

Diseño de un modelo de ruteo de vehículo de tres eslabones para la eficiencia de la distribución de la yuca industrial en la cadena de suministro de la yuca del municipio de Corozal, Sucre

Yessica Vanesa Quiroga Bárcenas
María Camila Vásquez Monterroza

Corporación Universitaria del Caribe - CECAR
Facultad de Ciencias Básicas, Ingeniería y Arquitectura
Programa de Ingeniería Industrial
Sincelejo
2020

Diseño de un modelo de ruteo de vehículo de tres eslabones para la eficiencia de la distribución de la yuca industrial en la cadena de suministro de la yuca del municipio de Corozal, Sucre

Yessica Vanesa Quiroga Bárcenas
María Camila Vásquez Monterroza

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de
Ingeniera Industrial

Director
José Luis Ruiz Meza
Magíster en Logística Integral
Ph.D Candidate in Logistics and Supply Chain Management

Co-director
Gean Pablo Mendoza Ortega
Magíster en Logística Integral

Corporación Universitaria del Caribe – CECAR
Facultad de Ciencias Básicas, Ingeniería y Arquitectura
Programa de Ingeniería Industrial
Sincelejo

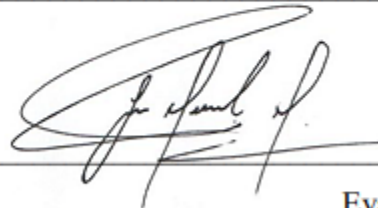
2020

Nota de Aceptación

4.81



Director



Evaluador 1



Evaluador 2

Agradecimientos

En primer lugar, agradezco a Dios por ser mi guía en todo momento, también por darme la sabiduría, entendimiento y perseverancia para lograr esta meta.

Por otra parte, agradezco a mi hijo Jeshua por ser el motor que me impulsa a seguir adelante, a mis padres Omar Quiroga y Carmen Bárcenas por motivarme y preocuparse tanto como yo, a mi hermana Alison Quiroga por acompañarme en cada proceso y alegrar los días tensos.

De igual manera, a mi colega y amiga María Vásquez por ser mi compañera de trabajo, sin duda, su entrega y dedicación fue la mejor, a su familia por estar allí con nosotras y desearnos éxitos.

También, agradezco a mi director José Ruiz Meza y codirector Gean Pablo Mendoza, por brindar su tiempo y conocimiento para hacer el mejor de los trabajos.

Finalmente, agradezco a todos los amigos y familiares que se preocuparon y me aconsejaron que terminara la investigación.

Yessica Quiroga Bárcenas

Agradecimientos

En primer lugar, agradezco a Dios, por darme la sabiduría y el entendimiento en todo momento, por permitirme culminar victoriosamente esta investigación.

Agradezco a mis padres Héctor Vásquez y Yaquelin Monterroza y mis hermanas María Carolina y María Catherin por brindarme su amor, comprensión y cariño, que me motivaron a nunca rendirme. Agradezco enormemente a mi abuela que con su amor me animo hasta el último de sus días.

También agradezco a mi amiga y compañera, Yessica Quiroga que sin duda fue la mejor colega, amiga y consejera en todo este proceso, con quien entre risas, llanto, trasnochos y disgustos logramos brindarnos el apoyo necesario para no rendirnos y culminar este proyecto, y a su familia por estar siempre pendientes y animarnos a seguir adelante.

A mi director Jose Luis Ruiz Meza y a mi Codirector Gean Pablo Mendoza Ortega, personas con gran conocimiento y dispuestos a colaborarnos siempre, que sin duda alguna hacen de este un excelente trabajo.

De igual forma, agradezco a las demás personas y familiares, que con su apoyo y carisma me ayudaron a terminar esta investigación.

María Camila Vásquez Monterroza

Tabla de Contenido

Resumen	11
Abstract	12
Introducción.....	13
3. Objetivos.....	16
3.1 Objetivo General	16
3.2 Objetivos Específicos	16
4. Marco teórico.....	17
4.1 Cadena de suministro	17
4.2 Cadena de suministro agroindustrial (CSA).....	18
4.3 La cadena de suministro de la yuca industrial	19
4.3.1 Abastecimiento.....	20
4.3.2 Producción	21
4.3.3 Cosecha.....	21
4.3.4 Poscosecha	21
4.3.5 Venta.....	21
4.4 Proceso de aprovisionamiento	22
4.5 Proceso de transporte.....	23
4.5.1 Centros de Acopio	23
4.5.2 Problemas de ruteo de vehículos en el transporte	24
4.5.3 Métodos de solución.....	26
4.6 Modelos de ruteo aplicados a cadenas de suministro agroindustriales	29
4.7 Ruteos de vehículos con entregas fraccionadas	34
4.8 Modelos de ruteos de vehículos con dos eslabones	37
5. Caracterización de la cadena de la yuca industrial	41
5. Sector económico de la yuca industrial en Colombia	41

5.2 Siembra y producción de yuca industrial a nivel nacional y departamental	42
5.3 Sector económico del Departamento de Sucre	45
6. Generalidades del municipio de Corozal – Sucre	48
6.1 Cadena de suministro de la yuca industrial en el municipio de Corozal – Sucre	49
6.1.1 Proveedores.....	51
6.1.2 Productores	52
6.1.3 Distribución.....	53
6.1.4 Transformadores.....	53
6.1.5 Comercialización.....	53
6.1.6 Consumidor.....	54
6.2 Proceso de aprovisionamiento de la yuca industrial en el municipio de Corozal, Sucre	55
6.3 Sistema actual de ruteo de la yuca industrial de Corozal-Sucre	55
6.4 Tiempo en el ruteo de la yuca de Corozal- sucre	58
6.4.1 Vehículos utilizados en el ruteo de la yuca industrial en Corozal- Sucre.....	59
6.4.2 Puntos de producción de la yuca industrial en Corozal – Sucre	59
7. Diseño del modelo matemático para el ruteo de la yuca industrial	60
7.1 Modelo conceptual	60
7.2 Modelo matemático.....	62
7.2.1 Conjuntos	62
7.2.2 Parámetros.....	62
7.2.3 Escalares	63
7.2.4 Variables	63
7.2.5 Función objetivo.....	64
7.2.6 Restricciones	64
7.3 Validación del modelo con instancias iniciales	67
7.4 Validación del modelo con instancias reales del municipio de Corozal, Sucre.....	73
8. Evaluación del modelo	79
8.1 Primer Escenario	79

8.2 Segundo Escenario	84
9. Comparación de los escenarios evaluados.....	90
10. Conclusiones	91
11. Recomendaciones.....	93
Referencias Bibliográficas.....	94
Apéndice A: encuesta 001	101
Apéndice B: encuesta 002	103
Apéndice C: Evidencias fotografías.....	105

Lista de figuras

Figura 1. Cadena de suministro Agroindustrial.....	18
Figura 2. Cadena de suministro de la yuca industrial.	20
Figura 3. Actores de la cadena de suministro de la Yuca Industrial.....	22
Figura 4. Representación gráfica de la ruta del VRP capacitado, con Flota Heterogénea, Ventanas de tiempo y Flota Subcontratada.....	25
Figura 5. Regiones cultivadoras de yuca a nivel nacional.	43
Figura 6. Hectáreas sembradas de Yuca industrial en municipios de Colombia.....	44
Figura 7. Producción anual de Yuca industrial en el Departamento de Sucre.	45
Figura 8. Porcentaje de la actividad económica en algunos departamentos de Colombia.....	46
Figura 9. Cultivos en el Departamento de Sucre.....	47
Figura 10. Mapa del Departamento de Sucre.....	48
Figura 11. Escudo del municipio de Corozal, Sucre.	49
Figura 12. Cadena de suministro de la yuca industrial en Corozal, Sucre.....	50
Figura 13. Fertilizantes usados en el cultivo de yuca industrial en Corozal-Sucre.	51
Figura 14. Demanda de los clientes de yuca industrial.....	54
Figura 15. Rutas actuales de la yuca industrial en Corozal, Sucre.	57
Figura 16. Modelo conceptual de la cadena de suministro de la yuca industrial en Corozal, Sucre	61
Figura 17. Rutas de la validación del modelo matemático con instancias iniciales.	70
Figura 18. Ruteo actual de la yuca industrial en el municipio de Corozal, Sucre.	76
Figura 19. Ruta del escenario 1.....	81
Figura 20. Ruta del escenario 2.....	86
Figura 21. Mata de Yuca Industrial.....	105
Figura 22. Cultivo de Yuca Industrial.	105
Figura 23. Sacos listos para cargar al camión.	106
Figura 24. Camión C2 cargado de Yuca Industrial.	106
Figura 25. Visita al cultivo de Yuca Industrial.	107
Figura 26. Vía actual de un corregimiento productor del tubérculo.....	107

Lista de tablas

Tabla 1. Método de solución.....	27
Tabla 2. Algunos trabajos enfocados en la logística de las Cadena de suministro agroindustriales.	29
Tabla 3. Trabajos desarrollados sobre problemas de ruteo de vehículos con entregas fraccionadas (SDVRP).....	35
Tabla 4. Trabajos desarrollados de ruteo de vehículos.....	37
Tabla 5. Regiones cultivadoras de yuca a nivel nacional.	42
Tabla 6. Productores de yuca industrial en el municipio de Corozal – Sucre.....	52
Tabla 7. Tiempo en el ruteo de la yuca industrial en Corozal, Sucre.	58
Tabla 8. Cantidades de yuca industrial de cada productor.....	68
Tabla 9. Capacidades y costos fijos de los vehículos de la ruta acopio - cliente.....	68
Tabla 10. Capacidades y costos fijos de los vehículos de la ruta productores – acopio.....	69
Tabla 11. Cantidades del producto a transportar (ton), ruta acopio - cliente.	71
Tabla 12. Cantidades del producto a transportar (ton), ruta acopio – productor.....	72
Tabla 13. Tiempo de llegada al nodo	72
Tabla 14. Toneladas de yuca industrial por productor.....	73
Tabla 15. Demanda de los clientes en tonelada.....	74
Tabla 16. Capacidad de los vehículos	74
Tabla 17. Vehículos utilizados en la ruta productores – acopio.....	77
Tabla 18. Vehículos utilizados en la ruta acopio – cliente.....	78
Tabla 19. Vehículos utilizados en la ruta Acopio - Cliente.	82
Tabla 20. Vehículos utilizados en la ruta productores – acopio.....	83
Tabla 21. Cantidad de yuca industrial a cargar en cada productor.....	87
Tabla 22. Vehículos utilizados en la ruta acopio - clientes.....	88
Tabla 23. Vehículos utilizados en la ruta productores - acopio.	88
Tabla 24 . Tabla comparativa de los escenarios propuestos.	90

Resumen

Colombia históricamente se ha destacado como uno de los países con una economía basada en su mayor parte en la agricultura, con grandes extensiones de terrenos dedicados al cultivo de diferentes plantas, tubérculos, alimentos, etc. En tal sentido tenemos a Sucre, un departamento rico en cultivos de ñame, yuca, piña, aguacate, arroz, maíz, entre otros, uno de los cultivos más significativos en el departamento es la yuca industrial, que se cultiva en grandes extensiones de tierras y en más de 10 municipios del departamento, siendo Corozal, uno de los municipios más pioneros en el cultivo del mismo; sin embargo, distintos actores hacen que este municipio presenta tantas fallas en cuanto a la distribución, organización y planeación de las cadenas de suministros, dejando de lado la logística como un proceso fundamental para adquirir ganancias económicas y disminuir tiempos en los productos que se cosechen. Ante la falta de planificación y distribución de rutas que maneja el municipio se procede a desarrollar esta investigación cuyo objetivo general es diseñar un modelo de ruteo de vehículos para mejorar la eficiencia de la distribución de la yuca industrial en el municipio de Corozal considerando tres eslabones de la cadena productiva, para ello, se inicia con la revisión bibliográfica de la literatura, seguido de la caracterización del estado actual de los eslabones de producción, acopio y clientes para conocer el proceso actual de transporte, luego se construye un modelo matemático para minimizar los costos asociados a la distribución de la yuca industrial, después de esto, se valida el modelo matemático y por último, se realiza la evaluación del modelo para la toma de decisiones que apunten a mejorar la competitividad, concluyendo que esta investigación realizó dos escenarios, en el primero se logró disminuir los costos totales en un 16% y en el segundo disminuyó en un 1,2% con relación a los costos iniciales.

