

FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICAS

PROYECTO DE TITULACIÓN

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:
MAGÍSTER EN LOGÍSTICA Y TRANSPORTE CON MENCIÓN EN
MODELOS DE OPTIMIZACIÓN**

TEMA:
LOCALIZACIÓN DE UN CENTRO DE ACOPIO, PARA LA COMPRA,
ALMACENAMIENTO Y COMERCIALIZACIÓN DE MAÍZ EN LA
COSTA ECUATORIANA.

AUTOR:
JOSÉ ALEXANDER BAZURTO AYALA

Guayaquil - Ecuador

2023

RESUMEN

Este trabajo de investigación tiene como finalidad encontrar una ubicación optimizada de un centro de acopio para la comercialización de maíz con agricultores y la industria consumidora de esta gramínea en la costa ecuatoriana, mediante un modelo matemático analizando los datos de hectáreas sembradas y cosechadas, precios de comercialización, volúmenes de producción por provincia y cantón, elaborando tablas de distancias y fletes entre los cantones donde se cosecha el grano y los cantones donde se encuentra la industria. Se obtuvo información inicial en diferentes instituciones públicas acreditadas sobre: las hectáreas utilizadas para la siembra y cosecha de maíz en 21 provincias en el año 2021, los volúmenes de producción en 71 cantones y la demanda de consumo en 15 cantones donde reside las industrias que recibe el grano.

Se elaboró la red de transporte determinando las distancias entre cantones, se obtuvo los costos de una empresa dedicada a la transportación de materia prima al granel en vehículos especializados T3S3 con el fin de elaborar una tabla de fletes. Se realizó el tratamiento de los datos para tomar en cuenta los cantones de mayor relevancia en el origen y en destino, con la información depurada se ejecuta el modelo matemático, mismo que determinó que la ubicación óptima de un centro de acopio que permite un mayor beneficio considerando los precios de compra, transporte y comercialización a la industria es el cantón Quevedo, así mismo el modelo indica que el cantón donde se debe dirigir el producto como destino es Manta.

Finalmente, se realizó una evaluación entre los resultados del modelo optimizado y los resultados obtenidos en un centro de acopio tradicional en el año 2021, obteniendo una mejora de 26% en sus utilidades brutas y una disminución en los costos de transporte en 9%.

Palabras clave: Centro de Acopio, Industria, Maíz, Agricultor, Precios.

ABSTRACT

The purpose of this research work is to find an optimized location for a collection center for the commercialization of corn with farmers and the industry that consumes this grass on the Ecuadorian coast through a mathematical model analyzing the data of sown and harvested hectares, commercialization prices, production volumes by province and canton, preparing distance and freight tables between the cantons where the grain is harvested and the cantons where the industry is located. Initial information was obtained in different accredited public institutions on: the hectares used for planting and harvesting corn in 21 provinces in the year 2021, the production volumes in 71 cantons and the consumption demand in 15 cantons where the receiving industries reside the grain.

The transport network was elaborated determining the distances between cantons, the costs of a company dedicated to the transportation of raw material in bulk in specialized vehicles T3S3 were obtained in order to elaborate a freight table. The data treatment was carried out to take Taking into account the most relevant cantons at the origin and destination, with the refined information, the same mathematical model was executed, which determined that the optimal location of a collection center that allows a greater benefit considering the prices of purchase, transport and commercialization to the industry is Quevedo, likewise the model indicates that the canton where the product should be directed as a destination is Manta.

Finally, an evaluation was made between the results of the optimized model and the results obtained in a traditional collection center in the year 2021, obtaining an improvement of 26% in its gross profits and a decrease in transportation costs by 9%.

Keywords: Collection Center, Industry, Maize, Farmer, Prices.

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo, a mi querida madre por ser esa persona incondicional que siempre me fomenta a seguir adelante. A mi esposa e hijos Daniel, Belén y Ricardo que son mi motor, apoyo e inspiración para mejorar continuamente y ser el ejemplo de que las metas se alcanzan con esfuerzo, paciencia y esmero y finalmente a mis hermanas que siempre confían en mí.

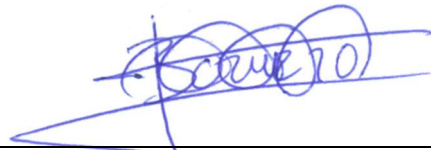
AGRADECIMIENTO

Agradezco primero a Dios por permitirme alcanzar una meta más en mi vida profesional, por la salud y sabiduría otorgada. También, a mi madre por sus consejos valiosos, a mi esposa e hijos por el apoyo incondicional y paciencia durante este tiempo de estudio para alcanzar este objetivo. Finalmente, a mi Tutor de Tesis por los consejos impartidos para la mejorar de este trabajo.

DECLARACIÓN EXPRESA

La responsabilidad por los hechos y doctrinas expuestas en este Proyecto de Titulación me corresponde exclusivamente y ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría. El patrimonio intelectual del mismo corresponde exclusivamente a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'José Alexander Bazarro Ayala', written over a horizontal line.

José Alexander Bazarro Ayala

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

KLEBER BARCIA VILLACRESES, PhD.
PRESIDENTE

XAVIER CABEZAS GARCÍA, PhD.
DIRECTOR

M.Sc. CARLOS RONQUILLO FRANCO
VOCAL

ABREVIATURAS O SIGLAS

T3S3	Tracto camión de tres ejes con semirremolque de tres ejes.
SRI	Servicio de Rentas Internas.
MAG	Ministerio de Agricultura y Ganadería.
SIPA	Sistema de Información Público Agropecuario.
INEC	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos.
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura.
GRG	Gradiente Reducido Generalizado
qq	Quintales
Tm	Toneladas métricas
Km	Kilómetros

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1.....	1
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 ANTECEDENTES.....	1
1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	2
1.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	4
1.4 OBJETIVO GENERAL	5
1.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
CAPÍTULO 2.....	6
2 MARCO TEÓRICO	6
2.1 PLAN DE CREACION DE OPORTUNIDADES 2021-2025 DE ECUADOR 6	
2.2 EL MAÍZ (COMPONENTES).....	6
2.3 COSECHA Y PRODUCCIÓN DE MAÍZ DURO	7
2.4 CENTROS DE ACOPIO.....	10
2.5 TRANSPORTE DE MAÍZ.....	12
2.6 CONSUMO DEL MAÍZ EN LA INDUSTRIA	13
2.7 MODELOS MATEMÁTICOS.....	13
2.8 CLASIFICACIÓN DE LOS MODELOS MATEMÁTICOS	15
2.9 OPTIMIZACIÓN	16
2.10 MODELIZACIÓN DE PROBLEMAS MATEMÁTICOS	18
2.10.1 Programación lineal (PL).....	18
2.10.2 Programación lineal mixta entera (MILP).....	19
2.10.3 Programación no lineal (NLP)	19
2.10.4 Programación no lineal mixta entera (MINLP).....	20
2.11 TRABAJOS RELACIONADOS	20
CAPÍTULO 3.....	22
3 METODOLOGÍA.....	22
3.1 ETAPA 1	22

3.1.1	Selección de los datos.....	22
3.1.2	Análisis de la información de la siembra y comercialización del maíz. 23	
3.1.3	Base de datos y tratamiento.....	26
3.2	ETAPA 2.....	32
3.2.1	Precios Referenciales de Transporte.....	32
3.3	ETAPA 3.....	33
3.3.1	Distancias entre ciudades productoras e industrias.....	33
3.3.2	Precio promedio de compra maíz de los centros de acopio en cantones productores.....	35
3.4	ETAPA 4.....	38
3.4.1	Modelo Matemático implementado para la ubicación de un centro de acopio. 38	
3.4.2	Desarrollo del modelo matemático.....	39
3.4.3	Herramienta Utilizada.....	41
	CAPÍTULO 4.....	42
4	RESULTADOS.....	42
4.1	Diagrama de Pareto cantones productores.....	42
4.2	Resultados de la aplicación del modelo Matemático.....	44
4.3	Evaluación de los resultados de un centro de acopio tradicional.....	45
4.4	Evaluación final de un centro de acopio optimizado vs centro de acopio tradicional.....	47
	CAPÍTULO 5.....	48
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	48
5.1	Conclusiones.....	48
5.2	Recomendaciones.....	49
6	BIBLIOGRAFÍA.....	50
7	ANEXOS.....	56

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1.1 .-Esquema de un centro de acopio de maíz. Autor: (Bazurto, 2023)	3
Figura 2.1 .-Estructura del grano del maíz. Fuente: (Martínez Manrique & Jiménez Vera, 2023)	7
Figura 2.2.Principales productores de maíz del mundo al 2021. Fuente:(statica, 2023).....	8
Figura 2.3 Superficie y producción en Ecuador de productos de cultivos transitorios al 2021. Fuente: (INEC, 2022).....	9
Figura 2.4.- Muestra los tipos de almacenaje utilizados para centros de acopio. Fuente:(a)(Ribeiro M. P., 1993); (b)(Cordoba, s. f.); (c)(agroempresario.com, s. f.)	11
Figura 2.5. Proceso de modelización. Fuente: (Brito-Vallina et al., 2011).....	14
Figura 2.6 Elementos de un modelo matemático. Fuente:(ADENSO et al., 2021)	15
Figura 2.7.- Clasificación de los modelos matemáticos. Fuente: (Alzate, 2022) ...	16
Figura 2.8 .- División de la optimización. Fuente:(Bermúdez Colina, 2011).....	17
Figura 3.1.-Selección de columnas de los datos abiertos del INEC, MAG y SRI para la investigación. Fuente: Elaboración Propia.	26
Figura 3.2.- Captura de pantalla de la búsqueda de un RUC, Fuente: (SRI, 2023)	27
Figura 3.3.- Visualización de los Cantones productores de maíz a nivel nacional. Herramienta Google maps distancias. Fuente: Elaboración Propia.....	29
Figura 3.4.-Visualización de los cantones donde se encuentra la industria de maíz a nivel nacional. Herramienta Google maps. Fuente: Elaboración Propia.	31
Figura 3.5.-Rutas de la red de transporte entre las ciudades productoras y ubicaciones de las industrias. Herramienta Google maps distancias. Fuente: Elaboración Propia.....	33
Figura 4.1.-Diagrama de Pareto de la siembra del maíz. Fuente: Elaboración Propia.....	42
Figura 4.2.-Tendencia de los rangos de distancias recorridos vs las KM/TM. Fuente: Elaboración propia.	43
Figura 4.3.- Ruta Quevedo – Manta. Fuente: Elaboración propia.	45
Figura 4.4.-Ruta Quevedo – Quito Centro de acopio tradicional. Fuente: Elaboración propia.	46

LISTADO DE TABLAS

Tabla 2.1.-Valores ponderados y estandarizados a 13% humedad y 1% impureza.	10
Tabla 2.2.- Costos de transporte.....	12
Tabla 3.1.-Porcentajes por provincias de hectáreas sembradas y cosechadas....	23
Tabla 3.2.-Resumen de la producción en toneladas de maíz por provincia del periodo 2021.	24
Tabla 3.3.- Productividad por provincia.....	25
Tabla 3.4.- Descripción de los campos de la base de los cantones que producen maíz.	26
Tabla 3.5.- Ubicación geográfica mediante coordenadas de 37 cantones que representan el 94% de la siembra en Ecuador en 2021.	28
Tabla 3.6.- Información geográfica mediante coordenadas de los cantones donde se establecen las industrias que consumen el maíz.	30
Tabla 3.7.-Referencia de valores para la determinación del costo de transporte..	32
Tabla 3.8.-Distancias en kilómetros entre las ciudades productoras de maíz y las ciudades donde se encuentran las industrias.	34
Tabla 3.9.- Ejemplo de un registro de datos de la comercialización de maíz de centros de acopio hacia la industria.....	35
Tabla 3.10.- Precio de compra de maíz centros de acopio hacia agricultores por cantón.	36
Tabla 3.11.- Ejemplo de un registro de los datos obtenidos del Sistema de Información Pública Agropecuaria	37
Tabla 3.12.- Precio de comercialización en cantones donde se encuentran establecidas las industrias en base a la información de la tabla anterior.....	37
Tabla 4.1.- Análisis de cantones productores	43
Tabla 4.2.-Costos de Km por TM por rangos de distancias.	44
Tabla 4.3.- Evaluación de una compra de 5000 Tm y los costos unitarios en qq.	44
Tabla 4.4.Evaluación de resultados 2021 Centro de acopio Tradicional.....	46
Tabla 4.5.- Evaluación Resultados centro de acopio tradicional vs Centro de acopio Optimizado.	47

CAPÍTULO 1

1 INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

Los centros de acopio comercializan maíz desde los diferentes cantones productores, bajo un esquema de conocimiento empírico de los ciclos y volúmenes de producción de la zona maicera. En los cantones donde los precios de comercialización son similares el factor clave para las negociaciones es la distancia que existe entre productores, centro de acopio e industria consumidora de maíz. Cuando existe mayor distancia, el costo de transporte se eleva; y, por tanto, se reducen los beneficios económicos dado que los costos operativos se incrementan.

La importancia de este trabajo se centra en presentar un modelo de optimización de la posición geográfica para centros de acopio de maíz. Esta optimización propone que los centros de acopio encuentren localidades estratégicas de tal forma que la oferta y demanda del producto se dinamice porque los beneficios económicos serán compartidos por los actores principales de la cadena de suministro: agricultor, centro de acopio e industria consumidora de maíz.

La dinamización de la economía desde el punto vista agroindustrial que se busca con la optimización la cual se plantea se apeg a la matriz de objetivos para el desarrollo nacional formulados en el Plan de Creación de Oportunidades.

El presente trabajo pretende utilizar técnicas de optimización para determinar la ubicación geográfica de un centro de acopio de tal forma que maximice sus ganancias de acuerdo con los precios de comercialización. Además, se busca implementar un modelo matemático que permita encontrar la ubicación óptima de un centro de acopio, considerando distintas variables como distancia y precios de comercialización.

Inicialmente se realiza la recolección de datos desde el sitio web del Ministerio de Agricultura y el Servicio de Rentas Internas (SRI). Con los datos adquiridos pasamos a la etapa preprocesamiento que permite obtener un conjunto de datos segmentado por cantones. Posteriormente se definen las variables que intervendrán en el modelo, se formula el modelo y se procede a realizar la validación de este.

1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En la comercialización del maíz, el primer proceso que se realiza es la compra de la gramínea. Existen varias condiciones para realizar la compra del maíz, siendo una de las más importantes la distancia donde se encuentra el producto (maíz) en relación con el centro de acopio. Esto afecta a la compra, porque, los agricultores ofrecen su producción al centro de acopio más cercano que le produce mayores ingresos por ciclo productivo al reducirse los costos de transporte. Además, se debe considerar que, al inicio de la cosecha el gobierno establece una tabla de precios, donde se sustenta el rango de estos (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2021). La base de las negociaciones es el precio mínimo establecido por el Ministerio de Agricultura.

Los centros de acopio negocian con los agricultores agregando nuevas variables a tomarse en cuenta. Entre estas variables podemos mencionar el peso y la calidad. La calidad depende de las características de humedad, cantidad de granos partidos y podridos, hongos y daño por acción de los insectos. Esto hace que los precios de compra (por parte de los centros de acopio) varíe significativamente. Además, otra variable importante que entra en juego es la oferta y la demanda del grano según la época (Velásquez et al., 2023).

Una vez que los centros de acopio adquieren suficiente maíz para abastecer las necesidades de la industria, se inicia el proceso de venta. El proceso inicia analizando las propuestas de los industriales en cuanto al precio y calidad que requieren. Un parámetro importante se refiere a la humedad de la gramínea que no debe sobrepasar el 13% para que esté en condiciones óptimas. También, las

impurezas tienen un efecto en el costo de venta dado que no puede rebasar el 1%. Las industrias que pugnan por el maíz están localizadas principalmente en las grandes urbes como Guayaquil, Quito, Ambato, entre otros, como se puede observar en la Figura 1.1.

