

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN
FACULTAD POLITÉCNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN**



**DISEÑO DE UN MODELO DE
OPTIMIZACIÓN PARA EL ABASTECIMIENTO DE FRUTAS Y
HORTALIZAS DESDE FINCAS AGRÍCOLAS A ESCUELAS EN UN
DISTRITO DEL DEPARTAMENTO DE CAAZAPÁ**

**Zulma Fiorella Leite López
Laura Ysabel Mencia Aranda**

San Lorenzo, Paraguay
Noviembre, 2018

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE ASUNCIÓN
FACULTAD POLITÉCNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN**



**DISEÑO DE UN MODELO DE OPTIMIZACIÓN PARA EL
ABASTECIMIENTO DE FRUTAS Y HORTALIZAS DESDE FINCAS
AGRÍCOLAS A ESCUELAS EN UN DISTRITO DEL
DEPARTAMENTO DE CAAZAPÁ**

Trabajo de fin de grado presentado a la Facultad Politécnica de la Universidad Nacional de Asunción, como requisito para la obtención del título de Ingeniero en Sistemas de Producción

Autores

**Zulma Fiorella Leite López
Laura Ysabel Mencía Aranda**

Orientador técnico:
Prof. Dr. Diego Pinto

Orientador metodológico
Prof. Mag. Sonia Carolina León de Alegre

San Lorenzo, Paraguay
Noviembre, 2018

i. Dedicatoria

Dedico este trabajo a mis padres Zulma y Silvano por darme la posibilidad de estudiar y ser mi soporte en todo momento, sin ellos no podría haber llegado hasta estas instancias.

Zulma Fiorella Leite López

i. Dedicatoria

A mi familia, especialmente a mis padres Amelia y Omar por todo el apoyo incondicional y a mi abuela Felicia por el cariño y aliento en los momentos difíciles.

Laura Ysabel Mencia Aranda

ii. Agradecimientos

Nuestros sinceros agradecimientos a:

Dios por darnos la fortaleza, salud y sabiduría necesaria para llegar a la meta.

Nuestros padres por brindarnos su apoyo permanente y soporte a lo largo de la carrera

Director de carrera, Ing. Héctor Arce por sus gestiones en los diferentes aspectos de la carrera

Grupo de Investigación de Operaciones e Inteligencia Artificial GIOIA de la FPUNA

Dr. Diego Pedro Pinto Roa, por sus tutorías y colaboración en la elaboración del trabajo

Al señor Darío Gómez, por facilitarnos los datos del MAG.

Tadeo Saldívar por su colaboración con la programación del modelo en el software IBM ILOG CPLEX

Arturo González por sus consejos y sugerencias para la mejoría del trabajo.

Carlos Núñez por su colaboración en distintos aspectos del trabajo.

María Elena Garcia por darnos un espacio en el DSEI (Departamento de Servicios Externos de Informática).

Ana Cardozo por su amistad, apoyo constante y ser nuestra compañera de lucha durante la carrera.

Iván Ríos por sus indicaciones respecto a la configuración para la resolución del modelo en IBM ILOG CPLEX.

Francisco Romero técnico de la ALAT por guiarnos en las vistas a los productores y brindarnos datos útiles.

Rolando Cuevas y Alexis Ruíz por las sugerencias y correcciones técnicas para el trabajo.

Al Proyecto PINV15-759 del CONACYT por el financiamiento del proyecto.

Fiorella Leite

Laura Mencia

DISEÑO DE UN MODELO DE OPTIMIZACIÓN PARA EL ABASTECIMIENTO DE FRUTAS Y HORTALIZAS DESDE FINCAS AGRÍCOLAS A ESCUELAS EN UN DISTRITO DEL DEPARTAMENTO DE CAAZAPÁ

AUTORES:

**Zulma Fiorella Leite Lopez
Laura Ysabel Mencia Aranda**

iii. RESUMEN

El programa de Alimentación Escolar del Paraguay (PAEP), parte del gobierno nacional, está comprometido a proveer de alimentación a los niños/as beneficiados dentro del programa, durante su permanencia en la escuela. Este programa tiene como objetivos: generar hábitos alimentarios, estilos de vida saludable y contribuir a la mejora del rendimiento y retención escolar.

Este trabajo presenta un enfoque cuantitativo de carácter descriptivo y exploratorio, el cual busca elaborar un plan de abastecimiento de productos frutihortícolas desde fincas agrícolas familiares a escuelas del distrito de San Juan Nepomuceno al menor costo posible para satisfacer la demanda de los productos frutihortícolas dando prioridad a la producción agrícola local. Catorce instituciones educativas de San Juan Nepomuceno, totalizando 1180 estudiantes, contaron con el beneficio del PAEP en el año 2017.

Se diseñó una secuencia de dos modelos matemáticos para planificar el abastecimiento, basados en el problema de enrutamiento de vehículos con recogida y entrega (VRPPD, por sus siglas en inglés) pero teniendo en cuenta el problema de compra de productos al mismo tiempo (VRPPD + PP). Dado que el VRPPD es complejo, proponemos resolverlo en dos partes consecutivas: el VRP con recolección y compra de producto (VRPP + PP), y luego el VRP con entrega (VRPD).

El plan está diseñado en periodos semanales, para un total de 73 días de provisión de almuerzo escolar. Calculamos la solución óptima para ambos modelos utilizando el software IBM ILOG CPLEX.

Palabras clave: Programación lineal, Plan de Abastecimiento, Optimización, Ruteo, Modelo matemático, Producción Agrícola.

DESIGN OF AN OPTIMIZATION MODEL FOR THE SUPPLY OF FRUITS AND VEGETABLES FROM AGRICULTURAL FARMS TO SCHOOLS IN A DISTRICT OF THE DEPARTMENT OF CAAZAPÁ

AUTHORS:

**Zulma Fiorella Leite Lopez
Laura Ysabel Mencia Aranda**

SUMMARY

The school feeding program of Paraguay (PAEP), which is part of the national government, is committed to providing food to children benefited within the program during their stay at the school. Its goals are generating better eating habits, healthier lifestyles and improving school retention and performance.

Our work presents a quantitative approach of descriptive and exploratory nature, which seeks to develop a supply plan for fruit and vegetable products from family farms to schools in the district of San Juan Nepomuceno at the lowest possible cost to meet demand for fruit and vegetable products, giving priority to local agricultural production. Fourteen schools in San Juan Nepomuceno, amounting to 1180 students, benefited from PAEP during 2017.

It was designed two sequential mathematical models for planning the supply of vegetables and fruits based on the problem of Vehicle Routing Problem with Pickup and Delivery (VRPPD) but considering the product purchase problem at the same time (VRPPD+PP).

Given the VRPPD is complex, we proposes to solve it in two consecutive parts: the VRP with Pickup and Product Purchase (VRPP+PP, and then the VRP with Delivering (VRPD)

The plan is designed in weekly periods, for a total of 73 days of school lunch provision. We calculated the optimal solution for both models using solvers from IBM ILOG CPLEX software.

Keywords: Linear Programming, Supply Plan, Optimization, Routing, Mathematical Model, Agricultural production.

Tabla de contenido

Dedicatoria.....	i
Agradecimientos	ii
Resumen.....	iii
Summary	iv
Contenido.....	v
Lista de Figuras.....	vi
Lista de Tablas	vii
Lista de Fotografías.....	viii
Lista de Abreviaturas	ix
Lista de simbolos	x
I. INTRODUCCIÓN.....	16
II. RESUMEN EJECUTIVO	18
CAPÍTULO 1.....	18
1.1 Descripción del trabajo de investigación	18
1.2 Descripción del distrito de San Juan Nepomuceno.....	20
1.2.1 Economía	20
1.3 Situación actual de la provisión de almuerzo escolar en el Distrito San Juan Nepomuceno	21
1.4 Planteamiento del problema.....	22
1.5 Justificación	23
1.6 Finalidad del trabajo de investigación	24
1.7 Objetivos.....	24
1.7.1 Objetivo general.....	24
1.7.2 Objetivos específicos	24
1.8 Beneficiarios	25
1.9 Cobertura espacial.....	25
1.10 Especificación de actividades y tareas realizadas	25
1.11 Métodos y procedimientos utilizados	26
1.12 Recursos necesarios	27
1.12.1 Recursos Humanos.....	27

1.12.2 Recursos Materiales	28
1.13 Factores externos condicionantes para el logro de los efectos e impacto del trabajo.....	29
III. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	30
CAPÍTULO 2.....	30
2. Marco teórico	30
2.1 Logística.....	30
2.1.1 El sistema logístico	30
2.1.1.1 Logística de Abastecimiento.....	30
2.1.1.2 Logística de Planta.....	31
2.1.1.3 Logística de Distribución.....	31
2.2 Costos Logísticos	31
2.3 Planeación.....	31
2.3.1 Niveles de planeación	32
2.3.1.1 La planeación estratégica.....	32
2.3.1.2 La planeación táctica.....	32
2.3.1.3 La planeación operativa	32
2.4 Investigación de Operaciones	33
2.4.1 Definición del problema y recolección de datos.....	34
2.4.2 Formulación de un modelo matemático.....	34
2.4.3 Obtención de soluciones a partir del modelo.....	35
2.4.4 Validación o prueba del modelo	35
2.4.5 Preparación e implementación del modelo	36
2.5 Optimización.....	37
2.6 Modelos.....	38
2.6.1 Tipos de modelos	38
2.7 Modelos matemáticos	39
2.7.1 Clasificación de los modelos matemáticos de optimización.....	39
2.7.1.1 Modelos estáticos y dinámicos	39
2.7.1.2 Modelos lineales y no lineales	40
2.7.1.3 Modelos enteros y no enteros	40
2.7.1.4 Modelos determinísticos y estocástico.....	40
2.7.2 Elementos de los modelos matemáticos	40

2.7.3 Terminología de las soluciones del modelo.....	41
2.7.4 Técnicas de IO para resolver modelos.....	41
2.7.4.1 Programación Lineal.....	42
2.7.4.1.1 Forma Estándar del Modelo de programación Lineal.....	42
2.7.4.1.2 Clasificación de la Programación Lineal.....	43
2.8 Redes.....	43
2.8.1 Terminología de redes.....	44
2.8.2 Algoritmos de optimización de redes.....	45
2.8.2.1 Problema De La Ruta Más Corta.....	45
2.8.2.2 Árbol De Mínima Expansión.....	45
2.8.2.3 Problema De Flujo Máximo.....	45
2.9 Problema de Ruteo de Vehículos.....	46
2.9.1 Variantes del problema de ruteo.....	47
2.9.1.1 El Problema del Agente Viajero (TSP).....	47
2.9.1.2 El Problema de los m Agentes Viajeros (m-TSP).....	49
2.9.1.3 El Problema con Capacidades (VRP o CVRP).....	50
2.9.1.4 El Problema con Ventanas de Tiempo (VRPTW).....	50
2.9.1.5 El problema de ruteo de vehículos con recogidas y entregas (VRPPD).....	50
2.10 Lenguajes de modelado.....	54
CAPÍTULO 3.....	56
3. Marco Conceptual.....	56
3.1 Alimentación escolar.....	56
3.2 Programas de Alimentación Escolar (PAE).....	56
3.3 Menú escolar.....	56
3.4 El PAEP (Programa de Alimentación Escolar del Paraguay).....	57
3.5 Agricultura Familiar (AF).....	57
3.6 Seguridad alimentaria.....	58
CAPÍTULO 4.....	59
4. Marco Referencial.....	59
4.1 Desarrollo de los Programas de Alimentación Escolar en Paraguay.....	61
4.1.1 Evolución del PAE en Paraguay.....	61
4.2 Beneficiarios.....	62

4.3 Descripción del Menú Escolar	62
4.4 Proceso de adquisición de alimentos para los PAE	67
4.5 Vehículo considerado en el modelo matemático planteado.....	68
4.5.1 Costos Operativos De Vehículos Automotores (Gs/v-km)	69
CAPÍTULO 5.....	70
5. Marco Legal	70
5.1 Legislación referente a la Alimentación Escolar	70
5.2 Legislación referente a la compra de Agricultura Familiar	74
IV. DISEÑO METODOLÓGICO	77
CAPÍTULO 6.....	77
6.1 Enfoque de la investigación	77
6.2 Alcance de la Investigación	77
6.3 Población.....	77
6.4 Recolección de la información.....	78
6.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	78
6.6 Alcances y limitaciones	78
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
CAPÍTULO 7.....	79
7.1 Diseño del modelo matemático Fase 1	79
7.2 Diseño del modelo matemático Fase 2	82
CAPÍTULO 8.....	85
8.1 Resultados de la resolución del modelo matemático fase 1.....	85
8.2 Resultados de la resolución del modelo matemático fase 2.....	94
8.3 Resultados Generales	95
VI.CONCLUSION.....	96
VII. RECOMENDACIONES	98
VIII.REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	99
IX.APENDICE.....	104
X.ANEXO.....	119

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Etapas de un estudio de Investigación de Operaciones

Figura 2. Representación de una gráfica o red

Figura 3. Una solución formada por 2 sub-tours

Figura 4. Ruteo arrojado por CPLEX para la recolección de productos en la semana 1

Figura 5. Puntos de la Ruta que se deben recorrer para la semana 1 en el mapa georreferenciado

Figura 6. Ruteo arrojado por CPLEX para la recolección de productos en la semana 2

Figura 7. Puntos de la Ruta que se deben recorrer para la semana 2 en el mapa georreferenciado

Figura 8. Ruteo arrojado por CPLEX para la recolección de productos en la semana 3

Figura 9. Puntos de la Ruta que se deben recorrer para la semana 3 en el mapa georreferenciado

Figura 10. Ruteo arrojado por CPLEX para la recolección de productos en la semana 4

Figura 11. Puntos de la Ruta que se deben recorrer para la semana 4 en el mapa georreferenciado

Figura 12. Ruteo arrojado por CPLEX para la distribución de productos a las escuelas

Figura 13. Puntos de la Ruta que se deben recorrer para la distribución de los productos a las escuelas en el mapa georreferenciado

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Productos agrícolas requeridos por los menús y ofrecidos por los productores en el distrito

Tabla 2. Escuelas de la Región 2 (SJM) beneficiadas por el PAEP

Tabla 3. Costos de Recursos Humanos

Tabla 4. Costos de Recursos Materiales

Tabla 5. Características de los modelos

Tabla 6. Modalidades de Alimentación 1995-2015

Tabla 7. Beneficiarios del PAEP (1995-2015)

Tabla 8. Descripción del menú escolar para la semana 1

Tabla 9. Descripción del menú escolar para la semana 2

Tabla 10. Descripción del menú escolar para la semana 3

Tabla 11. Descripción del menú escolar para la semana 4

Tabla 12. Costos Operativos de Vehículos Automotores según DGPT

Tabla 13. Cantidades de compra por producto y compra externa para la semana 1

Tabla 14. Cantidades de compra por producto y compra externa para la semana 2

Tabla 15. Cantidades de comprar por producto y compra externa para la semana 3

Tabla 16. Cantidades de comprar por producto y compra externa para la semana 4

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Foto 1. Visita a productores agrícolas

Foto 2. Visita a productores agrícolas

Foto 3. Plantación de hortalizas de fincas visitadas

Foto 4. Plantación de hortalizas de fincas visitadas

Foto 5. Congelador utilizado para el almacenamiento de alimentos

Foto 6. Sala destinada para almacenamiento de materia prima e insumos

Foto 7. Heladera utilizada para almacenamiento de alimentos

Foto 8. Comedor para almuerzo escolar

LISTA DE ABREVIATURAS

MAG	Ministerio de Agricultura y Ganadería
MEC	Ministerio de Educación y Ciencias
DEAG	Dirección de Extensión Agraria
ALAT	Agencia Local de Asistencia Técnica
PAE	Programa de Alimentación Escolar
PAEP	Programa de Alimentación Escolar del Paraguay
VRP	Vehicle Routing Problem
TSP	Travelling Salesman Problem
VRPPD	Vehicle routing problem with pickups and deliveries
PP	Product Purchase
PL	Programación Lineal
PLEM	Programación Lineal Entera Mixta
PLE	Programación Lineal Entera
EPH	Encuesta Permanente de Hogares
CICCO	Centro de Información Científica del CONACYT
IO	Investigación de Operaciones
FAO	Food and Agriculture Organization
SAN	Seguridad Alimentaria y Nutricional

AF	Agricultura Familiar
AFC	Agricultura Familiar Campesina
JPE	Juntos por la Educación
PMA	Programa Mundial De Alimentos
INAN	Instituto Nacional de Alimentación y Nutrición
LPN	Licitación Pública Nacional
FONACIDE	El Fondo Nacional de Inversión Pública y Desarrollo
MSPyBS	Ministerio de Salud Pública y Bienestar Social
DNCP	Dirección Nacional de Contrataciones Públicas
DGEEC	Dirección General de Estadística, Encuestas y Censos
DAE	Dirección de Alimentación Escolar
DGPT	Dirección General de Planificación de Transporte
OEE	Organismos y Entidades del Estado

I. INTRODUCCIÓN

En el Paraguay, la implementación de Programas de Alimentación Escolar (PAE), iniciada en el año 1995, es más reciente en comparación con los primeros programas de la región desarrollados desde el año 1940; su finalidad es la de contribuir a mejorar la capacidad cognitiva, el rendimiento escolar y la retención en el sistema educativo (Ley N° 5.210, 2014).

A la vez, estos programas conducen a la generación de nuevas modalidades de compras públicas que posibilitan a los productores agrícolas familiares ser proveedores de los productos necesarios, como frutas y hortalizas, para la elaboración de los menús de alimentos (Decreto N° 3.000, 2015).

A través del PAEP se generan los menús escolares que deben ser distribuidos en las instituciones educativas. En este trabajo consideramos las decisiones relacionadas con frutas y hortalizas que son cultivadas en el distrito y son necesarias para la elaboración de los menús. Para la preparación de los menús se deben tomar decisiones importantes como de dónde comprar los insumos, que cantidades adquirir, la forma de moverlos, el momento de moverlos, etc. Es necesario planificar y coordinar estas actividades para no incurrir en costos innecesarios o demandas insatisfechas que podrían evitarse mediante un buen plan de abastecimiento.

En ese contexto se propone el diseño de un modelo de optimización para el abastecimiento de frutas y hortalizas desde fincas agrícolas familiares a escuelas del distrito San Juan Nepomuceno del Departamento de Caazapá. Se dividió el problema en dos fases de resolución: la primera se fundamenta en el problema de enrutamiento de vehículos con recolección y compra de producto (VRPP + PP) que busca encontrar la ruta óptima para la recolección de los productos frutihortícolas de las fincas agrícolas seleccionadas, además de las cantidades de productos a comprar y las ubicaciones de donde serán adquiridos los productos, teniendo en cuenta el costo de los productos y las distancias entre fincas. Dando prioridad a los agricultores cercanos a las escuelas y así fomentar el desarrollo social de la zona, incorporando a los agricultores familiares en la cadena de suministros de los proveedores de alimentos. La segunda fase está basada en el problema de enrutamiento con

entrega (VRPD) que encuentra el recorrido óptimo para la distribución de dichos productos recolectados de las fincas a las escuelas beneficiadas por el Programa de Alimentación Escolar del Paraguay (PAEP)

El antecedente más cercano a este trabajo se refiere al realizado por los Ingenieros Margarita López y Jorge Recalde, quienes iniciaron con esta línea de investigación con el artículo científico presentado en el Rectorado de la UNA en el 2015. Dicho trabajo ha inspirado al presente trabajo de investigación.

La presentación del trabajo se organiza en X secciones y 7 capítulos. En la sección I se presenta la introducción de éste trabajo. Luego en la sección II se encuentra el resumen ejecutivo, y se da inicio al primer capítulo donde se describe el trabajo, se delimita el problema, se definen sus objetivos y su justificación. La sección III incluye la revisión bibliográfica, en la cual se encuentran: el segundo, tercer, cuarto y quinto capítulo. El segundo capítulo contiene el marco teórico relacionado a este trabajo. El tercer capítulo incluye los conceptos básicos de acuerdo al tema abordado. El cuarto capítulo comprende el marco referencial, donde se presenta antecedentes de este trabajo. En el quinto capítulo se describe el marco legal que permite sustentar legalmente el proyecto. La sección IV consta del sexto capítulo, hace referencia al diseño metodológico, donde se describe cómo se va a llevar a cabo el trabajo. En la V sección de resultados y discusión se encuentra el séptimo y octavo capítulo donde se presentan los dos modelos diseñados y los resultados obtenidos. En las secciones VI, VII se encuentran las conclusiones y recomendaciones según los resultados obtenidos. Por último las secciones VIII, IX y X constan de la bibliografía, apéndice y anexo respectivamente.

II. RESUMEN EJECUTIVO

CAPÍTULO 1

1.1 Descripción del trabajo

Se basó el trabajo de investigación en el desarrollo de un plan de abastecimiento que optimice el proceso de compras, recolección y distribución de productos frutihortícolas requeridos por los menús escolares, mediante herramientas de la investigación de operaciones. Planificar con el apoyo de un modelo científico basado en la búsqueda de la optimalidad es mucho más conveniente que la toma de decisiones empíricas, pues permite manipular simultáneamente cantidades grandes de variables que involucran recursos financieros, materiales, parámetros de demanda, proveedores, asignaciones, cobertura y localización.

En este trabajo se analizaron datos de 60 fincas agrícolas que ofertan productos frutihortícolas necesarios para la elaboración de los menús y 14 escuelas (1180 matriculados) beneficiadas por el PAEP hasta la fecha (año 2017) que demandan dichos productos. Las 60 fincas mencionadas corresponden al 44% de las asistidas por el MAG en el distrito que comercializaron en el año 2017.

Una característica importante de los productores de las fincas es que cada uno de ellos no necesariamente posee cada uno de los rubros agrícolas (frutas y hortalizas) que son requeridos, y podrían abastecer tanto a una o más escuelas como a ninguna.

Se planteó el problema por medio de dos modelos secuenciales. El primero es el problema de enrutamiento o ruteo con recolección y compra de productos, con la particularidad de determinar qué cantidades de productos frutihortícolas se comprarán de cada finca, incurriendo en el menor costo. El segundo es una aplicación del problema de ruteo con entrega, para obtener la ruta óptima de recorrido para la distribución de los productos, comprados según el resultado de la fase 1 a las escuelas del distrito.

Para la verificación de resultados de los modelos diseñados se utilizó el plan para un periodo de 73 días de provisión de almuerzo escolar. Este periodo de 73 días corresponde al periodo presupuestado para el año 2017/2018.

La tabla 1 muestra los productos necesarios para la elaboración de los menús y los productos disponibles (cultivados) en las fincas del distrito estudiado.

