable and fruit supply chain: An Indian perspective», *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **80**, págs. 1355–1371, DOI:10.1016/j.rser.2017.05.259.
- GARDAS, B., R. RAUT y B. NARKHEDE (2018), «Evaluating critical causal factors for post-harvest losses (PHL) in the fruit and vegetables supply chain in India using the DEMATEL approach», *Journal of Cleaner Production*, **199**, págs. 47–61, DOI:10.1016/j.jclepro.2018.07.153.
- GHEZAVATI, V., S. HOOSHYAR y R. TAVAKKOLI-MOGHADDAM (2017), «A Benders' decomposition algorithm for optimizing distribution of perishable products considering postharvest biological behavior in agri-food supply chain: a case study of tomato», **25**(1), págs. 29–54, DOI:10.1007/s10100-015-0418-3.

- GOGO, E., A. OPIYO y S. ULRICH, C. AND HUYKENS-KEIL (2017), «Nutritional and economic postharvest loss analysis of African indigenous leafy vegetables along the supply chain in Kenya», *Postharvest Biology and Technology*, **130**, págs. 39–47, DOI:10.1016/j.postharvbio.2017.04.007.
- GRANILLO-MACÍAS, R., E. OLIVARES-BENITEZ, J. L. MARTÍNEZ-FLORES y S. O. CABALLERO-MORALES (2017), «Gestión de operaciones en una cadena de suministro agroalimentaria», *Ciencias Holguín*, **23**(4), págs. 01–17.
- GÖBEL, C., N. LANGEN, A. BLUMENTHAL, P. TEITSCHIED y G. RITTER (2015), «Cutting Food Waste through Cooperation along the Food Supply Chain», *Sustainability*, **7**(2), págs. 1429–1445, DOI:10.3390/su7021429.
- HARIGA, M., R. ASAD y A. SHAMAYLEH (2017), «Integrated economic and environmental models for a multi stage cold supply chain under carbon tax regulation», *Journal of Cleaner Production*, **166**, págs. 1357–1371, DOI:10.1016/j.jclepro.2017.08.105.
- HASHEMI, L., A. MAHMOODI, M. JASEMI, R. C. MILLAR y J. LALIBERTÉ (2021), «Modeling a robust multi-objective locating-routing problem with bounded delivery time using meta-heuristic algorithms», *Smart and Resilient Transportation*, **3**(3), págs. 283–303, DOI:10.1108/SRT-08-2021-0008, URL <https://doi.org/10.1108/SRT-08-2021-0008>.
- HERBON, A., E. LEVNER y T. CHENG (2014), «Perishable inventory management with dynamic pricing using time-temperature indicators linked to automatic detecting devices», *International Journal of Production Economics*, **147**(PART C), págs. 605–613, DOI:10.1016/j.ijpe.2013.07.021, URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.07.021>.
- HILLIER, F. S. y G. LIEBERMAN (2010), *Introducción a la investigación de operaciones*, 9ª edición, McGrawHill, México, DF.

- HSIAO, Y., M. CHEN y C. CHIN (2017), «Distribution planning for perishable foods in cold chains with quality concerns: formulation and solution procedure», *ITrends in Food Science and Technology*, **61**, págs. 80–93, DOI:10.1016/j.tifs.2016.11.016.
- HSU, W., C. AND CHEN y W. WU (2013), «Optimal delivery cycles for joint distribution of multitemperature food», *Food Control*, **34**(1), págs. 106–114, DOI:10.1016/j.foodcont.2013.04.003.
- IRANI, Z. y A. SHARIF (2021), «Sustainable food security futures: perspectives on food waste and information across the food supply chain», *Journal of Enterprise Information Management*, **29**(2), págs. 171–178, DOI:10.1108/JEIM-12-2015-0117.
- ISHANGULYYEV, R., S. KIM y S. LEE (2019), «Understanding Food Loss and Waste—Why Are We Losing and Wasting Food?», *Foods*, **8**(8), DOI:10.3390/foods808029.
- JABARZADEH, Y., H. REYHANI YAMCHI, V. KUMAR y N. GHAFFARINASAB (2020), «A multi-objective mixed-integer linear model for sustainable fruit closed-loop supply chain network», *Management of Environmental Quality: An International Journal*, **31**(5), págs. 1351–1373, DOI:10.1108/MEQ-12-2019-0276, URL <https://doi.org/10.1108/MEQ-12-2019-0276>.
- KARIPIDIS, P., P. CHRYSOCHOU y I. KARYPIDOU (2017), «Does the Greek food supply respond to the world challenges?», *Advances in Management and Applied Economics*, **7**(5), págs. 1–11.
- KARIPIDIS, P., P. CHRYSOCHOU y I. KARYPIDOU (2020), «The importance of relationship characteristics in the export performance of food firms», *British Food Journal*, **122**(4), págs. 1305–1320, DOI:10.1108/BFJ-05-2019-0376.
- KOUKI, C., E. SAHIN, Z. JEMAÏ y Y. DALLERY (2013), «Assessing the impact of perishability and the use of time temperature technologies on inventory ma-