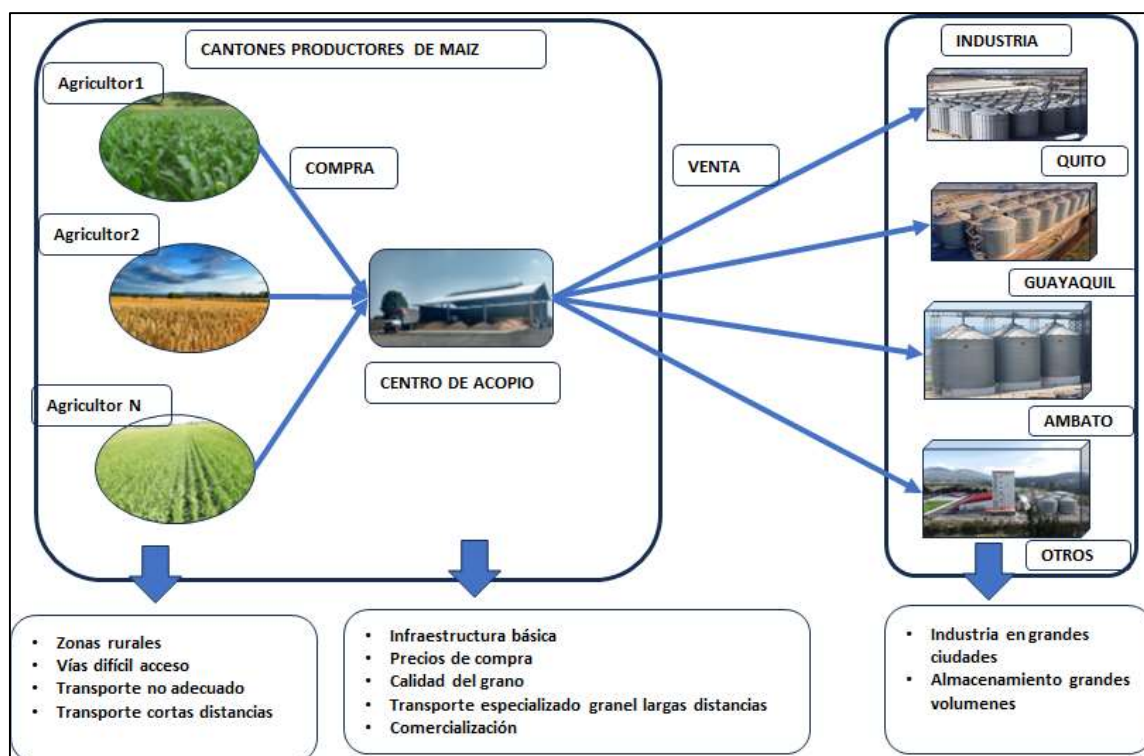


Figura 1.1.-Esquema de un centro de acopio de maíz. Autor: (Bazurto, 2023)

Sin embargo, existe otra variable muy influyente en el precio de venta que es la distancia desde el centro de acopio hacia la industria, este costo, suele ser cubierto por el centro de acopio. Esto representa un reto dado que se debe contratar el transporte para realizar la entrega del maíz y los costos de fletes son directamente proporcional a la distancia entre el centro de acopio y la industria. Por tanto, esto reduce el margen de ganancia y hace que las negociaciones se extiendan; y, en el peor de los casos, no se concrete. Además, existe incertidumbre por las fluctuaciones del precio de acuerdo con la oferta y la demanda donde las condiciones de distancia, precio y calidad son preponderantes. Se debe resaltar que la tabla de precios que da el gobierno se aleja de la realidad de estas negociaciones entre los centros de acopio y las industrias. Con los antecedentes

expuestos existe una realidad inequívoca: la ubicación geográfica de un centro de acopio es fundamental para obtener mayor rentabilidad en la comercialización del maíz.

1.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

El Plan de Creación de Oportunidades 2021-2025 establece implementar soluciones reales a las personas para transformar al Ecuador en un país próspero. El sector productivo del Ecuador en el periodo de marzo a diciembre del 2020, generó pérdidas por 10.905 millones de dólares, según la Secretaría Nacional de Planificación esto se debe a los efectos de la pandemia que generó un impacto negativo en el desarrollo económico del país y en especial el sector productivo. Para recuperar la normalidad en las actividades productivas en el área agrícola se requiere de oportunidades para todos sus participantes. Estas oportunidades deben apuntar a ser sostenibles y sustentables; por lo tanto, se deben hacer esfuerzos para fortalecer y generar la infraestructura necesaria para el normal desenvolvimiento de las actividades productivas que conlleven a obtener costos competitivos. El plan establece modelos de asociatividad productiva y comercial para mejorar las ganancias de los productores, crear oportunidades y progreso económico en todos los sectores productivos

El eje económico del Plan de Creación de Oportunidades 2021-2025 contiene tres objetivos. El objetivo tres expresa textualmente: *“Fomentar la productividad y competitividad en los sectores agrícola, industrial, acuícola y pesquero, bajo el enfoque de la economía circular”* (Secretaría Nacional de Planificación, 2021). Esto significa que cualquier esfuerzo que se realice para lograr el objetivo tres aporta al cumplimiento de los objetivos nacionales de desarrollo. El trabajo de investigación optimiza la ubicación de un centro de acopio para mejorar la comercialización del maíz fomentando la productividad y la competitividad en el sector agrícola e industrial relacionados al maíz.

1.4 OBJETIVO GENERAL

Localizar, un centro de acopio para la comercialización de maíz en la costa ecuatoriana mediante el uso de un modelo matemático para minimizar los costos operativos.

1.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudiar la producción de la cosecha a través de la información de hectáreas cultivadas en el país;
- Determinar los costos operativos de almacenamiento y transporte del maíz a comercializar estableciendo los costos por procesos;
- Aplicar un modelo matemático para localizar la ubicación óptima de un centro de acopio en base al menor costo, utilizando algoritmos de ubicación;
- Comparar los costos de un centro de acopio tradicional (EXISTENTE) vs un centro de acopio CON SU UBICACIÓN optimizada en base a su ubicación para determinar el ahorro.

CAPÍTULO 2

2 MARCO TEÓRICO

2.1 PLAN DE CREACION DE OPORTUNIDADES 2021-2025 DE ECUADOR

El Plan de Creación de Oportunidades 2021-2025 fue aprobado el 20 de septiembre del 2021 por el Concejo Nacional de Planificación, que sirve como instrumento para el Gobierno del Presidente Guillermo Lasso, este plan consiste de cinco ejes pragmáticos que son: económico, social, seguridad, transición ecológica e institucional, que se estructura en 16 objetivos, 55 políticas y 130 metas.(Secretaría Nacional de Planificación, 2021)

Con mira alcanzar sus objetivos con el fin de tener un Ecuador más productivo y competitivo en el sector agrícola, el Plan de Creación de Oportunidades 2021-2025 de Ecuador en el objetivo tres del eje pragmático económico, “(...), *impulsarán modelos de asociatividad productiva y comercial para mejorar las ganancias de los productores, incrementar la tecnificación, crear oportunidades y promover el progreso económico de estos sectores*” (Secretaria Nacional de Planificación, 2021).

2.2 EL MAÍZ (COMPONENTES)

El maíz (*Zea Mays*), es uno de los cereales más importantes junto con el trigo, su ciclo de vida es Anual, es eficiente para capturar la energía solar para su crecimiento, se adapta a diversas condiciones de humedad altitud temperatura, se cultiva desde Canadá hasta Argentina y en otros continentes con diversidad de ambientes (Morales Valderrama, 2021). Esta semilla tiene una composición nutricional básica que está formada mayoritariamente por el endospermo que corresponde al almidón, pero también tiene proteínas y aceites (Sánchez Ortega, 2014), como se muestra en la figura 2.1.

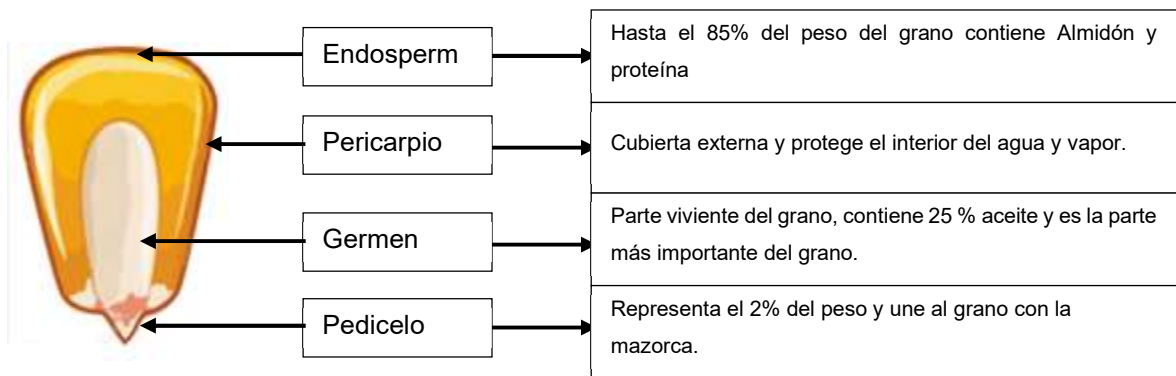


Figura 2.1 .-Estructura del grano del maíz. Fuente: (Martínez Manrique & Jiménez Vera, 2023)

El maíz tiene una ventaja grande ante otros cereales, ya que este puede ser usado como alimento en cualquier etapa del desarrollo de la planta, desde la floración de la planta y/o hasta obtener los granos de maíz duro, los cuales pueden ser sometidos a altas temperaturas antes de ser utilizados en las moliendas para obtener subproductos (Sánchez Ortega, 2014).

El maíz se ha desarrollado a través del tiempo, de acuerdo a lo que indica (Gear, 2006) permitiendo que este cereal pase de ser un producto de consumo humano, a ser materia prima fundamental en varios procesos industriales relacionados con la alimentación animal y nuevos usos relacionados al biocombustible.

2.3 COSECHA Y PRODUCCIÓN DE MAÍZ DURO

El maíz es uno de los granos de materia prima que hoy en día se produce y comercializa gran escala, es utilizado principalmente para consumo humano, de animales entre otros productos industrializados, según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO por sus siglas en inglés) (Paliwal, 2023), en la actualidad es el segundo cultivo del mundo por su producción después del trigo, lo que le permite tener una gran importancia económica a nivel mundial. En América, (Caviedes, Carvajal-Larenas, & José L. Zambrano, 2022) el maíz es parte de su historia que está relacionado directamente con sus costumbres y tradiciones, teniendo entre los mayores productores a Estados Unidos, Brasil y Argentina como se muestra en la figura 2.2 para el año 2021.

Ranking de los principales productores de maíz a nivel mundial en 2021
(en millones de toneladas)

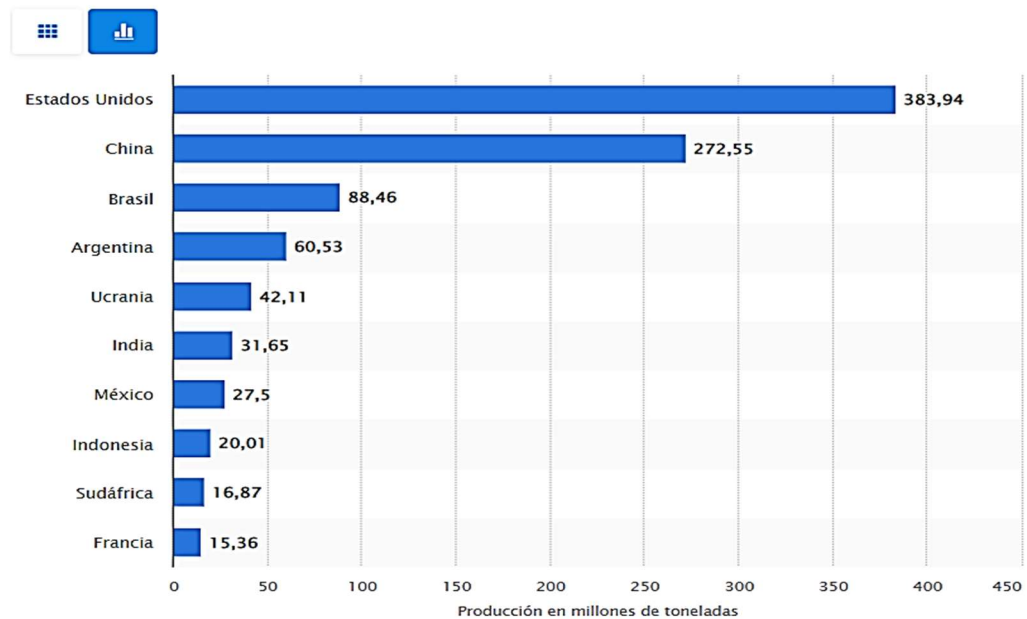


Figura 2.2. Principales productores de maíz del mundo al 2021. Fuente: (statica, 2023)

El maíz duro en el Ecuador es considerado como parte importante de la economía ecuatoriana, de acuerdo a la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua ESPAC 2021 (INEC, 2022), la cual reportó para el año 2021 la superficie cosechada fue 366.138 Ha con una producción de 1.649.098 Tm, situándolo en el primer producto de cultivo transitorio en el país, como se puede observar en el figura 2.3. Además, la cosecha de maíz duro se puede realizar hasta dos veces al año a nivel nacional, lo cual depende mucho de los factores ambientales y climáticos, teniendo como referencia que el periodo del 2019 al 2021 un promedio de pérdida de la superficie plantada con respecto a la cosechada del 4.08 %.

Participación en la superficie sembrada total

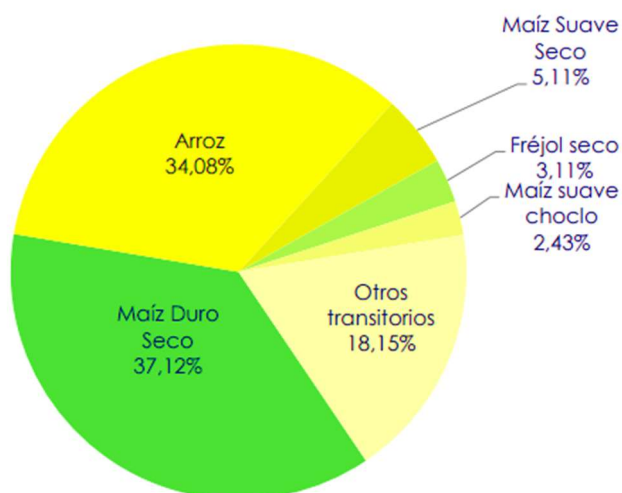


Figura 2.3 Superficie y producción en Ecuador de productos de cultivos transitorios al 2021.

Fuente: (INEC, 2022)

En Ecuador, el maíz se cosecha principalmente en la Región Sierra y Costa. En la sierra ecuatoriana hay diversidad de tipos de semillas de maíz con diferentes texturas y colores, que generalmente es de consumo directo, sin embargo tiene un bajo rendimiento en esta región en grano seco. En la costa ecuatoriana predomina el cultivo de maíz amarillo duro, el cual es materia prima principalmente en el sector avicultor y tienen un alto rendimiento en el sector agrario, cubriendo aproximadamente entre el 85% y 90 % la necesidad del grano y reduciendo así parte de las importaciones en el país (Caviedes, Carvajal-Larenas, & Zambrano, 2022). Además, existe una superficie óptima para el cultivo de esta gramínea, permitiendo obtener una mayor producción bruta disponible para las industrias del país, la provincia de Los Ríos cuenta con mayor superficie de cosecha y producción, como se indica en el Sistema de Información del Pública Agropecuaria del Ecuador (MAG - CGINA, 2021), ver tabla 2.1.

Tabla 2.1.-Valores ponderados y estandarizados a 13% humedad y 1% impureza.

PROVINCIA	SUPERFICIE COSECHADA (HA)	PRODUCCIÓN (T)	RENDIMIENTO (T/HA)
El Oro	2.239	8.408	3,76
Guayas	43.295	188.680	4,36
Loja	42.133	201.552	4,78
Los Ríos	117.308	746.576	6,36
Manabí	95.931	595.683	6,21
Santa Elena	5.081	24.395	4,80
Nacional	305.986	1.765.294	5,77

Fuente: (MAG - CGINA, 2021)

2.4 CENTROS DE ACOPIO.

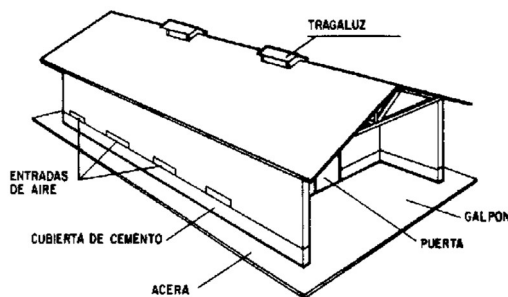
Un centro de acopio como define (Oballe et al., 1974); es una infraestructura ubicada principalmente en las zonas rurales o periferias de las ciudades, las cuales se encuentran acondicionadas para el almacenamiento de productos procesados y no procesados en un periodo corto, facilitando al agricultor la venta de sus cosechas.

En el caso de productos como el maíz duro u otros granos de ciclo corto, se deben evaluar aspectos importantes para establecer un centro de acopio, el cual permita suministrar productos de alta calidad con un óptimo sistema de comercialización entre los agricultores y las industrias alimenticias. Se puede obtener un almacenamiento adecuado como lo indica (Martínez-Jiménez et al., 2015). Contralando la temperatura y la humedad de grano, utilizando bodegas secas que permitan obtener un producto sano, libre de impurezas y plagas. Entre los principales aspectos a considerar para la implementación de un centro de acopio, se detallan las siguientes:

- Evaluación de la zona geográfica de acuerdo a la necesidad y demanda del producto.

- La infraestructura y la capacidad del centro de acopio para recibir, clasificar y almacenar el producto o materia prima.
- Costos de transportar el producto desde el centro de acopio a las industrias.