Palabras clave: logística, distribución, modelo matemático, costos asociados, planeación, yuca industrial.

Abstract

Colombia has historically stood out as one of the countries with an economy based for the most part on agriculture, with large tracts of land dedicated to the cultivation of different plants, tubers, food, etc. In this sense we have Sucre, a department rich in crops of yam, cassava, pineapple, avocado, rice, corn, among others, one of the most significant crops in the department is industrial cassava, which is grown in large areas of land. and in more than 10 municipalities of the department, being Corozal, one of the most pioneering municipalities in the cultivation of the same; However, different actors make this municipality have so many flaws in terms of distribution, organization and planning of supply chains, leaving logistics aside as a fundamental process to acquire economic gains and reduce times in the products that are harvested. Given the lack of planning and distribution of routes that the municipality manages, this research is carried out whose general objective is to design a vehicle routing model to improve the efficiency of the distribution of industrial cassava in the municipality of Corozal, considering three links of The production chain, for this, begins with the bibliographic review of the literature, followed by the characterization of the current state of the production, storage and customer links to know the current transportation process, then a mathematical model is built to minimize the costs associated with the distribution of industrial cassava, after this, the mathematical model is validated and finally, the evaluation of the model is carried out to make decisions that aim to improve competitiveness, concluding that this research carried out two scenarios, in the first was able to reduce total costs by 16% and the second decreased by 1.2% in relation to n to initial costs.

Keywords: logistics, distribution, mathematical model, associated costs, planning, industrial cassava.

Introducción

Desde siempre las personas han cultivado alimentos y se ven en la necesidad de transportarlos a otros lugares en donde son de difícil adquisición. Es por ello, que el transporte juega un papel importante dentro de la cadena de suministro de un producto o servicio (Castillo y Bermeo, 2013). Ahora bien, una estructura eficiente de la cadena de suministro ayuda a la reducción de costos y toma de decisiones en el proceso de transporte; este último debe realizarse de manera adecuada para que el producto no pierda los beneficios y calidad necesaria para la obtención de sus derivados, garantizando siempre el costo mínimo de distribución (Tapia, 2019).

Hoy día el transporte en Colombia se hace principalmente por carreteras, las cuales presentan innumerables contratiempos climáticos, de infraestructura y de elevados costos que afectan de manera directa a toda la cadena de suministros (Palacio, 2016); es importante analizar el transporte de los productos agrícolas en el país ya que estos lideran en un 7,7% el crecimiento de la economía colombiana (Hernandez, 2017).

En otro aspecto, el proceso de transporte presenta varias características tales como, capacidades de los vehículos, tiempos y distancias de viaje, asignación de vehículos, costos de viajes, entre otros factores que deben ser considerados para alcanzar una eficiencia operacional (Delgado, 2018, p. 15), dichas características pueden ser modeladas mediante problemas de ruteo de vehículo (Vehicle Routing Problem -VRP), cuyo objetivo es atender las demandas de un conjunto de clientes con una flota de vehículos (Castillo y Bermeo, 2013).

Los problemas de ruteo de vehículos incluyen restricciones y características propias como la capacidad limitada (CVRP), ventanas de tiempos (VRPTW) flota heterogénea (HFVRP) y entregas fraccionadas (SDVRP).

En cuanto a la producción del sector agropecuario es considerado como impulso económico del país; en el Departamento de Sucre, esta actividad es una de las principales fuentes de ingreso, la cual generó para el año 2017 un aporte del 12,8% al producto interno bruto (PIB) (García e Isaza, 2018). Además, se enfoca en un mercado interno que se centra principalmente en el ámbito agrícola, forestal, pesquero y acuícola (Mineducación, 2017, p. 10), en el primero, se destaca la producción de la yuca, el ñame, arroz, maíz, tabaco y ajonjolí (Dane, 2016).

Adicionalmente, la yuca es fuente principal de nutrientes para los seres humanos. Este producto se clasifica en dos tipos, la yuca dulce y la yuca industrial, siendo la principal diferencia entre estas dos, el contenido de ácido cianhídrico (HCN, gas o compuesto volátil que afecta negativamente las células) (Elizalde y Pazmiño, 2015; Pacheco-Hernández et al., 2015). Cabe resaltar, que la vida útil de las raíces es de 3 a 4 días, para que el tubérculo mantenga la calidad y se puedan obtener sus derivados (Aguilera, 2012).

Según Ceballos (2013), miembro del Centro Internacional de Agricultura Tropical, expresó en una entrevista realizada por el *Heraldo* que la yuca además de ser alimento, también servía para almidón, bioetanol, y para el consumo animal, además, el gerente de Almidones de Sucre en 2013, éste consideró al departamento como la zona yuquera del país (p. 1).

Posteriormente, el consenso departamental EVA 2017 estadísticamente posicionó a la yuca como el tubérculo de mayor producción en toneladas (ton) anual en Sucre, generando 101.988,45 (ton) de yuca industrial sembradas en 13.629,95 (ha) (Agronet, 2017). Análogamente, la producción anual de yuca en Sucre para el año 2017 tuvo un aumento de 5.271,9 toneladas con relación al año anterior 2016.

En consecuencia, el comportamiento manufacturero de la yuca industrial en Sucre se destaca por la producción del tubérculo en sus diferentes municipios, sin embargo, según el EVA, son Corozal y Los palmitos quienes presentan la mayor producción del mismo con 15.785

(ton) y 6.368 (ton) respectivamente. De modo idéntico, la investigación se realizará en el municipio de Corozal- Sucre debido a la alta producción de la raíz.

Cabe destacar la producción de yuca industrial de 2016 y 2017 en Corozal, el cual presentó cifras favorables de 3.600 toneladas y 15.785 respectivamente, teniendo un aumento significativo en cuanto a la producción (Agronet, 2017).

Ciertamente, el cultivo de la yuca industrial asocia diferentes costos relacionados con la siembra, cosecha, transformación y transporte; este último depende del tipo de camión, capacidad de volumen y peso (Silvera y Mendoza, 2017). Ahora bien, el transporte de la yuca industrial se da primeramente con el cargue del tubérculo por medio de tractores agrícolas, que van desde la cosecha hasta los puntos de acopio en donde el tubérculo es embarcado en camiones particularmente de tipo C2 y C3.

Teniendo en cuenta lo anterior, esta investigación se basa en diseñar un modelo de ruteo de vehículos para mejorar la eficiencia de la distribución de la yuca industrial en el municipio de Corozal considerando tres eslabones de la cadena productiva. Para ello se tiene en cuenta la metodología de Hernández Sampieri (Hernández 2014), y se inicia con la revisión bibliográfica de la yuca industrial, luego se caracterizan los eslabones de la cadena de suministros, se construye un modelo matemático, se valida el modelo en el software GAMS y, por último, se evalúa el modelo.

Cabe resaltar, que la propuesta del centro de acopio es tomada de la investigación: “Modelo de localización de múltiples instalaciones como soporte estratégicos a las operaciones logísticas en la cadena de suministro agroalimentaria” (Mendoza, 2018).

3. Objetivos

3.1 Objetivo General

Diseñar un modelo de ruteo de vehículos para mejorar la eficiencia de la distribución de la yuca industrial en el municipio de Corozal considerando tres eslabones de la cadena productiva.

3.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar el estado actual de los eslabones de productores, acopio y transformación de la yuca industrial en el municipio de Corozal, para identificar el proceso actual de transporte.
- Construir un modelo matemático de programación entera mixta que considera flota heterogénea, capacidades y con ventanas de tiempos, para la eficiencia de la distribución de la yuca industrial en el municipio de Corozal.
- Evaluar el modelo construido con base a los parámetros obtenidos con la caracterización del proceso de transporte en instancias reales, entre los eslabones de producción, acopio y clientes de la yuca industrial.

4. Marco teórico

4.1 Cadena de suministro

La cadena de suministro a nivel mundial es un tema muy importante para las organizaciones, puesto que el 81% de los altos ejecutivos que gestionan dichas cadenas, aseguran que son inadecuadas para satisfacer a los clientes (Rey, 2017) ; según especialistas se hace uso de las cadenas de suministro para competir con las demás empresas (Miranda, 2017), debido que, proporciona la optimización de costos, satisfacción del cliente, utilización de activos y mejoramiento de ingresos (Arto, 2017). Además, conecta el flujo de información o materiales en los procesos logísticos que conllevan al cliente y/o consumidor (Alarcón et al., 2016), es decir, enlaza todo lo concerniente a los procesos que van desde el origen del producto hasta ser consumido.

En otras palabras, la gestión de la cadena de suministro ayuda a incrementar la competitividad empresarial e integra diversos sistemas como, por ejemplo, de información, aprovisionamiento y compras, programación de producción, tramitación de pedidos, gestión de inventarios, almacenamiento, servicio al cliente y servicio posventa (Arto, 2017).

Según Blanchard (2011) define a la cadena de suministro como “la secuencia de eventos que cubre el ciclo de vida entero de un producto o servicio desde que es concebido hasta que es consumido” (p. 25).

Así mismo, para Galena (2016) “la mejor cadena de suministro es aquella que satisface plenamente las necesidades de Marketing y Ventas en el país donde opera la empresa”(p. 1).

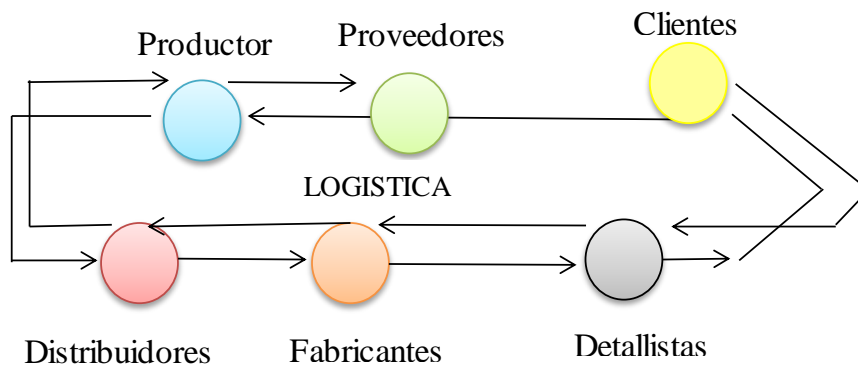
Por otra parte, el objetivo de la cadena de suministro es integrar de manera eficiente a los proveedores, fabricantes, almacenes y minorista, asegurando que el producto se fabrica y distribuye de la forma más adecuada, en el momento, lugar y tiempo correcto (Gil et al., 2017).