- nagement», *International Journal of Production Economics*, **143**(1), págs. 72–85, DOI:10.1016/j.ijpe.2010.09.032.
- LEHTINEN, U., P. AHOKANGAS y J. LU (2016), «The role of intermediaries in food export: case evidence from Finland», *British Food Journal*, **118**(5), págs. 1179–1194, DOI:10.1108/BFJ-03-2015-0116.
- LI, Y., J. CHU, F. AND CÔTE, L. COELHO y C. CHU (2020), «The multi-plant perishable food production routing with packaging consideration», *International Journal of Production Economics*, **221**, DOI:10.1016/j.ijpe.2019.08.007.
- LI, Y., M. K. LIM y M. TSENG (2019), «A green vehicle routing model based on modified particle swarm optimization for cold chain logistics», *Industrial Management & Data Systems*, **119**(3), págs. 473–494, DOI:10.1108/IMDS-07-2018-0314, URL <https://doi.org/10.1108/IMDS-07-2018-0314>.
- LIN, D., Z. ZHANG, J. WANG, Y. YANG, L. AND SHI y J. SOAR (2019), «Optimizing Urban distribution routes for perishable foods considering carbon emission reduction», *Sustainability*, **11**(16), pág. 4387, DOI:10.3390/su11164387.
- MAGALHAES, V., L. FERREIRA y C. SILVA (2021), «Using a methodological approach to model causes of food loss and waste in fruit and vegetable supply chains», *Journal of Cleaner Production*, **283**, DOI:10.1016/j.jclepro.2020.124574.
- MANZOCCO, L., M. ALONGI, S. SILLANI y M. NICOLI (2016), «Technological and consumer strategies to tackle food wasting», *Food Engineering Review*, **8**, pág. 457–467, DOI:10.1007/s12393-016-9149-z.
- MARTÍNEZ-SALAZAR, I., F. ANGEL-BELLO y A. ALVAREZ (2015), «A customer-centric routing problem with multiple trips of a single vehicle», *Journal of the Operational Research Society*, **66**, págs. 1312–1323, DOI:10.1057/jors.2014.92.
- MAYA AMBÍA, C. J. y L. B. L. M. (2009), «El nodo de distribución en la cadena hortícola de valor México-Estados Unidos: el caso de las exportaciones sinaloenses de productos frescos», *Región y Sociedad*, **21**(46), págs. 80–107.

- MENA, C., A. T. LEON, A. WILLIAMS y L. ELLRAM (2014), «Causes of waste across multi-tier supply networks: Cases in the UK food sector», *International Journal of Production Economics*, **152**, págs. 144–158, DOI:10.1016/j.ijpe.2014.03.012.
- MICALE, R., G. MARANNANO, A. GIALLANZA, P. MIGLIETTA, G. AGNUSDEI y G. LA SCALIA (2019), «Sustainable vehicle routing based on firefly algorithm and TOPSIS methodology», *Sustainable Futures*, **1**, DOI:10.1016/j.sftr.2019.100001.
- MURIANA, C. (2015), «Effectiveness of the food recovery at the retailing stage under shelf life uncertainty: An application to Italian food chains», *Waste Management*, **41**, págs. 159–168, DOI:10.1016/j.wasman.2015.03.028, URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2015.03.028>.
- NAKANDALA, D., H. LAU y J. ZHANG (2016a), «Cost-optimization modelling for fresh food quality and transportation», *Industrial Management & Data Systems*, **116**(3), págs. 01–03, DOI: 10.1108/IMDS-04-2015-0151.
- NAKANDALA, D., H. LAU y J. ZHANG (2016b), «Cost-optimization modelling for fresh food quality and transportation», *Industrial Management and Data Systems*, **116**(3), págs. 564–583, DOI:10.1108/IMDS-04-2015-0151.
- PAAM, P., R. BERRETA, M. HEYDAR, M. R., R. GARCÍA-FLORES y P. JULIANO (2016), «Planning Models to Optimize the Agri-Fresh Food Supply Chain for Loss Minimization: A Review», *Reference Module in Food Science*, págs. 01–16, DOI:10.1016/B978-0-08-100596-5.21069-X.
- PATIDAR, R. y S. AGRAWAL (2020), «A mathematical model formulation to design a traditional Indian agri-fresh food supply chain: a case study problem», *Benchmarking: An International Journal*, **27**(8), págs. 2341–2363, DOI:10.1108/BIJ-01-2020-0013, URL <https://doi.org/10.1108/BIJ-01-2020-0013>.
- PELTON, L., M. PADDU, J. SHI, J. ZHANG y X. QU (2010), «Optimizing distribution strategy for perishable foods using RFID and sensor technolo-