Existen varios tipos de almacenamientos como lo describe la FAO en el manual de manejo de poscosecha de granos a nivel rural (Ribeiro M. P., 1993), los que más se adaptan para a los centros de acopio son; almacenes convencionales las cuales cuentan con un fondo plana, buena ventilación, drenaje adecuado y techado impermeable para la conservación del producto; silos metálicos que pueden tener una capacidad unitaria que puede variar desde 7 hasta 6.200 toneladas del producto; y actualmente se ha extendido el uso de los silos bolsa(Sb) una opción de bajo costo que permite el almacenaje en distintos lugares (Taher et al., 2019), estos tipos de almacenamiento se pueden observar en la figura 2.4.



(a) Almacenaje Convencional



(b) Silos Metálicos



(c) Silos bolsa

Figura 2.4.- Muestra los tipos de almacenaje utilizados para centros de acopio.
Fuente:(a)(Ribeiro M. P., 1993); (b)(Cordoba, s. f.); (c)(agroempresario.com, s. f.)

El análisis de la ubicación para establecer un centro de acopio óptimo para la captación del maíz duro en la zona se profundiza en el capítulo tres.

2.5 TRANSPORTE DE MAÍZ

La necesidad de movilidad humana y de las mercancías han creado una estrecha relación entre los sistemas de transporte y la logística, permitiendo así, alternativas en el comercio de productos desarrollando un importante flujo de actividad económica y social en las naciones (Fuentes, 2014). Los costos de transporte se encuentran clasificados dentro de los costos de distribución en los que incurren las empresas u organizaciones, de los cuales se pueden considerar dos tipos; transporte de larga distancia (terrestres, aéreos, marítimos y fluviales) y transporte de distribución por su especialización (prima la exclusividad de la empresa) (Estrada et al., 2010).

Los componentes principales a analizar para la estructura de costos de transporte se detallan en la tabla 2.2:

Tabla 2.2.- Costos de transporte.

COSTOS FIJOS	COSTOS VARIABLES
<ul style="list-style-type: none">•Gastos del personal administrativo y operativo;•Alquileres y tarifas;•Licencias.	<ul style="list-style-type: none">•Mantenimiento preventivo;•Mantenimeinto correctivo;•Consumo de combustible;•Aceites y lubricantes;•Neumáticos;•Pagos de peajes.

Fuente: (Estrada et al., 2010).

Para el cálculo de los costos de transporte la empresa debe evaluar tanto los costos directos (costos fijos y variables) e indirectos los cuales varían de acuerdo al tipo de negocio de la organización, considerando los factores que inciden en la oferta y demanda de producto, ubicación geográfica, distancia (kilómetros) recorrida, capacidad del vehículo en toneladas, entre otros.

2.6 CONSUMO DEL MAÍZ EN LA INDUSTRIA

(Muñoz López, 2017) indica; *“La producción de alimento balanceado demanda materias primas de calidad y con las porciones adecuadas de nutrientes, garantizando así que el producto terminado cumpla con los niveles nutricionales necesarios para el crecimiento y vida saludable de los animales que posteriormente pasarán a formar parte de la dieta alimenticia de seres humanos.”*

El interés que actualmente surge en la industria por el maíz, es debido a la amplia variedad de productos que se pueden obtener, una vez cosechado este cereal es secado de diferentes formas de manera natural (en la mata), artesanal o industrial para luego ser comercializados en centros de acopio, teniendo varios destinos como; la industria de consumo humano, industria de elaboración de balanceados, consumo local para crianza de animales de traspatio, entre otros.

2.7 MODELOS MATEMÁTICOS

Según los autores un modelo matemático se define:

(ADENSO et al., 2021) *“para automatizar ese proceso, la herramienta básica consiste en modelizar el sistema sobre el que se desean tomar decisiones, y matemáticamente buscar la mejor alternativa de entre las posibles (...)”*.

(Linares et al., 2010) *“Un modelo es una representación matemática simplificada de una realidad compleja (...). Un modelo es, en definitiva, una herramienta de ayuda a la toma de decisiones. Por esta razón, sus resultados deben ser inteligibles y útiles. Modelar se puede entender simultáneamente como ciencia y como arte.”*

(Brito-Vallina et al., 2011) indica, *“La modelación matemática es un intento de describir alguna parte del mundo real en términos matemáticos. (...), los modelos matemáticos se caracterizan por una suficiente generalidad, describiendo una clase completa de objetos o fenómenos”*.

Dentro de esta perspectiva, como se observa en la figura 2.5, los modelos matemáticos desempeñan un papel crucial al facilitar la comprensión y solución de problemas en situaciones del mundo real. El enfoque de este estudio se dirige hacia la creación de un modelo óptimo destinado a determinar la ubicación más adecuada para el centro de acopio para la comercialización del maíz amarillo duro, en las principales ciudades productoras de esta gramínea.



Figura 2.5. Proceso de modelización. Fuente: (Brito-Vallina et al., 2011)

Los componentes principales para construir un modelo matemático son; la función objetivo, restricciones y variables, (figura 2.6) las cuales se relacionan entre sí, en la elaboración del modelo.

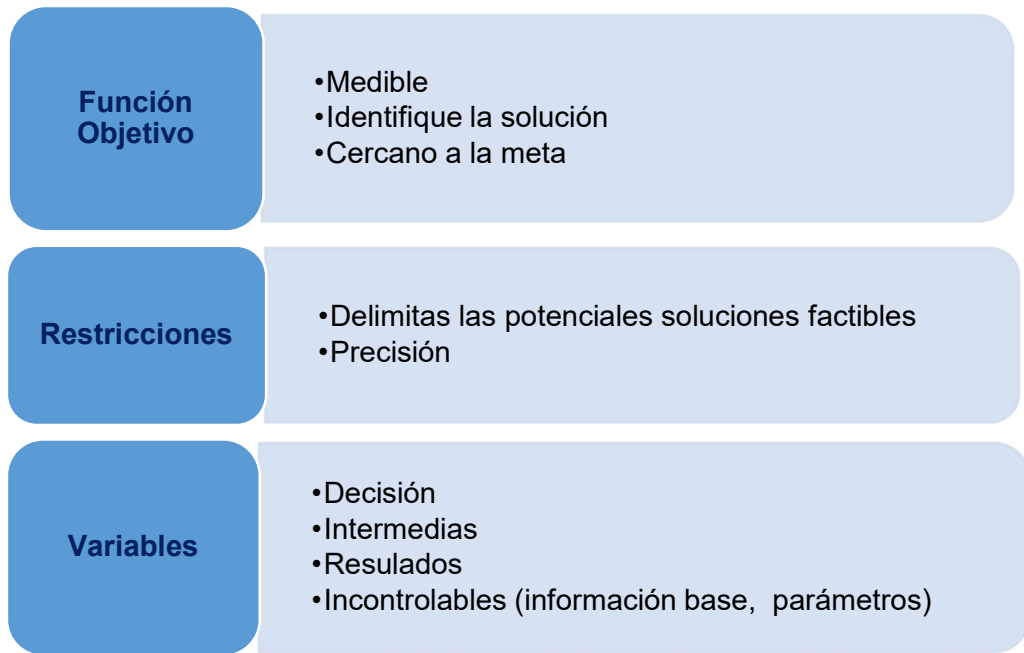


Figura 2.6 Elementos de un modelo matemático. Fuente: (ADENSO et al., 2021)

2.8 CLASIFICACIÓN DE LOS MODELOS MATEMÁTICOS

Los modelos matemáticos tienen diferentes categorizaciones o tipos, por lo que se toma como referencia (Alzate, 2022), que clasifica los modelos de acuerdo a la probabilidad de ocurrencia, que se representa mediante un esquema en la figura 2.7, el cual se hace referencia a varios modelos matemáticos que se adaptan dependiendo de naturaleza del proceso.

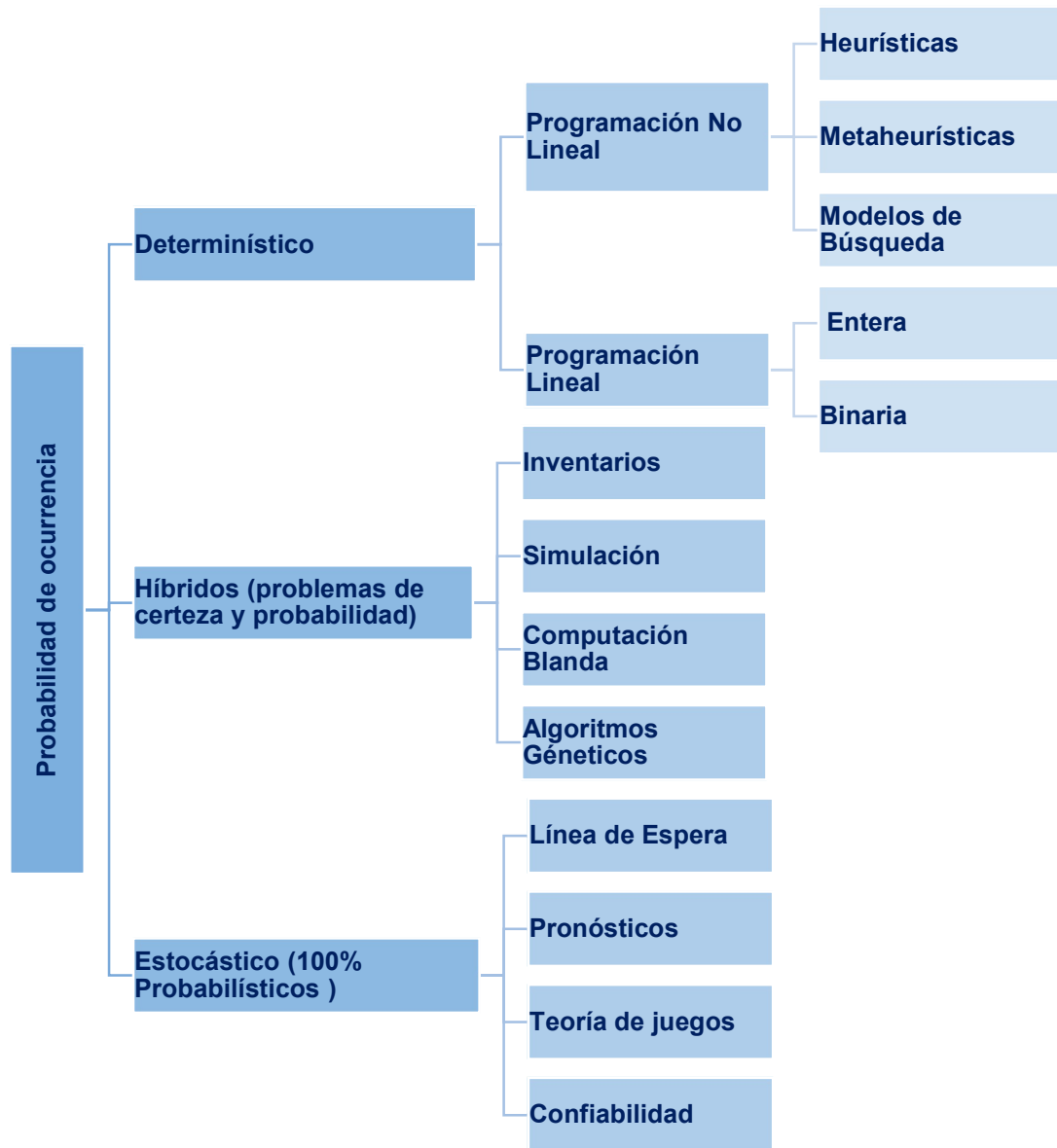


Figura 2.7.- Clasificación de los modelos matemáticos. Fuente: (Alzate, 2022)

2.9 OPTIMIZACIÓN

(Linares et al., 2010) “La optimización consiste en la selección de una alternativa mejor, en algún sentido, que las demás alternativas posibles. Es un concepto inherente a toda la investigación operativa. Sin embargo, determinadas técnicas propias de la investigación operativa se recogen bajo el nombre de optimización o programación matemática.”

Así mismo (Linares et al., 2010) indica, que para resolver un problemas de optimización y obtener una mejor solución a un problema determinado, consiste en encontrar el valor que deben tomar las variables en base a la función objetivo satisfaciendo el conjunto de las restricciones.

En el ámbito de los modelos matemáticos, se aplican diversos enfoques de optimización según la naturaleza específica del problema en estudio, con el propósito de descubrir las soluciones óptimas. Por ejemplo, en los escenarios de programación lineal, se busca maximizar o minimizar la función objetivo mediante técnicas de optimización (Alzate, 2022). Por otro lado, los desafíos relacionados con la optimización multiobjetivo, ya sea en forma de vectores o criterios múltiples, abarcan la identificación de valores que se ajustan a un conjunto de restricciones y logren la optimización de una función vectorial compuesta por funciones individuales objetivo (Insua et al., 2004).

De acuerdo al tipo de variables presentadas en los problemas la optimización se divide, como se muestra en la figura:

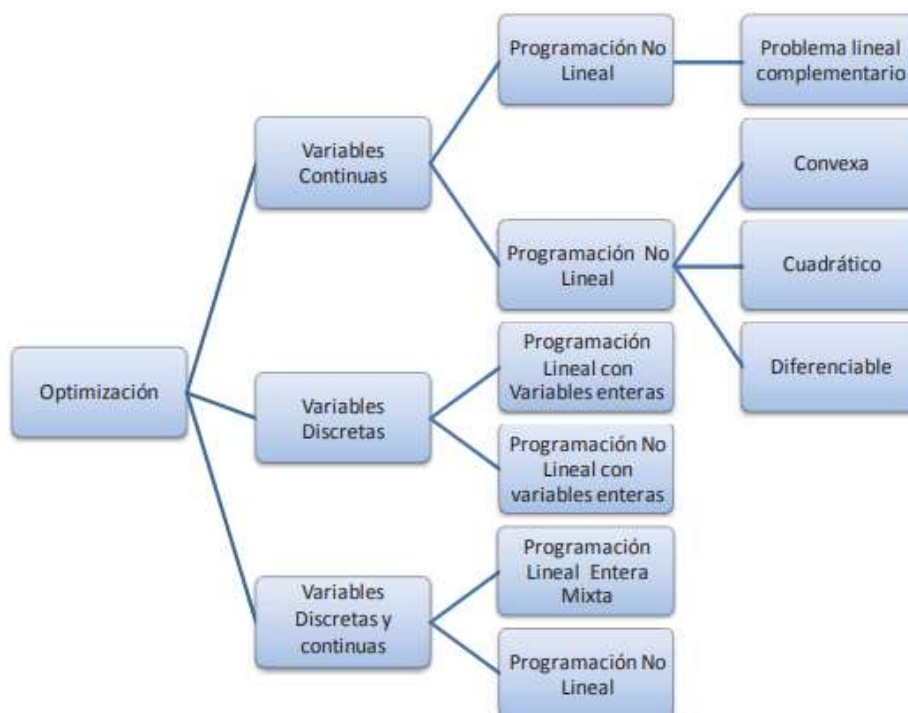


Figura 2.8 .- División de la optimización. Fuente:(Bermúdez Colina, 2011)

2.10 MODELIZACIÓN DE PROBLEMAS MATEMÁTICOS

En la optimización, se encuentran problemas que se clasifican en aquellos que solo utilizan variables continuas se incluye la Programación Lineal (PL) y la Programación No Lineal (NPL) y los que tienen variables continuas y discretas (o solo discretas) se pueden distinguir entre problemas lineales con variables enteras (MILP) y problemas no lineales con variables enteras (MINLP). (Caballero & Grossman, 2007)

2.10.1 Programación lineal (PL)

(Adams et al., 2016) explican en su texto; *“La Programación Lineal es un procedimiento o algoritmo matemático mediante el cual se resuelve un problema indeterminado, formulado a través de ecuaciones lineales, optimizando la función objetivo, también lineal. Consiste en optimizar (minimizar o maximizar) una función lineal, denominada función objetivo, de tal forma que las variables de dicha función estén sujetas a una serie de restricciones que expresamos mediante un sistema de inecuaciones lineales”*.

(Castillo et al., 2002) indica que; *“El objeto de la programación lineal es optimizar (minimizar o maximizar) una función lineal de n variables sujeto a restricciones lineales de igualdad o desigualdad”*., los autores también exponen los dos de los métodos más utilizados para la resolución de problemas lineales como son ; Método Simplex y Método del punto Exterior. Los tipos de problemas que se pueden resolver mediante PL son de; asignación de recursos, producción, transporte entre otros.

(Caballero & Grossman, 2007), describe la estructura básica para los tipos de problemas de programación lineal, como se detalla a continuación:

$$\begin{aligned} \min: z &= c^T x \\ \text{s. a. } Ax &\leq b \\ x &\geq 0 \end{aligned}$$

2.10.2 Programación lineal mixta entera (MILP)

La programación lineal con variables enteras, permite modelar de forma más precisa problemas del mundo real, considerando que las variables son enteras. Si las variables enteras son restringidas a valores de 0 o 1 (binarias), el problema se denomina programación lineal entera-mixta, mientras, que si todas las variables son enteras, el problema se denomina problema lineal entera estricta, como se explica en (Castillo et al., 2002), así como también, se indica que este tipo de programación utiliza comúnmente para la resolución de problemas; el método de ramificación y acotación y el método de los cortes de Gomory.