Tabla 1. Productos agrícolas requeridos por los menús y ofrecidos por los productores del distrito

Frutas y Hortalizas requeridos por los menús		Frutas y Hortalizas ofertadas por los productores del distrito
Ajo	Cebollita	Cebolla
Cebolla	Perejil	Locote
Locote	Poroto	Tomate
Tomate	Arveja	Zanahoria
Repollo	Papa	Lechuga
Zanahoria	Naranja	Poroto
Zapallo	Banana	Arveja
Lechuga		Naranja

Fuente: Elaboración propia.

1.2 Descripción del distrito de San Juan Nepomuceno

San Juan Nepomuceno fue fundado el 20 de noviembre del año 1797 por el Gobernador Español Lázaro de Rivera. El Municipio fue creado por ley de la Nación el 8 de Febrero del año 1904.

Se encuentra localizado en la zona Sureste de la Región Oriental del Paraguay, en el Departamento de Caazapá, es la última reducción Franciscana a pesar de llevar el nombre de un Santo Checo. Está rodeado de los distritos de Aba-í, Tava-í, Gral. H. Morínigo y Buena Vista. Con una extensión de 1.011 K2 y una población total de 24.760 habitantes. Siendo 7.140 habitantes en el área urbana y 17.620 habitantes en el área rural. (Censo 2002)

1.2.1 Economía

San Juan Nepomuceno concentra todas las instituciones bancarias y financieras de la región, siendo su actividad económica principal el comercio, la agricultura, la forestal, la ganadería y pequeñas agroindustrias. La Agricultura se basa en la producción de granos como la soja, el maíz, poroto, maní y otros, además de la caña de azúcar y mandioca. La producción de frutas se ha iniciado hace un par de años (naranja, pomelo y mburukuyá), con más de 500 hás cultivadas.

La actividad forestal mueve en forma continua la economía de región desde la producción de plantines, podas, ventas de rollos, producción de leña y carbón que genera gran parte del empleo local. La ganadería es escasa y cubre apenas el consumo local. (Informe de Gestión periodo 2007-2009. Municipalidad de San Juan Nepomuceno)

1.3 Situación actual de la provisión de almuerzo escolar en el Distrito San Juan Nepomuceno

En el distrito se encuentran 839 fincas agrícolas familiares de las cuales 136 están en condiciones para la venta de productos frutihortícolas al mercado (DEAG). Según datos (2016) proporcionados por la organización no gubernamental Juntos por la Educación (JPLE) el distrito cuenta con un total de 85 escuelas de las cuales sólo 14 cuentan con el beneficio del Programa de Alimentación Escolar. La tabla 2 tiene la lista de las escuelas beneficiadas:

Tabla 2. Escuelas de la Región 2 (Distrito San Juan Nepomuceno) beneficiadas por el PAEP

ÁREA	Nº	SAN JUAN NEPOMUCENO - Región 2
ÁREA EDUCATIVA Nº 7 - SAN CARLOS	1	Esc. Bás. Nº 942 San Carlos - San Carlos
	2	Esc. Bás. Nº 2190 San Mateo – Tebycuarymí
	3	Esc. Bás. Nº 4236 San Isidro - San Isidro
	4	Esc. Bás. Nº 4237 San Marcos - San Marcos Potrero Aguara
	5	Esc. Bás. Nº 5118 San José - San José Cristal
	6	Esc. Bás. Nº 5119 San Antonio - San Antonio Lorito
	7	Esc. Bás. Nº 14527 Sebastiana Ecurra - Asent. Ko'ëjurory
	8	Esc. Bás. Nº 7899 San Marcos San Carlos
ÁREA EDUCATIVA Nº 9 - Bo. FÁTIMA	9	Esc. Bás. Nº 4238 Virgen de Fátima - Bo. Fátima
	10	Esc. Bás. Nº 4235 Sagrado Corazón de María - Corazón de María
	11	Esc. Bás. Nº 5123 Sagrado Corazón de Jesús - Asent. Mandu'arä Tapytä
	12	Esc. Bás. Nº 7180 San Jorge - Asent. Mandu'arä Tapytä
	13	Esc. Bás. Nº 11807 Juan Bosco - Aracangy
	14	Esc. Bás. Nº 7910 Asentamiento Maria Auxiliadora

Fuente: Elaboración propia. Datos extraídos de la Gobernación de Caazapá.

Actualmente, en el distrito seleccionado, la preparación del almuerzo escolar bajo la modalidad de elaborado en la institución educativa, está a cargo de una empresa adjudicada por concurso licitatorio, que es la responsable de contactar con los proveedores y abastecerse de los insumos necesarios. Según la Dirección Nacional de Contrataciones Públicas los insumos necesarios para la preparación del almuerzo escolar, deberán ser adquiridos de los productores de la agricultura familiar registrados en el Ministerio de Agricultura y Ganadería, en un porcentaje mínimo del 3% con relación a los insumos necesarios para la elaboración del almuerzo escolar. (Gobernación de Caazapá. Licitación Pública Nacional N° 02/2017).

La empresa adjudicada en San Juan Nepomuceno aún no cuenta con criterios de asignación que hagan partícipes con prioridad a las fincas que rodean a las escuelas y a pesar de que existen asociaciones de productores agrícolas, no todos están acostumbrados a trabajar en forma asociada con otros agricultores.

1.4 Planteamiento del problema

La provisión de frutas y hortalizas frescas a las escuelas del interior del país, en el marco de la implementación de los Programas de Alimentación Escolar, puede verse interrumpida o afectada si no se dispone de mecanismos eficientes en la gestión de los procesos de abastecimiento de insumos, pudiendo ocasionar insatisfacción de la demanda, asignación no óptima de proveedores, costos logísticos elevados, riesgos de incumplimiento con los objetivos esenciales del PAE, riesgo de alimentación inadecuada de los niños, entre otros.

De acuerdo con informaciones previamente recabadas, no se cuenta con registros referentes a la determinación y localización del conjunto de fincas pertenecientes a pequeños productores agrícolas que pueden proveer al conjunto de escuelas aledañas. Tampoco existen datos de georreferenciamiento de las distancias entre escuelas y fincas, esto hace que no exista un plan que incluya a todas las fincas familiares agrícolas como posibles proveedores, pudiendo llevar a la decisión de realizar compras externas. Además, existe un apoyo limitado

a las fincas locales para que puedan planificar su producción/cosecha, y de esa manera insertarse como proveedores del PAEP.

1.5 Justificación

Uno de los ejes estratégicos del Gobierno Nacional es la reducción de la pobreza y desarrollo social. La Encuesta Permanente de Hogares (EPH) 2015 evidencia que 47,89% de los habitantes del departamento de Caazapá viven en la pobreza, un porcentaje mayor al promedio nacional.

Además, gran parte de la población total de Caazapá habita en zonas rurales y la actividad principal para la generación de ingresos es la agricultura (Gobierno Departamental de Caazapá). Apenas 22 de 100 estudiantes logran culminar la Educación Media en Caazapá, lo que convierte a esta zona del país en el departamento con los peores índices escolares. Buscando reducir estas cifras y aumentar la calidad educativa de los 11 municipios de la región, el Ministerio de Educación y Ciencia (MEC), la Gobernación Departamental y los municipios lanzaron el proyecto Ñamopu'ã Caazapá, que focaliza sus esfuerzos para mejorar la calidad educativa de distritos del Departamento.

Por medio de este trabajo se pretende contribuir al emprendimiento Ñamopu'ã Caazapá mediante un plan de abastecimiento de frutas y hortalizas desde fincas agrícolas a escuelas del distrito de San Juan Nepomuceno del departamento de Caazapá, de manera que garantice la seguridad alimentaria de escolares y reduzca los gastos que incluye la logística de aprovisionamiento de los productos frutihortícolas que son utilizados para la elaboración de los almuerzos en las instituciones educativas, incentivando el desarrollo social por medio de la compra de dichos insumos de las fincas agrícolas familiares de la zona.

1.6 Finalidad del trabajo de investigación

Un análisis como el propuesto, podrá ofrecer los resultados y las herramientas adecuadas que apoyen la toma de decisiones y que de concretarse permitiría dar un mayor alcance del PAEP ya que podría ser replicable en otros distritos o departamentos del país, con la flexibilidad de incorporar nuevas restricciones que pudiesen aparecer.

En la primera fase abordamos las decisiones de compras y la ruta óptima de recorrido para la recolección de los productos frutihortícolas. Con el modelo determinamos las cantidades no satisfechas de manera local y las que se deben comprar externamente. En la segunda fase del análisis calculamos la ruta a seguir para la distribución semanal de los productos a las escuelas del distrito, minimizando el costo total de recorrido.

1.7 Objetivos

1.7.1 Objetivo general

Elaborar un plan de abastecimiento de frutas y hortalizas desde fincas agrícolas familiares a escuelas localizadas en el Distrito de San Juan Nepomuceno del Departamento de Caazapá, satisfaciendo la demanda de manera óptima y dando prioridad a la utilización de la producción local.

1.7.2 Objetivos específicos

- Determinar las ubicaciones georreferenciadas de las fincas agrícolas familiares y escuelas en el distrito de San Juan Nepomuceno.
- Elaborar una base de datos con parámetros técnicos relacionados a la oferta y demanda locales de frutas y hortalizas, para la elaboración del almuerzo escolar.
- Diseñar un modelo matemático, que permita planificar la provisión de frutas y hortalizas desde fincas agrícolas a escuelas locales de manera óptima.
- Programar el modelo matemático en un lenguaje de optimización para su resolución

computacional.

- Calcular y Analizar el plan de abastecimiento con los resultados generados por el optimizador

1.8 Beneficiarios

- Los beneficiarios directos de la implementación de este trabajo serían los estudiantes de las escuelas beneficiadas por el PAEP y los agricultores de las fincas familiares asistidos por el MAG.
- Los beneficiarios indirectos serían las familias de los estudiantes que asisten a las escuelas como la de los agricultores. También, se espera que sean beneficiados el Gobierno por la utilización adecuada de los recursos destinados al PAEP y la población del distrito debido a que se fomenta el desarrollo económico de la zona.

1.9 Cobertura espacial

La cobertura espacial comprende a las 14 escuelas beneficiadas por el PAEP y el 44% de las fincas agrícolas familiares asistidas por el MAG, situadas en el distrito San Juan Nepomuceno del departamento de Caazapá.

Los datos recolectados necesarios para validar el modelo matemático corresponden al año 2017, extraídos de entidades gubernamentales (MAG, Gobernación de Caazapá, MEC, JPLE, etc) y de la zona en estudio.

1.10 Especificación de actividades y tareas realizadas.

- Búsqueda de información acerca del PAEP a nivel nacional y regional.
- Búsqueda de antecedentes legales referente a PAEP y todo lo relacionado a la agricultura familiar en Paraguay.
- Revisión bibliográfica referente a Investigación de Operaciones, modelos matemáticos.
- Visita a la gobernación de Caazapá para recolección de datos relacionados a las escuelas que se encuentran dentro del PAE.

- Visita a la Agencia Local de Asistencia Técnica (ALAT) para recolección de datos referentes a las fincas agrícolas.
- Visita a la Dirección de Extensión Agraria con el Jefe de Departamento de Informática Sr. Darío Gómez, quien facilitó los datos requeridos de las fincas agrícolas del distrito de San Juan Nepomuceno.
- Procesamiento de los datos recolectados.
- Diseño de los modelos matemáticos teniendo en cuenta las características y restricciones observadas en el medio estudiado.
- Programación y resolución del modelo matemático con la herramienta IBM ILOG CPLEX Optimization Studio.
- Interpretación de los resultados arrojados por el modelo matemático
- Conclusiones y Recomendaciones de acuerdo a los resultados

1.11 Métodos y procedimientos utilizados

El alcance de la investigación es descriptivo, pues se especifican las características del proceso de provisión de productos agrícolas para la elaboración del almuerzo escolar.

Los métodos para la recolección de datos fueron visitas y entrevistas programadas a los responsables de las instituciones vinculadas a las escuelas y fincas agrícolas del distrito en estudio. Dichas entrevistas se realizaron a técnicos de campo de la ALAT, al responsable de compras contratado por la empresa ganadora de la licitación para la provisión de almuerzo escolar, a los agricultores de la zona, profesores de escuelas y la gobernación de Caazapá.

Sé recolectó la información de fuentes primarias y secundarias acerca del PAEP, de las fincas agrícolas y escuelas del distrito de San Juan Nepomuceno. Los datos de fuentes primarias son del año 2017 e incluyen datos de fincas agrícolas proporcionados por el MAG y datos de escuelas beneficiadas por el PAEP proporcionados por la gobernación de Caazapá

Las informaciones de fuentes secundarias fueron extraídas de libros, resúmenes, artículos y trabajos de investigación que tuvieron relación con el trabajo. La hoja de cálculo de Microsoft Excel® 2010 se utilizó para organizar y estructurar los parámetros necesarios para

el modelo así como los resultados obtenidos mediante la ejecución del software IBM® ILOG CPLEX Optimization Studio Versión 12.6, con licencia académica.

Las Fases del procedimiento utilizados son: definición y descripción del problema, recolección de datos, formulación del modelo matemático, obtención de la solución a partir del modelo y análisis de los resultados obtenidos.

1.12 Recursos necesarios

1.12.1 Recursos Humanos

Para llevar a cabo el trabajo de investigación propuesto se precisó de la participación de dos estudiantes de la carrera Ingeniería en Sistemas de Producción, quienes llevaron adelante el desarrollo, tratamiento y posterior análisis de los resultados. La tutoría técnica y metodológica estuvo a cargo de profesores de la Facultad Politécnica de la Universidad Nacional de Asunción (FP-UNA)

Tabla 3. Costos de Recursos Humanos

Recursos Humanos				
Descripción	Costo Mensual	Cantidad	Costo Total mensual	Costo Total x 10 meses
Movilidad y Viáticos para estudiantes de último grado de Ingeniería en Sistemas de Producción	500.000	2	1.000.000	10.000.000
Honorarios del Orientador Técnico	100.000	1	100.000	1.000.000
Honorarios del Orientador Metodológico	100.000	1	100.000	1.000.000
Pasaje y viáticos para viaje al departamento de Caazapá para recolección de datos				200.000
Costo Parcial				12.200.000
Imprevistos		10%	122.000	1.220.000
Total Mensual			1.342.000	
Total 10 Meses				13.420.000

Fuente: Elaboración Propia

1.12.2 Recursos Materiales

Para la revisión bibliográfica y el procesamiento de los datos fueron necesarios los siguientes recursos:

- Libros electrónicos
- Libros físicos
- Planilla electrónica EXCEL.
- Software IBM® ILOG CPLEX Optimization Studio Versión 12.6, con licencia académica.
- Bases de datos del MAG y del MEC
- Bases de datos on-line de trabajos finales de grado y artículos científicos (CICCO)
- Documentos on-line.
- Computadoras, calculadora, internet, hojas, bolígrafos.

Tabla 4. Costos de Recursos Materiales

Recursos Materiales			
Descripción	Costo Mensual	Cantidad	Costo Total
Internet	100.000	10	1.000.000
Impresiones	2.000	100	200.000
Suministros de Oficina	50.000	1	50.000
Fotocopias	50.000	1	50.000
Resmas de papel	30.000	3	90.000
Equipos informáticos	2.000.000	2	4.000.000
Encuadernado anillado	20.000	4	80.000
Encuadernado tapa dura	80.000	3	240.000
Costo parcial			5.710.000
Imprevistos		10%	571.000
TOTAL			6.281.000

Fuente: Elaboración Propia

1.13 Factores externos condicionantes para el logro de los efectos e impacto del trabajo

- Recursos económicos para traslado al lugar en estudio.
- Falta de Consolidación de datos por parte de las instituciones gubernamentales involucradas
- El tiempo de respuesta para la entrega de datos por parte del MAG.
- Equipos informáticos con capacidad limitada para la resolución del modelo.
- Falta de ciertos registros informatizados necesarios para validar el modelo
- La asunción de algunos supuestos para el modelamiento del problema como las ofertas semanales, la cantidad de camiones utilizados, entre otros, lo cual afecta directamente en el costo total de abastecimiento.

III. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

CAPITULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1 Logística

La logística es todo movimiento y almacenamiento que facilite el flujo de productos desde el punto de compra de los materiales hasta el punto de consumo, así como los flujos de información que se ponen en marcha, con el fin de dar al consumidor el nivel de servicio adecuado a un costo razonable. Ballou (2004)

2.1.1 El sistema logístico

El Consejo de Dirección Logística citado por Ronald Ballou (2004) define a la logística como “Parte del proceso de la cadena de suministros que planea, lleva a cabo y controla el flujo y almacenamiento eficientes y efectivos de bienes y servicios, así como de la información relacionada, desde el punto de origen hasta el punto de consumo, con el fin de satisfacer los requerimientos de los clientes”.

La logística es un proceso relacionado con la administración eficiente del flujo de bienes y servicios y que su operatoria afecta el desenvolvimiento de muchas áreas de la organización. Por dicha razón, podemos hablar de un Sistema Logístico que, mediante la sincronización de sus funciones componentes, permite lograr un flujo ágil para responder velozmente a una demanda cambiante y cada vez más exigente.

Como todo sistema, su análisis y la comprensión del mismo pueden obtenerse a partir del estudio de sus partes componentes. De esta forma, podemos abordar el sistema logístico considerando los siguientes subsistemas:

2.1.1.1 Logística de Abastecimiento: Agrupa las funciones de compras, recepción, almacenamiento y administración de inventarios, e incluye actividades relacionadas con la búsqueda, selección, registro y seguimiento de los proveedores.

2.1.1.2 Logística de Planta: Abarca las actividades de mantenimiento y los servicios de planta (suministros de agua, luz, combustibles, etc.), como así también la seguridad industrial y el cuidado del medio ambiente.

2.1.1.3 Logística de Distribución: Comprende las actividades de expedición y distribución de los productos terminados a los distintos mercados, constituyendo un nexo entre las funciones de producción y de comercialización.

2.2 Costos Logísticos

Es la suma de los costos ocultos involucrados cuando se mueven y almacenan materiales y productos desde los proveedores hasta los clientes.

En estos se incluyen:

- Costos del aprovisionamiento (compras)
- Costos de almacenamientos
- Costos de inventarios
- Costos del transporte interno
- Costos de la distribución de productos terminados
- Costos del personal involucrado en estas tareas, etc.

Estos costos ocultos que se generan durante el proceso logístico (proceso de mover y almacenar materiales y productos desde los proveedores hasta los clientes), están relacionados con la eficiencia y eficacia de dicho proceso (y su medida la productividad), la calidad, etc. (Portal 2012)

2.3 Planeación

La planeación consiste en definir las metas de la organización, establecer una estrategia general para alcanzarlas y trazar planes exhaustivos para integrar y coordinar el trabajo de la organización. Se ocupa tanto de los fines (qué hay que hacer) como de los medios (cómo hay que hacerlo) (Robbins y Coulter, 2005).

2.3.1 Niveles de planeación

La planeación logística trata de responder las preguntas qué, cuándo y cómo, y tiene lugar en tres niveles: estratégica, táctica y operativa. La principal diferencia entre ellas es el horizonte de tiempo para la planeación. (Ballou, 2004)

2.3.1.1 La planeación estratégica

Se considera de largo alcance, donde el horizonte de tiempo es mayor de un año. Debido a su largo horizonte de tiempo, trabaja con información que por lo general está incompleta o es imprecisa. Los datos pueden ser promedios, y los planes con frecuencia se consideran como suficientemente adecuados si se encuentran bastante cercanos a lo óptimo. Por ejemplo, podemos planear estratégicamente que todos los inventarios de la compañía no excedan cierto límite en dólares o que se logre determinado índice de rotación de inventarios. La cuestión es cómo mover el producto de manera efectiva y eficiente a través del canal de logística estratégicamente planeado. Ej: Número, tamaño y ubicación de almacenes, plantas y terminales, ubicación de inventarios y políticas de control de selección del modo, etc.

2.3.1.2 La planeación táctica

Implica un horizonte de tiempo intermedio, por lo general menor de un año, requiere un conocimiento íntimo del problema en particular. Ej: Contratación, selección de vendedor, compras adelantadas, etc.

2.3.1.3 La planeación operativa

Es una toma de decisiones de corto alcance, con decisiones que con frecuencia se toman sobre la base de cada hora o a diario. La planeación operativa trabaja con información muy precisa, y los métodos de planeación deberán ser capaces de manejar una gran cantidad de esta información y aún así obtener planes razonables.

Por otro lado, un plan operativo para inventarios requiere que cada artículo se maneje en forma individual. Ej.: Cantidades y tiempos de reabastecimiento, asignación de ruta, despacho, etc.

2.4 La Investigación de Operaciones

“La investigación de operaciones, con frecuencia llamada ciencia de la administración, es un enfoque científico en la toma de decisiones que busca el mejor diseño y operar un sistema, por lo regular en condiciones que requieren la asignación de recursos escasos” (Winston, 2004).

Hillier y Lieberman (2010, p.2), afirman que “la investigación de operaciones se aplica a la problemática relacionada con la conducción y la coordinación de actividades en una organización; siendo el objetivo de esta disciplina, como su nombre lo indica, la investigación sobre las operaciones”.

La IO puede aplicarse a diversas áreas como manufactura, transporte, construcción, telecomunicaciones, planeación financiera, cuidado de la salud, fuerzas armadas, servicios públicos entre otras áreas. (Hillier y Lieberman, 2010).

Algunas de las características de esta disciplina son:

- Utiliza un enfoque similar al empleado en áreas científicas a través del método científico.
- Adopta una visión organizacional, siendo los objetivos que se desean conseguir congruentes con los objetivos globales.
- Intenta encontrar una solución óptima para el problema analizado, tratando de identificar el mejor curso de acción posible.
- Para realizar un estudio de IO debe emplearse un enfoque de equipo, con experiencias y aptitudes necesarias a fin de considerar todas las implicancias del problema analizado.

A continuación se describen las etapas más importantes a seguir durante un estudio de Investigación de Operaciones, según las apreciaciones de Hillier y Lieberman (2010):

2.4.1 Definición del problema y recolección de datos

Este proceso es crucial debido a que es necesario un estudio correcto del sistema relevante y la definición del problema a ser analizado a fin de no enfocar una solución de manera equivocada. Esta etapa incluye entre otras actividades:

- Determinación de los objetivos apropiados
- Determinación de las restricciones de las actividades y el sistema
- Identificación de las interrelaciones entre el área de estudio y otras áreas de la organización.
- Análisis de cursos de acción posibles.
- Fijación de límites de tiempo para tomar una decisión.

Es necesaria una comprensión exacta del problema, para lo cual se realiza la recolección de datos relevantes que serán los insumos para el modelo matemático, a ser formulado en la siguiente etapa.

2.4.2 Formulación de un modelo matemático

Implica un intento de transformar la definición del problema en relaciones matemáticas, es decir, reformular el problema de la manera más conveniente para su análisis.