- gies», *Journal of Business and Industrial Marketing*, **25**(8), págs. 596–606, DOI:10.1108/08858621011088338.
- PORAT, R., A. LICHTER, A. T. LEON, R. HARKER y J. BUZBY (2018), «Postharvest losses of fruit and vegetables during retail and in consumers' homes: Quantifications, causes, and means of prevention», *Postharvest Biology and Technology*, **139**, págs. 135–149, DOI:10.1016/j.postharvbio.2017.11.019.
- POSADAS, F. (2017), «La situación de los trabajadores rurales en Sinaloa», *Estudios Sociales*, **27**(49), págs. 249–250.
- RABBANI, M., A. FARSHBAF-GERANMAYEH y N. HAGHJOO (2016), «Vehicle routing problem with considering multi-middle depots for perishable food delivery», *Uncertain Supply Chain Management*, **4**, págs. 171–182, DOI:10.5267/j.uscm.2016.3.001.
- RAHBARI, M., H. RAZAVI H.AND SEYED, R. D., M. MOALLEM y F. RIAHI DORCHEH (2021), «Modeling and solving a five-echelon location–inventory–routing problem for red meat supply chain», *Kybernetes*, **50**(1), págs. 66–99, DOI:10.1108/K-10-2019-0652, URL <https://doi.org/10.1108/K-10-2019-0652>.
- RAMOS, E., P. S. COLES, M. CHAVEZ y B. HAZEN (2022), «Measuring agri-food supply chain performance: insights from the Peruvian kiwicha industry», *Benchmarking: An International Journal*, **29**(5), págs. 1484–1512, DOI:10.1108/BIJ-10-2020-0544, URL <https://doi.org/10.1108/BIJ-10-2020-0544>.
- RONG, A. y M. GRUNOW (2010), «A methodology for controlling dispersion in food production and distribution», *OR Spectrum*, **32**, págs. 957–978, DOI:10.1007/s00291-010-0210-7.
- RONG, A., M. GRUNOW y R. AKKERMAN (2011), «An optimization approach for managing fresh food quality throughout the supply chain», *International Journal of Production Economics*, **131**(1), págs. 421–429, DOI:10.1016/j.ijpe.2009.11.026.

- SADR (2021), «Tomate rojo», *Escenario mensual de productos agroalimentarios*, págs. 01–02.
- SAIF, A. y S. ELHEDHLI (2016), «Cold supply chain design with environmental considerations: a simulation-optimization approach», *European Journal of Operational Research*, **251**(1), págs. 274–287, DOI:10.1016/j.ejor.2015.10.056.
- SAMARAKKODY, T. y H. ALAGALLA (2021), «Optimizing the multiple trip vehicle routing plan for a licensee green tea dealer in Sri Lanka», *Modern Supply Chain Research and Applications*, **3**(4), págs. 246–261, DOI:10.1108/MS CRA-10-2020-0027, URL <https://doi.org/10.1108/MS CRA-10-2020-0027>.
- SEL, C., B. BILGEN, J. BLOEMHOF-RUWAARD y J. VAN DER VORST (2015), «Multi-bucket optimization for integrated planning and scheduling in the perishable dairy supply chain», *Computers and Chemical Engineering*, **77**(9), págs. 59–73, DOI:10.1016/j.compchemeng.2015.03.020.
- SHUKLA, M. y S. JHARKHARIA (2013), «Agri-fresh produce supply chain management: a state-of-the-art literature review», *International Journal of Operations & Production Management*, **33**(2), págs. 114–158, DOI:10.1108/01443571311295608.
- SIBOMANA, M., T. WORKNEH y K. AUDAIN (2016), «A review of post-harvest handling and losses in the fresh tomato supply chain: a focus on Sub-Saharan Africa», *Food Security*, **8**, págs. 389–404, DOI:10.1007/s12571-016-0562-1.
- SONG, G., L. SUN y Y. WANG (2018), «A decision-making model to support the design of a strategic supply chain configuration», *Journal of Manufacturing Technology Management*, **29**(3), págs. 515–532, DOI:10.1108/JMTM-09-2017-0197, URL <https://doi.org/10.1108/JMTM-09-2017-0197>.
- SOYSAL, M., J. M. BLOEMHOF-RUWAARD, R. HAIJEMA y J. VAN DER VORST (2015), «Modeling an Inventory Routing Problem for perishable products with environmental considerations and demand uncertainty», *International Journal of*