De forma general (Caballero & Grossman, 2007), describe el MILP:

$$\begin{aligned} \min: & c^T x + d^T y \\ \text{s. a.} & Ax + By \leq b \\ & x \in X \subseteq \mathcal{R}^n \end{aligned}$$

2.10.3 Programación no lineal (NLP)

Los problemas que se resuelven con programación no lineal, generalmente es cuando el conjunto de restricciones, la función objetivo o ambas no son lineales, esto quiere decir, que realiza la búsqueda de los valores óptimos de las variables de decisión, restricciones y función objetivo. Estos problemas se suelen presentar en áreas como, ingeniería, física, mecánica y otros. (Castillo et al., 2002)

(Caballero & Grossman, 2007) *“Un problema de programación no lineal (NLP) toma la siguiente forma:”*

$$\begin{aligned} \min: & f(x) \\ \text{s. a.} & h(x) = 0 \\ & g(x) \leq 0 \\ & x \in X \subseteq \mathcal{R}^n \end{aligned}$$

En (Giraldo et al., 2007) se detallan, las metodologías usadas en PNL las cuales suelen resolver problemas irrestrictos, entre ellas encontramos; Búsqueda Unidimensional, Método del Gradiente, Método de Newton y sus variaciones,

Método de las Direcciones Conjugadas, Métodos Quasi-Newton y métodos no derivativos. Mientras que para los problemas restringidos se utilizan algoritmos como; Método de las Direcciones Factibles, Métodos de Proyección del Gradiente, Métodos de suboptimización múltiple, Métodos de penalidad y Barrera, Método de Lagrangeano Aumentado y Programación Cuadrática Secuencial.

2.10.4 Programación no lineal mixta entera (MINLP)

En la actualidad, existen problemas del mundo real que para su simulación o modelado requieren el uso de variables continuas y enteras, a esta clase de problemas se los conoce como programación u optimización mixta entera no lineal. (Tovar Facio, 2020), también indica que, *“La programación no lineal entera mixta (MINLP) se refiere a la programación matemática con variables continuas, discretas y no linealidades en la función objetivo y las restricciones. El uso de MINLP es un enfoque natural, formulando problemas donde es necesario optimizar simultáneamente la estructura del sistema (discreto) y los parámetros (continuo)”*

En (Caballero & Grossman, 2007), se explica el caso más general de este tipo el cual se escribe de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \min: z &= f(x, y) \\ \text{s. a. } h(x, y) &= 0 \\ g(x, y) &\leq 0 \\ x &\in X \subseteq \mathcal{R}^n \\ y &\in \{0,1\}^m \end{aligned}$$

2.11 TRABAJOS RELACIONADOS

Se realizó la revisión literaria de tres casos de estudios relacionados con el presente trabajo, donde se puede observar que las aplicaciones de los modelos matemáticos permiten resolver problemas presentes en el mundo real.

El estudio llevado a cabo por (Vargas & Díaz, 2014) denominado **“Modelo matemático para determinar la ubicación de Centros de Distribución en un**

contexto real” , diseñan un modelo matemático formulado en **programación lineal entera binaria** para una empresa del sector textil de Colombia, con una muestra inicial de 4.945 referencias de productos que se trasladan desde los diferentes puertos locales, centro de distribución y clientes, con el objetivo de determinar los centros de distribución necesarios, su ubicación y red de transporte que minimiza los costos totales. Los resultados de este trabajo indican la selección del puerto de Buena Ventura como el más económico y la apertura de dos centros de distribución en Candelaria y Florida Blanca lo que representa un ahorrando el 29% en relación al costo logístico inicial.

Los autores (Espinoza-Pérez, 2018) en su artículo **“Modelo de optimización para el diseño de una red de distribución del maíz en México”**, plantean realizar una distribución de maíz a través de un modelo matemático utilizando **programación lineal entera mixta**, de forma optimizada desde los municipios productores hacia los estados con mayor demanda, considerando los costos de transporte y precio de comercialización de cada uno de los estados que demandan el maíz. Como resultado de este artículo se determinó el listado de las ciudades demandantes de maíz que deben ser abastecidas por cada municipio productor.

De acuerdo a los autores (Guzmán et al., 2022) en el trabajo **“Caso práctico de localización óptima de centros logísticos para agro-productores”**, en Colombia los pequeños productores agrícolas tienen deficiencias en el uso de las tecnologías de la información en el manejo de la comercialización , altos costos en la logística por el uso de vehículos no adecuados limitando el acceso a los mercados disminuyendo sus ingresos. El propósito de este estudio es minimizar los costos logísticos agremiando a los agricultores en centros de acopios para consolidar los productos y así acceder a las economías de escala con mejores costos unitarios en el manejo, consolidación y transporte del producto, a través un **modelo matemático lineal mixto entero** que radica en una red de transporte entre centros de acopios compartidos multi cliente y multi producto, los resultados comprobaron las los potenciales beneficios económicos y las principales variables más destacadas en los beneficios en este modelo son producción , distancia y calidad de los productos.

CAPÍTULO 3

3 METODOLOGÍA

Este capítulo, permite conocer la metodología cuantitativa aplicada para determinar el modelo matemático de optimización de la ubicación para un centro de acopio. A continuación, se despliega las etapas:

3.1 ETAPA 1

Buscar datos relacionados con los cantones productores de maíz y cantones consumidores de maíz en instituciones reconocidas como el Instituto Nacional de Estadística y Censo, Ministerio de Agricultura, entre otros.

3.1.1 Selección de los datos

Para el desarrollo de este trabajo de Maestría, se toma como referencia la información correspondiente a base de datos de la cosecha, producción y proveedores del maíz del periodo del 2021, en este contexto se obtienen datos abiertos que se encuentra en las páginas oficiales del sistema de información público (SIPA), Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) y Servicio de Rentas Internas (SRI).

- El Sistema de información pública Agropecuaria proporciona información relacionada con la cosecha y producción a nivel nacional de los principales productos que se siembran en el Ecuador, (MAGAP, 2021) y (Banco Central del Ecuador, 2021).
- El INEC facilita un banco de datos abiertos enfocado a investigación las estadísticas agropecuarias de los cultivos transitorios a nivel nacional por provincia y cantón. (INEC, 2022)
- El SRI (SRI, 2023) proporciona información de los cantones donde se encuentran ubicados los comercializadores del maíz.

3.1.2 Análisis de la información de la siembra y comercialización del maíz.

De acuerdo a los datos iniciales de las superficies sembradas y cosechadas de maíz amarillo duro por provincia se evaluó el porcentaje de participación del total de hectáreas obteniendo el porcentaje acumulado, como se muestra en la tabla 3.1. De acuerdo al INEC la producción se realizó en 21 provincias del país concentrando el 90,1% de la producción en cuatro provincias, como se observa en la tabla 3.2.

Tabla 3.1.-Porcentajes por provincias de hectáreas sembradas y cosechadas.

PROVINCIAS	HA SEMBRADAS	HA COSECHADA	%	% ACUMULADO
LOS RÍOS	152.417	151.556	40,8%	41%
MANABÍ	111.405	108.190	29,8%	71%
GUAYAS	52.804	51.570	14,1%	85%
LOJA	19.995	19.213	5,4%	90%
SUCUMBÍOS	10.270	10.123	2,7%	93%
ORELLANA	6.323	6.320	1,7%	95%
SANTA ELENA	3.907	3.890	1,0%	96%
EL ORO	3.250	3.045	0,9%	96%
COTOPAXI	2.256	2.019	0,6%	97%
ESMERALDAS	1.845	1.655	0,5%	98%
MORONA SANTIAGO	1.489	1.387	0,4%	98%
SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS	1.465	1.465	0,4%	98%
PICHINCHA	1.282	1.238	0,3%	99%
CARCHI	1.270	1.154	0,3%	99%
CHIMBORAZO	1.238	1.103	0,3%	99%
CAÑAR	844	830	0,2%	100%
AZUAY	643	559	0,2%	100%
BOLÍVAR	401	388	0,1%	100%
IMBABURA	388	341	0,1%	100%
PASTAZA	77	77	0,0%	100%
TUNGURAHUA	15	15	0,0%	100%
TOTAL GENERAL	373.587	366138	100%	100%

Fuente: Elaboración propia en base a los datos del INEC.

Tabla 3.2.-Resumen de la producción en toneladas de maíz por provincia del periodo 2021.

PROVINCIAS	PRODUCCIÓN		% ACUMULADO
	TM	%	
LOS RÍOS	782.015	46,0%	46%
MANABÍ	507.064	29,8%	76%
GUAYAS	254.343	15,0%	91%
LOJA	66.504	3,9%	95%
SANTA ELENA	23.309	1%	96%
SUCUMBÍOS	21.235	1%	97%
ORELLANA	11.868	1%	98%
EL ORO	9.915	1%	99%
SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS	6.617	0%	99%
ESMERALDAS	4.667	0%	99%
CARCHI	2.759	0%	99%
COTOPAXI	2.697	0%	100%
MORONA SANTIAGO	1.433	0%	100%
BOLÍVAR	1.255	0%	100%
CHIMBORAZO	979	0%	100%
PICHINCHA	771	0%	100%
CAÑAR	721	0%	100%
AZUAY	577	0%	100%
IMBABURA	494	0%	100%
PASTAZA	102	0%	100%
TUNGURAHUA	43	0%	100%
TOTAL GENERAL	1'699.370	100%	100%

Fuente: Elaboración propia en base a los datos del INEC.

De acuerdo con la información de siembra y hectáreas cosechadas se puede determinar la productividad por provincia (tabla 3.3), la cual se calculó con la siguiente fórmula:

$$Productividad: \frac{Producción}{ha. cosechadas}$$

Tabla 3.3.- Productividad por provincia.

PROVINCIAS	TM DE MAIZ	HECTAREAS	PRODUCTIVIDAD
SANTA ELENA	23.309	3.890	5,99
LOS RÍOS	782.015	151.556	5,16
GUAYAS	254.343	51.570	4,93
MANABÍ	507.064	108.190	4,69
SANTO DOMINGO	6.617	1.465	4,52
LOJA	66.504	19.213	3,46
EL ORO	9.915	3.045	3,26
BOLÍVAR	1.255	388	3,23
ESMERALDAS	4.667	1.655	2,82
TUNGURAHUA	43	15	2,82
CARCHI	2.759	1.154	2,39
SUCUMBÍOS	21.235	10.123	2,10
ORELLANA	11.868	6.320	1,88
IMBABURA	494	341	1,45
COTOPAXI	2.697	2.019	1,34
PASTAZA	102	77	1,33
MORONA SANTIAGO	1.433	1.387	1,03
AZUAY	577	559	1,03
CHIMBORAZO	979	1.103	0,89
CAÑAR	721	830	0,87
PICHINCHA	771	1.238	0,62
TOTAL, GENERAL	1'699.370	366.138	4,64

Fuente: Elaboración propia en base a los datos del INEC.

De igual manera, de las 21 provincias que concentran la producción de maíz duro, se obtiene una data inicial de los 71 cantones productores de esta gramínea (ver anexo1), en la tabla 3.4 se muestra el diccionario de datos utilizado.

Tabla 3.4.- Descripción de los campos de la base de los cantones que producen maíz.

#	Indicador de cantón
CANTÓN	Cantón Productor de maíz
HECT	Hectáreas cosechadas
PORC DE SIEMBRA	Porcentaje de siembra por hectáreas
ACUMULADO	Porcentaje de siembra acumulado.

Fuente: Elaboración propia en base a los datos del INEC (ver anexo 1).

3.1.3 Base de datos y tratamiento.

Se realiza un análisis de datos utilizando información recopilada del MAG, INEC y SRI, a partir de los cuales se construye una base de datos completa que contiene 8.725 registros de comercialización de maíz, los cuales incluye; nombres de los cantones y provincias donde se encuentran los centros de acopio que comercializan el producto y las industrias que compran la cosecha de invierno y verano del periodo 2021, con la estructura que se muestra en la figura 3.1.

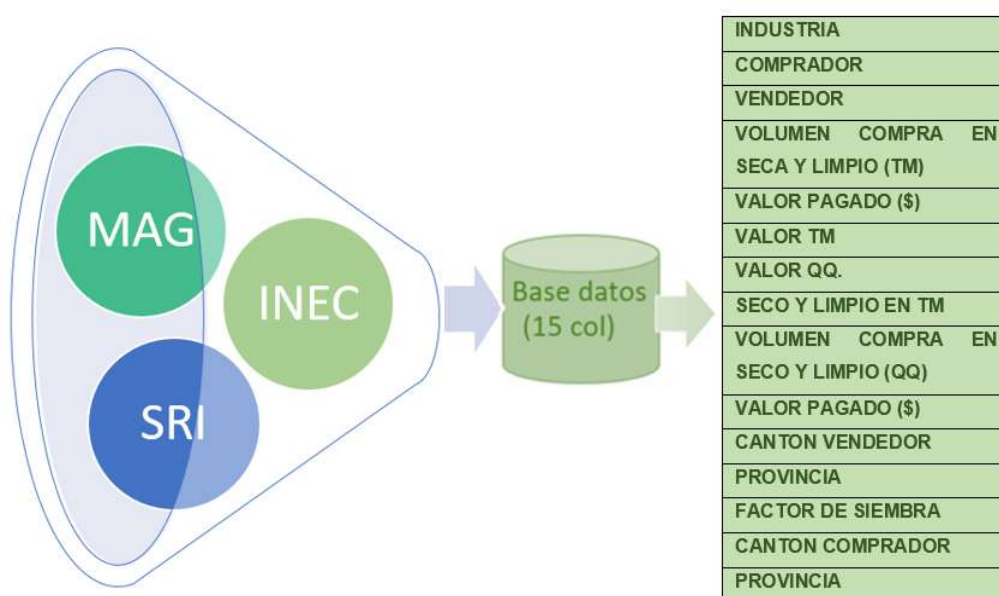


Figura 3.1.-Selección de columnas de los datos abiertos del INEC, MAG y SRI para la investigación. Fuente: Elaboración Propia.

De la base datos obtenida se realizó un tratamiento, para determinar los cantones que son más relevantes para este trabajo, como se detalla a continuación:

- Se realizó Validación de información referente a la localidad, producción y fechas revisando la integridad y coherencia de los datos.
- Se agregó campos en la base datos inicial realizando la consulta a través de los datos en línea del Sistema de rentas Internas se obtiene la información de cantón y provincia de centros de acopios para agrupar, toneladas comercializadas.

[Home](#) > [RUC](#) > [Consulta](#)

Consulta de RUC

Obtenga los datos de contribuyentes registrados en el RUC (incluye: estado, tipo y clase, actividad, establecimientos)

RUC Razón social

Consultar información del contribuyente

RUC

1700000000001

Consultar

↓
Guía para contribuyentes

Figura 3.2.- Captura de pantalla de la búsqueda de un RUC, Fuente: (SRI, 2023)

- En la aplicación de Googlemaps se obtiene los datos de coordenadas geográficas de longitud y latitud de los cantones productores de maíz y las industrias.

A partir de los datos depurados, se clasifica los mismos por localidades donde se cosecha el maíz (tabla 3.5) y las ciudades donde se consume el maíz (tabla 3.6), además, se visualiza las ubicaciones de los productores e industrias en el mapa del Ecuador para observar cómo se distribuye la cosecha y producción de esta materia prima (figura 3.3 y figura 3.4). La información que contiene las compras y ventas de maíz contiene datos personales, por la Ley de Protección de Datos (Ley Orgánica de Protección de Datos Personales, 2021) serán omitidos en esta investigación,

sólo se utilizará la localidad donde se realiza la comercialización de la materia prima.

Tabla 3.5.- Ubicación geográfica mediante coordenadas de 37 cantones que representan el 94% de la siembra en Ecuador en 2021.