El principal objetivo de la formulación es obtener una representación válida del problema, pero se requieren aproximaciones y supuestos de simplificación para obtener un modelo que se pueda resolver.

2.4.3 Obtención de soluciones a partir del modelo

Es por mucho la más sencilla de todas las fases de IO porque implica el uso de algoritmos de optimización bien definidos, es decir procesos iterativos de solución.

Las soluciones pueden ser óptimas, o subóptimas. Las primeras se refieren a la mejor solución. Se han desarrollado procedimientos que permiten encontrar la solución óptima respecto del modelo elaborado, siendo importante además reconocer la necesidad de obtener a través del procedimiento aplicado una guía satisfactoria para sus acciones en un periodo razonable.

El segundo tipo de soluciones son obtenidas a través de los procedimientos heurísticos. Estos son procedimientos de diseño intuitivo que no garantizan una solución óptima, sino sirven para encontrar una buena solución subóptima.

Un aspecto importante de la fase de solución del modelo es el análisis de sensibilidad. Tiene que ver con la obtención de información adicional sobre el comportamiento de la solución óptima cuando el modelo sufre ciertos cambios de parámetros. Se necesita en especial el análisis de sensibilidad cuando no se pueden estimar con exactitud los parámetros del modelo.

2.4.4 Validación o prueba del modelo

En esta etapa se comprueba si el modelo propuesto predice adecuadamente el comportamiento del sistema que se estudia.

Es un proceso de prueba y mejoramiento para incrementar la validez del modelo, y depende del problema analizado y de la complejidad del mismo. Algunas recomendaciones

para su realización son la verificación de los errores u omisiones obvias del modelo en forma global y la verificación de la congruencia de las dimensiones de las unidades empleadas.

Además es posible aplicar las pruebas retrospectivas, que consiste en utilizar datos históricos y reconstruir el pasado para verificar el desempeño del modelo. Esto permite determinar la eficacia y si se generan mejoras significativas usando el modelo respecto a la práctica actual.

Si el modelo propuesto representa un sistema nuevo, no existente, no habrá datos históricos para las comparaciones. En esos casos se podrá recurrir a una simulación, como herramienta independiente para verificar los resultados del modelo matemático. (Taha, 2012)

2.4.5 Preparación e implementación del modelo

En caso de la utilización continua y más de una vez del modelo, es recomendable contar con un sistema bien documentado para aplicarlo, que puede incluir una base de datos y sistemas de información para ingresar los parámetros a través de una interfaz, además de un sistema interactivo de apoyo para las decisiones y por último un generador de informes gerenciales para la interpretación de la salida del modelo y sus implicaciones prácticas.

Luego de la preparación, la última etapa crítica es la implementación, cuyo éxito depende del apoyo de la administración y gerencia operativa. Implica la transformación de los resultados en instrucciones de operación comprensibles que se emitirán a las personas que administrarán el sistema recomendado.

Los pasos que incluye la implementación son: Explicación del nuevo sistema a adoptar y su relación con la realidad operativa, desarrollo de procedimientos requeridos para la operación del sistema, capacitación al personal, y la supervisión de la experiencia inicial para identificar futuras modificaciones.

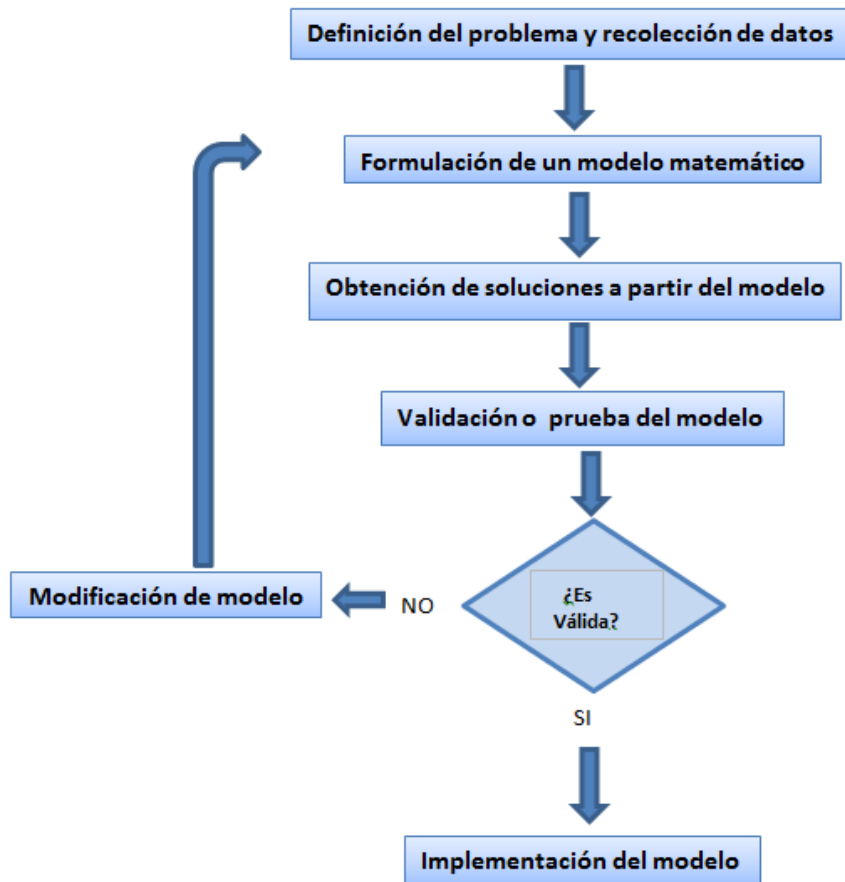


Figura 1. Etapas de un estudio de Investigación de Operaciones.
Elaboración propia con datos del libro Hillier y Lieberman 2010.

2.5 Optimización

Se puede definir como optimización al proceso de seleccionar, a partir de un conjunto de alternativas posibles, aquella que mejor satisfaga el o los objetivos propuestos. Para resolver un problema de optimización se requieren dos etapas principales: La formulación del modelo y la resolución y validación del modelo.

La formulación del modelo de optimización no es un procedimiento formal estructurado, sino más bien es un proceso que requiere de experiencia y creatividad. Una vez generado el modelo, la etapa siguiente es resolver y validar dicho modelo. Esta etapa puede considerarse suficientemente formalizada puesto que los modelos de problemas de optimización han sido muy estudiados y se han desarrollado innumerables métodos y estrategias para resolverlos (Scenna, 1999).

2.6 Modelos

G.D Epen et al. (2000) “Un modelo es una abstracción cuidadosamente seleccionada de la realidad”

El objetivo de un modelo consiste en reproducir la realidad de la forma más fiel posible, tratando de entender cómo se comporta el mundo real y obteniendo las respuestas que pueden esperarse de determinadas acciones. (Castillo, et al., 2002)

2.6.1. Tipos de modelos

Tabla 5. Características de los modelos.

Tipo de modelo	Características	Ejemplos
Modelo físico	Tangible Comprensión: fácil Duplicación y posibilidad de compartirlo: difícil Modificación y manipulación: difícil Alcance de utilización: la más baja	Modelo de un aeroplano, modelo de una casa, modelo de una ciudad
Modelo análogo	Intangible Comprensión: más difícil Duplicación y posibilidad de compartirlo: más fácil Modificación y manipulación: más fácil Alcance de su utilización: más amplio	Mapa de carreteras, velocímetro, gráfica de rebanadas de pastel
Modelo simbólico	Intangible Comprensión: la más difícil Duplicación y posibilidad de compartirlo: las más fáciles Modificación y manipulación: las más fáciles Alcance de su utilización: el más amplio	Modelo de simulación, modelo algebraico, modelo de hoja de cálculo electrónica

Fuente: G.D Epen et al (2000)

2.7 Modelos matemáticos

Los modelos matemáticos son representaciones idealizadas expresadas en términos de símbolos, sistemas de ecuaciones y expresiones matemáticas que describen la esencia del problema.

Las ventajas de utilizar modelos matemáticos son la descripción más concisa de la estructura del problema, revelando relaciones causa-efecto, además indican los datos adicionales a recabar, facilita el manejo del problema y sus interrelaciones, y su empleo permite la utilización de recursos computacionales para el análisis.

Un modelo matemático de optimización dicta el comportamiento para una organización que le permitirá a ésta alcanzar mejor sus metas. A través de un modelo de optimización se trata de encontrar valores, entre el conjunto de los valores posibles para las variables de decisión que optimicen, es decir maximicen o minimicen una función objetivo, y que satisfagan a la vez todas las restricciones dadas (Winston, 2004).

2.7.1 Clasificación de los modelos matemáticos de optimización

Los modelos matemáticos de optimización se dividen, según Winston (2004) de la siguiente manera:

2.7.1.1 Modelos estáticos y dinámicos

Un modelo estático es uno en el cual las variables de decisión no requieren sucesiones de decisiones para periodos múltiples.

Un modelo dinámico es uno en el cual las variables de decisión sí requieren sucesiones de decisiones para periodos múltiples.

En esencia, en el modelo estático se resuelve un problema luego de un solo intento, cuyas soluciones dictan valores óptimos de las variables de decisiones en todos los puntos del tiempo.

2.7.1.2 Modelos lineales y no lineales

Si las variables de decisión que aparecen en la función objetivo y en las restricciones de un modelo de optimización, están multiplicadas por constantes y acomodadas en forma de suma, el modelo es un modelo lineal. Si un modelo de optimización no es lineal, entonces es un modelo no lineal.

2.7.1.3 Modelos enteros y no enteros

Si una o más variables de decisión deben ser enteros, entonces se dice que un modelo de optimización es un modelo entero. Si todas las variables de decisión son libres para asumir valores fraccionarios, entonces el modelo de optimización es un modelo no entero.

2.7.1.4 Modelos determinísticos y estocásticos

Si para cualquier valor de las variables de decisiones, se conoce con certeza el valor de la función objetivo y si las restricciones se cumplen o no, se tiene un modelo determinístico; de no ser así, se tiene un modelo estocástico.

2.7.2 Elementos de los modelos matemáticos

Los modelos matemáticos están compuestos por cuatro elementos principales definidos por Hillier y Lieberman (2009), de la siguiente manera:

1. **Las variables** son las incógnitas para las que deben determinarse los valores respectivos con la resolución del modelo.
2. **Los parámetros** son los datos conocidos del modelo, conocidos como constantes de las restricciones y la función objetivo.
3. **Las restricciones** son las limitaciones expresadas en forma matemática, que se deben tomar en cuenta, como las limitaciones materiales, tecnológicas, económicas y otras

del sistema que van a restringir a las variables de decisión en un rango de valores que resulte factible.

4. **La función objetivo** es una función matemática que expresa la medida de desempeño adecuada para las variables de decisión, y dan como resultado un mejoramiento del sistema.

2.7.3 Terminología de las soluciones del modelo matemático

Cualquier conjunto de valores específicos de las variables de decisión (x_1, x_2, \dots, x_n) se llama una solución, aunque sea sólo una posibilidad deseable o ni siquiera permitida. Después se identifican los tipos de soluciones mediante el empleo de un adjetivo apropiado. (Hillier y Lieberman 2010 y Taha 2012)

Una solución factible: es aquella para la que todas las restricciones se satisfacen.

Una solución no factible: es una solución para la que al menos una restricción se viola.

Una solución óptima: es una solución factible que proporciona el valor más favorable de la función objetivo.

2.7.4 Técnicas de IO para resolver modelos matemáticos

La técnica más importante de investigación de operaciones es la **programación lineal**. Se diseña para modelos con funciones objetivo y restricciones estrictamente lineales. Hay otras técnicas, como la **programación entera**, en la que las variables toman valores enteros; la **programación dinámica**, en la que el modelo original se puede descomponer en subproblemas más pequeños; **la programación de red**, en la que el problema se puede modelar como una red, y **la programación no lineal**, en la que las funciones del modelo son no lineales. Las técnicas mencionadas no son más que una lista parcial de la gran cantidad de herramientas disponibles en la investigación de operaciones. (Taha, 2012).

2.7.4.1 Programación Lineal

La programación lineal se aplica a modelos de optimización en los que las funciones objetivo y restricciones son estrictamente lineales. (Taha, 2012). La palabra programación no se refiere a términos computacionales, sino más bien es sinónimo de *planeación*. Por lo tanto, la programación lineal involucra la planeación de actividades para obtener el mejor resultado, entre todas las alternativas factibles.

Ciertos símbolos que se usan de manera convencional para denotar los diversos componentes son:

Z = valor de la medida global de efectividad

x_j = Nivel de la actividad j (para $j=1,2,\dots,n$)

c_j = Incremento en Z que se obtiene al aumentar una unidad en el nivel de la actividad j

b_i = cantidad de recurso i disponible para asignar a las actividades (para $i=1,2,\dots,m$)

a_{ij} = cantidad del recurso i consumido por cada unidad de la actividad j .

2.7.4.1.1 Forma Estándar del Modelo de programación Lineal

Maximizar

$$Z = \sum_{j=1}^n c_j * x_j \quad (1)$$

Sujeta a las restricciones:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} * x_j \leq b_i \quad (2)$$

Cualquier situación cuya formulación matemática se ajuste a este modelo es un problema de programación lineal. (Hillier Lieberman, 2010)

2.7.4.1.2 Clasificación de la Programación Lineal

1. Programación Lineal Entera

El modelo matemático para programación entera es sencillamente el modelo de programación lineal con la restricción adicional de que las variables deben tener valores enteros.

2. Programación entera mixta

Es el modelo que solo requiere que algunas de las variables tengan valores enteros y el supuesto de divisibilidad se cumple para el resto de las variables; es decir que puedan tomar valores no enteros.

3. Programación entera binaria

En estos problemas la variable involucra sólo dos posibilidades, este tipo de decisiones se puede representar mediante variables de decisión restringidas a sólo dos valores, por ejemplo, 0 y 1. (Lieberman 2010, Taha 2012)

2.8 Redes

Una red consiste en un conjunto de puntos y un conjunto de líneas que unen ciertos pares de puntos. Los puntos se llaman nodos (o vértices), las líneas se llaman arcos (o ligaduras, aristas o ramas). (Hillier y Lieberman, 2010)

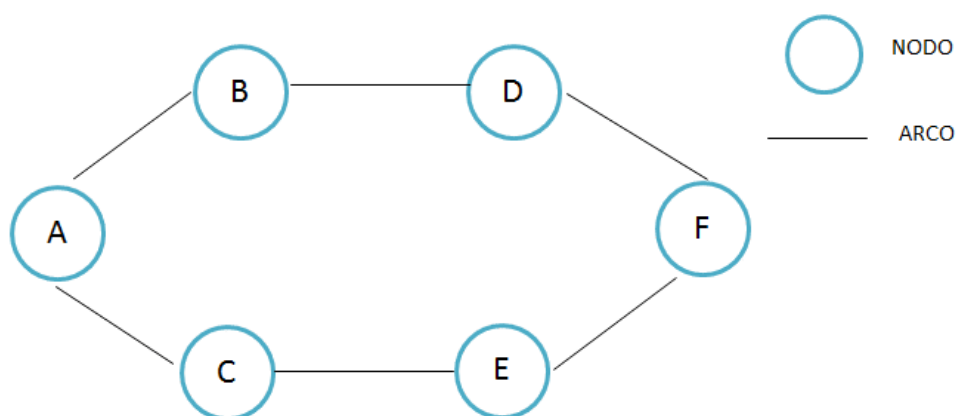


Figura 2. Representación de una gráfica o red

2.8.1 Terminología de redes

Los arcos de una red pueden tener un flujo de algún tipo que pase por ellos; Si el flujo a través de un arco se permite sólo en una dirección se dice que el arco es un arco dirigido.

Si el flujo a través de un arco se permite en ambas direcciones se dice que el arco es un arco no dirigido. Una red que tiene sólo arcos dirigidos se llama red dirigida. De igual manera, si todos sus arcos son no dirigidos, se dice que se trata de una red no dirigida. Una red con una mezcla de arcos dirigidos y no dirigidos —o incluso una con todos sus arcos no dirigidos— se puede convertir en una red dirigida, si se desea, mediante la sustitución de cada arco no dirigido por un par de arcos dirigidos en direcciones opuestas.

Una trayectoria entre dos nodos es una sucesión de arcos distintos que conectan estos nodos. Una trayectoria dirigida del nodo i al nodo j es una sucesión de arcos cuya dirección (si la tienen) es hacia el nodo j , de manera que el flujo del nodo i al nodo j a través de esta trayectoria es factible. Una trayectoria no dirigida del nodo i al nodo j es una sucesión de arcos cuya dirección (si la tiene) puede ser hacia o desde el nodo j . Con frecuencia, una trayectoria no dirigida tendrá algunos arcos dirigidos hacia el nodo j y otros desde él, es decir, hacia el nodo i .

Un ciclo es una trayectoria que comienza y termina en el mismo nodo. En una red dirigida, un ciclo puede ser dirigido o no dirigido, según la trayectoria en cuestión sea dirigida o no dirigida. Se dice que dos nodos están conectados si la red contiene al menos una trayectoria no dirigida entre ellos.

Una red conexa es una red en la que cada par de nodos está conectado. Entre los nodos se pueden distinguir aquellos que son generadores netos de flujo, absorbedores netos de flujo o ninguno de los dos. Un nodo fuente —o nodo origen— tiene la propiedad de que el flujo que sale del nodo supera al que entra a él. El caso inverso es un nodo demanda (o nodo destino), donde el flujo que llega excede al que sale de él. Un nodo de trasbordo (o intermedio) satisface la conservación del flujo, es decir, el flujo que entra es igual al que sale. (Hillier y Lieberman, 2010)

2.8.2 Algoritmos de optimización de redes.

2.8.2.1 Problema De La Ruta Más Corta

Si se considera una red conexa y no dirigida con dos nodos especiales llamados origen y destino a cada ligadura (arco no dirigido) se asocia una distancia no negativa. El objetivo es encontrar la ruta más corta —la trayectoria con la mínima distancia total— del origen al destino. Se dispone de un algoritmo relativamente sencillo para manejar este problema. La esencia del procedimiento es que analiza toda la red a partir del origen; identificar de manera sucesiva la ruta más corta a cada uno de los nodos en orden ascendente de sus distancias (más cortas), desde el origen; el problema queda resuelto en el momento de llegar al nodo destino. (Lieberman y Hillier, 2010)

2.8.2.2 Árbol De Mínima Expansión

El problema del árbol de expansión mínima tiene algunas similitudes con la versión principal del problema de la ruta más corta. En ambos casos se considera una red no dirigida y conexa, en la que la información dada incluye alguna medida de longitud positiva —distancia, costo, tiempo, etc, asociada con cada ligadura. Los dos problemas involucran también el hecho de seleccionar un conjunto de ligaduras con la longitud total más corta entre todos los conjuntos de ligaduras que satisfacen cierta propiedad. En el caso del problema de

la ruta más corta, esta propiedad es que la ligadura seleccionada debe proporcionar una trayectoria entre el origen y el destino. Para el árbol de expansión mínima la propiedad que se requiere es que las ligaduras seleccionadas deben proporcionar una trayectoria entre cada par de nodos. (Hillier y Lieberman, 2010)

2.8.2.3 Problema De Flujo Máximo

Todo flujo a través de una red conexa dirigida se origina en un nodo, llamado origen, y termina en otro nodo llamado destino. Los nodos restantes son nodos de trasbordo. Se permite el flujo a través de un arco sólo en la dirección indicada por la flecha, donde la cantidad máxima de flujo está dada por la capacidad del arco. En el origen, todos los arcos señalan hacia afuera. En el destino, todos señalan hacia el nodo. El objetivo es maximizar la cantidad total de flujo del origen al destino. Esta cantidad se mide en cualquiera de las dos maneras equivalentes, esto es, la cantidad que sale del origen o la cantidad que entra al destino. (Lieberman y Hillier, 2010)

2.9 Problema de Ruteo de Vehículos

Los problemas de rutas de vehículos (Vehicle Routing Problem - VRP) en realidad son un amplio conjunto de variantes y personalizaciones de problemas, desde los que son más sencillos hasta algunos que hoy en día siguen siendo materia de investigación. En ellos en general, se trata de averiguar las rutas de una flota de transporte para dar servicio a unos clientes. Este tipo de problemas pertenece a los problemas de optimización combinatoria.

La función objetivo depende de la tipología y características del problema. Lo más habitual es intentar: minimizar el coste total de operación, minimizar el tiempo total de transporte, minimizar la distancia total recorrida, minimizar el tiempo de espera, maximizar el beneficio, maximizar el servicio al cliente, minimizar la utilización de vehículos, equilibrar la utilización de los recursos, etc. (Dantzig y Ramser, 1959)

El problema de ruteo de vehículos (Vehicle Routing Problem, VRP) consiste en determinar el conjunto de rutas óptimas a ser realizadas por una flota de vehículos, para atender a un conjunto de clientes. (González, 2014)

2.9.1 Variantes del problema de ruteo

Los componentes fundamentales del VRP, son: la red de carreteras, los clientes, los depósitos, los vehículos y los conductores. Para hacer diferentes versiones de este problema se pueden interrelacionar diferentes restricciones y situaciones con objetivos particulares.

La red de transporte por la que circulan los vehículos se modela mediante un grafo ponderado $G = (V, E)$, donde V es el conjunto de nodos del grafo, representan a los clientes y depósitos. E es el conjunto de arcos (i, j) que representa el mejor camino para ir desde el nodo i hacia el nodo j en la red de transporte y tiene asociado un costo c_{ij} y un tiempo de viaje t_{ij} . La variable binaria y_{ij} indica si el arco (i, j) es utilizado. Puede suponerse que G es completo, pues entre todo par de lugares de una red de transporte razonable, debería existir algún camino. Sin embargo, por una cuestión de flexibilidad, los modelos serán planteados sin realizar dicha hipótesis.

En algunos casos (en que se explicitara) se agrega una copia del depósito etiquetada con $n+1$ para simplificar la formulación.