4.2 Cadena de suministro agroindustrial (CSA)

La cadena de suministro agroindustrial es aquella que produce y distribuye productos del sector agropecuario, forestal y biológico, involucrando una serie de partes como productores, proveedores, clientes, distribuidores, fabricantes y detallistas (Figura 1) (Gil et al., 2017), que comprenden un amplio proceso desde el cultivo, almacenamiento, transporte y comercialización de un producto (Moreno et al., 2015).

Figura 1

Cadena de suministro Agroindustrial.



Fuente: adaptado de (Macias et al., 2017).

Según Chistopher (2006), la cadena de suministro agroindustrial “es la integración de redes que trabajan en conjunto en los procesos y actividades para entregar productos o servicios al mercado y satisfacer la demanda de los clientes, garantizando siempre la calidad del producto” (p. 15).

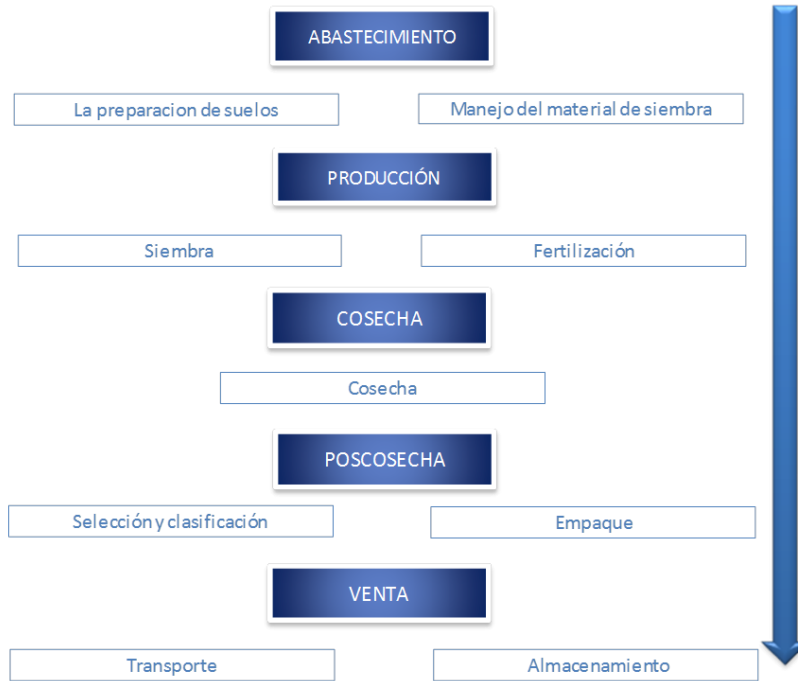
Los principales problemas que abarca la cadena de suministro agroindustrial son la previsión de la demanda, planificación de la producción, gestión de inventarios y transporte, sin dejar de lado las formas de organización, el territorio, manejo de información, entre otros (Viancha, 2012).

4.3 La cadena de suministro de la yuca industrial

La cadena de suministro agroindustrial de la yuca industrial involucra ciertos procesos tales como producción, comercialización, transformación y distribución del tubérculo; del mismo modo se relacionan los agricultores, productores, comercializadores, mayoristas, minoristas y consumidor (Grupo Sepro, 2015).

Ahora bien, la cadena de suministro agroindustrial de la yuca industrial pasa por diferentes escenarios, como abastecimiento, producción, cosecha, pos cosecha, y venta (Figura 2) (Márquez y Olarte, 2017).

Figura 2
Cadena de suministro de la yuca industrial.



Fuente: adaptado de (Macias et al., 2017).

4.3.1 Abastecimiento

La preparación de suelos hace parte de este escenario, y es uno de las labores más importantes del cultivo (Figura 22), requiere de suelos profundos y bien drenados que no impidan el desarrollo del tubérculo y faciliten la cosecha (Aguilar, 2017); asimismo, el manejo del material de siembra, para lo cual se debe tener en cuenta el tipo de planta, saber seleccionar los tallos, se deben agrupar las semillas en mazos de 40 a 50 varas, arrumes de 80 cm de ancho parados (Almidones de sucre, 2015).

4.3.2 Producción

La siembra del tubérculo, es recomendable hacerlo en los primeros meses de lluvia. Para el municipio de Corozal la producción se da en los meses de abril y junio (Almidones de Sucre, 2015); y la fertilización que se hace para aumentar la productividad la calidad del cultivo y la pérdida de nutrientes del mismo (Cadavid y Lopez, 2015).

4.3.3 Cosecha

Esta se realiza de manera manual o mecánica, se produce para los meses de junio a octubre (Almidones de Sucre, 2015), para sacar la yuca primero se cortan las hojas y luego se procede a halar la planta.

4.3.4 Poscosecha

Consiste en la selección y clasificación del tubérculo para determinar el destino final, se selecciona dependiendo tamaño, color externo, deformidad, entre otros criterios (Aguilar, 2017); y el empaque de este producto se hace en sacos (bolsas de polipropileno) (Figura 23) o material flexible (Márquez y Olarte, 2017).

4.3.5 Venta

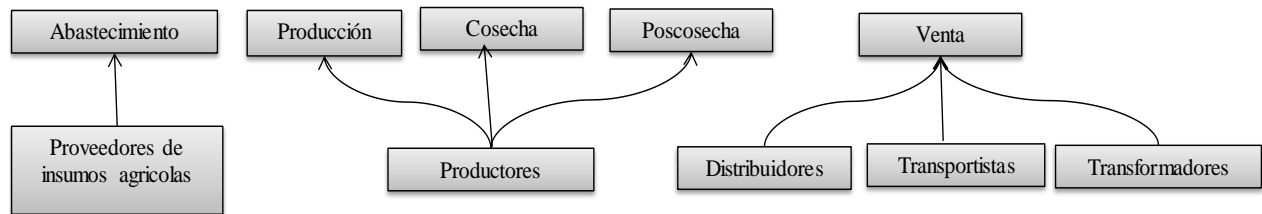
De este escenario hace parte principal el transporte, la cual se debe hacer en camiones que garanticen las mejores condiciones (se debe organizar de manera horizontal) para que el producto no pierda la calidad que requiere para la obtención de subproductos y el almacenamiento juega un rol importante (Márquez y Olarte, 2017); y por último la distribución y venta, esta se debe realizar en un tiempo menor de 3 a 4 días, ya que entre mayor es la entrega del producto mayor son los beneficios económicos (Almidones de sucre, 2015); en este proceso

se identifican tres niveles importantes o eslabones principales que son los productores, los centros de acopio y las empresas transformadoras.

Ahora bien, en la cadena de suministro de la yuca industrial intervienen diversos actores en cada uno de los escenarios (Figura 2). El primer escenario comprende los proveedores de insumos agrícolas, el segundo, tercer y cuarto escenario, incluye los productores del tubérculo y el último escenario, lo integran los distribuidores, transportistas y transformadores (Figura 3).

Figura 3

Actores de la cadena de suministro de la Yuca Industrial.



Fuente: adaptado de (Márquez y Olarte, 2017).

Por consiguiente, una eficaz cadena de suministros de la yuca industrial permite disminuir costos de distribución, y mejorar la seguridad alimentaria, de igual manera, la eficiencia de la cadena contribuye a la economía mundial, generación de empleo y beneficios para el productor (Mendoza, 2018).

4.4 Proceso de aprovisionamiento

En la cadena de suministro, el aprovisionamiento ayuda a la programación de entregas, identificar y analizar las fuentes de suministro, gestionar las reglas de negocio, identificación, selección y evaluación del desempeño de proveedores y la administración de datos (Echeverría, 2012).

En este sentido, el aprovisionamiento se considera una actividad crucial en la reducción de costos dentro de la cadena de suministro, junto a la mejora de la calidad los productos; así mismo, los objetivos de esta son calcular las necesidades de la empresa, minimizar la inversión en inventarios y establecer un sistema de información (Vasco, 2016).

4.5 Proceso de transporte

Según Anaya (2009), define el transporte “como toda actividad encaminada a trasladar los productos desde un punto de origen hasta su destino final” (p. 27).

Del mismo modo, el transporte se identifica como el envío de un producto de un lugar a otro, desde el principio de una cadena de suministro hasta el cliente final (Freen, 2016), además, es de vital importancia, debido a que genera un valor agregado a los productos que son entregados a tiempo, sin daños y en las cantidades requeridas, y a su vez desempeña un rol crucial en la economía de un país hasta el punto que determina el costo de un bien o servicio que se comercializa en un mercado cada vez más exigente y cambiante (Calderón et al., 2016).

Por otra parte, el transporte es un componente esencial en las cadenas de abastecimiento de productos agrícolas, según la empresa Almidones de Sucre, el transporte debe ser eficiente y adecuado, se debe hacer en el menor tiempo posible ya que la yuca industrial (Figura 21) pierde sus propiedades con el paso de los días, es por ello que entre menor tiempo de cosecha y entrega, mayor será el beneficio para el productor (Almidones de sucre, 2015).

4.5.1 Centros de Acopio

En Ballou (2016), se describe la importancia de conocer la ubicación de las instalaciones de las cadenas de suministro, ya que brinda la organización, estructura y configuración al sistema

completo (p. 68). Por lo anterior, resulta pertinente resaltar que los centros de acopio cumplen el objetivo de reunir las cosechas de los productores, en un lugar en específico (Costa, 2010).

4.5.2 Problemas de ruteo de vehículos en el transporte

El problema de ruteo de vehículos es aquel que busca determinar una ruta adecuada (Cattaruzza et al., 2014), donde cada ruta tiene un recorrido que inicia en un nodo determinado, pasando así por subconjuntos de clientes; por lo general las rutas retornan al inicio (Jiang et al., 2014). Por esta razón, y dada su importancia, el objetivo de tener una ruta idónea es minimizar los costos de los diferentes viajes que se realicen en cada ruta.

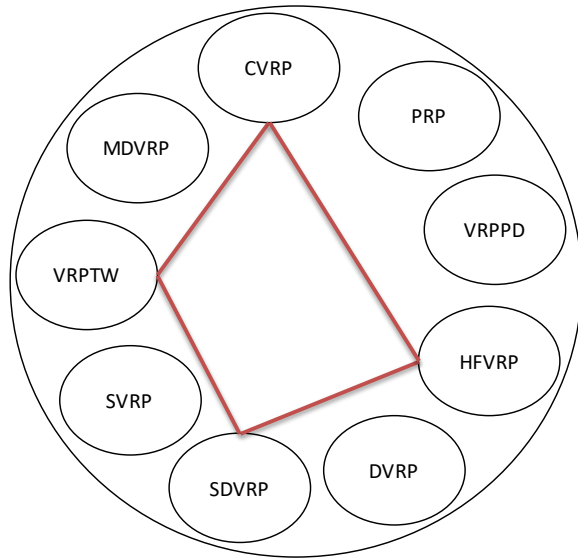
Por otra parte, el VRP (Vehicle Routing Problem) es uno de los modelos de problema de ruteo de vehículos más utilizados para la optimización logística operativa del transporte, el cual plantea diversas soluciones con restricciones tales como: número de vehículos, su capacidad, destino final y la demanda. Para (Bochtis y Sorensen, 2009 ;Baldacci et al., 2012) el VRP involucran el diseño de rutas óptimas, para una flota de vehículos, que ofrecen servicio a cierto conjunto de clientes. Igualmente, garantiza minimizar los costos de transporte asociados a rutas de reparto en pro de satisfacer la demanda conocida (Gonzales y Uribe, 2018).