ITEM	CANTON	LATITUD	LONGITUD	PROVINCIA
1	BABA	-1,77757	-79,68628	LOS RIOS
2	BABAHOYO	-1,80217	-79,53443	LOS RIOS
3	BALZAR	-1,36655	-79,90022	GUAYAS
4	BUENA FE	-0,88535	-79,48754	LOS RIOS
5	CELICA	-4,10266	-79,95665	LOJA
6	CHONE	-0,69819	-80,09361	MANABÍ
7	COLIMES	-1,54553	-80,01165	GUAYAS
8	EL CARMEN	-0,26740	-79,47278	MANABÍ
9	EL EMPALME	-1,04596	-79,63556	GUAYAS
10	GUAYAQUIL	-2,19616	-79,88621	GUAYAS
11	ISIDRO AYORA	-1,88420	-80,14595	GUAYAS
12	JIPIJAPA	-1,35261	-80,58197	MANABÍ
13	JUNÍN	-0,92654	-80,20616	MANABÍ
14	MANTA	-0,96212	-80,71271	MANABÍ
15	MOCACHE	-1,18817	-79,50817	LOS RIOS
16	MONTALVO	-1,79211	-79,30204	LOS RIOS
17	MONTECRISTI	-1,04359	-80,65676	MANABÍ
18	PAJÁN	-1,55437	-80,42975	MANABÍ
19	PALENQUE	-1,43189	-79,75340	LOS RIOS
20	PALESTINA	-1,62550	-79,97618	GUAYAS
21	PEDRO CARBO	-1,81969	-80,23865	GUAYAS
22	PICHINCHA	-1,04427	-79,82726	MANABÍ
23	PINDAL	-4,11697	-80,10788	LOJA
24	PIÑAS	-3,68008	-79,68294	EL ORO
25	PORTOVIEJO	-1,05458	-80,45445	MANABÍ
26	PUEBLOVIEJO	-1,55013	-79,53252	LOS RIOS
27	PUYANGO	-3,87878	-80,07548	LOJA
28	QUEVEDO	-1,02863	-79,46352	LOS RIOS
29	ROCAFUERTE	-0,92427	-80,44782	MANABÍ
30	SAN VICENTE	-0,59252	-80,40645	MANABÍ
31	SANTA ELENA	-2,22622	-80,85873	SANTA ELENA
32	SANTA LUCÍA	-1,71498	-79,98360	GUAYAS
33	SUCRE	-0,61797	-80,42766	MANABÍ
34	TOSAGUA	-0,78679	-80,23473	MANABÍ
35	URDANETA	-1,55638	-79,38726	LOS RIOS
36	VENTANAS	-1,44158	-79,45943	LOS RIOS
37	VINCES	-1,55611	-79,75191	LOS RIOS

Fuente: Elaboración Propia

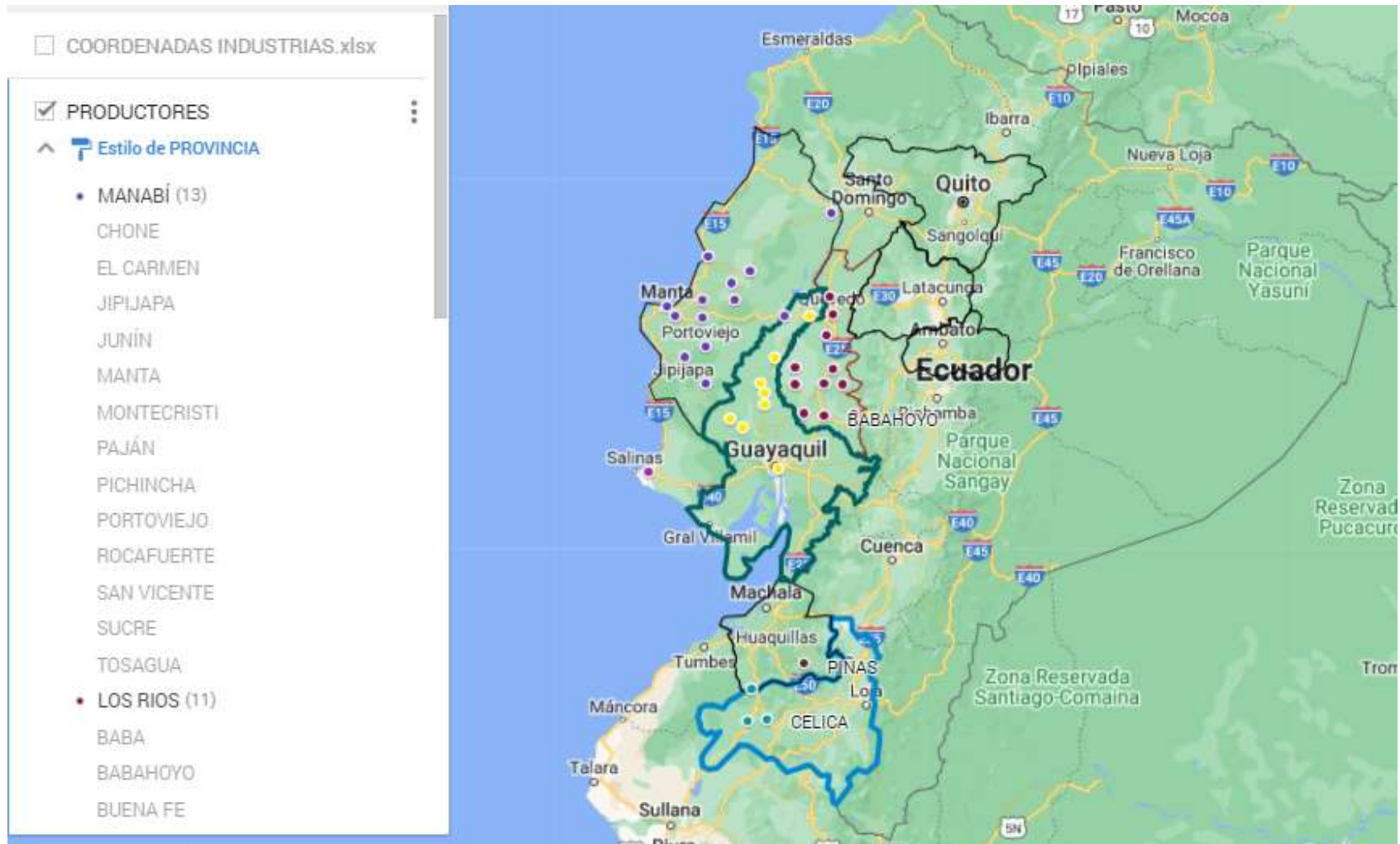


Figura 3.3.- Visualización de los Cantones productores de maíz a nivel nacional. Herramienta Google maps distancias. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 3.6.- Información geográfica mediante coordenadas de los cantones donde se establecen las industrias que consumen el maíz.

ITEM	CANTÓN	LATITUD	LONGITUD	PROVINCIA
1	AMBATO	-1,249080	-78,616750	TUNGURAHUA
2	BALSAS	-3,681369	-79,683495	EL ORO
3	BAÑOS	-1,392509	-78,427105	TUNGURAHUA
4	DURAN	-2,168758	-79,842295	GUAYAS
5	GUAYAQUIL	-2,196160	-79,886210	GUAYAS
6	ISIDRO AYORA	-1,884202	-80,145950	GUAYAS
7	LATACUNGA	-0,935210	-78,615540	COTOPAXI
8	MACHALA	-3,258610	-79,960530	EL ORO
9	MANTA	-0,962120	-80,712710	MANABÍ
10	MEJIA	-0,508885	-78,573373	PICHINCHA
11	PELILEO	-1,327883	-78,540170	TUNGURAHUA
12	PIÑAS	-3,680076	-79,682937	EL ORO
13	PUJILI	-0,958096	-78,697186	COTOPAXI
14	QUEVEDO	-1,028630	-79,463520	LOS RIOS
15	QUITO	-0,229850	-78,524950	PICHINCHA

Fuente: Elaboración Propia

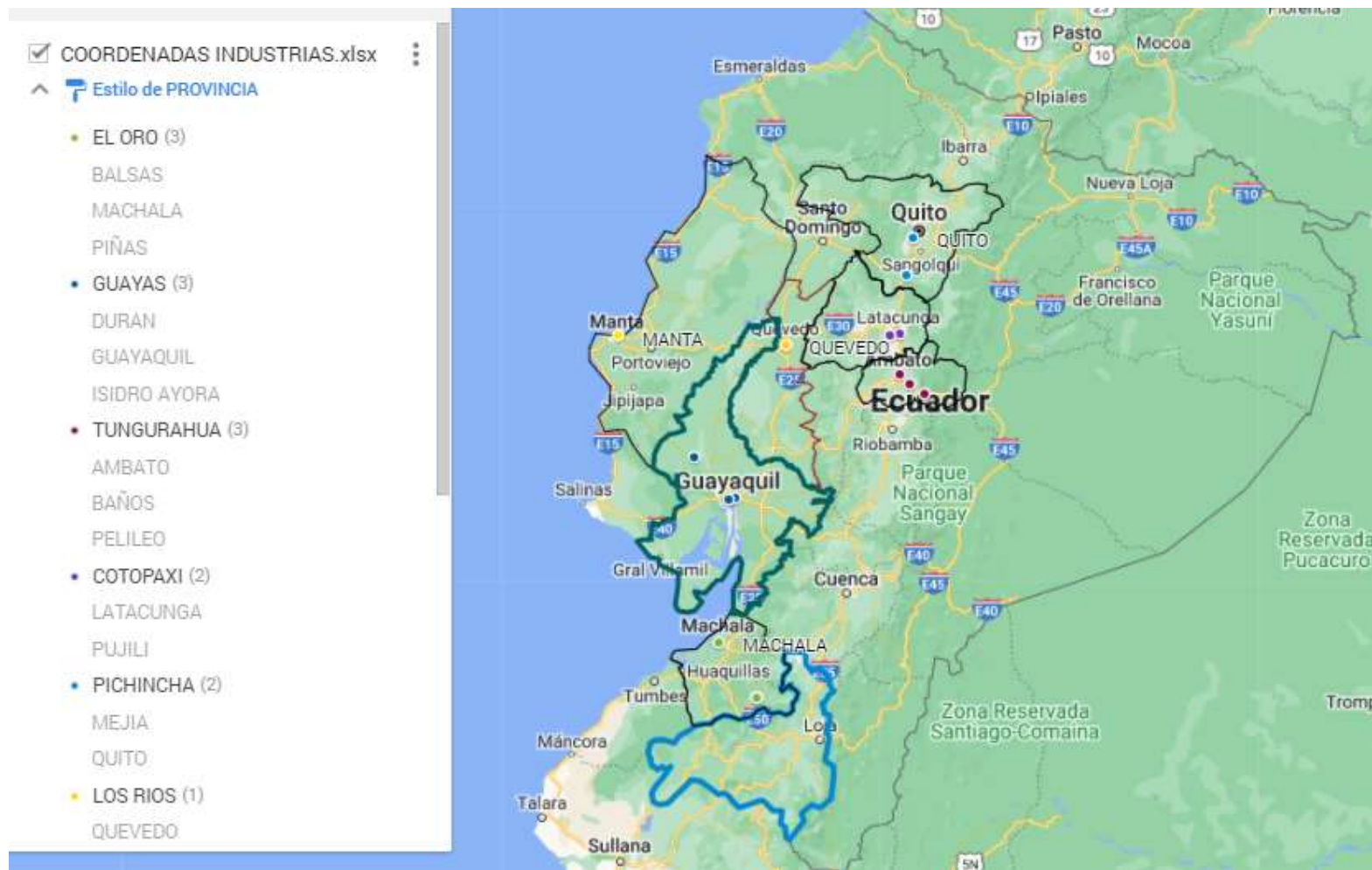


Figura 3.4.-Visualización de los cantones donde se encuentra la industria de maíz a nivel nacional. Herramienta Google maps. Fuente: Elaboración

Propia.

Con los datos preparados para este objeto de investigación, se excluyen cantones que no cumplen con los criterios de volúmenes de producción en orígenes y volúmenes de consumo en destino.

3.2 ETAPA 2

3.2.1 Precios Referenciales de Transporte

En la investigación realizada se determinan los costos de transporte estándar para vehículos tipo T3S3, para el traslado de la materia prima al granel. En la tabla 3.7 se pueden observar los parámetros que intervienen para establecer los costos de transporte.

Tabla 3.7.-Referencia de valores para la determinación del costo de transporte.

COSTOS DE TRANSPORTE T3-S3			
-	2021		
1.- DATOS DE OPERACIÓN			
	Capacidad (Tm)		32
			Km Mensual
	Km Mensual	8.832	
	Días trabajados al mes		24
2.- INVERSIÓN			NUEVO
	TOTAL		211.000
3.- COSTOS FIJOS		COSTOS MENSUALES	
	MATRICULAS Y PERMISOS:	62,58	1%
	POLIZAS DE SEGURO:	399,50	5%
	SUELDOS:	1.238,00	15%
	COSTOS ADMINISTRATIVOS	285,00	3,4%
	TOTAL, COSTOS FIJOS MENSUALES	1.985,08	23,8%
4.-	COSTOS DE DEPRECIACIÓN	626,27	8%
5.-	UTILIDAD DEL NEGOCIO	1.181,60	14%
6.-	COSTOS VARIABLES	4.554,89	54,6%
	TOTAL, PRECIO OPERACIÓN MENSUAL	8.347,85	100,0%
		\$/KM/TM	\$ 0,031

Fuente: Compañía De Transporte Pesado World Truck Ciaworldtruck S.A.

De acuerdo a los costos fijos, variables y administrativos de transporte se puede determinar el precio por kilómetros por toneladas, el cual tienen una relación inversamente proporcional, en otras palabras, a mayor distancia recorrida menor es el costo de KM/TM.

3.3 ETAPA 3

3.3.1 Distancias entre ciudades productoras e industrias.

A partir de las coordenadas geográficas de cada una de las ciudades donde se encuentran establecidas las industrias y localidades productoras, se procede a determinar las distancias en kilómetros por carreteras de la red de transporte de maíz entre las mismas, como se muestra en la figura 3.5 y tabla 3.8 se muestra un ejemplo de 17 distancias (ver anexo 2 tabla completa).

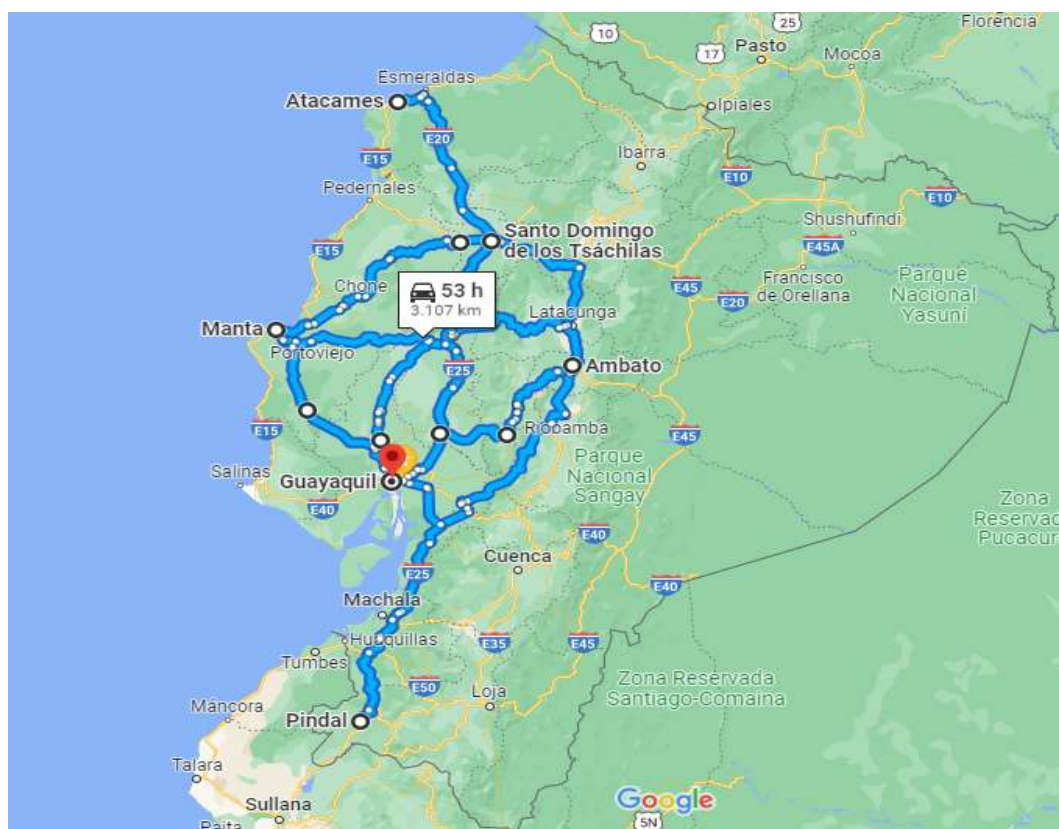


Figura 3.5.-Rutas de la red de transporte entre las ciudades productoras y ubicaciones de las industrias. Herramienta Google maps distancias. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 3.8.-Distancias en kilómetros entre las ciudades productoras de maíz y las ciudades donde se encuentran las industrias.