Según Olivera, 2004 las versiones más comunes del VRP son:

2.9.1.1 El Problema del Agente Viajero

En el Problema del Agente Viajero o Travelling Salesman Problem (TSP) se dispone de un solo vehículo que debe visitar a todos los clientes en una sola ruta y a costo mínimo. No suele haber un depósito (y si lo hubiera no se distingue de los clientes), no hay demanda asociada a los clientes y tampoco hay restricciones temporales. El problema puede formularse como:

Minimizar

$$Z = \sum_{(i,j) \in E} c_{ij} y_{ij} \quad (1)$$

Sujeto a:

$$\sum_{j \in \Delta^+(i)} y_{ij} = 1 \quad \forall i \in V \quad (2)$$

$$\sum_{i \in \Delta^-(j)} y_{ij} = 1 \quad \forall i \in V \quad (3)$$

$$\sum_{i \in S, j \in \Delta^+(i) \setminus S} y_{ij} \geq 1 \quad \forall S \subset V \quad (4)$$

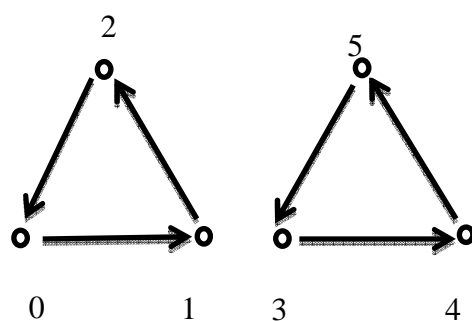
$$y_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall (i,j) \in E$$

Esta formulación fue propuesta por Dantzig, Fulkerson y Johnson. Las variables binarias y_{ij} indican si el arco (i, j) es utilizado en la solución. La función objetivo (1) establece que el costo total de la solución es la suma de los costos de los arcos utilizados. Las restricciones (2) y (3) indican que la ruta debe llegar y abandonar cada nodo exactamente una vez. Finalmente,

las restricciones (4) son llamadas restricciones de eliminación de subtours e indican que todo subconjunto de nodos $S \subset V$ debe ser abandonado al menos una vez.

Si no se impusieran estas restricciones la solución podría constar de más de un ciclo, como se muestra en la Figura de abajo. Esta solución viola la restricción (4) para $S = \{0, 1, 2\}$. Existen diferentes tipos de restricciones de eliminación de sub-tours.

Figura 2: Una solución formada por 2 sub-tours.



Asumiendo que la cantidad de arcos dada por $|E| = O(n^2)$, la formulación ((1)-(4)) tiene una cantidad $O(n^2)$ de variables binarias y $O(2^n)$ restricciones. El problema puede formularse con una cantidad polinomial de restricciones, agregando variables reales u_i para $i = 1, \dots, n$ y sustituyendo las restricciones (4) por:

$$u_i - u_j + nx_{ij} \leq n - 1 \quad \forall (i, j) \in E, i \neq 0, j \neq 0$$

Estas desigualdades fueron propuestas por Miller, Tucker y Zemlin y fuerzan a que las variables reales u determinen una cantidad estrictamente creciente a lo largo de la ruta (es decir, $u_j \geq u_i + 1$ si j es visitado inmediatamente después que i). Bajo la hipótesis de que $|E| = O(n^2)$ en esta nueva formulación hay $O(n^2)$ variables binarias, $O(n)$ variables positivas y $O(n^2)$ restricciones. Sin embargo, esta formulación no resulta apta para la resolución de problemas de tamaño considerable mediante métodos exactos, pues si bien se disminuye la cantidad de restricciones, la cota que se obtiene resolviendo su relajación lineal resulta en general poco ajustada.

En ese sentido, este puede considerarse el problema de ruteo de vehículos más simple. No obstante, pertenece a la clase de problemas NP-hard y es uno de los Problemas de

Optimización Combinatoria más clásico y difundido. La mayor parte de los problemas de ruteo de vehículos son generalizaciones del TSP.

2.9.1.2 El Problema de los m Agentes Viajeros (m-TSP)

El Problema de los m Agentes Viajeros o m-TSP es una generalización del TSP en la cual se tiene un depósito y m vehículos. El objetivo es construir exactamente m rutas, una para cada vehículo, de modo que cada cliente sea visitado una vez por uno de los vehículos. Cada ruta debe comenzar y finalizar en el depósito y puede contener a lo sumo p clientes. Una formulación, dada por Miller et al

2.9.1.3 El Problema con Capacidades (VRP o CVRP)

El VRP es una extensión del m-TSP en la cual cada cliente $i \in V \setminus \{0\}$ tiene asociada una demanda d_i y cada vehículo tiene una capacidad C (la flota es homogénea, es decir todos los vehículos tienen la misma capacidad). En este problema la cantidad de rutas no es fijada de antemano como en el TSP y en el m-TSP. Para un conjunto de clientes S , $d(S) = \sum_{i \in S} d_i$ es su demanda total y $\nu(S)$ indica la mínima cantidad de vehículos necesarios para servirlos a todos. En la formulación conocida con el nombre de flujo de vehículos de dos índices, se utilizan las variables binarias x_{ij} para determinar si el arco (i, j) se utiliza o no en la solución.

2.9.1.4 El Problema con Ventanas de Tiempo (VRPTW)

En esta variante del problema, además de capacidades, cada cliente $i \in V \setminus \{0\}$ tiene asociada una ventana de tiempo $[e_i, l_i]$ que establece un horario de servicio permitido para que un vehículo arribe a él y un tiempo de servicio o demora s_i . Si (i, j) es un arco de la solución y t_i y t_j son las horas de arribo a los clientes i y j , las ventanas de tiempo implican que necesariamente debe cumplirse $t_i \leq l_i$ y $t_j \leq l_j$.

Por otro lado, si $t_i < e_i$, entonces el vehículo deberá esperar hasta que el cliente “abra” y necesariamente $t_j = e_i + s_i + t_{ij}$. Utilizando los nodos 0 y $n + 1$ para representar al depósito y el conjunto K para representar a los vehículos

2.9.1.5 El problema de ruteo de vehículos con recogidas y entregas (VRPPD)

Este problema es considerado como una extensión del problema clásico de ruteo de vehículos (VRP). El problema reconoce la posibilidad de entregas y recogidas simultáneas en el mismo nodo. El objetivo del problema es encontrar una serie de rutas para un conjunto de vehículos con costo mínimo para suministrar servicio a unos clientes de la manera más adecuada posible, que cumpla la restricción de que los vehículos tengan suficiente capacidad de transporte para los productos (o personas) que deben ser recogidos y/o entregados a cada cliente (nodo). Se debe partir de un depósito y llegar al mismo depósito.

Se pretende hallar la solución óptima o soluciones subóptimas de buena calidad. Este es un problema de optimización combinatorial y la mayoría de sus versiones son de la clase NP-Hard, es decir que la solución no se puede encontrar en tiempo polinomial (Ballesteros Silva, 2015)

El modelo matemático es:

V : conjunto de vértices $V = \{0, 1, 2, \dots, n\}$ donde el vértice 0 representa al depósito y el resto a los clientes.

A : conjunto de arcos que consisten en los pares (i, j) y (j, i) para cada borde $(i, j) \in E_k$.

E_k : subconjunto de $V_k * V_k$, que comprende todos los arcos posibles.

G : Grafo completo $G = (V, A)$

Cada borde $(i, j) \in E_k$ tiene un costo no negativo y cada cliente $i \in V' = V - \{0\} = \{1, 2, 3, \dots, n\}$.

d_i : cantidad de mercancía o producto que se debe entregar al cliente $i \in V' = V - \{0\}$

p_i : cantidad de mercancía o producto que se debe recoger del cliente $i \in V' = V - \{0\}$

c_{ij} : costo del arco $(i, j) \in A$, $c_{ij} \geq 0$

C : conjunto de vehículos homogéneos $C = \{1, 2, \dots, m\}$ con capacidad Q .

Vehículos homogéneos: Vehículos de la misma capacidad

Variables de decisión:

$y_{ij}=1$, si el vehículo k recorre el arco $(i, j) \in V$ de la ruta seleccionada.

$y_{ij}=0$, en cualquier otro caso.

D_{ijk} = cantidad de productos o mercancía pendiente por entregar, que es transportada por el vehículo k en el arco (i, j) .

P_{ijk} = cantidad de productos o mercancía recogida, que es transportada por el vehículo k en el arco (i, j) .

La función objetivo, las restricciones y su descripción se presentan enseguida:

Minimizar

$$Z = \sum_{i \in V} \sum_{k \in C} \sum_{j \in V} C_{ij} * y_{ijk} \quad (1)$$

$$\sum_{k \in C} \sum_{j \in V} y_{ijk} = 1 \quad \forall i \in V' \quad (2)$$

$$\sum_{k \in C} \sum_{i \in V} y_{ijk} = 1 \quad \forall j \in V' \quad (3)$$

$$\sum_{k \in C} \sum_{j \in V} y_{0jk} \geq m \quad (4)$$

$$\sum_{k \in C} \sum_{j \in V} D_{jik} - \sum_{k \in C} \sum_{j \in V} D_{ijk} = d_i \quad \forall i \in V', \forall k \in C \quad (5)$$

$$\sum_{k \in C} \sum_{j \in V} P_{ijk} - \sum_{j \in V} P_{jik} = p_i \quad \forall i \in V', \forall k \in C \quad (6)$$

$$D_{ijk} + P_{ijk} \leq Q y_{ijk} \quad \forall (i, j) \in A, \forall k \in C \quad (7)$$

$$D_{ijk} \geq 0 \quad \forall (i, j) \in A \quad (8)$$

$$P_{ijk} \geq 0 \quad \forall (i, j) \in A \quad (9)$$

$$y_{ijk} \in \{0,1\} \quad \forall (i, j) \in A \quad (10)$$

$$d_j y_{ijk} \leq D_{ijk} \leq (Q - d_i) y_{ijk} \quad \forall (i, j) \in A, \forall k \in C \quad (11)$$

$$p_i y_{ijk} \leq P_{ijk} \leq (Q - p_j) y_{ijk} \quad \forall (i, j) \in A, \forall k \in C \quad (12)$$

$$D_{ijk} + P_{ijk} \leq (Q - \max\{0, p_j - d_j, d_i - p_i\}) y_{ijk} \quad \forall (i, j) \in A \quad (13)$$

$$y_{ijk} + y_{jik} \leq 1 \quad \forall i, j, i < j, \in A, \forall k \in C \quad (14)$$

La función objetivo (1) minimiza la suma de los costos de viaje o las distancias recorridas en la ruta seleccionada. Con la restricción (2) existe garantía para que cada cliente pueda ser visitado solamente una vez en la ruta seleccionada. La restricción (3) hace que cada vehículo salga de cada nodo o cliente una sola vez en la ruta. Con la restricción (4) se asegura que cada vehículo se emplea una vez como máximo. Las expresiones (5), (6) y (7) son restricciones que garantizan la conservación del flujo de los productos entregados y recogidos en las rutas establecidas. La naturaleza de las variables de decisión y las condiciones de no negatividad se presentan en las restricciones (8), (9) y (10). Si se pretende obtener una desigualdad más fuerte para la no negatividad de la restricción (8), esta se puede sustituir por la desigualdad (11). Siguiendo la misma estrategia anterior de utilizar desigualdades más fuertes para P_{ij} , se pueden sustituir las restricciones (9) por (12) y (7) por (13). Con la desigualdad (14) se logra que cada borde o arista no adyacente al depósito sea recorrida como máximo una vez.

2.10 Lenguajes de modelado

Un lenguaje de modelado de programación matemática es un software de diseño especial para formular de modo eficiente los modelos de programación lineal grandes, y otros relacionados. Las variables de decisión estarán dentro de unas cuantas categorías. Por ello, si se usan grandes bloques de datos en bases de datos, un lenguaje de modelado construirá todas las restricciones del mismo tipo a la vez, con fundamento en las variables de cada tipo (Hillier y Lieberman, 2010).

Existe un buen número de lenguajes de modelado y entornos de desarrollo asociados, muchos de ellos presentan características comunes, aunque difieren en las posibilidades de conexión e integración con fuentes de datos y entornos profesionales de desarrollo software. Algunos de ellos son:

- GAMS

Está diseñado específicamente para suplir dos necesidades: (1) modelar problemas de optimización tanto lineales, no lineales y mixtos y, (2) realizar programación matemática.

El sistema es especialmente útil para solucionar problemas que sean grandes y complejos, y permite construir modelos de gran tamaño que se pueden adaptar rápidamente a nuevas situaciones. GAMS está disponible en versiones para computadores personales, estaciones de trabajo, bases de datos y súper computadores. (Software-shop.com, 2017)

- LINGO

Es un producto de LINDO Systems, Inc., que también comercializa un optimizador orientado por completo a hojas de cálculo llamado What'sBest! que está diseñado para enfrentar grandes problemas industriales, así como una subrutina adicional llamada LINDO API. El software LINGO incluye una interfaz con el subprograma LINDO que ha sido una introducción popular a la programación lineal para muchas personas. (Hillier y Lieberman, 2010)

- MPL

Es un producto de Maximal Software, Inc. Su nueva característica es el gran apoyo de Excel en MPL, el cual incluye tanto la importación como la exportación de conjuntos de datos desde y hacia Excel. También se proporciona un apoyo amplio para el lenguaje de macros de Excel VBA mediante el OptiMax 2000. Este producto permite al usuario integrar totalmente los modelos de MPL en Excel y resolverlos con cualquiera de los poderosos solucionadores que soporta MPL, como CPLEX. (Hillier y Lieberman, 2010)

- OPL.

Se trata de un lenguaje moderno, con abundantes recursos expresivos, un resolutor muy potente, CPLEX, con amplias facilidades de conexión a diferentes fuentes de datos (bases de datos, hojas de cálculo, archivos de texto) y con la posibilidad de integración directa de los modelos desarrollados en prácticamente todos los entornos modernos de software. (Ruzz,J.J., 2013)

CPLEX es un software muy usado para resolver problemas grandes que son un reto en investigación de operaciones. Cuando se los debe enfrentar, también es común usar un

sistema de modelado para elaborar el modelo matemático de manera eficiente e introducirlo en la computadora. (Hillier y Lieberman, 2010)

CAPITULO 3: MARCO CONCEPTUAL

3.1 Alimentación escolar

De acuerdo a la Ley N° 5.210 promulgada en el año 2014 de “Alimentación Escolar y Control Sanitario”, se entiende por alimentación escolar: *“La alimentación variada, balanceada, de calidad óptima y adecuada a los requerimientos nutricionales de cada grupo etáreo, proporcionado en el marco del régimen escolar, conforme a las características socio-culturales y la disponibilidad de los productos e insumos alimenticios característicos de los territorios, y que al mismo tiempo promuevan acciones pedagógicas que permitan que se conviertan en una experiencia educativa para la formación de hábitos alimenticios saludables en la población escolar atendida por el Sistema Educativo y el desarrollo de los componentes pedagógicos en materia de derecho a la alimentación y seguridad alimentaria con la participación educativa”*.

3.2 Programas de Alimentación Escolar (PAE)

Los Programas de Alimentación Escolar (PAE) según la FAO (2013), se constituyen en inductores del desarrollo sostenible a largo plazo, además de ser componentes claves de la respuesta a las crisis. Los programas son importantes para la garantía de protección social, de la Seguridad Alimentaria y Nutricional (SAN), del cumplimiento del derecho humano a la alimentación y una educación de calidad. A través de los PAE se generan los menús escolares, es decir, aquel menú nutricionalmente equilibrado que sirve de orientación para dirigir la educación de los hábitos nutricionales de los escolares.

3.3 Menú escolar

Menús nutricionalmente equilibrados que sirven de orientación para dirigir la educación de los hábitos nutricionales de los escolares. (MAG, 2011)

3.4 El PAEP (Programa de Alimentación Escolar del Paraguay)

El PAEP es un instrumento de política pública para guiar la implementación de una alimentación escolar con nuevo enfoque en las instituciones educativas del país. Los objetivos del PAEP comprenden el enfoque de educación nutricional y la articulación de esfuerzos para la promoción de estilos de vida saludables, que encuentran en el sector de la educación un ámbito fundamental para el desarrollo de esta perspectiva. Su finalidad es contribuir a la formación de estilos de vida saludables, mediante la educación y la incorporación de hábitos alimentarios adecuados (Resolución N° 15.866)

El principal responsable de llevar a cabo la intervención del PAEP es la Dirección de Alimentación Escolar (DAE) del MEC, quien coordina sus acciones con las demás instituciones. Así, también, los Gobiernos Departamentales son los encargados de la organización, planificación y fiscalización del Programa, y coordina sus tareas con las municipalidades.

3.5 Agricultura Familiar (AF)

En Paraguay la Ley de la Nación Paraguaya N° 2.419/2004, “Que crea el Instituto Nacional de Desarrollo Rural y de la Tierra”, en el Art. 6 conceptúa a la Agricultura Familiar Campesina (AFC) como aquella en la cual el recurso básico de mano de obra aporta el grupo familiar, siendo su producción básicamente de autoconsumo y parcialmente mercantil, completando los ingresos a partir de otras producciones de carácter artesanal o extrapredial (MAG, 2011)

Según la FAO (2013), citada por el MAG (2013), este tipo de agricultura incluye actividades agrícolas de base familiar, incluyéndose como mano de obra familiar tanto hombres como mujeres.

Además existen directrices para identificar a la AF (MAG 2010, citado en MAG 2013):

- Las actividades son ejecutadas por una fuerza de trabajo familiar.
- No contratan en el año un número mayor de 20 jornaleros asalariados.
- Estos jornaleros deben residir en la finca y/o comunidades cercanas.

- No utilizan superficies mayores de 50 ha en la Región Oriental y 500 ha en la Región Occidental, de tierras propias o arrendadas, independientemente del rubro productivo.

3.6 Seguridad alimentaria

Situación que se da cuando todas las personas tienen en todo momento acceso físico, social y económico a suficientes alimentos inocuos y nutritivos para satisfacer sus necesidades alimenticias y sus preferencias en cuanto a los alimentos a fin de llevar una vida activa y sana (Cumbre Mundial de la Alimentación, 1996 citado por la FAO)

CAPITULO 4: MARCO REFERENCIAL

El Gobierno de la República Federativa del Brasil a través del Fondo Nacional del Desarrollo de la Educación del Ministerio de la Educación (FNDE/MEC), y la FAO en América Latina y Caribe han sumado esfuerzos para la realización de actividades en once países (Antigua y Barbuda, Bolivia, Colombia, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua, Paraguay, Perú y República Dominicana), con la finalidad de apoyar la formulación e implementación de Programas de Alimentación Escolar (PAE) sostenibles, estimulando las compras de alimentos directamente de los agricultores familiares y la implementación de huertos escolares como estrategia de seguridad alimentaria y nutricional. (Baranda, Meza y Galeano, 2013).

Teniendo en cuenta trabajos anteriores, Morgan (2008), analizó las posibilidades y los obstáculos de las adquisiciones ecológicas en el marco de los servicios de alimentación para comedores escolares. En su trabajo afirma que los gobiernos podrían ayudar a modelar una sociedad más sostenible, creando un servicio sostenible de alimentación para comedores escolares, puesto que implica a la salud y el bienestar de jóvenes y personas vulnerables. Así también, Seiker et. al (2015), describen que el comedor escolar tiene hoy un papel esencial en la nutrición infantil y en la consolidación de los hábitos alimentarios. Ambos estudiaron los menús ofertados en escuelas municipales de Granada, analizando ingredientes, proporción por plato, formas de preparación, aportes nutricionales y la frecuencia de la oferta semanal de los distintos grupos de alimentos. Llevar a cabo la provisión de alimentos a instalaciones escolares no es tarea fácil. En general se busca un modelo matemático eficiente, que se adecue al sistema particular de aplicación y que cumpla con ciertas restricciones logísticas.

Por otro lado Escobar y Maldifassi (2003), diseñaron un modelo de optimización de la logística de distribución de una empresa que provee servicios de alimentación escolar en grandes volúmenes, al menor costo y satisfaciendo la demanda esperada, cumpliendo con exigencias contractuales. Con el modelo, obtuvieron soluciones que implican un ahorro hasta del 10% a la empresa.

Respecto a trabajos de programación matemática Ocaña y Ramírez (2007), diseñaron un modelo matemático para resolver problemas de ruteo vehicular capacitado con ventanas de

tiempo, con la aplicación del algoritmo Clarke & Wright, estudiando una empresa de servicios de Courier de la ciudad de Guayaquil, Ecuador, con el objetivo principal de crear rutas que abarquen la totalidad de los clientes a visitar con la mínima distancia posible a recorrer y poder así disminuir el excesivo consumo de recursos de la empresa.

En otro trabajo de investigación, Cuevas y Gómez (2013) plantearon, utilizando Programación Lineal, un modelo de asignación de paquetes de alimentos a familias carenciadas desde un banco de alimentos. Así también, existen referencias de investigaciones y diseños de modelos para la provisión de alimentos por parte de una empresa a escuelas al mínimo costo, y para la asignación de varios contratos de provisión de alimentos (Epstein et al., 2004).

En Paraguay fue elaborado un estudio en el ámbito del Proyecto Fortalecimiento de los Programas de Alimentación Escolar que se enmarca dentro de la Iniciativa América Latina sin Hambre 2025 - GCP/RLA/180/BRA. El objetivo del estudio fue analizar la situación actual y la capacidad de implementación de la propuesta de decreto de Compras Públicas de la Agricultura Familiar, en las Escuelas Rurales; por parte de las gobernaciones de Concepción, Caaguazú y Caazapá, por las municipalidades de Horqueta, Yhú y Tavaí y las potenciales organizaciones de productores/as de dichas zonas. El estudio se basó en el relevamiento y análisis, de diversas informaciones de fuente primaria y secundaria relacionadas al objetivo de la investigación. (Baranda, Meza y Galeano, 2013)

4.1 Desarrollo de los Programas de Alimentación Escolar en Paraguay

El primer país de los ocho caracterizados, que implementó una modalidad de alimentación escolar fue Colombia en el año 1941, y el último fue Paraguay en el año 1995.

4.1.1 Evolución del PAE en Paraguay

Tabla 6. Modalidades de Alimentación 1995-2015

1995	1998	1999	2001	2003	2009	Hasta 2013	2014	2015 - 2017
Merienda escolar: vaso de leche, preparada con leche en polvo; alimentos sólidos, en algunos casos galletas.		Merienda escolar: vaso de leche con un alimento sólido (pan lacteado, galletas, galletitas).			Merienda escolar: vaso de leche con un alimento sólido (pan lacteado, galletas, galletitas). Experiencias puntuales de almuerzo escolar: Comidas deshidratadas por sobre todo.		Merienda escolar: vaso de leche con un alimento sólido (pan lacteado, cereal, galletitas) Almuerzo escolar: Platos frescos, que contienen un plato principal más guarnición más postre.	Merienda escolar: vaso de leche con un alimento sólido. (13 variedades) Almuerzo escolar: Platos frescos, que contienen un plato principal más guarnición más postre.

Fuente: MEC (2015)

4.2 Beneficiarios

Tabla 7. Beneficiarios del PAEP (1995-2015)

1995	1998	1999	2001	2003	2009	Hasta 2013	2014	2015 - 2017
Estudiantes de instituciones educativas de gestión oficial del pre escolar al 6to grado y algunas privadas subvencionadas en condiciones vulnerables.							Estudiantes del sector público: Educación Inicial, Educación Escolar Básica y Educación Media; Estudiantes indígenas; Con una implementación gradual según disponibilidad presupuestaria.	