El problema fue implementado primeramente por Dantzing y Ramser en el año 1959, con una aplicación en el mundo real, la cual consistía en establecer la ruta óptima de una flota de camiones que repartían gasolina entre un terminal a granel y cierto número de estaciones de servicio, suministrados por el terminal (Batero, 2017).

Ahora bien, debido a las variaciones que se dan en el planteamiento de problema de ruteo tales como, las variables, restricciones, capacidades entre otros aspectos dados según la contextualización del problema este tipo de herramientas presentan una gran diversidad de variantes entre ellas, CVRP, VRPTW, HFVRP y SDVRP (Figura 4).

Figura 4

Representación gráfica de la ruta del VRP capacitado, con Flota Heterogénea, Ventanas de tiempo y Flota Subcontratada.



Fuente: Construcción propia a partir de (Gonzalez, Gonzalez, & Ruiz Meza, 2006).

El CVRP (*Capacitated Vehicle Routing Problem*), también es un problema de ruteo básico, fundamentado en la optimización de aplicaciones de transportación, distribución y logística.

Hay que mencionar, además que el problema VRPTW (*Vehicle Routing Problem with Time Windows*), se considera como un tiempo límite o restringido para cada cliente, el cual pueden definirse por ventanas de tiempo para las diversas formas de atención, y se dividen primeramente en: tiempo conocido para la llegada de los clientes, seguido tiempo conocido para el recorrido del camino hasta el cliente, en tercera instancia, el tiempo conocido para la llegada en depósitos de carga (depot) y por último, el tiempo límite conocido para el servicio activo de vehículos o conductores (Pemberthy, 2013).

En términos de HFVRP (Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem), este problema de ruteo de vehículos, poseen diferentes capacidades de almacenamiento; la capacidad de los camiones depende de los parámetros y características que presenta la demanda que cubre cada vehículo teniendo en cuenta la ruta recorrida (Castañeda y Cardona, 2017).

Por otro lado, el problema de ruteo de vehículos con entregas fraccionadas (SDVRP), permite que el mismo cliente sea visitado por diferentes vehículos con la condición de reducir el costo total (Babilonia et al., 2011).

Además, el objetivo principal del problema es encontrar la ruta mínima reduciendo los costos totales con una flota de vehículos capacitados en relación a un solo depósito y teniendo en cuenta ciertas restricciones (Toro- Ocampo et al., 2016).

4.5.3 *Métodos de solución*

Actualmente las empresas diseñan las rutas de distribución de manera empírica sin la utilización de herramientas o software especializado que ayuden con la rentabilidad de la misma, por ende, las organizaciones buscan métodos eficientes de solución.

Por otra parte, el VRP ha sido estudiado durante varios años por la literatura y autores que han propuesto métodos de solución, los cuales se clasifican en métodos exactos y aproximados, el primero genera soluciones factibles y el segundo soluciones buenas, pero no óptimas. A continuación, se desglosan los principales métodos pertenecientes a los mencionados anteriormente (Nieto et al., 2012).

Tabla 1

Método de solución.

Autor (es)	Año	Métodos de solución	
		Métodos Aproximados	Métodos Exactos
(Anbuudayasankar et al.,)	2012	Heurísticas	
(Douglas)	2016	Metaheurísticas	
(Soto et al.,)	2009	Algoritmos Híbridos	
(Escobar)	2017		Programación Lineal y Entera
(I. Delgado)	2016		Programación Dinámica
(Yepes Piqueras)	2002		Búsqueda Directa de Árbol

Fuente: Elaboración propia 2020.

Consecutivamente, se define cada método propuesto anteriormente:

- *Búsqueda directa de árbol:* este método realiza la búsqueda sobre todos los nodos del árbol teniendo en cuenta criterios específicos del mismo (Laport, 1992).

- *Heurísticas*: Clarke y Wright, propusieron el primer algoritmo para resolver un VRP en 1964. Este método parte de rutas que tienen un nodo para encontrar la mejor ruta. Las heurísticas pueden clasificarse en: métodos constructivos, métodos de dos fases y heurísticas de mejora (Berger et al., 2001).
- *Programación Dinámica*: un método propuesto por Eilon, Watson – Gandy y Christofides, el método considera un número fijo de vehículos. Luego encuentra el costo mínimo alcanzable utilizando k vehículos, teniendo en cuenta la función del costo en el trayecto de la ruta a través de los vértices del subconjunto, seguido, encuentra el costo de todos los subconjuntos de vértices con x vehículos (Laport, 1992).
- *Programación lineal y entera*: comprende tres métodos que son, conjunto de particiones y generación de columnas, formulación de flujo de vehículos de tres índices y formulación de flujo de vehículos de dos índices (Laport, 1992).
- *Metaheurísticas*: estos métodos fueron desarrollados en los años 90, son reconocidos por buscar una solución de calidad, mediante la aplicación de operadores independientes. Se clasifican en algoritmos genéticos, redes neuronales, recocido simulado, algoritmo de hormigas, búsqueda tabú y búsqueda de vecindades (Contardo, 2005, p. 15).

Adicional a ello, los métodos de solución del VRP que se han utilizado actualmente son metaheurísticas como la Búsqueda de Tabú y algoritmos genéricos, también el algoritmo de memoria adaptativa, algoritmo híbrido, búsqueda de vecindades, algoritmo de ramificación y valor (Baldacci et al., 2012).

A partir de 2002 hasta 2011, se desarrollaron métodos aplicables al CVRP y VRPTW teniendo en cuenta dos técnicas: la formulación de algoritmos de participación de conjuntos y algoritmos basados en la generación de columnas (Baldacci et al., 2012).

4.6 Modelos de ruteo aplicados a cadenas de suministro agroindustriales

A continuación, se detallan modelos de ruteos y transporte aplicados en el sector agroindustrial (Tabla 2).

Tabla 2

Algunos trabajos enfocados en la logística de las Cadena de suministro agroindustriales.

AUTOR	AÑO	APORTE	MÉTODO DE SOLUCIÓN
Mayra Alejandra Galeano Posada & Juan Alberto López Ramírez (Galeano y Lopez, 2011).	2011	Los modelos VRP ayudaron a mejorar el proceso de recolección de leche en la empresa Parmalat S.A, adoptando nuevas rutas las cuales optimizaron los tiempos y recorridos entre los mismos.	Se utilizaron modelos de VRP para darle solución al problemas de ruteo que se estaba presentando en la empresa Parmalat S.A
Carlos Javier Herrera Galeano (Herrera, 2013).	2013	Al implementar los modelos de VRP en la cadena de alimentos en suba, principalmente el transporte del plátano se obtuvo disminución en los costos y tiempos de	Para encontrar una solución óptima al problema de ruteo de transporte del plátano se hace necesaria la implementación del modelo VRP el cual ayudo al mejoramiento al sistema de transporte de la empresa.

<p>Camilo Adolfo Calderón González & Jessica Tolosa 2016 Ospina (Calderon y Tolosa, 2016).</p>	<p>transportes del mismo. El resultado que se obtuvo mediante el modelo VRP fue la mejora en la disminución de los costos logísticos en la cadena frutícola, primeramente, el transporte, en el cual se maximizo la utilización de la capacidad de los vehículos.</p>	<p>El modelo de solución propuesto fue el VRP, el cual con ayuda de un modelo matemático y del software GAMS, el cual modelo el problema logístico del sistema con el fin de obtener los resultados requeridos para el mismo.</p>
<p>Jaime Hernán Calderón, Antony Gómez & Alejandro Góngora (Calderón et al., 2016)</p>	<p>Con base en la metodología de un sistema de rutas para un banco de alimentos se decide utilizar el modelo VRP lo cual resulto de gran acogida ya que se logró identificar que este modelo ayuda a las empresas a optimizar en cuanto a la cantidad de vehículos, la disminución del tiempo de transporte, la reducción de consumo de combustible y ayuda al control de rutas.</p>	<p>En el banco de alimentos de Cali se llevó a cabo la implementación del método VRP el cual es de gran ayuda a la hora de implementar las rutas de un sistema de transporte.</p>
<p>Diego Fernando Batero Manso 2017</p>	<p>Con la implementación del VRP en los alimentos</p>	<p>En esta investigación se hace énfasis en el modelo VRP el</p>

<p>(Fernando et al., 2018).</p>	<p>perecederos se encontraron los planes de ruteo y distribución de las 5 frutas representativas del Departamento de Cundinamarca, a su vez, se minimizaron los costos de transportes del sector frutícola.</p>	<p>cual ayuda a resolver el problema de transporte en los alimentos perecederos, así mismo se utilizan modelos matemáticos para expresar las relaciones entre los diferentes actores del sistema.</p>	
<p>José Luis Ruiz Meza (Ruiz-Meza, 2018)</p>	<p>2018</p>	<p>Debido a que el Departamento de Sucre no cuenta con una estructura definida por lo que esta investigación se diseñó un modelo matemático multi-objetivo de VRP lo cual contribuyó a disminuir los tiempos de recolección de la leche cruda los cuales eran un problema para las propiedades de la misma.</p>	<p>Se implementó un modelo matemático multi-objetivo de VRP y el método de los pesos ponderados y a través de este último se hallaron buenas soluciones y construir así un Pareto.</p>
<p>Gabriel Bernardo Botero Gómez (Botero, 2018).</p>	<p>2018</p>	<p>Con la implementación del modelo VRP se crearon nuevos recorridos para los camiones que distribuyen el combustible con el fin de minimizar la cantidad de kilómetros que estos</p>	<p>El modelo de solución propuesto en este trabajo es el modelo logístico VRP que busca crear un numero de restricciones donde se eliminen sub-tours inadmisibles, para ello el</p>

<p>Edwin Causado Rodríguez, Frank Díaz Armenta & Darwin Sánchez González (Causado et al., 2018).</p>	<p>recorren; así mismo se obtuvo que una buena planeación logística ayude a disminuir los desperdicios que se presentan en los alimentos perecederos.</p>	<p>modelo se basa en un transportador que debe entregar combustible a una refinería a determinados clientes.</p> <p>Gracias a la metodología del VRP utilizada en el sistema de ruteo del mango ayudó a disminuir los tiempos de las rutas entre los tres eslabones de la cadena que integran este sistema, así como también las distancias totales entre recorridos.</p>	<p>Se utilizó el modelo VRP para encontrar las rutas óptimas a la cadena de suministro del mango, así mismo los modelos matemáticos ayudaron a relacionar las variables, parámetros y restricciones de este sistema.</p> <p>Se realizó una simulación del sistema de ruteo de la caña de azúcar y luego de ella se aplicó e modelo de ruteo correspondiente (VRP) lo cual contribuyó a obtener información de la asignación de rutas en el sistema de carga, se construyeron flotas vehiculares para la</p>
<p>Pablo Patricio Cárdenas González 2018 (Cardenas, 2018).</p>	<p>El modelo VRP se implementa en la problemática para ayudar a desarrollar un método de solución para el sistema de ruteo vehicular que maneja la distribución de la caña de azúcar.</p>		

<p>Camilo Hernando Velandia Espíndola 2018 (Velandia, 2018).</p>	<p>ejecución del mismo</p> <p>Gracias a la implementación del modelo VRP se logró minimizar los costos de entrega en los productos alimenticios, la reducción de distancias y tiempos de desplazamiento, esto permitió una mayor eficiente en el sistema y mayor aprovechamiento de los productos.</p>	<p>El modelo VRP se utilizó para determinar las rutas optima de los vehículos que transporten los alimentos, a su vez se buscó mejorar los problemas ambientales con la implementación de estos triciclos de carga.</p>
--------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Fuente: Elaboración propia 2020.