ORIGEN -> DESTINO	AMBA ATO	BALSAS	BAÑOS	DURAN	GUAYAQ UIL	ISIDRO AYORA	LATACU NGA	MACHAL A	MANTA	MEJIA	PELILEO	PIÑAS	PUJILI	QUEVEDO	QUITO
BABA	212	312	250	102	83	102	257	247	243	311	227	320	257	101	356
BABAHOYO	195	272	232	62	72	121	240	207	233	315	210	280	247	104	360
BALZAR	286	353	323	112	114	87	246	288	228	283	301	361	235	78	328
BUENA FE	231	398	265	188	197	181	187	382	204	190	241	406	176	18	235
BOLÍVAR	388	484	422	246	245	187	338	418	79	284	399	491	345	175	329
CELICA	509	101	533	317	327	378	553	158	518	616	508	175	560	455	663
CHONE	371	501	406	274	263	205	323	436	88	268	384	509	329	195	313
COLIMES	310	388	310	96	99	71	275	272	212	312	287	345	264	105	357
EL CARMEN	246	513	281	303	312	296	197	448	209	142	258	521	204	134	188
EL EMPALME	234	388	272	165	168	140	195	322	166	231	249	395	184	26	277
GUAYAQUIL	265	248	306	10	-	54	311	183	194	387	280	256	319	176	432
ISIDRO AYORA	278	297	323	59	54	-	330	232	141	369	300	304	321	163	414
JIPIJAPA	372	383	412	147	141	87	370	318	56	387	391	391	358	201	422
JUNIN	340	471	376	233	228	175	299	406	75	296	354	479	287	162	334
MANTA	396	438	432	200	199	142	355	373	1	354	410	446	344	186	399
MOCACHE	201	356	239	144	154	142	192	289	191	228	248	362	181	23	268
MONTALVO	161	306	201	97	107	125	207	241	266	269	176	314	214	136	312
(...)															

Fuente: Elaboración Propia (tabla completa Anexo 2)

3.3.2 Precio promedio de compra maíz de los centros de acopio en cantones productores.

En la tabla 3.9 se detalla los datos obtenidos del Sistema de Información Pública Agropecuaria (SIPA) en su reporte **Precios mensuales de centros de acopio y bodegas de granos.**

Tabla 3.9.- Ejemplo de un registro de datos de la comercialización de maíz de centros de acopio hacia la industria.

CAMPO	DATO
AÑO	2021
MES	Enero
PROVINCIA	Guayas
CANTÓN	Balzar
PRODUCTO	Maíz Duro Amarillo (Sucio y Húmedo)
PRESENTACIÓN	Quintal de 100,00 libras
TIPO	Compra
PRECIO PROMEDIO (USD)	14,60

Fuente: (SIPA, 2021)

Lo valores pagados por los centros de acopios en cantones productores a los agricultores en el periodo 2021, se muestran en la siguiente tabla 3.10. Esta información es tomada como matriz de parámetros para la ejecución de este trabajo.

Tabla 3.10.- Precio de compra de maíz centros de acopio hacia agricultores por cantón.

CANTÓN PRODUCTOR	PRECIO DE COMPRA
BABAHOYO	\$13,67
BALZAR	\$13,79
BUENA FE	\$13,26
CHONE	\$14,18
COLIMES	\$13,98
EL EMPALME	\$13,97
GENERAL ELIZALDE (BUCAY)	\$15,90
JIPIJAPA	\$14,05
MOCACHE	\$13,27
MONTALVO	\$13,79
PAJÁN	\$13,85
PALENQUE	\$13,64
PEDRO CARBO	\$14,64
PICHINCHA	\$14,56
PORTOVIEJO	\$16,98
PUEBLOVIEJO	\$14,45
QUEVEDO	\$11,50
QUINSALOMA	\$11,75
ROCAFUERTE	\$14,80
TOSAGUA	\$14,41
VENTANAS	\$12,65
VINCES	\$13,40

Fuente: Elaboración Propia con datos del sistema información pública agropecuaria

El ministerio de Agricultura y ganadería publica la información referente a las toneladas compradas por cada industria estas se encuentran ubicadas en diferentes cantones de la costa y sierra, se toma como ejemplo un registro (ver tabla 3.11).

Tabla 3.11.- Ejemplo de un registro de los datos obtenidos del Sistema de Información Pública Agropecuaria

CAMPO	DATO
CICLO	INVIERNO
SEMANA	13
INDUSTRIA	AFABA
COMPRADOR	AFABA
VENDEDOR	VENDEDOR X
# DE TRANSACCIONES	2
VOLUMEN COMPRADO EN SECO Y LIMPIO (TM)	22,76
VALOR PAGADO (\$)	10.395,54
VALOR TM.	456,75
VALOR QQ.	20,71
SECO Y LIMPIO EN TM	11,38
VOLUMEN COMPRADO EN SECO Y LIMPIO (QQ)	250,93
VALOR PAGADO (\$)	5.197,77
CANTON VENDEDOR	VENTANAS
PROVINCIA	LOS RIOS
FACTOR DE SIEMBRA	0
CANTON COMPRADOR	QUITO
PROVINCIA	PICHINCHA

Fuente: (SIPA, 2021)

En la tabla 3.12 se de detalle los cantones donde se encuentran asentadas las industrias, los volúmenes (toneladas) y el precio (\$) de comercialización de acuerdo a la información del Sistema de Información Público Agropecuario.

Tabla 3.12.- Precio de comercialización en cantones donde se encuentran establecidas las industrias en base a la información de la tabla anterior.

INDUSTRIA	AMBATO	BAÑOS	DURAN	GUAYAQUIL	ISIDRO AYORA	MANTA	MEJIA	PELILEO	QUEVEDO	QUITO
DEMANDA	80103	44341	70682	120066	98279	42232	14147	14974	164319	1125108
PRECIO QQ	\$ 16,55	\$ 16,27	\$ 17,08	\$ 17,10	\$ 17,22	\$ 17,56	\$ 16,93	\$ 15,93	\$ 15,93	\$ 16,74
PRECIO TM	\$ 365	\$ 359	\$ 377	\$ 377	\$ 380	\$ 387	\$ 373	\$ 351	\$ 351	\$ 369

Fuente: Elaboración Propia

3.4 ETAPA 4

3.4.1 Modelo Matemático implementado para la ubicación de un centro de acopio.

El modelo matemático desarrollado en este caso de estudio permite encontrar la ubicación óptima de las instalaciones, de acuerdo con el siguiente planteamiento:

Índices

- i : especificaciones, donde i varía de A a U
- j' : índices asociado a los cantones donde se encuentran las insdustrias

Parámetros

- TMP_i : Tm de maíz Producidas por cantón
- TMC_j : Tm de maíz Consumidas por Cantón
- $PC\$_i$: Precio de Comercialización en cantones Productores
- $PV\$_j$: Precio de Comercialización en cant. donde se enc. la industria
- $flete_Tm_{ij}$: precio de flete en Tm cant. Product .I al cant. ubic. Industria J
- $FACTOR_ABSORCION1'$: 10% de Capacidad de Absorción en cant. Productor

Variables

- CA_i : Centro De Acopio Elegido Variable Binaria (Variable A Optimizar)
- $DIST_j$: Destinos Donde Se Comercializa El Maíz (Variable A Optimizar)

Sea el conjunto $i: \{A, \dots, U\}$ donde: $i' \in i$

i' : "conjunto de índices asociado a las espec. de los cantones productores de maíz"

$i \in I'$

i : especificaciones, donde i varía de A a U

Con las siguientes especificaciones:

A: BABAHOYO

B: BALZAR

C: BUENA FE

D: CHONE

E: COLIMES

F: EL EMPALME

G: BUCAY

H: JIPIJAPA

I: MOCACHE

J: MONTALVO

K: PAJAN

L: PALENQUE

M: PEDRO CARBO

N: PICHINCHA

O: PORTOVIEJO

P: PUEBLO VIEJO

Q: QUEVEDO

R: QUINSALOMA

S: TOSAGUA

T: VENTANAS

U: VINCES

Sea el conjunto $j: \{1, \dots, 10\}$ donde: $j' \in j$

j' : "conjunto de índices asociados a cantones donde se encuentran consumidoras de maíz"

$j \in J'$

j : Cantones, donde j varía de 1 a 10

1: *AMBATO*

2: *BAÑOS*

3: *DURÁN*

4: *GUAYAQUIL*

5: *ISIDRO AYORA*

6: *MANTA*

7: *MEJIA*

8: *PELILEO*

9: *QUEVEDO*

10: *QUITO*

3.4.2 Desarrollo del modelo matemático

El modelo matemático definido para la resolución del problema planteado en este trabajo es el modelo de Programación No Lineal con variables enteras binarias, como se explica en las tablas 3.14, 3.15 y 3.16:

Función Objetivo

$$\max z = \sum_{i:A}^U \sum_{j:1}^{10} DIST_j * P\$_j - CA_i * 5000 * PC\$_i - flete_Tm_{ij} * DIST_j * CA_i \quad (1)$$

Restricciones:

$$CA_i = BINARIO \quad (2)$$

$$\sum_{j:1}^{10} DIST_j = 5000 \quad (3)$$

$$\sum_{j:1}^{10} DIST_j \leq TMC_j \quad (4)$$

$$CA_i * 5000 \leq TMP_i * FACTOR_ABSORCIÓN1 \quad (5)$$

$$\sum_{i:1}^u CA_i = 1 \quad (6)$$

La ecuación (1) representa, la función objetivo que máxima la ganancia en la comercialización de maíz de acuerdo con la ubicación optimizada.

La ecuación (2) indica que, la variable CA_i puede contener 2 valores; 1 cuando el cantón productores elegido y 0 en los otros casos.

La ecuación (3) indica que, la sumatoria de las toneladas asignadas en la variable $DIST_j$ para la distribución en los cantones j debe ser igual a 5000.

La ecuación (4) determina que, las toneladas de maíz para distribuir en la variable $DIST_j$ hacia el cantón j debe ser menor o igual a demanda en este cantón, misma que se encuentra almacenado en la variable TMC_j .

La ecuación (5) estipula que, la meta de comercialización del centro de acopio de 5000 Tm debe ser menor o igual a la oferta TMP_i en el cantón productor elegido multiplicada por un factor de absorción del 10%.

La ecuación (6) garantiza que la sumatoria de todos los elementos de la variable CA_i deben ser igual a 1, lo cual indica que solo se eligió un cantón productor para la ubicación del centro de acopio optimizado.

3.4.3 Herramienta Utilizada.

Para la ejecución del modelo matemático donde las relaciones de las variables no son lineales se utilizó la herramienta GRG (Gradiente Reducido Generalizado) en Excel con Solver, la cual permitió encontrar la solución óptima de acuerdo con la función objetivo y sus respectivas restricciones.

En el anexo 3 se puede evidenciar el informe de respuesta del método GRG Non linear del motor Solver en Microsoft Excel 16.0.

CAPÍTULO 4

4 RESULTADOS

4.1 Diagrama de Pareto cantones productores

Con la información de siembra se determinó que son 71 cantones productores y se realizó un análisis encontramos que el 52% de los cantones ejecutan más del 90% de la siembra y cosecha de maíz en 2021.

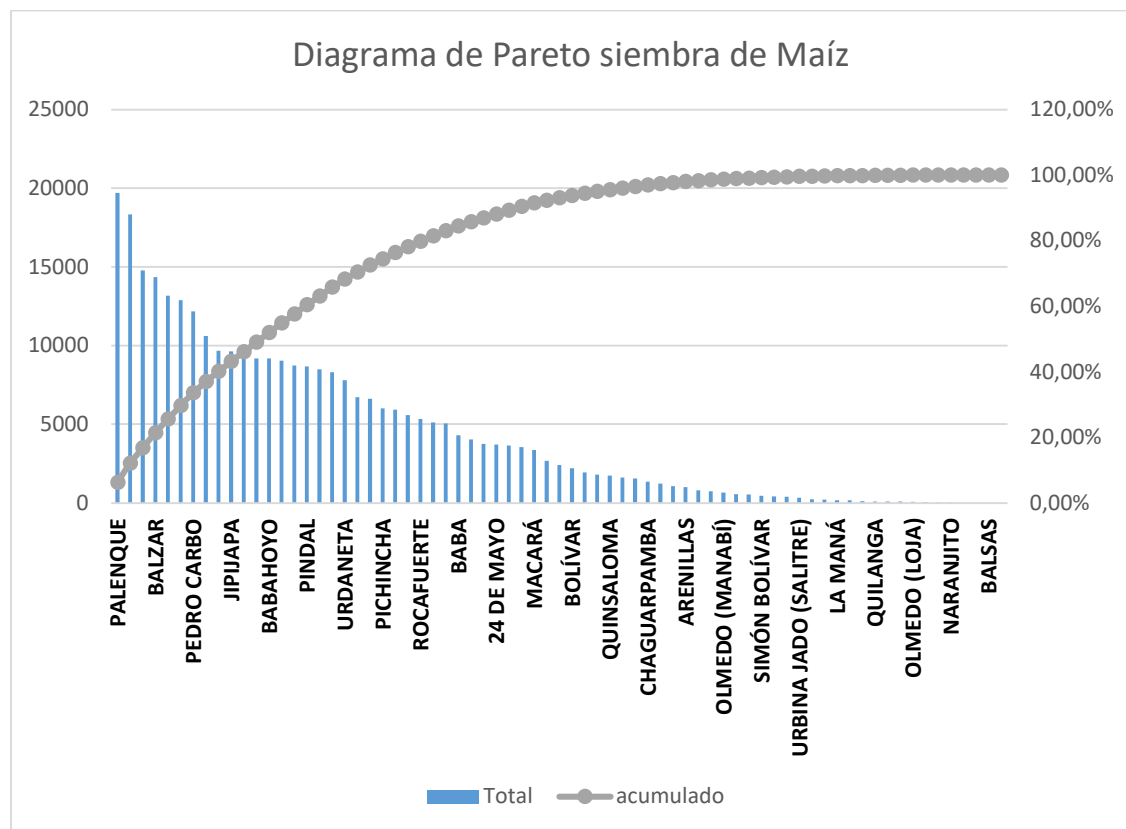


Figura 4.1.-Diagrama de Pareto de la siembra del maíz. Fuente: Elaboración Propia

El sistema de información pública agropecuaria en sus cifras económicas cuenta con datos de comercialización de los 21 cantones más relevantes donde el agricultor vende la cosecha a los centros de acopio.

Tabla 4.1.- Análisis de cantones productores

1er Revisión	2da Revisión	3era revisión
71 cantones	37 cantones	21 cantones
Datos INEC	Diagrama Pareto	Información de Precios SIPA

Fuente: Elaboración Propia

Con la información de las coordenadas y distancia por carretera entre los cantones productores y cantones donde se encuentra la industria se elaboró una tabla de fletes en base a los costos por km/Tm/\$

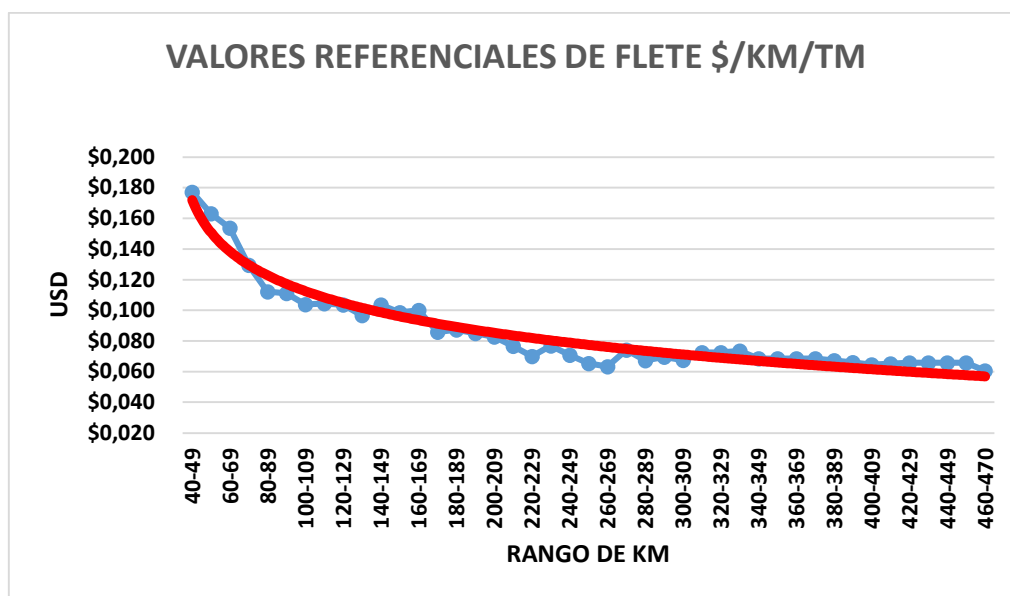


Figura 4.2.-Tendencia de los rangos de distancias recorridos vs las KM/TM. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.2.-Costos de Km por TM por rangos de distancias.

RANGO KM	USD/KM/TM	RANGO KM	USD/KM/TM
40-49	\$0,18	210-219	\$0,07
50-59	\$0,15	220-229	\$0,07
60-69	\$0,14	230-239	\$0,08
70-79	\$0,13	240-249	\$0,07
80-89	\$0,11	250-259	\$0,07
90-99	\$0,11	260-269	\$0,06
100-109	\$0,10	270-279	\$0,07
110-119	\$0,10	280-289	\$0,07
120-129	\$0,11	290-299	\$0,07
130-139	\$0,10	300-309	\$0,07
140-149	\$0,10	330-339	\$0,07
150-159	\$0,09	340-349	\$0,07
170-179	\$0,09	380-389	\$0,07
180-189	\$0,08	400-409	\$0,06
190-199	\$0,07	410-419	\$0,06
200-209	\$0,08	450-460	\$0,06

Fuente: Elaboración Propia

4.2 Resultados de la aplicación del modelo Matemático

La evaluación del modelo matemático estableció el cantón que tiene el precio más conveniente para la compra, así como el o los cantones donde se debe abastecer el producto de acuerdo al mejor precio de venta y al menor costo de transporte que haga posible obtener la mayor ganancia.