Fuente: MEC (2015)

4.3 Descripción del Menú Escolar

Estas especificaciones fueron elaboradas en conjunto por técnicos del Instituto Nacional de Alimentación y Nutrición (INAN) dependiente del Ministerio de Salud Pública y Bienestar Social, y por la Dirección de Alimentación Escolar del Ministerio de Educación y Ciencia (Gobernación de Caazapá Licitación Pública Nacional (LPN) N° 02/2017)

Tabla 8. Descripción del menú escolar para la semana 1.

Semana 1					
Menú/Días	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
Plato Principal	Soyo	Caldo/Sopa de poroto con arroz y zapallo	Estofado de pollo con papa	Picadito de carne con fideo	Guiso de arroz con pollo
Guarnición	Ensalada de repollo, tomate y zanahoria	Ensalada de lechuga, zanahoria y cebolla	Ensalada de lechuga, tomate y zanahoria	Ensalada de repollo, tomate y zanahoria	Ensalada de lechuga, tomate y zanahoria
Postre	Fruta cítrica (naranja o mandarina)	Fruta cítrica (naranja o mandarina)	Fruta de estación (banana o naranja)	Fruta cítrica (naranja o mandarina)	Fruta de estación (banana o naranja)
KCAL TOTALES	421	432	465	441	462

Fuente: Gobernación de Caazapá. Licitación Pública Nacional (LPN) N° 02/2017

Tabla 9. Descripción del menú escolar para la semana 2.

Semana 2					
Menú/Días	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
Plato Principal	Vori Vori	Tallarín con salsa de pollo	Guiso de poroto con fideo	Arroz Blanco con picadito de pollo	Estofado de carne con papa
Guarnición	Ensalada de repollo, tomate y zanahoria	Ensalada de lechuga, zanahoria y cebolla	Ensalada de repollo, tomate y zanahoria	Ensalada de lechuga, tomate y zanahoria	Ensalada de repollo, tomate y zanahoria
Postre	Fruta de estación (banana)	Fruta cítrica (naranja o mandarina)	Fruta cítrica (naranja o mandarina)	Fruta de estación (banana)	Fruta cítrica (naranja o mandarina)
KCAL TOTALES	471	434	438	452	456

Fuente: Gobernación de Caazapá. Licitación Pública Nacional (LPN) N° 02/2017

Tabla 10. Descripción del menú escolar para la semana 3.

Semana 3					
Menú/Días	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
Plato Principal	Sopa/caldo de fideo con carne	Guiso de poroto con arroz	Locro	Guiso fideo con pollo	Tallarín con salsa de carne
Guarnición	Ensalada de lechuga, zanahoria y cebolla	Ensalada de lechuga, tomate y zanahoria	Ensalada de repollo, tomate y zanahoria	Ensalada de lechuga, tomate y zanahoria	Ensalada de repollo, tomate y zanahoria
Postre	Fruta de estación (banana)	Fruta cítrica (naranja o mandarina)	Fruta de estación (banana)	Fruta cítrica (naranja o mandarina)	Fruta de estación (banana)
KCAL TOTALES	427	434	459	434	461

Fuente: Gobernación de Caazapá. Licitación Pública Nacional (LPN) N° 02/2017

Tabla 11. Descripción del menú escolar para la semana 4.

Semana 4					
Menú/Días	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
Plato Principal	Vori vori de pollo	Albóndigas de carne con arroz blanco	Picadito de pollo con papa	Caldo de poroto con fideo	Guiso de arroz con carne
Guarnición	Ensalada de lechuga, tomate y zanahoria	Ensalada de lechuga, tomate y zanahoria	Ensalada de repollo, tomate y zanahoria	Ensalada de lechuga, tomate y zanahoria	Ensalada de repollo, tomate y zanahoria
Postre	Fruta de estación (banana)	Fruta cítrica (naranja o mandarina)	Fruta de estación (banana)	Fruta cítrica (naranja o mandarina)	Fruta de estación (banana)
KCAL TOTALES	470	452	466	440	430

Fuente: Gobernación de Caazapá. Licitación Pública Nacional (LPN) N° 02/2017

OBSERVACIÓN: El menú cíclico es la distribución estandarizada de los menús para un periodo de tiempo de 20 días, con el objetivo de brindar variabilidad. Para los proyectos locales se considerará la posibilidad de utilizar mínimamente dos semanas de menú cíclico, y excepcionalmente se podrá realizar la repetición de los platos, bajo autorización de la Gobernación/Intendencia.

4.4 Proceso de adquisición de alimentos para los PAE

En países de América Latina y el Caribe se identificaron tres tipos de modalidades para la adquisición de alimentos: modalidad de compra centralizada, modalidad de compra descentralizada y desconcentrada y modalidad de compra centralizada a través de un programa mundial de alimentos (PMA) (FAO 2013)

En el Paraguay se aplica la primera modalidad mencionada, la compra centralizada, es decir la compra pública de los alimentos del Programa de Alimentación Escolar realizadas a través de licitaciones públicas generalmente en la capital del país, además el almacenamiento también suele ser en un centro para su posterior distribución a los departamentos, municipios, y finalmente a las escuelas.

Esta modalidad se aplica en la capital y el interior del país, donde los gobiernos departamentales reciben recursos del Ministerio de Hacienda y realizan la licitación pública para contar con proveedores del almuerzo y la merienda escolar.

Los pasos seguidos para aplicar esta modalidad son:

1. Programación en el Plan Anual de Compras de acuerdo al Plan Operativo Anual y el Presupuesto General de la Nación.
2. Elaboración de los documentos de bases de licitación.
3. Convocatoria.
4. Adjudicación.
5. Contrato.
6. Recepción de los alimentos y pago.
7. Distribución nacional a los centros escolares.

Actualmente existen legislaciones que incentivan la compra de los agricultores familiares prioritariamente, en lugar de hacerlo de mercados, supermercados, tiendas locales. Sin embargo la principal dificultad que persiste es que solo algunos proveedores agrícolas familiares se encuentran organizados (cooperativas, asociaciones), con una constitución que les permita emitir facturas legales, y además proveer alimentos en la calidad, cantidad y tiempo requerido (FAO 2013)

4.5 Vehículo considerado en el modelo matemático planteado

Los vehículos seleccionados representan a los más usuales del parque automotor del país, se tienen en cuenta las características técnicas de los vehículos según DGPT:

- El camión chico es el típico camión de reparto urbano, también empleado en áreas rurales para transportes de corta distancia, y donde las características de los caminos impiden el empleo de vehículos de mayor porte. Su carga útil es del orden de los 3.700 kg.
- El camión mediano es el camión de dos ejes, con carrocería metálica y carga útil del orden de 8.000 kg, de uso habitual en los transportes de corta y media distancia.
- El camión semipesado es el de doble eje trasero, con carrocería metálica y capacidad del orden de 17.000 kg. Se emplea generalmente en los transportes de media y larga distancia, y donde las características de los caminos impiden el empleo de vehículos de mayor porte.
- El camión pesado es un tractor con semirremolque metálico de tres ejes y carga útil de hasta 27.000 kg, generalmente utilizado en los transportes internacionales y de larga distancia.

4.5.1 Costos Operativos De Vehículos Automotores (Gs/km)

Sin costo del tiempo de pasajero

Tabla 12. Costos Operativos de Vehículos Automotores según DGPT

TIPO DE VEHICULO	PAVIMENTO	EMPEDRADO	ENRIPIADO	TIERRA PRINCIPAL	TIERRA COLECTOR	TIERRA ALIMENT. SECUNDARIO
AUTOMOVIL	1984,53	2634,77	2714,32	3158,29	3492,71	3831,07
CAMIONETA	2471	3060	3038,09	3609,79	4029,75	4512,49
C. CHICO	2981,94	3931,83	3917,71	4412,11	4824,4	5230,67
C. MEDIANO	5121,07	6703,56	6845,82	7571,99	8262,96	8962,49
C. SEMIPESADO	6338,25	7943,63	8019,27	8855,05	9533,38	10197,4
C. PESADO	9463,56	11480,89	11486,69	12732,01	13735,47	14342,13
OMNIBUS URBANO	4524,52	5221,19	5217,96	5570,65	6023,52	6635,86
OMNIBUS INTERURB.	6050,33	7044,25	7170,21	7688,58	8246,2	9471,92

CAPITULO 5: MARCO LEGAL

En el ámbito no gubernamental la FAO, se encuentra implementando el Proyecto “Fortalecimiento de Programas de Alimentación Escolar en el marco de la Iniciativa ALC sin Hambre 2025-GCP/RLA/180/BRA”, que tiene como objetivo fortalecer el proceso de institucionalización de los PAE y políticas de SAN relacionadas con ellos, a través de mecanismos nacionales y regionales, y además promover las compras locales a los agricultores.

5.1 Legislación referente a la Alimentación Escolar

Ley N°5210/ 2014 “De Alimentación Escolar y Control Sanitario” promulgada el 20 de junio de 2014 con 14 artículos, en la que se define la alimentación escolar, el control sanitario, la garantía de disponibilidad de recursos financieros de diversas fuentes como:

- 1) El Presupuesto General de la Nación
- 2) Royalties y Compensaciones
- 3) El Fondo Nacional de Inversión Pública y Desarrollo (FONACIDE),
- 4) El Fondo para la Excelencia de la Educación y la Investigación, entre otros.

El ministerio de Educación y Ciencias es la autoridad de aplicación de la presente Ley.

Los Gobiernos departamentales se harán cargo de la organización, planificación y fiscalización de los PAE y Control Sanitario, para ello coordinarán sus tareas con las municipalidades, el MEC, y el MSPyBS.

Se establecen como directrices de la alimentación escolar:

- Que la misma deberá basarse en una dieta saludable y adecuada para el estudiante
- Que deberá comprender el uso de alimentos variados e inoos, utilizando los grupos de alimentos establecidos en las guías alimentarias del Paraguay y reflejadas en la olla nutricional.

- Que los productos alimenticios que forman parte de la alimentación escolar deben cumplir con las exigencias de inocuidad y calidad establecidas en las normativas vigentes.
- Que los esquemas de la alimentación escolar deberán ser diseñados en concordancia con los criterios del ente rector, por profesionales calificados en el área de alimentación y nutrición.
- Que deberá contemplar la inclusión de la educación alimentaria y nutricional en el proceso de enseñanza-aprendizaje
- Que se deberá priorizar la adquisición de alimentos de la Agricultura Familiar Campesina, mediante procedimientos sumarios que garanticen la compra a sus integrantes

Además se establecen los principios de la alimentación escolar:

- La universalidad
- La equidad
- La sostenibilidad
- La participación
- La descentralización
- La integralidad

Lo que implica que en el transcurso de los años los programas de alimentación deberán beneficiar a todos los niños y jóvenes que asisten a las escuelas y colegios, aumentando de esa manera el número de instituciones que deben ser atendidas, el número de alumnos que deben ser beneficiados y por tanto el número de recursos que se requerirán, es decir aumentando la complejidad de las operaciones de provisión de insumos a los beneficiarios.

Decreto N° 2366 *“Por el cual se reglamenta la ley N° 5210/14, alimentación escolar y control sanitario” el 7 de Octubre del 2014*

Las modalidades del servicio de la Alimentación Escolar podrán ser:

- a) Alimentos preparados en las escuelas

- b) Alimentos ofrecidos por el servicio de plato servido
- c) Otras modalidades permitidas por las normativas; debiendo priorizarse las que presentan el menor costo con mayor beneficio y cumplimiento de las directrices.

El Ministerio de Educación y Ciencias será responsable de la Gestión del Programa y convocará un equipo técnico interinstitucional para la elaboración del Programa, las directrices y el planteamiento de aspectos técnicos de la ejecución y el seguimiento. Los beneficiarios de la implementación gradual de los programas según la reglamentación son:

- a) Los estudiantes de las Instituciones Educativas Públicas del sector Formal matriculados en los diferentes grados y cursos de los turnos mañana, tarde y noche de los niveles de Educación Inicial, Educación Escolar Básica y Educación Media.
- b) Los estudiantes de las Instituciones Educativas Públicas de los Pueblos Indígenas según se establece en la Ley N° 3.231/07 y el Decreto N° 8234/11.
- c) Los estudiantes de la Educación Inicial No Formal (Primera Infancia).
- d) Los estudiantes de algunas instituciones privadas subvencionadas designadas, según criterios establecidos por el Ministerio de Educación y Ciencias.

El programa debe ser sostenido durante todo el año lectivo y debe ejecutarse bajo el principio de que los derechos de los niños tienen carácter prevaleciente, en casos de conflicto, tal y como se establece en la Constitución, para lo cual los OEE deberán dar cumplimiento a las normativas vigentes que les permitan acceder a las transferencias de recursos.

El Ministerio de Educación y Ciencias convocará al Consejo Nacional de Educación, para consultar e informar sobre la implementación del Programa y buscará su asesoramiento en casos de problemas y conflictos en la implementación.

Resolución N° 15866-2015 el 18 de junio del 2015

“Por La Cual Se Aprueban Los Lineamientos Técnicos Y Administrativos Para La Implementación Del Programa De Alimentación Escolar, En Instituciones Educativas De Gestión Oficial Y Privada Subvencionada, Dependientes De Este Ministerio.”

Los lineamientos técnicos administrativos y estándares establecen las orientaciones básicas y directrices para implementar en las instituciones educativas el Programa de

Alimentación Escolar del Paraguay (PAEP) en el marco de la Ley N° 5210 de “Alimentación escolar y control sanitario” y su decreto reglamentario N° 2366. Además brindan elementos técnicos y administrativos para la ejecución de acciones alrededor de la alimentación escolar, mejorar y precisar los conceptos sobre el servicio de alimentación para la población estudiantil del Paraguay.

Resolución N° 536 *“Por la cual se establecen los procedimientos administrativos para la entrega de informes del Programa “Alimentación Escolar del Paraguay”.*

La cual tiene como propósito realizar la supervisión y fiscalización de la distribución de los alimentos en las instituciones educativas, en el marco del Programa de la Alimentación escolar del Paraguay, establecida la ley N° 5210 “ De la Alimentación Escolar y Control Sanitario” y a los efectos de la remisión a la contraloría general de la república de todas las documentaciones firmadas y selladas en todas las hojas por cada instancia ministerial que lo elabore, con carácter de declaración jurada

Resolución N° 128 *“Por la cual se establecen requisitos y condiciones generales para la Provisión del Almuerzo Escolar”, el 24 de marzo de 2015*

Menciona que toda persona que elabore y manipule los alimentos para el almuerzo escolar debe contar con el Certificado de Capacitación para manipuladores de alimentos en buenas prácticas de Manufactura, emitido por el INAN u otras entidades reconocidas por la autoridad sanitaria.

La empresa que elabore alimentos en su local, para el almuerzo escolar, y provea los mismos listos para el consumo, debe contar con registro de establecimiento vigente emitido por el INAN.

La gobernación o municipio deberá inscribir ante el INAN la lista de instituciones educativas a las que proveerá insumos e ingredientes para la elaboración del almuerzo escolar, exclusivamente en el predio de las mismas, conforme el formulario correspondiente

Resolución N° 233 *“Por la cual se deroga la resolución DNCP N° 980/2013 y se aprueba los pliegos de bases y condiciones estándar de adquisición de bienes para la alimentación escolar en las escuelas públicas, a través de procedimientos de contratación regidos por la ley N° 2051/03 de Contrataciones Públicas”, el 27 de Enero de 2015.*

Resolución DNCP N° 1271/15 *“Por el cual se actualizan las especificaciones técnicas de los alimentos incluidos en los pliegos estándar aprobados por la resolución DNCP N° 233/2015” del 12 de mayo del 2015.*

5.2 Legislación referente a la compra de Agricultura Familiar.

Decreto N° 3000/15 *“Por el cual se establece la modalidad complementaria de contratación denominada proceso simplificado para la adquisición de productos agropecuarios de la agricultura familiar y se fijan criterios para la realización de los procesos de contratación y selección aplicadas para estas adquisiciones.”*

Esta modalidad complementaria de contratación define los procedimientos para adquirir, contratar y seleccionar los productos agropecuarios de la agricultura familiar. Este proceso busca la inserción de la AF en el ámbito de las adquisiciones públicas, pero además garantizar la alimentación escolar a través de la consolidación de las familias rurales. Cuando se tratare de procesos de contratación concernientes a la Alimentación Escolar, la misma desarrollará su accionar bajo la coordinación del MEC.

El Ministerio de Agricultura y Ganadería pondrá a disposición de las Convocantes, el Registro de los Productores registrados y habilitados por el mismo, sean estos productores individuales o bajo el régimen de asociación, comité de productores o cooperativa.

La participación estará abierta únicamente a productores individuales de la Agricultura Familiar u organizaciones que reciban la asistencia técnica del MAG u otros organismos públicos o privados que realicen asistencia en materia de Agricultura Familiar que estén debidamente reconocidos por el MAG. El Ministerio de Agricultura y Ganadería reglamentará el mecanismo de reconocimiento, registro y censo.

Se establece que las condiciones del llamado para adquisición de productos de la Agricultura Familiar deberá contener como mínimo la indicación de:

- a) El producto y cantidad requeridos, y su precio referencial.
- b) El plazo y lugar de entrega de los productos.
- c) El plazo y la forma de pago, el que no podrá ser superior a los 30 (treinta) días calendarios, posteriores a la recepción del producto.
- d) En caso de anticipos, el porcentaje a ser entregado.
- e) Que los productos de la Agricultura Familiar ofrecidos, deberán reunir las condiciones de cantidad y calidad, aptos para la comercialización y consumo.

Resolución DNCP N° 2915 / 2015

“Por la cual se aprueba el reglamento que establece el mecanismo para la aplicación de los requisitos de calificación de la compra a los productores de la Agricultura Familiar registrados en el Ministerio de Agricultura y Ganadería”

El presente reglamento tiene por objeto incorporar a los agricultores familiares en la cadena de suministro de los proveedores de alimentos preparados para los procesos de contratación regidos por la Ley "De Contrataciones Públicas"

LEY N° 2.051 “DE CONTRATACIONES PÚBLICAS”

La presente ley establece el Sistema de Contrataciones del Sector Público y tiene por objeto regular las acciones de planeamiento, programación, presupuesto, contratación, ejecución, erogación y control de las adquisiciones y locaciones de todo tipo de bienes, la contratación de servicios en general, los de consultoría y de las obras públicas y los servicios relacionados con las mismas, que realicen:

a) Los organismos de la Administración Central del Estado, integrada por los poderes Legislativo, Ejecutivo y Judicial; la Contraloría General de la República, la Defensoría del Pueblo, la Procuraduría General de la República, el Ministerio Público, el Consejo de la Magistratura, el Jurado de Enjuiciamiento de Magistrados y los órganos del Estado de naturaleza análoga

b) Los gobiernos departamentales; las universidades nacionales; los entes autónomos, autárquicos, de regulación y de superintendencia; las entidades públicas de seguridad social; las empresas públicas y las empresas mixtas; las sociedades anónimas en las que el Estado sea socio mayoritario; las entidades financieras oficiales; la Banca Central del Estado, y las entidades de la Administración Pública Descentralizada

c) Las municipalidades. Las entidades y las municipalidades citadas en los incisos b) y c) se sujetarán a las disposiciones de esta ley, sin perjuicio de que en forma supletoria observen sus leyes orgánicas y demás normas específicas, en todo aquello que no se oponga a este ordenamiento.

La ley de contrataciones públicas establece restricciones y parámetros que los proveedores, en este caso los agricultores, deben considerar como el cumplimiento de plazo y lugar de entrega de productos, el plazo y la forma de recepción de los pagos, y la obligación de que los productos cumplan con los requisitos técnicos y normas, además de condiciones de calidad e inocuidad preestablecidos, para su comercialización y consumo.

IV. DISEÑO METODOLÓGICO

CAPÍTULO 6

La metodología que será adoptada para realizar esta investigación tiene las siguientes características (Hernández, Fernández y Baptista, 2006):

6.1 Enfoque de la investigación

El presente trabajo se puede abordar como una investigación cuantitativa debido a que los datos que se obtendrán serán del tipo numérico y las variables medibles.

6.2 Alcance de la Investigación

La investigación se caracteriza como exploratoria porque es un tema poco abordado y existen escasos registros bibliográficos del mismo.

También es de tipo descriptivo porque detalla las características del fenómeno estudiado para desarrollar una representación de la realidad del proceso logístico de distribución.

6.3 Población

La población está conformada por 136 fincas agrícolas de las cuales se tomó en consideración para el análisis 60 fincas el que corresponde al 44%, ubicadas en el distrito San Juan Nepomuceno del Departamento de Caazapá proveedoras de los insumos (frutas y hortalizas) que fueron asistidas por el MAG y las 14 instituciones educativas receptoras de los alimentos que ofrecen el almuerzo escolar en el marco del PAE.

6.4 Recolección de la información

La información se recolectó de fuentes primarias y secundarias. Los datos de fuentes primarias corresponden a los datos del año 2017, proporcionados por el MAG en relación a los datos de las fincas agrícolas familiares, y por la Gobernación de Caazapá, los referentes a las escuelas beneficiadas por el PAEP.

6.5 Técnicas e Instrumentos de Recolección de datos.

Se utilizó como técnicas de recolección de datos e información: entrevistas, observación directa, sondeo, revisiones bibliográficas de fuentes primarias y secundarias entre otros.

Como instrumentos de recolección de datos se utilizó la planilla electrónica Excel, información del MAG, páginas web de organismos oficiales gubernamentales y no gubernamentales (MEC, MAG, DGEEC, JPLE, etc.), artículos científicos, libros, trabajos de tesis.

6.6 Alcances y limitaciones

La cobertura del estudio abarca a las instituciones que cuentan con el beneficio del PAEP y un porcentaje de las fincas agrícolas familiares que reciben asistencia técnica por parte del MAG, en el distrito San Juan Nepomuceno del departamento de Caazapá. Dicho distrito fue seleccionado debido a la disponibilidad de datos y fácil acceso a la zona, ya que los caminos se encuentran en condiciones de ser transitados.

El trabajo se limitará a diseñar el plan de abastecimiento, por lo tanto no están contemplados la implementación y el control del mismo.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

CAPÍTULO 7

7.1 Diseño del modelo matemático Fase 1

Supuestos y consideraciones del modelo

Al formular el modelo se utilizó un camión para el recorrido, con una capacidad de 3700 kg. Se estimó las ofertas semanales de los productos como la oferta anual total dividida equitativamente por semana. Se hizo esto debido a que no se disponen de datos semanales y esto no afecta al diseño del modelo. También se supone que no necesariamente se debe comprar productos de todas las fincas.

Sea $G = [V, A, Ct, Cp]$ un grafo completo no dirigido, donde V es el conjunto de vértices (fincas), A es el conjunto de arcos, Ct corresponde al costo de transporte y Cp al costo de producto.