Seguidamente, es necesario conocer estudios realizados en el ruteo de vehículos que involucren dos eslabones en su cadena de suministro, algunos de ellos son:

Nguyen, Prins y Prodhon (2012) desarrollaron un problema de enrutamiento de vehículos con dos eslabones, basado en un modelo matemático que tiene como función objetiva la minimización de los costos que implica el ruteo de los vehículos, obteniendo como resultado la vinculación de rutas opcionales, estas se obtuvieron luego de realizar tres rigurosas heurísticas (pp. 1-14).

Por otra parte, Soysal, Bloemhof y Bektas (2015), desarrollaron un modelo que explica la distancias, velocidad, carga y emisiones; así mismo, se tienen en cuenta las rutas más económicas y amigables con el medio ambiente, una vez terminado se pone en práctica en una

cadena de supermercados holandeses en el cual se dieron los resultados que se esperaban en cuanto a la ayuda al ambiente (pp. 1-164).

Ahora bien, Grangier, Gendreau, Lehuéde y Roussea (2016); realizan una investigación de los problemas de ruteos de vehículos en una ciudad, en la cual se integraron ventanas de tiempo, múltiples viajes, y sincronización, y se vinculan a la hora de definir las restricciones del modelo matemático del artículo que lleva por nombre, An adaptive large neighborhood search for the two-echelon multiple-trip vehicle routing problem with satellite synchronization, a la hora de dar solución a este problema se realiza una heurística que da soluciones al mismo, disminuyendo los costos actuales del ruteo (pp. 1-19).

Por otra parte, Niño (2017), incorpora restricciones logísticas propias de un modelo de ruteo capacitivo de dos eslabones con el objetivo de minimizar los costos, de acuerdo a la literatura este modelo recibe el nombre de: estudio del problema de ruteo de vehículos de dos eslabones. Para hacer frente a este estudio, el autor utiliza un método híbrido donde se evidencia que la primera etapa hace parte de la construcción de soluciones iniciales y la segunda, busca soluciones con mayor calidad, además, en las pruebas de híbrido, con la presentación de la extensión se observa que la etapa de intensificación no afecta la función objetivo debido a la calidad de las soluciones iniciales (pp. 1-108).

4.7 Ruteos de vehículos con entregas fraccionadas

El ruteo de vehículos con entregas fraccionadas es uno de los problemas de VRP en donde se estipula que el mismo cliente puede ser atendido por diferentes vehículos, siempre y cuando se contemple la reducción del costo total, esta condición se estipula cuando el tamaño de las demandas copan las capacidades de los vehículos (Babilonia et al., 2011). Adicional a ello, resulta importante conocer los estudios que se han desarrollado bajo los problemas de ruteo de

vehículos con entregas fraccionadas (SDVRP), a continuación, se mencionan algunos de ellos (Tabla 3).

Tabla 3

Trabajos desarrollados sobre problemas de ruteo de vehículos con entregas fraccionadas (SDVRP).

AUTOR	AÑO	APORTE	MÉTODO DE SOLUCIÓN
Nilson Herazo Padilla (Herazo, 2012).	2012	Se realizó un estudio sobre la literatura para los diferentes problemas de ruteo que se presenta, así se logra realizar un modelo matemático que contemple los supuestos requeridos para lograr el ruteo y la solución óptima en reducción de costos.	Se utilizó un modelo matemático de programación entera mixta para solucionar el problema de ruteo de vehículos con restricciones de múltiples depósitos, flota heterogénea y ventanas de tiempo, el cual se codifica en GAMS y en un software de modelación algebraica general.
Juan Sepúlveda, John Escobar y Wilson Adarme (Sepúlveda et al., 2014)	2014	Usando el enfoque de problemas de ruteo de vehículos con entregas fraccionarias, se logra una disminución en el número de vehículos	Gracias a las heurísticas y metalurgistas, se solucionan problemas de ruteo de vehículos con las instancias que se consideren y sean propias de cada problema. En este caso se usa una heurística y se

		<p>que se utilizan para satisfacer la demanda de los clientes y a su vez se usan vehículos con menor capacidad.</p>	<p>despliega en MS Excel.</p>
<p>Yimy Hernández (Hernandez, 2016).</p>	<p>2016</p>	<p>La investigación se logra aumentar en un 30% la eficiencia en la utilización de los recursos de transporte y genero beneficios económicos a las empresas de transporte de carga por carretera.</p>	<p>A la hora de solucionar el problema de ruteo de vehículos con entregas fraccionadas se hace necesaria la revisión de la literatura para conocer y hacer un bosquejo de los modelos anteriormente descritos, con ello se realiza un modelo metaheurístico híbrido que logra aumentar la economía de las empresas de transporte de carga por carretas.</p>
<p>Osva Montesinos y Carlos Hernández (Montesinos y Hernández, 2018).</p>	<p>2018</p>	<p>Gracias a esta investigación se logra conocer el aumento significativo que han tenido las medidas de erradicación y control</p>	<p>Se desarrolla un modelo matemático que contempla el número de personas susceptibles a infecciones, la tasa de contacto con otras personas, tiempo de recuperación y el número de infectados.</p>

enfermedades
infecciosas

Fuente: Elaboración propia 2020.

4.8 Modelos de ruteos de vehículos con dos eslabones

Es importante resaltar los estudios que se han llevado a cabo en cuanto a los ruteos de vehículos y las soluciones que se dan a estos, con el fin de tener una visión más clara y precisa sobre el tema (Tabla 4).

Tabla 4

Trabajos desarrollados de ruteo de vehículos.

AUTOR	AÑO	APORTE	MÉTODO DE SOLUCIÓN
Julio Daza, Jairo Montoya, Francesco Narducci (Daza et al., 2009).	2009	Gracias a este estudio se logró minimizar los costos de transporte que presentaban los vehículos, además se cumple el objetivo de realizar una ruta que permitió mejorar la planificación y asignación de las rutas de la empresa de mensajería.	Se realiza un algoritmo metaheurístico que consta de dos fases diseñar la ruta y planificar las flota y se lleva a cabo por medio de restricciones de Capacidad y flota homogénea.
Luis Delgado & Juan Lozano (L. Delgado y Lozano, 2011)	2011	A la hora de realizar esta investigación y utilizar métodos de solución se logra minimizar un 10,73% de las rutas	En esta investigación de asignación de rutas se trabajan métodos tales como; método de ahorro, el cual permite minimizar las distancia de los

<p>Monirehalsadat Mahmoudi & Xuesong Zhou (Mahmoudi y Zhou, 2016).</p>	<p>2016</p>	<p>iniciales que manejaban, recorrido y el número de así mismo se redujo el vehículos disponible, así mismo número de vehículos el método de barrido y las redes disponible que se tenían de Petri para realizar los recorridos, sin afectar la entrega de los productos. Gracias a los métodos empleados en este problema de ruteo de vehículos se logra la minimización del costo-beneficio de todo el sistema, y se logran manejar los tiempos de entrega y salida de los productos.</p>	<p>Se lleva a cabo mediante un enfoque de relajación de Lagrange, si mismo se trabaja bajo la programación de C++, así mismo se diseñaron redes para los recorridos y se modelo con el software mencionado.</p>
<p>Fabio Maximiliano Miguel (Miguel, 2017).</p>	<p>2017</p>	<p>Se desarrolló una herramienta que ayudo a planificar la ruta eficiente de vehículos de carga en la distribución urbana de mercaderías, así mismo, se redujo en un 20% el recorrido de los vehículos.</p>	<p>Este trabajo se lleva a cabo mediante el método de Estudio de caso con un enfoque mixto no estructurado, recolectando información para realizar el modelo matemático que representaría la investigación.</p>
<p>Haiko Eitzen, Fabio López- Pires,</p>	<p>2018</p>	<p>Con esta investigación se logró minimizar el tráfico de la ciudad luego de hacer</p>	<p>Para esta investigación se trabajó bajo un algoritmo multi-objetivo que incluyo varios de los</p>

<p>Benjamín Barán, Fernando Sandoya, Jorge Luis Chicaiza y Carlos Suárez Núñez (Eitzen et al., 2018).</p>	<p>el debido ruteo de cada vehículo, así mismo se logró minimizar los costos de los proveedores, clientes, distribuidores y las emisiones de dióxido de carbono.</p>	<p>problemas que se dan en depósitos, satélites y clientes; gracias a este algoritmo y modelamientos matemáticos se logra dar solución o minimizar la problemática.</p>
<p>Yong Wang, Kevin Assogba, Liu Yong, Ma Xiaolei, Xu Maozeng & Yinhai Wang (Wang et al., 2018)</p>	<p>Con esta investigación se logró minimizar costos y maximizar el nivel de servicio al cliente.</p>	<p>Esta investigación presenta una metodología basada en el conocimiento considerando ubicación de clientes y comportamientos de compra, con un método de suavización exponencial para pronosticar la demanda de los clientes, finalmente se realiza un modelamiento matemático que permite modelar la problemática.</p>
<p>Mario Marinelli, Aleksandra Colovic & Manuel Dell’Orco (Marinelli et</p>	<p>Gracias a esta investigación se logra minimizar el impacto ambiental que causaban la ruta de los vehículos en una ciudad, se disminuyó el 8,42% de la emisión que</p>	<p>Para dar solución a este problema de ruteo de vehículos con dos eslabones se hizo necesario el empleo de la programación dinámica y para evaluar el impacto ambiental se presentó el modelo de Behnke y</p>

al., 2018). se presentaba Kirschstein.
anteriormente con los
mismos vehículos y sin
tener una ruta adecuada
para casa uno de ellos

Fuente: Elaboración propia 2020.

5. Caracterización de la cadena de la yuca industrial

Caracterizar consiste en una fase en la que se describen procesos, actores, sectores económicos, acontecimientos, componentes, y contextos de un producto como tal. Por lo anterior, se afirma que la caracterización es una descripción de tipo cualitativa que puede contener datos o cantidades con el objetivo de profundizar sobre un tema en particular, para ello, se debe identificar y organizar la información (Bonilla et al., 2009).

5.1 Sector económico de la yuca industrial en Colombia

Colombia maneja una economía basada en tres sectores; sector primario o sector agrícola, sector secundario o industrial y sector terciario o prestación de servicios. El primero de ellos está constituido por actividades encaminadas a la obtención de productos y bienes que suministra la naturaleza, es por ello, que se tendrá en cuanto este sector a lo largo de la investigación (Cajal, 2019).