A continuación, se muestran los resultados (tabla 4.3) del modelo matemático realizando la evaluación con una compra de 5.000 Tm y los costos unitarios en qq.

Tabla 4.3.- Evaluación de una compra de 5000 Tm y los costos unitarios en qq.

CANTIDAD QQ	COSTOS TOTALES	COSTOS UNITARIOS
PRECIO DE VENTA	1.936.214,80	17,56
PRECIO DE COMPRA	1.267.875,00	11,50
TRANSPORTE	79.050,00	0,72
FUNCIÓN OBJETIVO	589.289,80	5,35

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados del modelo indican que: el cantón con el mejor precio promedio para comprar es Quevedo con \$11,45 por quintal, así mismo también establece que el cantón que mayor precio promedio para vender es Manta 17,56 (ver ruta en figura 4.3), considerando el flete de 0,58 dólares por quintal, con este resultado maximiza la ganancia de un centro de acopio.

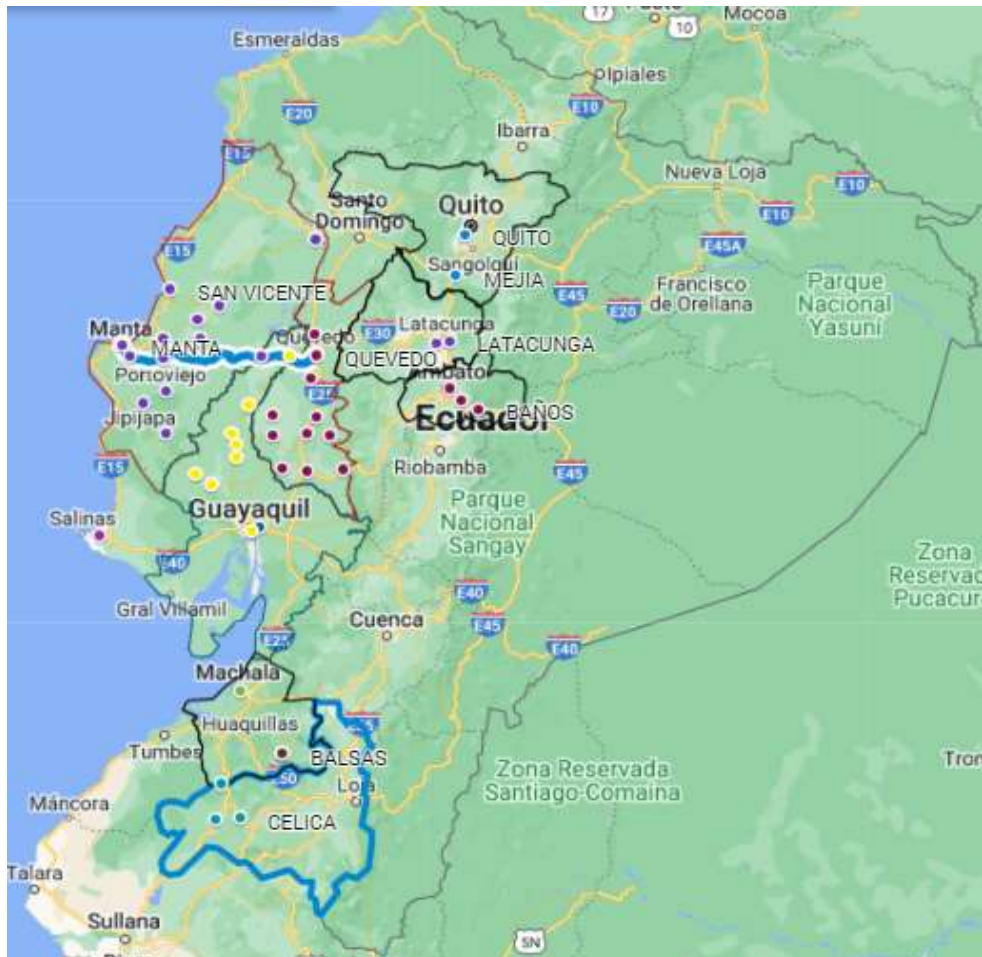


Figura 4.3.- Ruta Quevedo – Manta. Fuente: Elaboración propia.

4.3 Evaluación de los resultados de un centro de acopio tradicional

De acuerdo a las toneladas compradas en un centro de acopio de Quevedo reportadas por el sistema de información público agropecuario en 2021, que corresponde a 6.572,10 Tm ó 144.914,8 quintales las mismas que abastecieron a una industria de Quito, se obtienen los siguientes resultados como se observa en la tabla 4.4:

Tabla 4.4. Evaluación de resultados 2021 Centro de acopio Tradicional

TM		COSTOS TOTALES	COSTOS UNITARIOS
PRECIO DE VENTA [a]	\$	2.397.035	16,54
PRECIO DE COMPRA[b]	\$	1.666.774	11,50
TRANSPORTE [c]	\$	114.045,68	0,79
FUNCIÓN OBJETIVO [a]-b)-[c]	\$	616.215,71	4,25

Fuente: Elaboración propia.

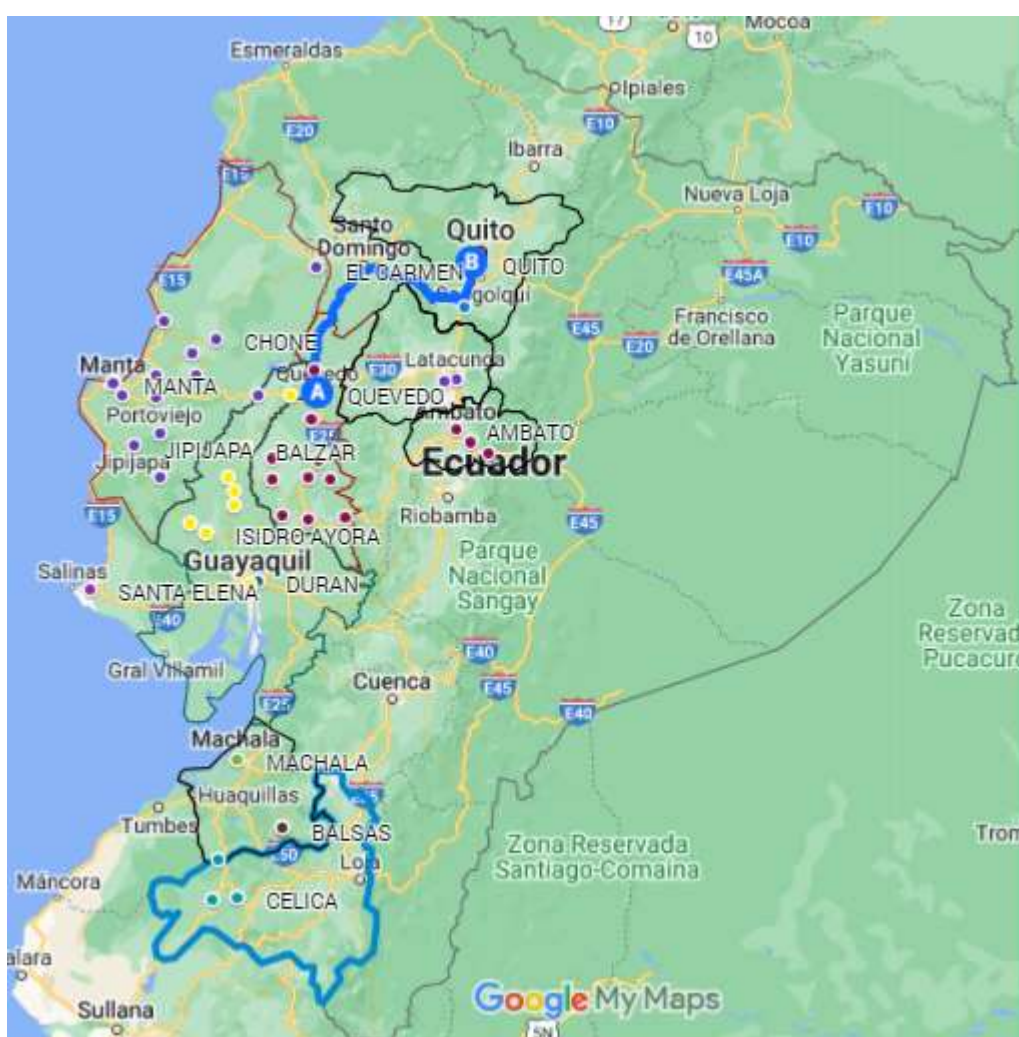


Figura 4.4.-Ruta Quevedo – Quito Centro de acopio tradicional. Fuente: Elaboración propia.

4.4 Evaluación final de un centro de acopio optimizado vs centro de acopio tradicional

A partir del resultado obtenidos en la tabla 4.4 contamos con la información necesaria para realizar el comparativo entre los costos unitarios de un centro de acopio con ubicación optimizada y un centro de acopio tradicional, como se muestra en la tabla 4.5.

Tabla 4.5.- Evaluación Resultados centro de acopio tradicional vs Centro de acopio Optimizado.

CENTRO ACOPIO	TRADICIONAL	OPTIMIZADO		
DETALLE	COST UNITARIOS	COST UNITARIOS	DIFERENCIA	DIF %
MAIZ COMERCIALIZADO [qq]	110250	110250	0	0%
PRECIO DE VENTA [a]	\$16,54	\$17,56	\$1,02	6%
PRECIO DE COMPRA [b]	\$11,50	\$11,50	\$0,00	0%
TRANSPORTE [c]	\$0,79	\$0,72	\$-0,07	-9%
TOTAL, UNITARIO [a]-[b]-[c]	\$4,25	\$5,48	\$1,09	26%
FUNC. OBJ = [qq]*{[a]-[b]-[c]}	\$468.562,50	\$588.735,00	\$120.172,50	26%

Fuente: Elaboración propia.

Observando los resultados obtenidos podemos destacar que, con el uso de información publicada de páginas oficiales relacionada con la cosecha del maíz en el Ecuador, las herramientas informáticas y modelos matemáticos aplicados a la vida real, un centro de acopio con la ubicación optimizada puede maximizar ganancias y minimizar sus costos de transporte comparado con un centro de acopio tradicional.

CAPÍTULO 5

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

De acuerdo al procesamiento y análisis de la información se pudo concluir que las actividades de siembra cosechan y comercialización se realiza en 21 provincias y 71 cantones, pero entre el 80 y 90% de estas actividades se concentran en 3 provincias de la costa 1 provincia de la sierra y 37 cantones.

Tal como se ha podido comprobar tener mapeado las distancias y los costos de transporte desde 21 cantones productores hacia 10 cantones donde se encuentra la industria, permitió tener mayores posibilidades de encontrar el mejor destino posible que minimiza los costos del traslado hasta en un 9% en una comparativa entre un centro de acopio optimizado y un centro de acopio tradicional

Si bien es cierto, que inicialmente se planteó establecer costos de almacenamiento, se concluye que la infraestructura de centros de acopio es básica, el maíz tiene una alta rotación y no es posible almacenar el grano en óptimas condiciones por tal motivo no se consideró costos para este trabajo de investigación.

Se puede concluir que los resultados computacionales del modelo matemático resuelto con programación no lineal mixta entera binaria MINLP (mixed integer non linear Programming), permitió encontrar la ubicación óptima de un centro de acopio, donde la función objetivo incluye 2 variables de resultado como son : el

cantón elegido CA_i (variable binaria) y $DIST_j$, variable que almacena la cantidad de producto a distribuir a los destinos que generen mejores beneficios considerando los precios del transporte.

Tal como se ha podido comprobar los resultados de comparar en un centro de acopio tradicional versus un centro de acopio optimizado, tomando como referencia el mismo cantón origen, y con la distribución real vs distribución optimizada se pudo evidenciar que el incremento de las ganancias en 26% es significativo utilizando el modelo matemático con información técnica de fuentes oficiales.

5.2 Recomendaciones

Este trabajo de investigación puede ser actualizado con información de siembra cosecha y comercialización anualmente y así poder establecer nuevas ubicaciones estratégicas optimizadas que permitan establecer un centro de acopio temporal en una nueva localidad.

Se recomienda incluir 2 tipos de vehículo con peso máximo permitido 18 y 27 Tm para los cálculos de fletes de transporte ya que para este trabajo se consideró vehículos tipo tráiler T3S3. Con peso máximo permitido 48 Tm.

6 BIBLIOGRAFÍA

Adams, J., Benitez, M., Guidek, R., & Dominguez, G. (2016). Enseñanza de Programación Lineal y Juegos de Empresa. *La Saeta Universitaria, Académica y de Investigación*.

<https://scholar.archive.org/work/umxlows3tzgixbdm6z6qutz7p4/access/wayback/https://ojs.unae.unae.edu.py/index.php/saetauniversitaria/article/download/143/138>

ADENSO, D. F., BELARMINO, JULIO, M. O., & LAURA, C. I. (2021). *Formulación de modelos programación matemática*. Ediciones Paraninfo, S.A.

agroempresario.com. (s. f.). *Silo bolsa, una alternativa viable para almacenar y conservar cosechas*. agroempresario.com. Recuperado 29 de enero de 2023, de <https://agroempresario.com/publicacion/3938/silo-bolsa-una-alternativa-viable-para-almacenar-y-conservar-cosechas/>

Alzate, P. (2022). *Investigación de operaciones.: Conceptos fundamentales 2a Edición*. Ediciones de la U.

Banco Central del Ecuador. (2021). Boletín de Análisis Agropecuario. *Boletín de Análisis Agropecuario, 94-IVT-2021, 32*.

<https://contenido.bce.fin.ec/documentos/PublicacionesNotas/Catalogo/Encuestas/Coyuntura/Integradas/etc202104.pdf>

Baño Vera, M. L., & Vega Loayza, S. L. (2023). *Evaluación de costos de transporte en una empresa transportadora de carga pesada de la ciudad de Guayaquil, antes y después de la aplicación del nuevo piso tarifario*.

<http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/57616>

- Brito-Vallina, M. L., Alemán-Romero, I., Fraga-Guerra, E., Para-García, J. L., & Arias-de Tapia, R. I. (2011). Papel de la modelación matemática en la formación de los ingenieros. *Ingeniería Mecánica*, 14(2), 129-139.
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1815-59442011000200005&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Caballero, J. A., & Grossman, I. E. (2007, enero). UNA REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE EN OPTIMIZACIÓN. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI*, 4(1), 5-23.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1697791207701887>
- Castillo, E., Cornejo, A. J., Pedergal, P., Carcía, R., & Alguacil, N. (2002). *Formulación y Resolución de Modelos de Programación Matemática en Ingeniería y Ciencia*. <http://dia.fi.upm.es/~jafernan/teaching/operational-research/LibroCompleto.pdf>
- Caviedes, M., Carvajal-Larenas, F. E., & José L. Zambrano. (2022). Generación de tecnologías en el cultivo de maíz en Iberoamérica. *ACI Avances en Ciencias e Ingenierías*, 14(1), Article 1.
<https://doi.org/10.18272/aci.v14i1.2625>
- Caviedes, M., Carvajal-Larenas, F. E., & Zambrano, J. L. (2022). Tecnologías para el cultivo de maíz (*Zea mays*. L) en el Ecuador. *ACI Avances en Ciencias e Ingenierías, especial(1)*. <https://doi.org/10.18272/aci.v14i1.2588>
- Cordoba, S. (s. f.). Silos metálicos para almacenaje de grano. *Silos Córdoba*. Recuperado 29 de enero de 2023, de <https://siloscordoba.com/es/productos/silos/>
- Espinoza-Pérez, M. (2018). Modelo de optimización para el diseño de una red de distribución del maíz en México. *Ingenio y Conciencia Boletín Científico de*

la Escuela Superior de Cd. Sahagún, 5.