Subíndices

i : Nodo o finca de origen; $i = 1, 2, \dots, N$

j : Nodo o finca de destino; $j = 1, 2, \dots, N$

s : Nodo o finca de origen o destino; $s = 1, 2, \dots, N$

k : Tipo de producto ; $k = 1, 2, \dots, K$

Parámetros

$Ofer_{ik}$: Cantidad del producto k que provee la finca i

dem_k : Cantidad del producto k requerido.

$costop_{ki}$: Costo de compra por kilogramo del producto k en la finca i

$costot_{ij}$: Costo del transporte desde la finca i hasta la finca j

M : Un número muy grande

$cext$: Costo de comprar de forma externa

cap : Capacidad del camión en kilogramos

N : Número de nodos (Fincas)

K : Número de productos (por tipo de producto)

ij : Arco con origen en i y destino en j

is : Arco con origen en i y destino en s

sj : Arco con origen en s y destino en j

Variables de decisión

x_{kij} : Cantidad del producto k (en kilogramos) que es transportada desde la finca i a la finca j

y_{ij} : 1 si el arco (i, j) es usado, 0 caso contrario

$xext_k$: Cantidad del producto k (*en kilogramos*) que se debe comprar adicionalmente para satisfacer la demanda

u : variable auxiliar para la eliminación de subtours

El objetivo de la fase 1 es minimizar el costo total de compra de productos locales, su recolección de las fincas y la compra de productos externos. Este modelo está compuesto por las ecuaciones siguientes:

Función Objetivo

Minimizar

$$Z = \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N x_{kij} * costop_{ki} + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N y_{ij} * costot_{ij} + cext \sum_{k=1}^K xext_k \quad (1)$$

Sujeto a:

$$\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N y_{ij} \leq 1 \quad \forall i = 1, 2, \dots, N \quad (2)$$

$$\sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^N y_{ij} \leq 1 \quad \forall j = 1, 2, \dots, N \quad (3)$$

$$x_{kij} \leq ofer_{nk} \quad \forall j = 1, 2, \dots, N, \quad \forall i = 1, 2, \dots, N, \quad \forall k = 1, 2, \dots, K \quad (4)$$

$$\sum_{\substack{i=1 \\ i \neq s}}^N y_{is} - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq s}}^N y_{sj} = 0 \quad \forall s = 1, 2, \dots, N \quad (5)$$

$$\begin{aligned} u_i - u_j + N * y_{ij} &\leq N - 1 \quad \forall i \neq j, j \neq 1 \\ u_1 &= 1 \\ 2 \leq u_i &\leq N; \forall i \neq j \end{aligned} \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N x_{kij} + xext_k = dem_k \quad \forall k = 1, 2, \dots, K \quad (7)$$

$$\sum_{j=1}^N y_{1j} = 1 \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^N y_{i1} = 1 \quad (9)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N x_{kij} \leq cap \quad (10)$$

$$x_{kij} \leq M * y_{ij} \quad \forall j = 1, 2, \dots, N, \quad \forall i = 1, 2, \dots, N, \quad \forall k = 1, 2, \dots, K \quad (11)$$

$$x_{kij} \geq 0 \quad \forall j = 1, 2, \dots, N, \quad \forall i = 1, 2, \dots, N, \quad \forall k = 1, 2, \dots, K \quad (12)$$

$$y_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall j = 1, 2, \dots, N, \quad \forall i = 1, 2, \dots, N \quad (13)$$

La función objetivo (1) representa el costo mínimo total de compra y recolección de los productos de las fincas del distrito y el costo total de comprar externamente. La Restricción (2) indica que la suma de arcos que salen de un nodo debe ser menor o igual a uno, la cual asegura que de cada finca se salga exactamente una vez o ninguna. La restricción (3) establece que la suma de arcos que entran a un nodo debe ser menor o igual a uno y asegura que a cada finca se llegue exactamente una vez o ninguna. La restricción de oferta (4) indica no sobrepasar la oferta disponible del producto k de cada finca n. La restricción (5) es de balance que implica que todo lo que llega al nodo s debe ser igual a lo que sale del nodo s; es decir que si se llega a una finca, se debe salir de la misma. La restricción (6) es llamada restricción de eliminación de subtours y asegura que no se formen subciclos. La restricción de demanda (7) indica que la cantidad total de compra del producto k de las fincas del distrito más la cantidad total de compra externa del producto k debe ser igual a la demanda del producto k. Las restricciones (8) y (9) aseguran que se inicie en el nodo 1 (depósito) y que se culmine en el mismo respectivamente. La restricción (10) establece que la cantidad total de productos recolectados desde las fincas no debe superar la capacidad total del camión. La restricción (11) nos asegura que y_{ij} tomará el valor 1 siempre que $x_{kij} > 0$, lo que implica que se activa un costo de transporte que se suma en la función objetivo. Si $x_{kij} = 0$, y_{ij} puede tomar el valor 1 o 0. Por último las restricciones (12) y (13) indican respectivamente que todas las variables x_{kij} deben ser no negativas y las y_{ij} deben ser binarias.

7.2 Diseño del modelo matemático Fase 2

Supuestos y consideraciones del modelo

Al formular el modelo utilizamos un camión para la distribución, con una capacidad de 3700 kg. Sea $G = [V, A, C_t]$ un grafo completo no dirigido donde C_t es el costo de transporte. Sea V un conjunto de nodos y A un conjunto de arcos.

Variable de decisión

$y_{ij} = 1$ si el arco (i, j) es usado, 0 en caso contrario

u = variable auxiliar para la eliminación de subtours

Subíndices

i : Nodo o escuela de origen; $i = 1, 2, \dots, N$

j : Nodo o escuela de destino; $j = 1, 2, \dots, N$

Parámetros

ct_{ij} : Costo de transporte desde el nodo i al nodo j

ij : Arco con origen en i y destino en j

El objetivo de la fase 2 es minimizar el costo total de recorrido para la distribución de productos locales a las escuelas del distrito. Este modelo está compuesto por las ecuaciones siguientes:

Función Objetivo

Minimizar

$$Z = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N y_{ij} * ct_{ij} \quad (1)$$

Sujeto a:

$$\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N y_{ij}, \quad \forall i = 1, 2, \dots, N \quad (2)$$

$$\sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^N y_{ij}, \quad \forall j = 1, 2, \dots, N \quad (3)$$

$$u_i - u_j + N * y_{ij} \leq N - 1 \quad \forall i \neq j, j \neq 1$$

$$u_1 = 1 \quad (4)$$

$$2 \leq u_i \leq N; \forall i \neq j$$

$$y_{ij} \in \{0,1\}, \forall i = 1, \dots, N; \forall j = 1, \dots, N \quad (5)$$

La función objetivo (1) establece que el costo total de la solución es la suma de los costos de los arcos utilizados. Las Restricciones (2) y (3) indican que la ruta debe llegar y abandonar cada nodo exactamente una vez. Con la restricción (4) se eliminan los subtours, ésta restricción asegura que no se formen subciclos. Finalmente la restricción (5) que indica que todas las variables deben ser binarias.

CAPÍTULO 8

8.1 Resultados de la resolución del modelo matemático fase 1

Se diseñaron dos modelos matemáticos para la resolución del problema utilizando el software IBM ILOG CPLEX.

Sé calculó la solución del modelo de la fase 1 cuatro veces debido a que la demanda varía por semana (Se analizaron las cuatro semanas). Se limitó el tiempo de resolución computacional a 10 horas por cada semana, debido a la capacidad de memoria limitada de la computadora utilizada para la ejecución del modelo

Los resultados obtenidos se detallan a continuación:

Semana 1

Función Objetivo de costo mínimo: Gs. $3.760.831+c_{ext}$

Tiempo de resolución: 10 horas

Nº de Variables: 32.469

Nº de Restricciones: 61.752

Las cantidades a comprar por producto de cada finca y la compra externa que se debe realizar para la semana se describen en la siguiente tabla.

Tabla 13. Cantidades de compra por producto y compra externa para la semana 1.

Semana1			
N°	Producto	Finca N°	Cantidad (Kg)
1	Cebolla	3	125,08
2	Locote	2	31,25
		59	15,95
3	Tomate	2	166,66
		11	97,65
4	Zanahoria	55	100,3
5	Lechuga	2	77,88
6	Poroto	24	53,1
8	Naranja	1	104,16
		2	368,75
		9	125
		31	137,5
		57	145,83
		59	125
		Compra externa	173,75

Fuente: Elaboración Propia

En la semana 1 se logró abastecer la demanda de los productos analizados con la producción local, excepto el producto 8 (naranja), que se deberá comprar de otras localidades para satisfacer la totalidad de la demanda.

La ruta óptima de recorrido para la recolección de los productos desde las fincas se puede apreciar a continuación:

Figura 4. Ruteo arrojado por CPLEX para la recolección de productos en la semana 1.

Obs: El nodo de inicio y fin es el nodo 1 que representa al depósito

Inicio y fin

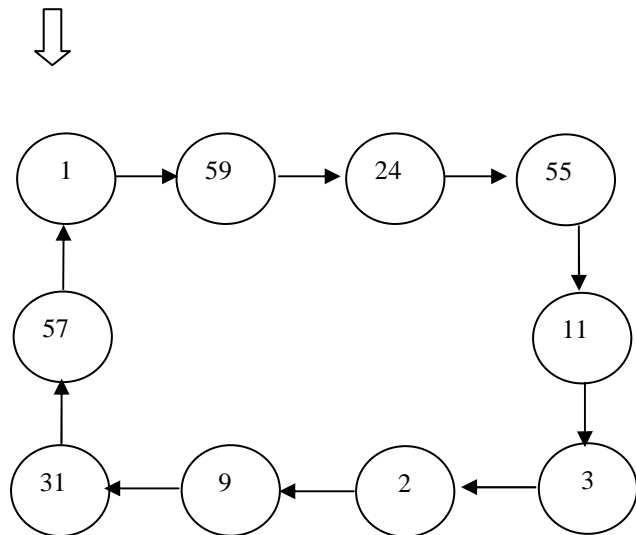


Figura 5. Puntos de la Ruta que se deben recorrer para la semana 1 en el mapa georreferenciado.



Semana 2

Función Objetivo de costo mínimo: Gs. 4.083.100+cext

Tiempo de resolución: 10 horas

Nº de Variables: 32.469

Nº de Restricciones: 61.752

Las cantidades a comprar por producto de cada finca y la compra externa que se debe realizar para la semana se describen en la siguiente tabla.

Tabla 14. Cantidades de compra por producto y compra externa para la semana 2.

Semana 2			
Nº	Producto	Finca Nº	Cantidad (kg)
1	Cebolla	3	82,6
2	Locote	2	31,25
		59	51,35
3	Tomate	2	166,66
		11	174,35
4	Zanahoria	55	129,8
5	Lechuga	2	51,92
6	Poroto	24	53,1
7	Arveja	59	2,5
		Compra externa	44,7
8	Naranja	1	104,16
		2	333
		57	145,83
		59	125

Fuente: Elaboración Propia

En la semana 2 se puede observar que se precisa realizar una compra externa del producto 7(arveja) debido a la limitada oferta del mismo. En cuanto al resto de productos se satisface con las ofertas locales.

La ruta óptima de recorrido para la recolección de los productos desde las fincas se puede apreciar a continuación

Figura 6. Ruteo arrojado por CPLEX para la recolección de productos en la semana 2.

Inicio y fin

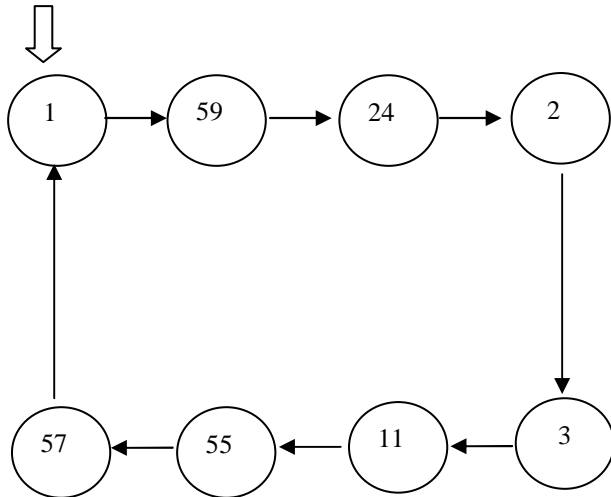
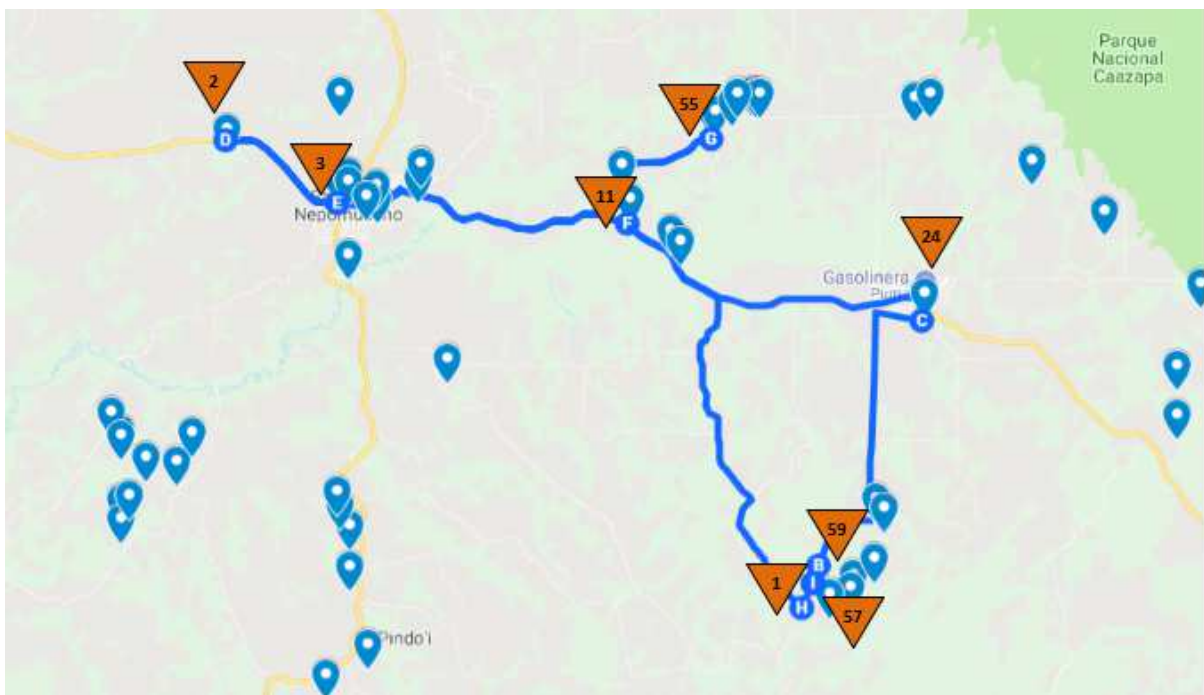


Figura 7. Puntos de la Ruta que se deben recorrer para la semana 2 en el mapa georreferenciado.



Semana 3

Función Objetivo de costo mínimo: Gs. 3.498.043

Tiempo de resolución: 10 horas

Nº de Variables: 32.469

Nº de Restricciones: 61.752

Las cantidades a comprar por producto de cada finca y la compra externa que se debe realizar para la semana se describen en la siguiente tabla.

Tabla 15. Cantidades de comprar por producto y compra externa para la semana 3.

Semana 3			
Nº	Producto	Finca Nº	Cantidad (kg)
1	Cebolla	3	112,1
2	Locote	2	31,25
		59	19,49
3	Tomate	2	166,66
		11	122,43
4	Zanahoria	55	123,9
5	Lechuga	2	77,88
6	Poroto	24	35,4
8	Naranja	1	104,16
		2	97
		57	145,83
		59	125

Fuente: Elaboración Propia

Se puede decir que en la semana 3 se cumple con la demanda con los productos ofertados por las fincas del distrito.

La ruta óptima de recorrido para la recolección de los productos desde las fincas se puede apreciar a continuación

Figura 8. Ruteo arrojado por CPLEX para la recolección de productos en la semana 3.

Inicio y fin

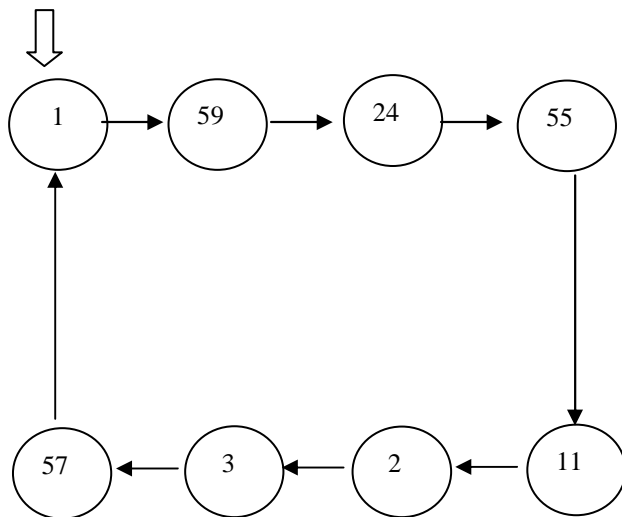
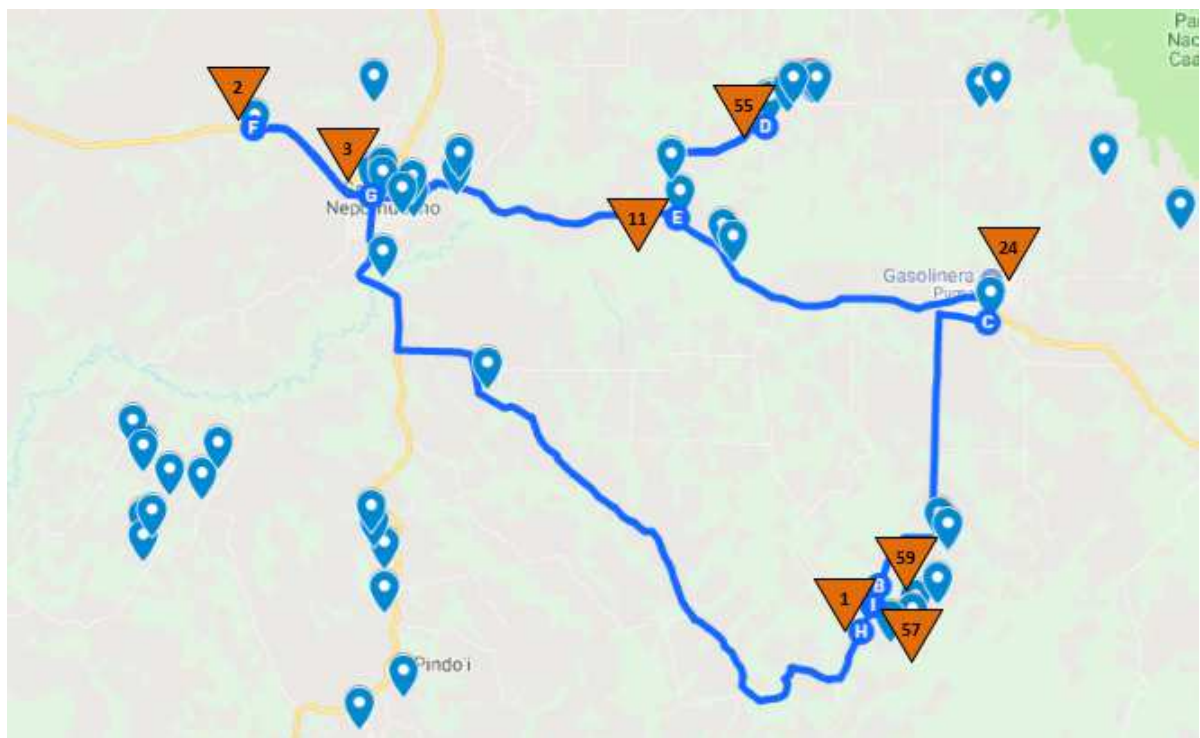


Figura 9. Puntos de la Ruta que se deben recorrer para la semana 3 en el mapa georreferenciado.



Semana 4

Función Objetivo de costo mínimo: Gs. 3.844.277

Tiempo de resolución: 10 horas

Nº de Variables: 32.469

Nº de Restricciones: 61.752

Las cantidades a comprar por producto de cada finca y la compra externa que se debe realizar para la semana se describen en la siguiente tabla.

Tabla 16. Cantidades de comprar por producto y compra externa para la semana 4.

Semana 4			
Nº	Producto	Finca Nº	Cantidad (kg)
1	Cebolla	3	112,1
2	Locote	2	31,25
		59	39,55
3	Tomate	2	166,66
		11	146,03
4	Zanahoria	55	153,4
5	Lechuga	2	77,88
6	Poroto	24	53,1
8	Naranja	1	104,16
		2	96,99
		57	145,83
		59	125

Fuente: Elaboración Propia

Los datos arrojados por el modelo revelan que no se requiere de compras externas para los productos en estudio en la semana 4.

La ruta óptima de recorrido para la recolección de los productos desde las fincas se puede apreciar a continuación

Figura 10. Ruteo arrojado por CPLEX para la recolección de productos en la semana 4.