El sector primario es uno de los más importantes en la economía Colombia, pues representa el 15% del PIB y por medio de los años se ha situado como el de mayor inversión para el país, con un 22% incluyendo la agroindustria y un 12% generador de divisas (encolombia, 2018).

Para el año 2018, dentro del sector primario, la yuca superó los dos millones de toneladas lo que la sitúa como uno de los cultivos importantes para el crecimiento económico del país, por su parte, la yuca industrial representa el 12% de la economía Colombia, siendo uno de los más promisorios en la actualidad (Cardona, 2019).

De la misma manera, para el año 2018 los departamentos con mayor producción de yuca industrial en Colombia son Bolívar, Córdoba, y Sucre, con una producción representativa del 19%, 13% y 8% respectivamente (Portafolio, 2018).

Ahora bien, el Departamento de Sucre cuenta con 4 municipios destacados en la producción del tubérculo, los cuales son Corozal, Sincelejo, Los palmitos y San pedro con una producción de 15.785 ton, 10.780 ton, 6.368 ton y 4.680 ton respectivamente (Agronet, 2017).

5.2 Siembra y producción de yuca industrial a nivel nacional y departamental

Colombia es uno de los países que más cultiva yuca en sus regiones, desde las más altas y lluviosas zonas como la Andina, hasta, zonas desérticas como la Guajira. Sin embargo, se produce con otros tubérculos o se asocia con productos como el maíz y el algodón. En contraste, se maneja como monocultivo, enfocándose más a términos industriales (Minagricultura, 2017).

Consecutivamente, las regiones que más cultivan yuca a nivel nacional son las siguientes:

Tabla 5

Regiones cultivadoras de yuca a nivel nacional.

Zonas	Características
Región Caribe	Aportan el 44% del área sembrada de la yuca en el País, específicamente en nueve departamentos de la costa atlántica, entre ellos, el Departamento de Bolívar se especializa en la producción de la yuca dulce para el consumo humano, y en Sucre se produce la yuca industrial ya sea, para la alimentación animal o almidón de yuca.

Llanos Orientales

Se encuentra la producción de monocultivos de yuca, esta, suple la demanda de Bogotá y sus alrededores, para el consumo humano del tubérculo.

Zona Cafetera

En esta zona, la yuca se produce principalmente para el consumo humano, su destino es a plazas o industrial que elaboran chips de yuca frita.

Valle del Cauca & Norte del Cauca

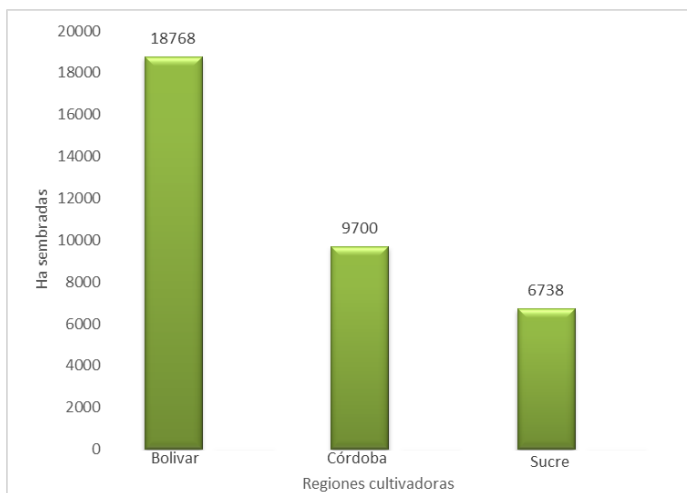
En esta zona se desarrolla el almidón agrio para la producción de pan de bono o pan de yuca.

Fuente: Elaboración propio 2020.

Por otra parte, en nueve departamentos de la Costa Atlántica se produce yuca industrial, destacándose Bolívar con 18.768 hectáreas sembradas (Has), Córdoba con 9.700 (Has) y Sucre 6.738 (Has) (Figura 5).

Figura 5

Regiones cultivadoras de yuca a nivel nacional.

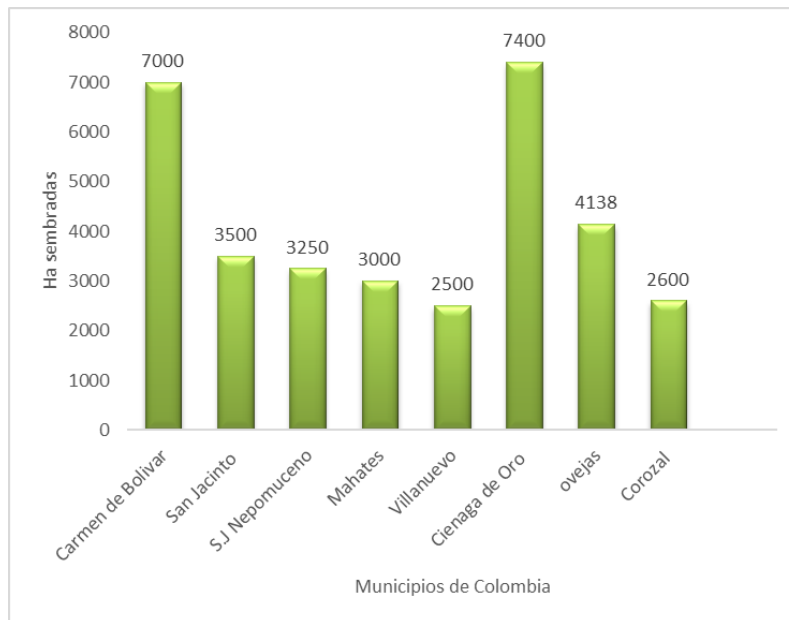


Fuente: adaptado de (Minagricultura, 2017).

Según el Ministerio de agricultura y desarrollo rural (2017), los municipios que se resaltan por sembrar mayor yuca industrial son: Carmen de Bolívar y Ciénaga de Oro con 7.000 y 7.400 (Has) respectivamente. Además, el Departamento de Sucre se considera pionero en la producción de la yuca industrial, destacándose Ovejas y Corozal con 4.138 (Has) y 2.600 (Has) consecutivamente (Figura 6).

Figura 6

Hectáreas sembradas de Yuca industrial en municipios de Colombia.

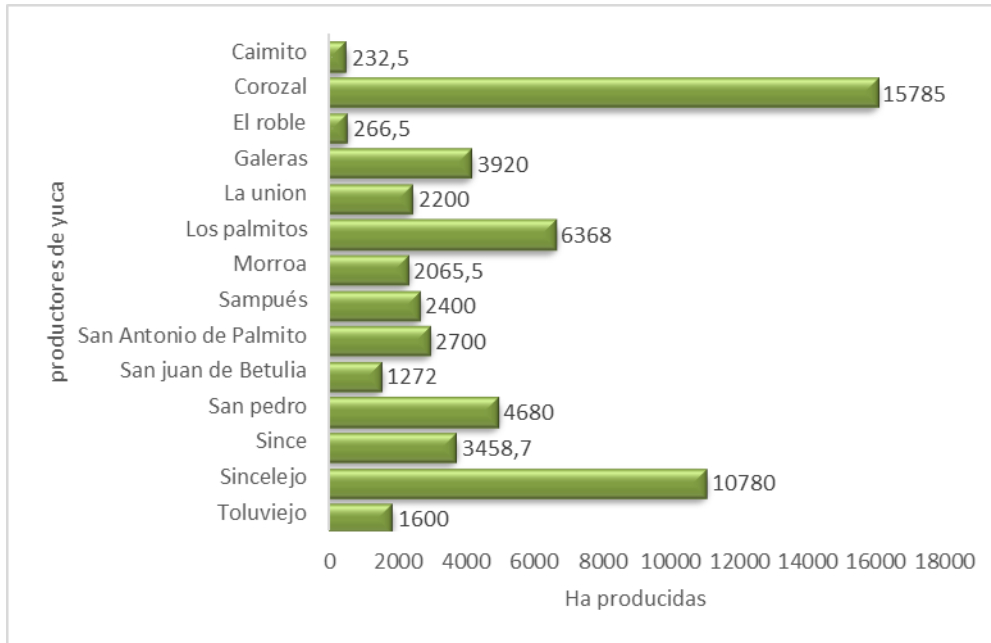


Fuente: Adaptado de (Minagricultura, 2017).

Es importante resaltar al Departamento de Sucre en la producción de yuca industrial debido al auge que ha presentado durante los últimos años. Según el consenso departamental EVA, se destaca Corozal como máximo productor con 15.785 hectáreas producidas (Figura 7).

Figura 7

Producción anual de Yuca industrial en el Departamento de Sucre.



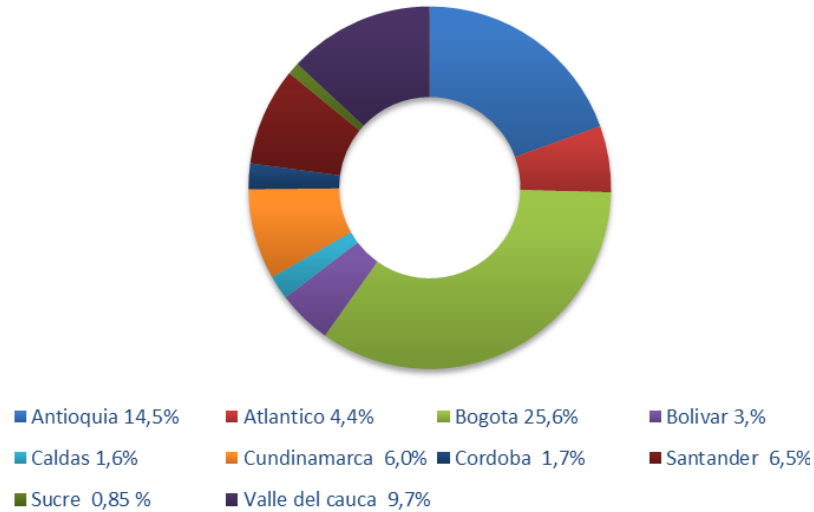
Fuente: adaptado de (Agronet, 2017).

5.3 Sector económico del Departamento de Sucre

El Departamento de Sucre maneja una economía centrando en un mayor porcentaje las prácticas agrícolas con poco valor agregado e inclinado en un mercado interno, lo que conlleva a que este sea una de las economías más pobres del país en comparación a los otros departamentos representando el 0,8% de la economía nacional (TodaColombia, 2019) (Figura 8).

Figura 8

Porcentaje de la actividad económica en algunos departamentos de Colombia.

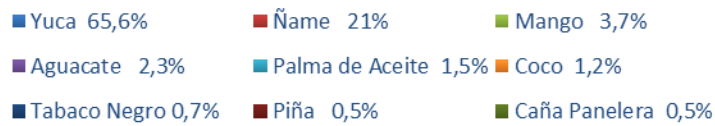
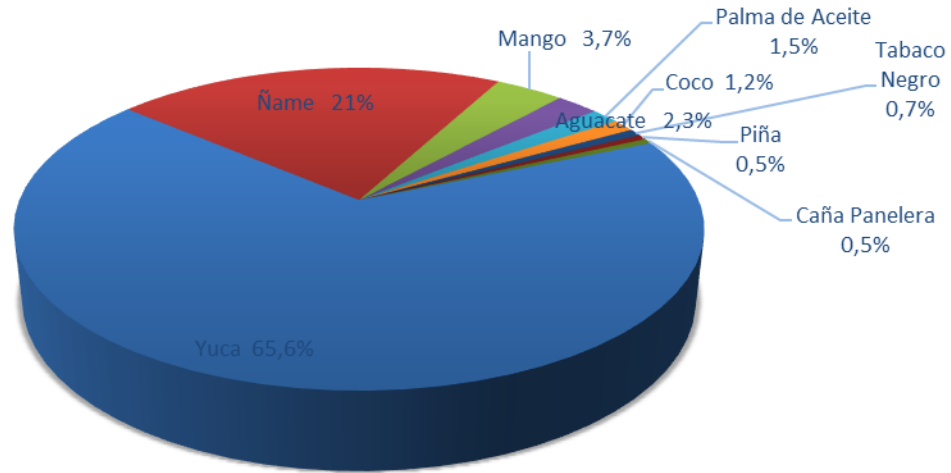


Fuente: Elaboración propia 2020.