<https://doi.org/10.29057/ess.v5i10.3321>

Estrada, S., Restrepo de Ocampo, L. S., & Ballesteros, P. P. (2010). Análisis De Los Costos Logísticos En La Administración De La Cadena De Suministro. *Scientia Et Technica, XVI(45), 272-277.*

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84917249050>

Fuentes, D. D. (2014). Transporte y Logística en la Economía Mundial. *Revista de Economía Mundial, 38*, Article 38. <https://doi.org/10.33776/rem.v0i38.4713>

Gear, J. R. E. (2006). Maíz y nutrición: Informe sobre los usos y las propiedades nutricionales del maíz para la alimentación humana y animal. *Recopilación de ILSI Argentina, II.*

<http://www.maizar.org.ar/documentos/ilsi%20maizar.pdf>

Giraldo, D. A. M., C, A. M., & A, F. F. F. (2007). Metodología alternativa para el tratamiento de problemas de programación entera usando programación no lineal. *Scientia et Technica, 1(34), Article 34.*

<https://doi.org/10.22517/23447214.5535>

Guzmán, J. A., Ochoa, J. A., Maza, V. C., & Palencia, C. O. (2022). Caso práctico de localización óptima de centros logísticos para agro-productores. *Revista Tecnológica - ESPOL, 34(2), Article 2.*

<https://doi.org/10.37815/rte.v34n2.940>

INEC. (2022). *Tabulados de la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua ESPAC 2022.* <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas-agropecuarias-2/>

- Insua, S., Mateos, A., & Jiménez-Martín, A. (2004). Optimización Multiobjetivo basada en Metaheurísticas. *Anales de la Real Academia de Doctores de España*, 8, 159-177.
- Ley Orgánica de Protección de Datos Personales, Quinto Suplemento N° 459- Registro Oficial, Asamblea Nacional República del Ecuador (2021).
<https://www.telecomunicaciones.gob.ec/wp-content/uploads/2021/06/Ley-Organica-de-Datos-Personales.pdf>
- Linares, P., Ramos, A., Sánchez-Martín, P., Sarabia, Á., & Vitoriano, B. (2010). *MODELOS MATEMÁTICOS DE OPTIMIZACIÓN*. 55.
http://www.doi.icaei.upcomillas.es/intro_simio.htm
- MAG - CGINA. (2021). *Superficie, Producción y Rendimiento de Maíz Duro Productivo*. Productivo. <http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/sipa-estadisticas/estadisticas-productivas>
- MAGAP. (2021). *Boletín Situacional Maíz Amarillo Duro 2021*. Sistema de Información Pública Agropecuaria. <https://online.fliphtml5.com/ijja/birj/>
- Martínez-Jiménez, A., García-Salazar, J. A., & Mora-Flores, J. S. (2015). Capacidad de almacenes y demanda de almacenamiento de maíz (*Zea mays* L.) en el estado de Chiapas, México. *Agrociencia*, 49(6), 669-702.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1405-31952015000600008&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2021). *MAGAP fija precio de maíz amarillo duro para junio – Ministerio de Agricultura y Ganadería*.
<https://www.agricultura.gob.ec/magap-fija-precio-de-maiz-amarillo-duro-para-junio/>

- Morales Valderrama, C. (Coord). (2021). *Respuestas acerca del maíz: La voz de 72 autores. Tomo I* (1era ed.). Instituto Nacional de Antropología e Historia. <https://es.scribd.com/book/517726036/Respuestas-acerca-del-maiz-La-voz-de-72-autores-Tomo-I>
- Muñoz López, D. L. (2017). *Estudio de la cadena de valor de alimentos balanceados en el Ecuador* [masterThesis, Universidad Andina Simón Bolívar, Sede Ecuador]. <http://repositorio.uasb.edu.ec/handle/10644/5999>
- Oballe, A., Torrealba, J. P., & Torres, H. A. (1974). *Manual sobre centros de acopio*. IICA Biblioteca Venezuela.
- Paliwal, R. (2023, enero). *EL MAÍZ EN LOS TRÓPICOS: Mejoramiento y producción*. https://www.fao.org/3/x7650s/x7650s02.htm#P0_0
- Ribeiro M. P., A. L. (1993). *Manual de manejo poscosecha de granos a nivel rural—Índice* [Oficial Regional de Servicios Agrícolas]. Manual de manejo poscosecha de granos a nivel rural - Índice. <https://www.fao.org/3/x5027s/x5027S00.htm>
- Sánchez Ortega, I. (2014). *Maíz I (Zea mays)*. 151-171. <https://hdl.handle.net/20.500.14352/33739>
- Secretaría Nacional de Planificación. (2021). *Plan de Creación de Oportunidades 2021-2025 de Ecuador | Observatorio Regional de Planificación para el Desarrollo*. <https://observatorioplanificacion.cepal.org/es/planes/plan-de-creacion-de-oportunidades-2021-2025-de-ecuador>
- Secretaría Nacional de Planificación. (2021, septiembre 21). *¡El Cambio Ya Se Siente! Se aprobó el Plan de Creación de Oportunidades 2021-2025 – Secretaría Nacional de Planificación*. <https://www.planificacion.gob.ec/el->

cambio-ya-se-siente-se-aprobo-el-plan-de-creacion-de-oportunidades-2021-2025/

SIPA. (2021). *Económico*. <http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/sipa-estadisticas/estadisticas-economicas>

SRI. (2023, febrero). *SRI en Línea—Consulta de RUC*.

<https://srienlinea.sri.gob.ec/sri-en-linea/SriRucWeb/ConsultaRuc/Consultas/consultaRuc>

statista. (2023). *Maíz: Principales productores a nivel mundial en 2021*. Statista.

<https://es.statista.com/estadisticas/613419/principales-productores-de-maiz-en-el-mundo/>

Taher, H. I., Urcola, H. A., Bartosik, R. E., & Gabriela, C. (2019). Caracterización

del uso del silo bolsa en la provincia de Buenos Aires. *Revista de Investigaciones de la Facultad de Ciencias Agrarias - UNR*, 33, 025-030.

<https://doi.org/10.35305/agro33.250>

Tovar Facio, J. (2020). *Desarrollo de modelos de optimización y su aplicación en el diseño de equipo y procesos productivos*.

http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB_UMICH/5749

Vargas, E. J. N., & Díaz, H. L. (2014). Modelo matemático para determinar la

ubicación de Centros de Distribución en un contexto real. *Scientia et*

Technica, 19(4), Article 4. <https://doi.org/10.22517/23447214.9269>

Velásquez, A. A. I., Flores, L. C. R., Villamar, J. M., & Moreno, L. E. Z. (2023).

Análisis de la cadena agroalimentaria del maíz en Ecuador. *Polo del*

Conocimiento, 8(1), Article 1. <https://doi.org/10.23857/pc.v8i1.5170>

7 ANEXOS

Anexo 1.- La base de información de siembra registra 71 cantones productores

#	CANTÓN	HECT	PORC DE SIEMBRA	ACUMULADO
1	PALENQUE	22786	6,3%	6,3%
2	VINCES	21217	5,9%	12,1%
3	VENTANAS	17090	4,7%	16,9%
4	BALZAR	16589	4,6%	21,4%
5	MOCACHE	15234	4,2%	25,6%
6	TOSAGUA	14907	4,1%	29,7%
7	PEDRO CARBO	14080	3,9%	33,6%
8	PAJÁN	12277	3,4%	37,0%
9	PUEBLOVIEJO	11190	3,1%	40,1%
10	JIPIJAPA	11137	3,1%	43,2%
11	SUCRE	10686	2,9%	46,1%
12	MONTALVO	10624	2,9%	49,1%
13	BABAHOYO	10610	2,9%	52,0%
14	CHONE	10457	2,9%	54,9%
15	CELICA	10109	2,8%	57,7%
16	PINDAL	10019	2,8%	60,4%
17	EL EMPALME	9825	2,7%	63,1%
18	PORTOVIEJO	9601	2,6%	65,8%
19	URDANETA	9017	2,5%	68,3%
20	ZAPOTILLO	7776	2,1%	70,4%
21	SAN VICENTE	7652	2,1%	72,5%
22	PICHINCHA	6951	1,9%	74,4%
23	PUYANGO	6843	1,9%	76,3%
24	SANTA ANA	6459	1,8%	78,1%
25	ROCAFUERTE	6178	1,7%	79,8%
26	SANTA ELENA	5902	1,6%	81,4%
27	BUENA FE	5846	1,6%	83,1%
28	BABA	4978	1,4%	84,4%
29	COLIMES	4663	1,3%	85,7%
30	JUNÍN	4342	1,2%	86,9%
31	24 DE MAYO	4283	1,2%	88,1%
32	PALTAS	4218	1,2%	89,3%
33	VALENCIA	4093	1,1%	90,4%
34	MACARÁ	3880	1,1%	91,5%
35	GUAYAQUIL	3078	0,8%	92,3%
36	MONTECRISTI	2778	0,8%	93,1%

#	CANTÓN	HECT	PORC DE SIEMBRA	ACUMULADO
37	BOLÍVAR	2547	0,7%	93,8%
38	SOZORANGA	2252	0,6%	94,4%
39	EL CARMEN	2072	0,6%	95,0%
40	QUINSALOMA	2007	0,6%	95,5%
41	CALVAS	1861	0,5%	96,0%
42	QUEVEDO	1786	0,5%	96,5%
43	CHAGUARPAMBA	1551	0,4%	97,0%
44	GONZANAMÁ	1423	0,4%	97,4%
45	ISIDRO AYORA	1230	0,3%	97,7%
46	ARENILLAS	1149	0,3%	98,0%
47	LAS LAJAS	932	0,3%	98,3%
48	JAMA	854	0,2%	98,5%
49	OLMEDO (MANABÍ)	757	0,2%	98,7%
50	SANTA LUCÍA	651	0,2%	98,9%
51	ESPÍNDOLA	611	0,2%	99,1%
52	SIMÓN BOLÍVAR	520	0,1%	99,2%
53	PANGUA	481	0,1%	99,3%
54	PIÑAS	450	0,1%	99,5%
55	URBINA JADO (SALITRE)	384	0,1%	99,6%
56	PEDERNALES	268	0,1%	99,6%
57	ECHEANDÍA	234	0,1%	99,7%
58	LA MANÁ	203	0,1%	99,8%
59	MARCABELÍ	185	0,1%	99,8%
60	LAS NAVES	130	0,0%	99,8%
61	QUILANGA	111	0,0%	99,9%
62	PALESTINA	106	0,0%	99,9%
63	NOBOL	103	0,0%	99,9%
64	OLMEDO (LOJA)	72	0,0%	100,0%
65	JARAMIJÓ	44	0,0%	100,0%
66	SANTA ROSA	35	0,0%	100,0%
67	NARANJITO	35	0,0%	100,0%
68	FLAVIO ALFARO	22	0,0%	100,0%
69	LOMAS DE SARGENTILLO	20	0,0%	100,0%
70	BALSAS	14	0,0%	100,0%
71	MANTA	2	0,0%	100,0%

Fuente: Elaboración propia en base a los datos del INEC.

Anexo 2.-Distancias en kilómetros entre las ciudades productoras de maíz y las ciudades donde se encuentran las industrias.

ORIGEN -> DESTINO	AMBA TO	BALSAS	BAÑOS	DURAN	GUAYAQUIL	ISIDRO AYORA	LATACUNGA	MACHAL A	MANTA	MEJIA	PELILEO	PIÑAS	PUJILI	QUEVEDO	QUITO
BABA	212	312	250	102	83	102	257	247	243	311	227	320	257	101	356
BABAHOYO	195	272	232	62	72	121	240	207	233	315	210	280	247	104	360
BALZAR	286	353	323	112	114	87	246	288	228	283	301	361	235	78	328
BUENA FE	231	398	265	188	197	181	187	382	204	190	241	406	176	18	235
BOLÍVAR	388	484	422	246	245	187	338	418	79	284	399	491	345	175	329
CELICA	509	101	533	317	327	378	553	158	518	616	508	175	560	455	663
CHONE	371	501	406	274	263	205	323	436	88	268	384	509	329	195	313
COLIMES	310	388	310	96	99	71	275	272	212	312	287	345	264	105	357
EL CARMEN	246	513	281	303	312	296	197	448	209	142	258	521	204	134	188
EL EMPALME	234	388	272	165	168	140	195	322	166	231	249	395	184	26	277
GUAYAQUIL	265	248	306	10	-	54	311	183	194	387	280	256	319	176	432
ISIDRO AYORA	278	297	323	59	54	-	330	232	141	369	300	304	321	163	414
JIPIJAPA	372	383	412	147	141	87	370	318	56	387	391	391	358	201	422
JUNÍN	340	471	376	233	228	175	299	406	75	296	354	479	287	162	334
MANTA	396	438	432	200	199	142	355	373	1	354	410	446	344	186	399
MOCACHE	201	356	239	144	154	142	192	289	191	228	248	362	181	23	268
MONTALVO	161	306	201	97	107	125	207	241	266	269	176	314	214	136	312
MONTECRIST I	384	425	419	188	182	129	342	360	11	354	398	433	331	173	399
PAJÁN	349	360	389	124	93	64	396	295	96	432	368	368	385	226	493
PALENQUE	248	350	286	117	117	92	240	285	231	278	263	358	229	71	316
PALESTINA	256	319	295	78	80	53	278	254	194	315	274	327	267	109	353

ORIGEN -> DESTINO	AMBA TO	BALSAS	BAÑOS	DURAN	GUAYAQUIL	ISIDRO AYORA	LATAQUINGA	MACHAL A	MANTA	MEJIA	PELILEO	PIÑAS	PUJILI	QUEVEDO	QUITO
PEDRO CARBO	299	310	338	72	71	14	345	245	128	382	314	318	334	176	420
PICHINCHA	257	413	297	188	192	163	220	348	135	246	276	421	209	51	296
PINDAL	494	88	520	303	313	362	539	144	505	600	494	160	547	440	647
PIÑAS	437	50	462	246	255	306	481	86	447	544	437	-	489	384	592
PORTOVIEJO	354	435	394	197	195	137	391	369	38	336	369	442	306	148	374
PUEBLOVIEJO	184	303	221	94	104	111	391	238	252	282	199	311	229	73	322
PUYANGO	480	73	506	289	299	350	525	130	490	588	481	110	533	428	633
QUEVEDO	212	375	247	166	176	163	169	310	186	205	225	384	158	1	245
QUINSALOMA	197	360	237	150	160	168	215	295	218	258	215	368	204	47	296
ROCAFUERTE	421	450	457	214	208	154	373	385	37	318	435	458	379	154	355
SAN VICENTE	411	513	446	276	282	217	262	448	89	307	425	521	369	179	345
SANTA ELENA	394	375	433	137	130	171	439	310	212	510	408	383	463	305	555
SANTA LUCÍA	267	308	306	67	67	41	291	242	182	327	285	315	280	122	373
SUCRE	344	417	382	180	175	121	345	352	66	361	364	425	334	176	398
TOSAGUA	388	482	424	245	239	186	339	417	68	284	404	490	348	132	324
URDANETA	192	323	229	114	124	131	239	258	272	303	207	331	247	92	342
VENTANAS	166	320	203	110	120	127	214	255	229	266	181	328	203	56	306
VINCES	225	327	263	107	107	82	258	262	223	294	240	334	251	87	329

Fuente: Elaboración Propia

**Anexo 3.- Resultados de la ejecución del modelo matemático usando la metodología GRG
de Excel con Solver**

Celda objetivo (Máx.)

Nombre	Valor original	Valor final
FUNCIÓN OBJETIVO	\$ 589.289,80	\$ 589.289,80

Celdas de variables

Nombre	Valor original	Valor final	Entero
BABAHOYO CA [i]	0	0	Binario
BALZAR CA [i]	0	0	Binario
BUENA FE CA [i]	0	0	Binario
CHONE CA [i]	0	0	Binario
COLIMES CA [i]	0	0	Binario
EL EMPALME CA [i]	0	0	Binario
JAPIJAPA CA [i]	0	0	Binario
MOCACHE CA [i]	0	0	Binario
MONTALVO CA [i]	0	0	Binario
PAJÁN CA [i]	0	0	Binario
PALENQUE CA [i]	0	0	Binario
PEDRO CARBO CA [i]	0	0	Binario
PICHINCHA CA [i]	0	0	Binario
PORTOVIEJO CA [i]	0	0	Binario
PUEBLOVIEJO CA [i]	0	0	Binario
QUEVEDO CA [i]	1	1	Binario
QUINSALOMA CA [i]	0	0	Binario
ROCAFUERTE CA [i]	0	0	Binario
TOSAGUA CA [i]	0	0	Binario
VENTANAS CA [i]	0	0	Binario
VINCES CA [i]	0	0	Binario
DIST[J] AMBATO	0	0	Continuar
DIST[J] BAÑOS	0	0	Continuar
DIST[J] DURAN	0	0	Continuar
DIST[J] GUAYAQUIL	0	0	Continuar
DIST[J] ISIDRO AYORA	0	0	Continuar
DIST[J] MANTA	5000	5000	Continuar
DIST[J] MEJIA	0	0	Continuar
DIST[J] PELILEO	0	0	Continuar
DIST[J] QUEVEDO	0	0	Continuar
DIST[J] QUITO	0	0	Continuar

Restricciones

NOMBRE	VALOR DE CELDA	FÓRMULA	ESTADO	DEMORA
DIST[J] DEMANDA	5000	\$AG\$200<=\$AG\$196	No vinculante	37231,62
DIST[J] DEMANDA	5000	\$AG\$200=\$AH\$200	Vinculante	0
CA [i]	1	\$U\$224=1	Vinculante	0
DIST[J]	5000	\$V\$224<=\$V\$225	No vinculante	15229,73
\$U\$203:\$U\$223=Binario				

Fuente: Elaboración Propia