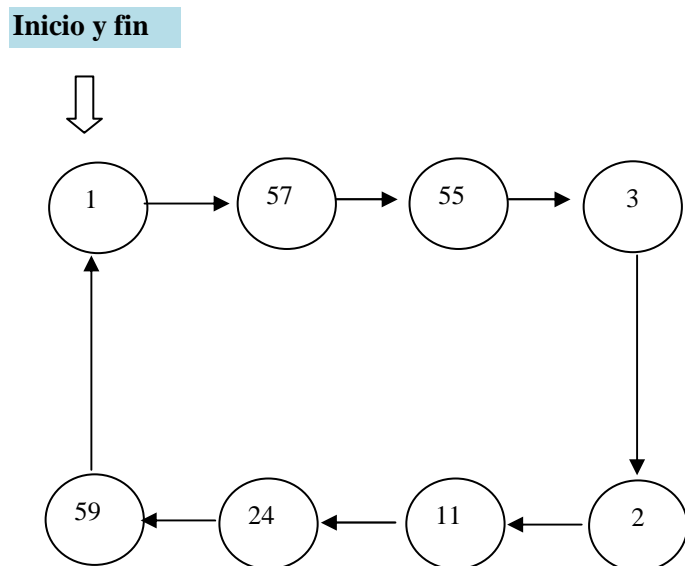
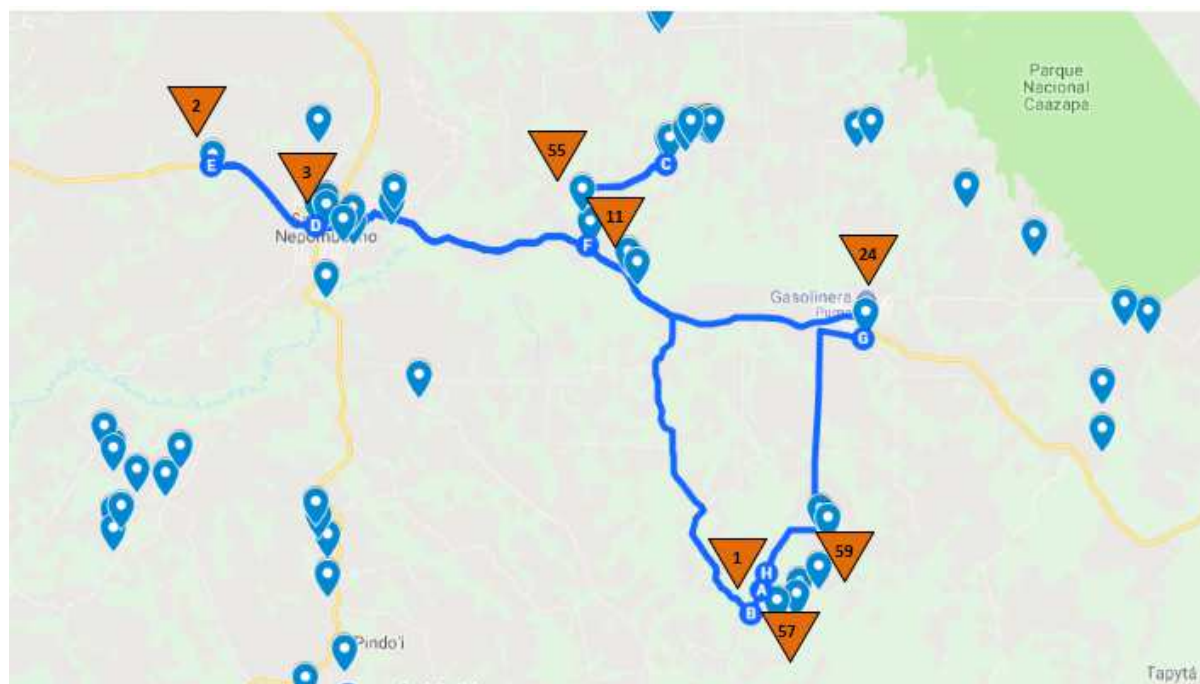


Figura 11. Puntos de la Ruta que se deben recorrer para la semana 4 en el mapa georreferenciado.



8.2 Resultados de la resolución del modelo matemático fase 2

Para resolver el segundo modelo se realizó la ejecución del mismo una sola vez ya que todas las escuelas deben ser visitadas cada semana y el recorrido será el mismo. Los resultados obtenidos se detallan a continuación:

Función Objetivo de costo mínimo: 339.993

Tiempo de resolución: 9 segundos

Nº de Variables: 240

Nº de Restricciones: 255

Figura 12. Ruteo arrojado por CPLEX para la distribución de productos a las escuelas.

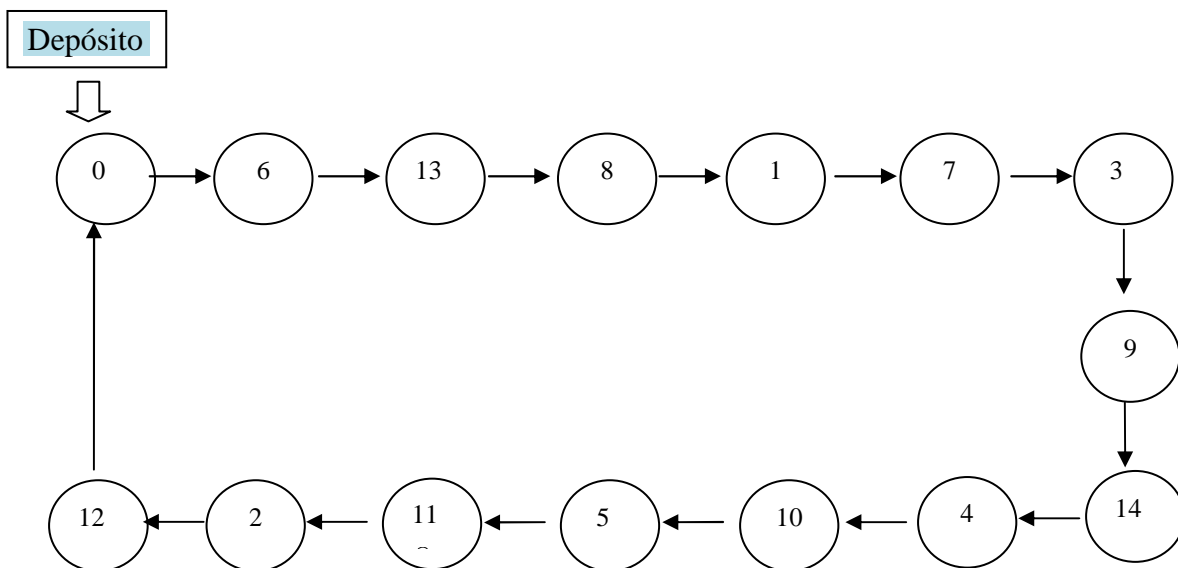
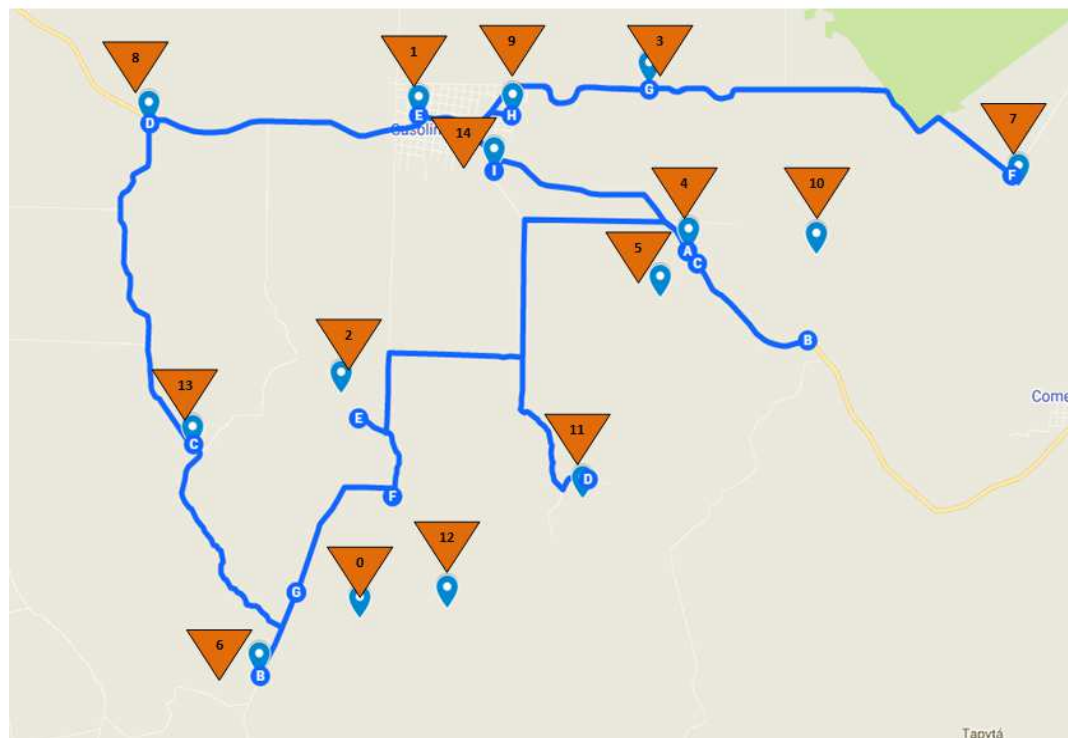


Figura 13. Puntos de la Ruta que se deben recorrer para la distribución de los productos a las escuelas en el mapa georreferenciado.



8.3 Resultados Generales

El costo total para el plan de abastecimiento correspondiente a 73 días de provisión de acuerdo al presupuesto del año es de 60.623.080 + cext, donde el primer sumando corresponde al costo total de la provisión (compras, recolección y distribución) desde las fincas agrícolas del distrito, mientras que el segundo, cext, representa el costo total por la compra de productos a otros proveedores o fincas de otras localidades. Los costos reales de compra externa no se analizaron para el modelo. A tal efecto, se incorporaron en el modelo costos cext, muy grandes, a fin de asegurar primeramente la provisión local o interna a costos conocidos (fincas agrícolas del distrito), y seguidamente comprar el faltante de manera externa (otros proveedores o fincas agrícolas fuera del distrito), a costos unitarios superiores que no contempla el estudio

VI. CONCLUSIÓN

Se diseñó un plan de abastecimiento de frutas y hortalizas utilizadas en los menús para el almuerzo escolar, proveído en las escuelas que cuentan con el beneficio del PAEP en el Distrito de San Juan Nepomuceno.

La solución calculada tiene un costo de 60.623.080 Gs para el plan de abastecimiento, sin considerar las compras externas. En este plan, aproximadamente el 92 % correspondió a la compra y recolección de los productos de las fincas familiares y el 8% a la distribución de los productos a las escuelas. La cantidad que no se pudo abastecer de manera local, se debe comprar externamente garantizando que cada porción de alimento exista en tiempo y forma.

Se diseñó mediante la técnica de programación lineal dos modelos matemáticos priorizando el cumplimiento de la demanda y la utilización de la producción local del distrito. El modelo 1 determinó qué cantidades de productos frutihortícolas se comprarán de cada finca y cuál es la ruta que se seguirá para la recolección de dichos productos. El modelo 2 determinó la ruta óptima a seguir para la distribución de los productos recolectados a las escuelas del distrito.

Para hacer este diseño: 1) Se obtuvo datos de georreferenciamientos tanto de las escuelas como de las fincas, con los cuales se calcularon las distancias entre ellas. También se ubicaron las escuelas y fincas en un mapa georreferenciado utilizando la aplicación google maps. 2) Se recabó parámetros técnicos relacionados con las fincas agrícolas del distrito, como la oferta anual por finca y por producto, de una base de datos del MAG correspondiente al año 2017. 3) A partir de los datos los productos agrícolas existentes en la zona y que podrían ser utilizados en la elaboración de los menús de almuerzo escolar detallados en la tabla 1. 4) Además se calculó la demanda de productos agrícolas de cada escuela para 73 días usando la lista de menús para el año escolar de la licitación para la provisión del almuerzo escolar.

Se obtuvo la solución del primer modelo en un tiempo de 10 horas de cálculo computacional por cada semana (40 horas totales), y la solución del segundo modelo en un tiempo de 9 segundos.

Se programaron ambos modelos matemáticos en el lenguaje de optimización IBM® ILOG CPLEX.

La solución calculada permitió planificar las decisiones de compra, recolección y distribución de productos frutihortícolas, es decir las cantidades a adquirir, de dónde es más conveniente comprar y cuál es el camino óptimo a seguir para la recolección y distribución a fin de reducir los costos involucrados en el proceso.

Cabe mencionar que el modelo que se propone puede ser replicable a otros distritos del país, con algunas modificaciones o nuevas restricciones que pudiesen aparecer.

Debido a la falta de acceso a datos sobre la situación actual de la provisión de almuerzo escolar en el distrito no se pudo realizar una comparación entre el escenario actual y el escenario propuesto en el presente trabajo.

VII. RECOMENDACIONES

- Promover una mayor organización de los agricultores familiares para consolidar el sistema de compras locales y darles mayor participación.
- Analizar la posibilidad, teniendo en cuenta los aspectos nutricionales, de incluir más platos de poroto en la planificación de los menús, debido a la gran cantidad de oferta en la zona.
- Incorporar costos por kilogramo de compra externa para cada producto, de manera a poder calcular exactamente el costo total de compra de productos frutihortícolas.
- Mayor asistencia técnica por parte de las autoridades correspondientes para la realización del plan de producción, teniendo en cuenta los insumos requeridos por los menús con el fin de abastecer la demanda de manera local.
- Mejorar la gestión en la base de datos del MAG con el fin de mantener los datos centralizados y completos.
- Informatizar los datos referentes a la producción de la zona en estudio, para poder obtener resultados más reales en la validación de los modelos matemáticos.
- Estudiar la posibilidad de crear un centro de acopio de los productos frutihortícolas cercano a las escuelas en donde los oferentes lleven sus productos para su venta.
- Analizar los costos externos para obtener el costo total de abastecimiento de frutas y hortalizas.
- Considerar todos los productos necesarios para la elaboración de los menús, como los productos cárnicos, maíz, fideos, entre otros para obtener un costo de abastecimiento total, ya que para el trabajo solo consideramos lo referente a las frutas y hortalizas que demanda el menú.
- Proponer un modelo unificado y comparar el desempeño con la propuesta.
- Proponer heurísticas y experimentos en casos más complejos diseñados sintéticamente.



VIII. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.



Ballou, Ronald H. (2004). Logística: administración de la cadena de suministro 5ta edición, México. Editorial Pearson.

Baranda D., Meza J., Galeano A. (2013). Estudio sobre las Particularidades Socioculturales relacionadas a la alimentación escolar y producción de la Agricultura Familiar en los distritos de Tavaí, Yhú y Horqueta de Paraguay.

Castillo, E., Conejo, A. Pedregal, P., García, R. Alguacil, N. (2002). Formulación y Resolución de modelos de programación matemática en Ingeniería y Ciencia.

Cuévas-Ortunño, J. y Gómez-Padilla, A. (2013). Un modelo de asignación-empaque de despensas personalizadas para bancos de alimentos: un sistema sujeto a condiciones nutricionales y logísticas

Dantzig, G. B., Fulkerson, R.; Johnson, S. M. (1959) Solution of a large-scale traveling salesman problem. Operations Research.

Decreto N° 2366 “Por el cual se reglamenta la ley N° 5210/14, alimentación escolar y control sanitario” el 7 de Octubre del 2014

Decreto N° 3.000. Por el cual se establece la modalidad complementaria de contratación denominada proceso simplificado para la adquisición de productos agropecuarios de la agricultura familiar, Asunción, Paraguay, 27 de enero de 2015.

Eppen, G.D., Gould F.J., Schmidt, C.P., Moore, H., Weatherford. R. (2000): Investigación de Operaciones en el Ciencia Administrativa. 5ta edición. México. Pearson.

Epstein, R., Henríquez, L., Catalán, J., Weintraub, G., Martínez, C., y Espejo, F.

(2004). A combinatorial auction improves school meals in Chile: a case of OR in developing countries. *International Transactions in Operational Research*

Escobar, E., Maldifassi J. O. (2003). Modelo de Optimización de la Logística de Distribución de una Empresa de Alimentación. V Congreso Chileno de Investigación Operativa. Valparaíso

FAO (2013) Alimentación Escolar y las posibilidades de compra directa de la Agricultura Familiar. Estudio de Casos en 8 países.

García, M. (2014). Problema del viajante de comercio (TSP). Métodos exactos de resolución. Universidad de la Laguna.

Gobernación de Caazapá. Licitación Pública Nacional N° 02/2017 “Provisión De Almuerzo Escolar - Plurianual 2017 y 2018.

González M (2014). Departamento de Modelación y Gestión Industrial .Facultad de Ingeniería, Universidad de Talca Chile.

Hernández R., Fernández C., Baptista P., (2006). Metodología de la Investigación. Cuarta edición. Mc Graw-Hill

Hillier y Lieberman (2010). Introducción a la Investigaciones de Operaciones. Novena Edición. McGraw-Hill/Interamericana Editores.

Informe de gestión período 2007-2009. Departamento de Caazapá. Municipalidad de San Juan Nepomuceno.

Ley N° 1535/99 de Administración Financiera del Estado. Que establece el marco general de organización y funcionamiento del sistema integrado de administración financiera.

Ley N° 2.051/2003 “De Contrataciones Públicas”. Establecimiento del Sistema de Contrataciones del Sector Público.

Ley N° 5.210. De alimentación escolar y control sanitario. Asunción, Paraguay 20 de junio de 2014.

Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) y GIZ (Cooperación Alemana al Desarrollo, PY). 2013. Sistemas sostenibles de producción para los principales cultivos agrícolas, hortícolas, forestales y agroforestales de la Región Centro del Paraguay. Asunción

Ministerio de Educación y Ciencias. (2015). Hacia una Política Pública de Alimentación Escolar.

Monterroso, E. (2000) El proceso Logístico y la Gestión de la Cadena de Abastecimiento.

Morgan, K. (2008). Greening the Realm: Sustainable Food Chains and the Public Plate. *Regional Studies*, 42(9), 1237-1250.

Ocaña, R. y Ramírez, C. (2007). Diseño de un modelo matemático para resolver problemas de ruteo vehicular capacitado con ventanas de tiempo. Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil Ecuador.

Olivera, A. (2004) Heurísticas para problemas de Ruteo de vehículos. Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.

Portal, C. (2012) Costos Logísticos, Asunción – Paraguay

Resolución N° 233. (2015). “Por la cual se deroga la resolución DNCP N° 980/2013 y se aprueba los pliegos de bases y condiciones estándar de adquisición de bienes para la alimentación escolar en las escuelas públicas, a través de procedimientos de contratación regidos por la ley N° 2051/03 de Contrataciones Públicas”

Resolución N° 128 (2015) “Por el cual se establecen requisitos y condiciones generales para

la Provisión del Almuerzo Escolar”

Resolución DNCP N° 1271. (2015) “Por el cual se actualizan las especificaciones técnicas de los alimentos incluidos en los pliegos estándar aprobados por la resolución DNCP N° 233/2015”

Resolución DNCP N° 2915. (2015). “Por la cual se aprueba el reglamento que establece el mecanismo para la aplicación de los requisitos de calificación de la compra a los productores de la Agricultura Familiar registrados en el MAG

Resolución N° 15866. (2015). Lineamientos técnicos administrativos y estándares para la implementación del Programa de alimentación escolar.

Resolución N° 536. (2016). “Por el cual se establecen los procedimientos administrativos para la entrega de informes del Programa “Alimentación Escolar del Paraguay”

Robbins, S.P y Coulter, M. (2005): Administración, 8va ed., México: Pearson Educación.

RUZ, J.J. (2013) Introducción a la programación matemática, Máster Universitario en Ingeniería de Sistemas y de Control.

Scenna, N. J. (1999). Modelado, simulación y optimización de procesos químicos.

Seiker, I., Haro, A., Cabrera, C., Muñoz, A.,Galdó, G. (2015). Evaluación nutricional de los menús servidos en las escuelas infantiles municipales de Granada.

Software Shop.Conozca GAMS.Consultado 25 de julio 2017.Disponible en:
<https://www.software-shop.com/producto/gams#NuevaImagen/0/>

Taha, H. A. (2012). Investigación de Operaciones. Séptima Edición. México: Pearson Educación.

Winston, W. 2004. Investigación de operaciones: Aplicación y Algoritmos. 4^a ed. México (MX): International Thomson Editores.

Ballesteros Silva.2015. Review of state of the art vehicle routing problem with pickup and delivery (VRPPD)

IX. APÉNDICE

Apéndice 1. Coordenadas Geográficas de las Escuelas beneficiadas por el PAEP en el distrito de San Juan Nepomuceno.

Nº	Escuelas	Coordenadas	
		Latitud	Longitud
1	Esc. Bás. N° 942 San Carlos - San Carlos	-26.132847	-55.8053536
2	Esc. Bás. N° 2190 San Mateo - Tebycuarymí	-26.1703789	-55.8175375
3	Esc. Bás. N° 4236 San Isidro - San Isidro	-26.1281633	-55.7691164
4	Esc. Bás. N° 4237 San Marcos - San Marcos Potrero Aguara	-26.1508711	-55.7630064
5	Esc. Bás. N° 5118 San José - San José Cristal	-26.1573369	-55.7673999
6	Esc. Bás. N° 5119 San Antonio - San Antonio Lorito	-26.2087199	-55.8305314
7	Esc. Bás. N° 6738 Sebastiana Ecurra - Asent. Ko'ëjurory	-26.1421283	-55.7111161
8	Esc. Bás. N° 7899 San Marcos -San Carlos	-26.13359556	-55.84781528
9	Esc. Bás. N° 4238 Virgen de Fátima - Bo. Fátima	-26.1324439	-55.7905851
10	Esc. Bás. N° 4235 Sagrado Corazón de María - Corazón de María	-26.1514923	-55.7429934
11	Esc. Bás. N° 5123 Sagrado Corazón de Jesús - Asent. Mandu'arä Tapytä	-26.1846433	-55.7796603
12	Esc. Bás. N° 7180 San Jorge - Asent. Mandu'arä Tapytä	-26.1995839	-55.8010005
13	Esc. Bás. N° 11807 Juan Bosco - Aracangy	-26.17773472	-55.84090778
14	Esc. Bás. N° 7910 Asentamiento Maria Auxiliadora	-26.13991	-55.7936

Apéndice 2. Coordenadas Geográficas de las fincas del distrito San Juan Nepomuceno analizadas en el modelo

Finca N°	Coordenadas Latitud/Longitud	Finca N°	Coordenadas Latitud/Longitud
1	-26.20105,-55.81475	31	-26.1991955,-55.938468
2	-26.100573, -55.968879	32	-26.2234728,-55.944385
3	-26.111874, -55.941398	33	-26.2168307,-55.934096
4	-26.110567, -55.938902	34	-26.1372280,-55.723108
5	-26.190024, -55.938572	35	-26.1191880,-55.752871
6	-26.092461, -55.839293	36	-26.1353050,-55.729028
7	-26.092370, -55.839686	37	-26.10837 ,-55.9210678
8	-26.092480, -55.838830	38	-26.11320,-55.93205
9	-26.1754980,-55.981168	39	-26.0935167,-55.799666
10	-26.092592, -55.838659	40	-26.06652 , -55.85127
11	-26.116384, -55.869627	41	-26.06576 , -55.85059
12	-26.108563, -55.871773	42	-26.092455, -55.837524
13	-26.1123967,-55.938816	43	-26.1156451,-55.934341
14	-26.152325,-55.914726	44	-26.1745710,-55.988633
15	-26.185322,-55.940916	45	-26.1839960,-55.994921
16	-26.1289339,-55.938816	46	-26.1682900,-55.994818
17	-26.123287,-55.859752	47	-26.1644980,-55.997186
18	-26.1822036,-55.941600	48	-26.1695060,-55.994921
19	-26.1083017,-55.921067	49	-26.1883450,-55.994883
20	-26.1259415,-55.857410	50	-26.1689110,-55.977258
21	-26.092311,-55.940916	51	-26.1833030,-55.992786
22	-26.20373,-55.81528	52	-26.153857,-55.734928
23	-26.1163732,-55.931855	53	-26.0925167,-55.795933
24	-26.1376579,-55.797272	54	-26.0547980,-55.819525
25	-26.186692,-55.807184	55	-26.096969, -55.849340
26	-26.11173,-55.9217638	56	-26.096596, -55.848770
27	-26.164933,-55.734991	57	-26.20548,-55.82055
28	-26.183654,-55.809065	58	-26.094401, -55.844427
29	-26.1860267,-55.807023	59	-26.19736,-55.80960
30	-26.107687,-55.770842	60	-26.092432, -55.843263