Por otra parte, este departamento es rico en cultivos tales como la yuca, yuca industrial, arroz, ñame, plátano, entre otros, siendo la yuca la de mayor cultivo en el mismo; según el PIB colombiano en el año 2018 la yuca fue uno de los cultivos permanentes con mayor porcentaje en su cosecha con un 65,6% (Mincomercio, 2020) (Figura 9); cabe agregar que la yuca industrial tiene una producción de 21.500 ton en este departamento para el año 2018 (Mojica et al., 2018).

Figura 9

Cultivos en el Departamento de Sucre.



Fuente: Elaboración propia 2020.

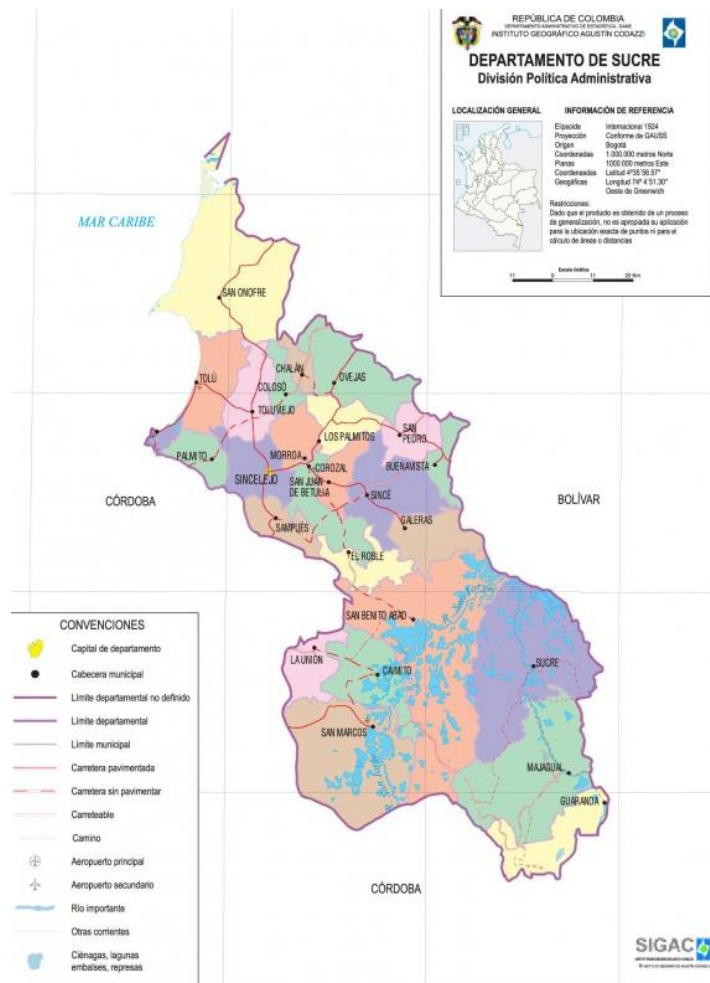
Ahora bien, la investigación se centrará en el municipio de Corozal, Sucre por el porcentaje significativo que tiene en cuanto al cultivo de la yuca industrial.

6. Generalidades del municipio de Corozal – Sucre

Al momento de hablar del municipio de Corozal, Sucre, en primera instancia se hace necesario conocer su ubicación. A continuación, se muestra el mapa del Departamento de Sucre con sus respectivos municipios.

Figura 10

Mapa del Departamento de Sucre.



Fuente: adaptado de (IGAC, 2019).

El municipio de Corozal, Sucre, se encuentra ubicado en la región Noreste del Departamento de Sucre, a una altura de 174 metros sobre el nivel del mar y está situada a 9° 19' latitud norte y 75° 18' longitud este de Greenwich; limitado por el norte con los municipios de Morroa y Los palmitos, por el sur con el municipio del roble, por el este con los municipios de San Juan de Betulia y Sincé y por el oeste con los municipios de Sampués y Sincelejo. El municipio cuenta con dos divisiones tradicionales, el área urbana comprende 60 barrios y el área rural está conformada por diez municipios y ocho veredas (Alcaldía de Corozal, 2019).

Corozal, es un municipio que se caracteriza por realizar actividades agrícolas y ganaderas, es por ello, que su escudo (Figura 11) consta de un heraldo adornado a su lado izquierdo por nuestra patria y al derecho por la bandera de la tierra corozalera, en su interior se divide en tres franjas horizontales, en las dos primeras se describe la actividad agrícola y ganadera, sus tierras fértiles y el calor que adorna su cielo y la última franja muestra el único aeropuerto del departamento (Corozal, 2018) .

Figura 11

Escudo del municipio de Corozal, Sucre.



Fuente: adaptado de (Alcaldía de Corozal, 2019).

6.1 Cadena de suministro de la yuca industrial en el municipio de Corozal – Sucre

Para entender el concepto de cadena de suministro es necesario tener presente los actores del sistema económico que permiten las ventajas competitivas del entorno empresarial. Es por ello, que la cadena de suministro es un conjunto estructurado de procesos de producción que

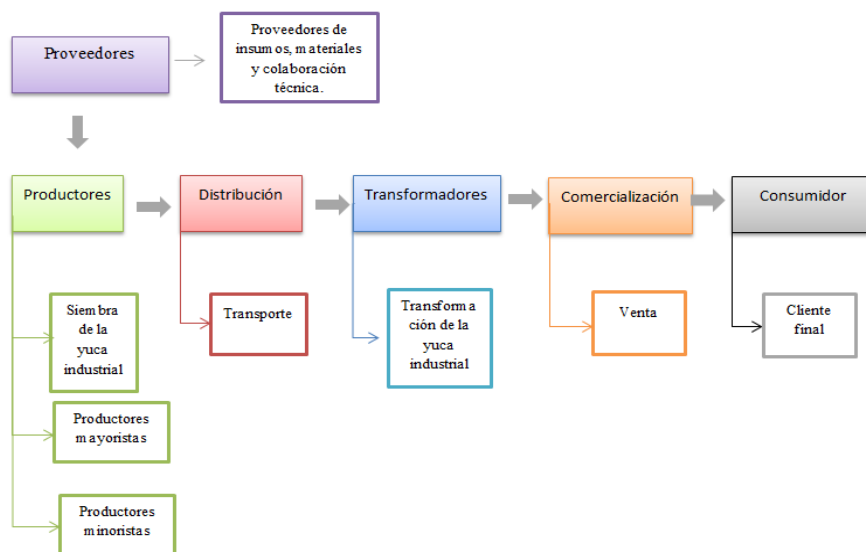
tiene en común un mismo mercado y en él se características de cada es labón afectan la productividad de la producción en conjunto (Isaza, 2009).

Para la elaboración de la cadena de suministro de la yuca industrial en Corozal Sucre, se diseñó un instrumento (Apéndice A y B) que permitiera obtener datos relacionados con la investigación. Primeramente, el grupo investigador, se dirigió al municipio de Corozal, donde entrevistaron a una muestra de productores mayoristas y minoristas del municipio, seguido, visitaron los cultivos (Figura 25), y allí se recibió la información necesaria para la elaboración de la cadena de suministro de la yuca industrial (Figura 12), este proceso demoró aproximadamente 4 horas, debido a que, se hicieron varias visitas.

Cabe resaltar, que, con base al instrumento aplicado a los productores mayoristas y minoristas del municipio de Corozal, se conoce que la producción de yuca industrial se da desde los años 90, de igual manera, se siembran 25 – 30 hectáreas por productor.

Figura 12

Cadena de suministro de la yuca industrial en Corozal, Sucre.



Fuente: Elaboración propia 2020.

La cadena de suministro del municipio de Corozal cuenta con 6 eslabones, siendo el primero de ellos los proveedores, seguido de productores, distribución, transformadores, comercialización y consumidor, a continuación, se define cada uno de estos eslabones.

6.1.1 Proveedores

Los proveedores representan las empresas o personas que proveen insumos, materiales, productos, y todo lo necesario para la producción de yuca industrial en el municipio (Ruiz, 2018).

Corozal, cuenta con cinco proveedores de insumos agrícolas, los cuales son: Sal Montemar, Agropecuaria Surtigán, El potrero, Almacén La Hacienda y Agropecuaria el Rodeo Plaza S. De H, Ahora bien, los productores de este municipio utilizan productos fertilizantes tales como, Rafo, Dap, Cloruro de Potasio KCI, triple 15, Urea e Hidrocomplex, para los cultivos y crecimiento de la yuca industrial (Figura 13).

Figura 13

Fertilizantes usados en el cultivo de yuca industrial en Corozal-Sucre.

FERTILIZANTE	Plan 1		Plan 2		Plan 3		Plan 4	
	N° de bultos	Kilos	N° de bultos	Kilos	N° de bultos	Kilos	N° de bultos	Kilos
Rafo	4	200	0	0	0	0	0	0
Cloruro de Potasio	2,5	125	3	150	2	100	1	50
Urea	3	150	3,5	175	2	100	2	100
Dap	0	0	2	100	0	0	0	0
Triple 15	0	0	0	0	6	300	0	0
Hidrocomplex	0	0	0	0	0	0	8	400
Total recomendado	9,5	475	8,5	45	10	500	11	550
Población	10000							
Dosis por planta en gr	48		43		50		56	

Fuente: Elaboración propia 2020.

6.1.2 Productores

Para efectos de la investigación se toma una muestra de 14 productores de yuca industrial en el municipio de Corozal, Sucre, 7 productores mayoristas que cultivan son: Empresa Ingredion, Wilson Contreras, Fabio Coter, Jorge Navarro, Daniel Contreras e Ismael Pérez; y 7 productores minoristas que son, Roberto Medina, Tulio Cárcamo, Saúl López, Jesús María Medina, Israel Palencia, Jairo Peña y Luis Suarez, ubicados en diferentes corregimientos del municipio (Tabla 6).

Tabla 6

Productores de yuca industrial en el municipio de Corozal – Sucre.

	PRODUCTORES	HA SEMBRADA	UBICACIÓN
Mayoristas			
1	Empresa Ingredion	150	Villa nueva
2	Empresa Ingredion	150	Hato Nuevo
3	Wilson Contreras	90	Las peñas
4	Fabio Coter	40	Rincón de las flores
5	Jorge Navarro	30	El Mamon
6	Daniel Contreras	30	Las Peñas
7	Ismael Pérez	10	Rincón de las flores
Minorista			
8	Roberto Medina	5	El Mamon
9	Tulio Cárcamo	4	Cantagallo
10	Saúl López	4	El Mamon
11	Jesús María Medina	4	El Mamon
12	Israel Palencia	3	Las Palmas
13	Jairo Peña	3	Las palmas

14	Luis Suarez	2	Vía a Chocho
----	-------------	---	--------------

Fuente: Elaboración propio 2020.