- Production Economics*, **164**, págs. 118–133, DOI:10.1016/j.ijpe.2015.03.008, URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.03.008>.
- STELLINGWERF, H., A. KANELLOPOULOS, J. VAN DER VORST y J. BLOEMHOF (2018), «Reducing CO2 emissions in temperature-controlled road transportation using the LDVRP model», *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, **231**, DOI:10.1016/j.trd.2017.11.008.
- STONE, J. y S. RAHIMIFARD (2018), «Resilience in agri-food supply chains: a critical analysis of the literature and synthesis of a novel framework», *Supply Chain Management*, **23**(3), págs. 207–238, DOI:10.1108/SCM-06-2017-0201.
- SURUCU-BALCI, E. y O. TUNA (2021), «Investigating logistics-related food loss drivers: A study on fresh fruit and vegetable supply chain», *Journal of Cleaner Production*, **318**, págs. 01–16, DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.128561.
- TSANG, Y., K. CHOY, C. WU, G. HO, H. LAM y V. TANG (2018), «An intelligent model for assuring food quality in managing a multi-temperature food distribution centre», *Food Control*, **90**, págs. 81–97, DOI:10.1016/j.foodcont.2018.02.030.
- USDA (2022a), «Crops and livestock products», <https://www.fao.org/faostat/en/#data/TCL>.
- USDA (2022b), «National Agricultural Statistics Service», <https://quickstats.nass.usda.gov/data/printable/6F06D8DB-CD3C-353B-97BB-8B99CD02371C>.
- USDA (2022c), «Vegetables and Pulses Yearbook Tables», <https://https://www.ers.usda.gov/data-products/vegetables-and-pulses-data/vegetables-and-pulses-yearbook-tables/>.
- VARSEI, M. y S. POLYAKOVSKIY (2017), «Sustainable supply chain network design: A case of the wine industry in Australia», *Omega (United Kingdom)*, **66**, págs. 236–247, DOI:10.1016/j.omega.2015.11.009, URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.omega.2015.11.009>.

- VENUS, V., D. K. ASARE-KYEI, L. M. TIJSKENS, M. J. WEIR, C. A. DE BIE, S. OUEDRAOGO, W. NIEUWENHUIS, S. L. WESSELMAN, G. A. CAPPELLI y E. M. SMALING (2013), «Development and validation of a model to estimate postharvest losses during transport of tomatoes in West Africa», *Computers and Electronics in Agriculture*, **92**, págs. 32–47, DOI:10.1016/j.compag.2012.11.011, URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2012.11.011>.
- WANG, Y., C. YANG y H. HOU (2020), «Risk management in perishable food distribution operations», *Industrial Management & Data Systems*, **120**(2), págs. 291–311, DOI:10.1108/IMDS-03-2019-0149, URL <https://doi.org/10.1108/IMDS-03-2019-0149>.
- WIDODO, K. H., H. NAGASAWA, K. MORIZAWA y M. OTA (2006), «A periodical flowering-harvesting model for delivering agricultural fresh products», *European Journal of Operational Research*, **170**(1), págs. 24–43, DOI:10.1016/j.ejor.2004.05.024.
- WINSTON, W. L. (2005), *Investigación de operaciones, aplicaciones y algoritmos*, cuarta edición, Thomson Learning, México, DF.
- YIFENG, Z. y X. RUHE (2013), «Application of cold chain logistics safety reliability in fresh food distribution optimization», *Advance Journal of Food Science and Technology*, **5**, págs. 356–360, DOI:10.19026/ajfst.5.3270.
- ZANONI, S. y L. ZAVANELLA (2012), «Chilled or frozen? Decision strategies for sustainable food supply chains», *International Journal of Production Economics*, **140**(2), págs. 731–736, DOI:10.1016/j.ijpe.2011.04.028, URL <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2011.04.028>.

# RESUMEN AUTOBIOGRÁFICO

---

Rafael León Verdugo

Candidato para obtener el grado de  
Maestría en Logística y Cadena de Suministro

Universidad Autónoma de Nuevo León  
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

Tesis:

ALTERNATIVA DE RUTA PARA LA EXPORTACIÓN DE TOMATE ROJO  
SINALOENSE A ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA

Nacido en Culiacan, Sinaloa, el 6 de febrero de 1991. De madre y padre sinaloense y duranguense respectivamente, Soledad Verdugo López y Javier León Corrales. Egresado de la Universidad Autónoma de Sinaloa con licenciatura en Negocio y Comercio Internacional, he laborado en distintas organizaciones a nivel nacional e internacional en materia de transportes de exportación e importación.