Apéndice 3. Demanda de los productos analizados y número de matriculados por escuela de la semana 1

Semana 1											
ÁREA	Nº	SAN JUAN NEPOMUCENO - Región 2	Matriculados	Cebolla	Locote	Tomate	Zanahoria	Lechuga	Poroto	Arveja	Naranja
ÁREA EDUCATIVA Nº 7 - SAN CARLOS	1	Esc. Bás. Nº 942 San Carlos - San Carlos	300	31,8	12	67,2	25,5	19,8	13,5	0	300
	2	Esc. Bás. Nº 2190 San Mateo - Tebycuarymí	46	4,876	1,84	10,304	3,91	3,036	2,07	0	46
	3	Esc. Bás. Nº 4236 San Isidro - San Isidro	43	4,558	1,72	9,632	3,655	2,838	1,935	0	43
	4	Esc. Bás. Nº 4237 San Marcos - San Marcos Potrero Aguara	67	7,102	2,68	15,008	5,695	4,422	3,015	0	67
	5	Esc. Bás. Nº 5118 San José - San José Cristal	98	10,388	3,92	21,952	8,33	6,468	4,41	0	98
	6	Esc. Bás. Nº 5119 San Antonio - San Antonio Lorito	90	9,54	3,6	20,16	7,65	5,94	4,05	0	90
	7	Esc. Bás. Nº 14527 Sebastiana Escurra - Asent. Ko'ëjurory	87	9,222	3,48	19,488	7,395	5,742	3,915	0	87
	8	Esc. Bás. Nº 7899 San Marcos San Carlos	45	4,77	1,8	10,08	3,825	2,97	2,025	0	45
ÁREA EDUCATIVA Nº 9 - Bo. FÁTIMA	9	Esc. Bás. Nº 4238 Virgen de Fátima - Bo. Fátima	153	16,218	6,12	34,272	13,005	10,098	6,885	0	153
	10	Esc. Bás. Nº 4235 Sagrado Corazón de María - Corazón de María	89	9,434	3,56	19,936	7,565	5,874	4,005	0	89
	11	Esc. Bás. Nº 5123 Sagrado Corazón de Jesús - Asent. Mandu'arä Tapytä	43	4,558	1,72	9,632	3,655	2,838	1,935	0	43
	12	Esc. Bás. Nº 7180 San Jorge - Asent. Mandu'arä Tapytä	44	4,664	1,76	9,856	3,74	2,904	1,98	0	44
	13	Esc. Bás. Nº 11807 Juan Bosco - Aracangy	39	4,134	1,56	8,736	3,315	2,574	1,755	0	39
	14	Esc. Bás. Nº 7910 Asentamiento María Auxiliadora	36	3,816	1,44	8,064	3,06	2,376	1,62	0	36
TOTAL			1180	125,08	47,2	264,32	100,3	77,88	53,1	0	1180

Apéndice 4. Demanda de los productos analizados y número de matriculados por escuela de la semana 2

Semana 2											
ÁREA	Nº	SAN JUAN NEPOMUCENO - Región 2	Matriculados	Cebolla	Locote	Tomate	Zanahoria	Lechuga	Poroto	Arveja	Naranja
ÁREA EDUCATIVA Nº 7 - SAN CARLOS	1	Esc. Bás. Nº 942 San Carlos - San Carlos	300	21	21	86,7	33	13,2	13,5	12	180
	2	Esc. Bás. Nº 2190 San Mateo - Tebycuaymí	46	3,22	3,22	13,294	5,06	2,024	2,07	1,84	27,6
	3	Esc. Bás. Nº 4236 San Isidro - San Isidro	43	3,01	3,01	12,427	4,73	1,892	1,935	1,72	25,8
	4	Esc. Bás. Nº 4237 San Marcos - San Marcos Potrero Aguará	67	4,69	4,69	19,363	7,37	2,948	3,015	2,68	40,2
	5	Esc. Bás. Nº 5118 San José - San José Cristal	98	6,86	6,86	28,322	10,78	4,312	4,41	3,92	58,8
	6	Esc. Bás. Nº 5119 San Antonio - San Antonio Lorito	90	6,3	6,3	26,01	9,9	3,96	4,05	3,6	54
	7	Esc. Bás. Nº 14527 Sebastiana Escurra - Asent. Ko'ëjurory	87	6,09	6,09	25,143	9,57	3,828	3,915	3,48	52,2
	8	Esc. Bás. Nº 7899 San Marcos San Carlos	45	3,15	3,15	13,005	4,95	1,98	2,025	1,8	27
ÁREA EDUCATIVA Nº 9 - Bo. FÁTIMA	9	Esc. Bás. Nº 4238 Virgen de Fátima - Bo. Fátima	153	10,71	10,71	44,217	16,83	6,732	6,885	6,12	91,8
	10	Esc. Bás. Nº 4235 Sagrado Corazón de María - Corazón de María	89	6,23	6,23	25,721	9,79	3,916	4,005	3,56	53,4
	11	Esc. Bás. Nº 5123 Sagrado Corazón de Jesús - Asent. Mandu'arä Tapytä	43	3,01	3,01	12,427	4,73	1,892	1,935	1,72	25,8
	12	Esc. Bás. Nº 7180 San Jorge - Asent. Mandu'arä Tapytä	44	3,08	3,08	12,716	4,84	1,936	1,98	1,76	26,4
	13	Esc. Bás. Nº 11807 Juan Bosco - Aracangy	39	2,73	2,73	11,271	4,29	1,716	1,755	1,56	23,4
	14	Esc. Bás. Nº 7910 Asentamiento María Auxiliadora	36	2,52	2,52	10,404	3,96	1,584	1,62	1,44	21,6
TOTAL			1180	82,6	82,6	341,02	129,8	51,92	53,1	47,2	708

Apéndice 5. Demanda de los productos analizados y número de matriculados por escuela de la semana 3

Semana 3											
ÁREA	Nº	SAN JUAN NEPOMUCENO - Región 2	Matriculados	Cebolla	Locote	Tomate	Zanahoria	Lechuga	Poroto	Arveja	Naranja
ÁREA EDUCATIVA Nº 7 - SAN CARLOS	1	Esc. Bás. Nº 942 San Carlos - San Carlos	300	28,5	12,9	73,5	31,5	19,8	9	0	120
	2	Esc. Bás. Nº 2190 San Mateo - Tebycuarymí	46	4,37	1,978	11,27	4,83	3,036	1,38	0	18,4
	3	Esc. Bás. Nº 4236 San Isidro - San Isidro	43	4,085	1,849	10,535	4,515	2,838	1,29	0	17,2
	4	Esc. Bás. Nº 4237 San Marcos - San Marcos Potrero Aguara	67	6,365	2,881	16,415	7,035	4,422	2,01	0	26,8
	5	Esc. Bás. Nº 5118 San José - San José Cristal	98	9,31	4,214	24,01	10,29	6,468	2,94	0	39,2
	6	Esc. Bás. Nº 5119 San Antonio - San Antonio Lorito	90	8,55	3,87	22,05	9,45	5,94	2,7	0	36
	7	Esc. Bás. Nº 14527 Sebastiana Escurra - Asent. Ko'ëjurory	87	8,265	3,741	21,315	9,135	5,742	2,61	0	34,8
	8	Esc. Bás. Nº 7899 San Marcos San Carlos	45	4,275	1,935	11,025	4,725	2,97	1,35	0	18
ÁREA EDUCATIVA Nº 9 - Bo. FÁTIMA	9	Esc. Bás. Nº 4238 Virgen de Fátima - Bo. Fátima	153	14,535	6,579	37,485	16,065	10,098	4,59	0	61,2
	10	Esc. Bás. Nº 4235 Sagrado Corazón de María - Corazón de María	89	8,455	3,827	21,805	9,345	5,874	2,67	0	35,6
	11	Esc. Bás. Nº 5123 Sagrado Corazón de Jesús - Asent. Mandu'arä Tapytä	43	4,085	1,849	10,535	4,515	2,838	1,29	0	17,2
	12	Esc. Bás. Nº 7180 San Jorge - Asent. Mandu'arä Tapytä	44	4,18	1,892	10,78	4,62	2,904	1,32	0	17,6
	13	Esc. Bás. Nº 11807 Juan Bosco - Aracangy	39	3,705	1,677	9,555	4,095	2,574	1,17	0	15,6
	14	Esc. Bás. Nº 7910 Asentamiento Auxiliadora María	36	3,42	1,548	8,82	3,78	2,376	1,08	0	14,4
TOTAL			1180	112,1	50,74	289,1	123,9	77,88	35,4	0	472

Apéndice 6. Demanda de los productos analizados y número de matriculados por escuela de la semana 4

Semana 4											
ÁREA	Nº	SAN JUAN NEPOMUCENO - Región 2	Matriculados	Cebolla	Locote	Tomate	Zanahoria	Lechuga	Poroto	Arveja	Naranja
ÁREA EDUCATIVA Nº 7 - SAN CARLOS	1	Esc. Bás. Nº 942 San Carlos - San Carlos	300	28,5	18	79,5	39	19,8	13,5	0	120
	2	Esc. Bás. Nº 2190 San Mateo - Tebycuarymí	46	4,37	2,76	12,19	5,98	3,036	2,07	0	18,4
	3	Esc. Bás. Nº 4236 San Isidro - San Isidro	43	4,085	2,58	11,395	5,59	2,838	1,935	0	17,2
	4	Esc. Bás. Nº 4237 San Marcos - San Marcos Potrero Aguara	67	6,365	4,02	17,755	8,71	4,422	3,015	0	26,8
	5	Esc. Bás. Nº 5118 San José - San José Cristal	98	9,31	5,88	25,97	12,74	6,468	4,41	0	39,2
	6	Esc. Bás. Nº 5119 San Antonio - San Antonio Lorito	90	8,55	5,4	23,85	11,7	5,94	4,05	0	36
	7	Esc. Bás. Nº 14527 Sebastiana Escurra - Asent. Ko'ëjurory	87	8,265	5,22	23,055	11,31	5,742	3,915	0	34,8
	8	Esc. Bás. Nº 7899 San Marcos San Carlos	45	4,275	2,7	11,925	5,85	2,97	2,025	0	18
ÁREA EDUCATIVA Nº 9 - Bo. FÁTIMA	9	Esc. Bás. Nº 4238 Virgen de Fátima - Bo. Fátima	153	14,535	9,18	40,545	19,89	10,098	6,885	0	61,2
	10	Esc. Bás. Nº 4235 Sagrado Corazón de María - Corazón de María	89	8,455	5,34	23,585	11,57	5,874	4,005	0	35,6
	11	Esc. Bás. Nº 5123 Sagrado Corazón de Jesús - Asent. Mandu'arä Tapytä	43	4,085	2,58	11,395	5,59	2,838	1,935	0	17,2
	12	Esc. Bás. Nº 7180 San Jorge - Asent. Mandu'arä Tapytä	44	4,18	2,64	11,66	5,72	2,904	1,98	0	17,6
	13	Esc. Bás. Nº 11807 Juan Bosco - Aracangy	39	3,705	2,34	10,335	5,07	2,574	1,755	0	15,6
	14	Esc. Bás. Nº 7910 Asentamiento Maria Auxiliadora	36	3,42	2,16	9,54	4,68	2,376	1,62	0	14,4
TOTAL			1180	112,1	70,8	312,7	153,4	77,88	53,1	0	472

Apéndice 7. Productos frutihortícolas requeridos en gramos por menú por plato en la semana 1

Frutas y Hortalizas utilizadas	Semana 1					Total Semanal por plato (gr)	Total Semanal por plato (kg)
	Menú 1	Menú 2	Menú 3	Menú 4	Menú 5		
	Soyo con ensalada y postre	Caldo/Sopa de poroto con arroz y zapallo con ensalada y postre	Estofado de pollo con papa con ensalada y postre	Picadito de carne con fideo con ensalada y postre	Guiso de arroz con pollo con ensalada y postre		
Ajo	0,2	1,2	1,2	0,2	1	3,8	0,0038
Cebolla	20	31	20	15	20	106	0,106
Locote	10		10	10	10	40	0,04
Tomate	51	30	41	56	46	224	0,224
Repollo	22			22		44	0,044
Zanahoria	11	11	41	11	11	85	0,085
Zapallo		30				30	0,03
Lechuga		22	22		22	66	0,066
Cebollita			5			5	0,005
Perejil			5			5	0,005
Poroto		45				45	0,045
Arveja						0	0
Papa			100			100	0,1
Naranja (200)	1	1	1	1	1	1000	1
Banana (100)						0	0

Apéndice 8. Productos frutihortícolas requeridos en gramos por menú por plato en la semana 2.

Frutas y Hortalizas utilizadas	Semana 2					Total Semanal por plato (gr)	Total Semanal por plato (kg)
	Menú 6	Menú 7	Menú 8	Menú 9	Menú 10		
	VoriVori con ensalada y postre	Tallarín con salsa de pollo con ensalada y postre	Guiso de poroto con fideo con ensalada y postre	Arroz Blanco con picadito de pollo con ensalada y postre	Estofado de carne con papa con ensalada y postre		
Ajo	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	6	0,006
Cebolla	20	15	15	20		70	0,07
Locote	10	10	20	10	20	70	0,07
Tomate	36	60	71	51	71	289	0,289
Repollo	22		22		22	66	0,066
Zanahoria	36	11	11	41	11	110	0,11
Zapallo	30		30			60	0,06
Lechuga		22		22		44	0,044
Cebollita			5	3,8		8,8	0,0088
Perejil						0	0
Poroto			45			45	0,045
Arveja					40	40	0,04
Papa					100	100	0,1
Naranja (200)		1	1		1	600	0,6
Banana (100)	1			1		200	0,002

Apéndice 9. Productos frutihortícolas requeridos en gramos por menú por plato en la semana 3.

Frutas y Hortalizas utilizadas	Semana 3					Total Semanal por plato (gr)	Total Semanal por plato (kg)
	Menú 11	Menú 12	Menú 13	Menú 14	Menú 15		
	Sopa/caldo de fideo con carne con ensalada y postre	Sopa/caldo de fideo con carne con ensalada y postre	Guiso de poroto con arroz con ensalada y postre	Guiso de fideo con pollo con ensalada y postre	Tallarín con salsa de carne con ensalada y postre		
Ajo		0,2		1	1,2	2,4	0,0024
Cebolla	20	20	20	20	15	95	0,095
Locote	3	10	10	10	10	43	0,043
Tomate	46	51	31	46	71	245	0,245
Repollo			22		22	44	0,044
Zanahoria	26	11	31	26	11	105	0,105
Zapallo	25	25	35			85	0,085
Lechuga	22	22		22		66	0,066
Cebollita						0	0
Perejil						0	0
Poroto		30				30	0,03
Arveja						0	0
Papa						0	0
Naranja (200 gr)		1		1		400	0,4
Banana (100 gr)	1		1		1	300	0,3

Apéndice 10. Productos frutihortícolas requeridos en gramos por menú por plato en la semana 4.

Frutas y Hortalizas utilizadas	Semana 4					Total Semanal por plato (gr)	Total Semanal por plato (kg)
	Menú 16	Menú 17	Menú 18	Menú 19	Menú 20		
	VoriVori con carne de pollo con ensalada y postre	Albóndigas de carne con arroz blanco con ensalada y postre	Picadito de pollo con papa con ensalada y postre	Caldo de poroto con fideo con ensalada y postre	Guiso de arroz con carne con ensalada y postre		
Ajo	1,2	1,2	1,2	1,2	1	5,8	0,0058
Cebolla	20	20	20	15	20	95	0,095
Locote	10	10	10	20	10	60	0,06
Tomate	36	61	51	71	46	265	0,265
Repollo			22		22	44	0,044
Zanahoria	36	11	61	11	11	130	0,13
Zapallo	30	40		30		100	0,1
Lechuga	22	22		22		66	0,066
Cebollita			3,8	1,5		5,3	0,0053
Perejil						0	0
Poroto				45		45	0,045
Arveja						0	0
Papa			100			100	0,1
Naranja (200)		1		1		400	0,4
Banana (100)	1		1		1	300	0,3

Apéndice 11. Resolución mediante modelación matemática utilizando IBM ILOG CPLEX

Primer modelo matemático en CPLEX para la compra y recolección de los productos utilizados para las 4 semanas. Los datos relacionados con la demanda varían por semana.

```

/*****
 * OPL 12.6.0.0 Model
 * Author: Admin-CIA
 * Creation Date: ene 4, 2018 at 3:27:39 p.m.
 *****/
//Subíndices y constantes
//Conjunto de nodos
int n=...;
range N=1..n;

//Conjunto de productos
int nproducto=...;
range producto=1..nproducto;

//costo externo
int cext= 1000000;

//valor de la M
int M=10000;

//Capacidad del camión
int cap=3700;

//tuple
tuple rutaproductos
{
float p ;
float o;
float c;
}
{ rutaproductos} Rutaproductos=...;
tuple rutas
{
float p ;
float o;
}
{ rutas} Rutas={<p,o>|<p,o,c> in Rutaproductos};

float costos [Rutas]=[<t.p,t.o>:t.c| t in Rutaproductos ];
tuple rutaproducto
{
float o;

```

```

float d;
float ct;
}
{ rutaproducto} Rutaproducto=...;
tuple ruta
{
float o;
float d;
}
{ ruta} Ruta={<o,d>|<o,d,ct> in Rutaproducto};

float costost [Ruta]=[<t.o,t.d>:t.ct | t in Rutaproducto ];

//Parámetros
//Demanda de las escuelas
float dem[producto]=...;

//Oferta de las fincas
float ofer[N][producto]=...;

//DEFINICIÓN DE VARIABLES
dvar float+ x[producto][N][N];

//VARIABLE BINARIA
dvar int y[N][N] in 0..1;

//Cantidad de compra externa
dvar float+ xext[producto];
dvar float u[N];

//Función objetivo

minimize
  (sum(k in producto, j in N, i in N)(costos [<k,i>]*x[k,i,j]))+
  (sum(j in N, i in N)(costost [<i,j>]*y[i,j]))+ (sum(k in
producto)(xext[k]*cext));

// Restricciones
subject to {
forall (j in N, i in N, k in producto:i==j)
x[k,i,j]== 0;

// A una finca se llega una sola vez
forall (j in N)
sum (i in N:i!=j )y[i,j]<=1;

// De una finca se parte una sola vez o no se parte
forall (i in N)
sum (j in N:i!=j)y[i,j]<=1;

```

```

//No superar la oferta de cada finca
forall (j in N, i in N, k in producto)
x[k,i,j]<= ofer[i,k];

//Restricción de balance
forall (s in N)
sum (i in N:i!=s)y[i,s]-sum (j in N:j!=s)y[s,j]==0;

// Eliminación de subtour

forall (i in N:i!=1)
    forall (j in N:j!=1!=i)
        if(i!=j)
            u[i]- u[j] + n*y[i,j] <=(n - 1);

//DEMANDA
forall (k in producto)
sum (i in N, j in N)x[k,i,j]+ xext[k]==dem[k];

// Se inicia y se culmina en el depósito
sum (i in N)y[i,1]==1;
sum (j in N)y[1,j]==1;

// Capacidad del camión

sum (k in producto,i in N, j in N)x[k][i][j]<=cap;

//Restricción auxiliar
forall (i in N, k in producto, j in N)
x[k,i,j]<=M*y[i,j];
}
tuple resultados
{
float p ;
float o;
float d;
float valor;
}
{ resultados} Resultados={<a,b,d,x[a][b][d]>|a in producto,b in N, d in

```

Conexión con la hoja de cálculo Excel para la fase 1

```

/*****
* OPL 12.6.0.0 Data
* Author: Admin-CIA
* Creation Date: mar 9, 2018 at 4:12:51 p.m.
*****/
SheetConnection sheet ("RUTEO sem3.xlsx");

//Definición de subíndices
n from SheetRead (sheet, "n");

```

```

nproducto from SheetRead (sheet, "nproducto");

//Carga de datos
dem from SheetRead (sheet, "demanda");
ofer from SheetRead (sheet, "oferta");
Rutaproductos from SheetRead (sheet, "costop");
Rutaproducto from SheetRead (sheet, "costot");

//Resultados
Resultados to SheetWrite (sheet, "Result3");

```

Segundo modelo matemático en CPLEX para la distribución de los productos a las escuelas.

```

/*****
 * OPL 12.6.0.0 Model
 * Author: emi
 * Creation Date: 27/02/2018 at 18:15:34
 *****/
//Número de nodos n:
int n=...;

//Conjunto de nodos:
range N=1..n;

//Definición de parámetros:

//Costo de transportar del nodo i al nodo j:
float ct[N][N]=...;

//Definición de variables:
dvar boolean y[N][N];
dvar float+ u[N];

//Función objetivo: Minimizar las suma de costos, sin incluir la diagonal (i,i)
minimize sum(i in N)sum(j in N:i!=j)(ct[i][j]*y[i][j]);

//Sujeto a
subject to { //Abierto

//Restricciones de asignación:
forall (j in N)
sum(i in N:i!=j)y[i][j]==1;

```

```

forall (i in N)
sum(j in N:i!=j)y[i][j]==1;

//Restricciones de eliminación de Subtours

forall (i in N)
{
forall (j in N: j!=1 && i!=1)
{
u[i]-u[j]+1<=n*(1-y[i][j]);
}
}
u[1]==1;

forall (i in N: i!=1)
{
u[i]>=2;
u[i]<=n;
}
} //Cerrado

/*****
* OPL 12.6.0.0 Data
* Author: emi
* Creation Date: 27/02/2018 at 18:15:34
*****/
Conexión con Excel para la fase 2

// a) Lectura de datos:
SheetConnection sheet("RUTE0 sem1.xlsx");

n from SheetRead (sheet, "n");

ct from SheetRead (sheet, "costot");

// b) Grabación de solución:
y to SheetWrite (sheet, "result");

```

X. ANEXO



Foto 1. Visita a productores agrícolas.



Foto 2. Visita a productores agrícolas.



Foto 3. Plantación de hortalizas de fincas visitadas.



Foto 4. Plantación de hortalizas de fincas visitadas.



Foto 5. Congelador utilizado para el almacenamiento de alimentos.



Foto 6. Sala destinada para almacenamiento de materia prima e insumos



Foto 7. Heladera utilizada para almacenamiento de alimentos.



Foto 8. Comedor para almuerzo escolar.