6.1.3 Distribución

Este eslabón hace referencia al transporte del tubérculo desde el punto de producción hasta la empresa transformadora, así mismo, se utilizan camiones doble troque, con capacidad de 12 y 15 toneladas, de igual manera, se emplean de 1 a 5 camiones diarios por productor, con un tiempo de cargue aproximadamente de 2- 5 horas.

6.1.4 Transformadores

Corozal cuenta con la empresa Almidones de Sucre, ubicada en la vía que conduce de Sincelejo a Corozal a 8,4 km de distancia del municipio (Corozal) en un tiempo aproximado de 11 minutos, esta organización se dedica a la transformación de la yuca industrial en almidón.

6.1.5 Comercialización

La yuca industrial en el municipio de Corozal se transporta en camiones doble troque con capacidades de 12 y 15 toneladas cada uno, en estos vehículos el tubérculo va empacado en bolsas de polipropileno (Figura 23).

Primeramente, el tubérculo es enviado desde el Productor hasta la empresa Almidones de Sucre o en su defecto enviado directamente a los clientes (Barranquilla y Medellín), por su parte, estos clientes se encargan de vender el tubérculo a empresas que se dedican a la transformación de la raíz en productos terminados como alimentos de peces, de cerdos y demás.

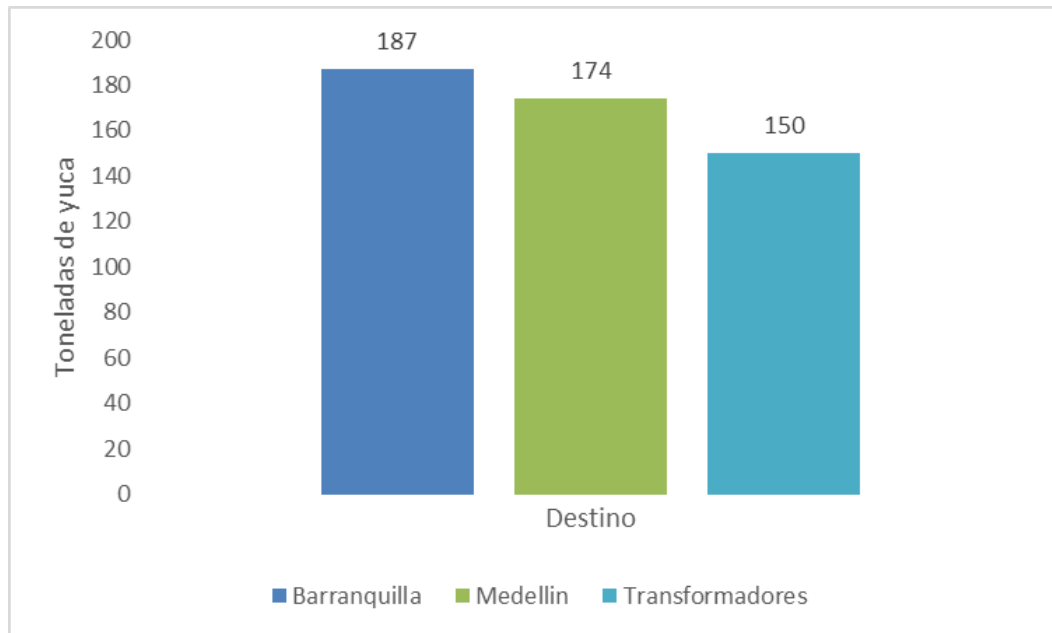
La yuca industrial es un producto que tiene un precio base para los productores de \$286/kg, lo cual le permite al productor conocer cuál será la rentabilidad de su cosecha a la hora de terminar el cultivo, así mismo, se conoce que los productores comercializan el tubérculo de manera independiente, es decir, hacen una comunicación directa con el cliente y de ahí parte su venta.

6.1.6 Consumidor

En este eslabón se encuentran los clientes finales, los cuales compran toneladas de almidón de yuca (Figura 14) para fabricar productos tales como purinas, alimentos de peces, productos de panaderías, entre otros. Cabe aclarar, que esta investigación termina con el envío de la yuca industrial hasta las ciudades de Medellín, Barranquilla y Corozal, Sucre.

Figura 14

Demanda de los clientes de yuca industrial.



Fuente: Elaboración propia 2020.

Ahora bien, el gráfico anterior enmarca los valores en toneladas de yuca industrial que compran los clientes, en el caso de Barranquilla, compra 187 toneladas del tubérculo, por su parte Medellín compra 174 toneladas de yuca industrial y Corozal, la empresa Almidones de Sucre compra 150 toneladas del producto.

6.2 Proceso de aprovisionamiento de la yuca industrial en el municipio de Corozal, Sucre

En la cadena de suministro, el proceso de aprovisionamiento tiene como función identificar los suministros de bienes y servicios fundamentales para el proceso, con el fin de definir la red de proveedores; además, es la encargada de programar los procesos de acopio, inventarios, bienes y administración de datos (Echeverría, 2012). Dentro de la cadena de suministro de yuca industrial en Corozal, el proceso de aprovisionamiento se encarga del suministro y acopio de materias primas y en caso esencial de la preparación de los suelos, la cual necesita de la adecuación del lote y del arado del mismo, luego, se dan las labores manuales, como el transporte de las semillas, siembra de la yuca y aplicación de los fertilizantes e insecticidas, por último, los insumos agrícolas que se necesitan para la siembra de la yuca industrial como, el mazo de vástago de yuca industrial, Diuron, Metholaclor, Urea, Dap, Cloruro de potasio KCl, Oxiclорuro de Cu e Insecticidas (Almidones de sucre, 2015).

6.3 Sistema actual de ruteo de la yuca industrial de Corozal-Sucre

El ruteo que se realiza en la distribución de la yuca industrial en esta investigación no está controlado por un software especializado que permita organizar las rutas para la recolección del tubérculo de manera óptima, por lo anterior, esta fase se realiza a criterio del conductor, productor o encargado.

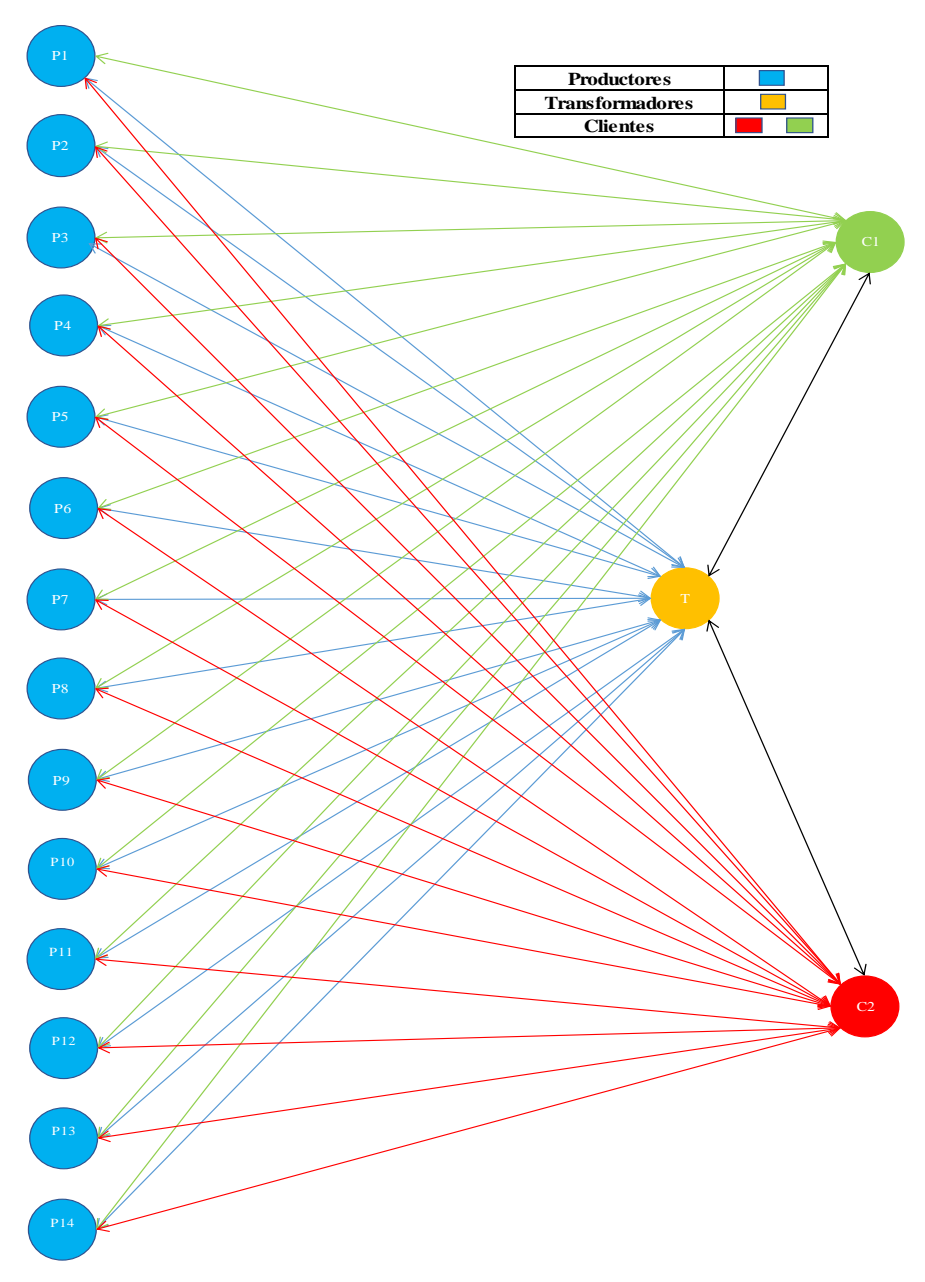
Además, los vehículos que se emplean no cuentan con un sistema que proteja la yuca industrial de golpes que provoquen el deterioro de esta y no cuentan con la normatividad establecida en la resolución 3168 de 2015. Por su parte, el embalaje del producto se hace mediante bolsas de polipropileno (Figura 23). Sumando a esto, la cantidad de yuca industrial que se puede transportar en los vehículos depende de su capacidad, sin embargo, la mayoría de los productores emplean vehículos con capacidad de 12 y 15 toneladas.

Por su parte, las unidades productivas se encuentran ubicadas en las zonas rurales de Corozal – Sucre, en los corregimientos de Villa nueva, Hato nuevo, las Peñas, Rincón de las flores, el Mamon, Cantagallo, Las palmas y en la vía de Chocho.

También, para determinar las ventanas de tiempo de la recolección de la yuca industrial, en la encuesta se preguntó por la hora promedio del cargue y descargue del producto. Cabe resaltar, que es un tiempo estimado, debido a las variables externas que se presentan en el ambiente. Para efectos de comprensión, a continuación, se ilustran las rutas actuales de la distribución de yuca industrial en Corozal – Sucre (Figura 15).

Figura 15

Rutas actuales de la yuca industrial en Corozal, Sucre.



Fuente: Elaboración propia 2020.

El municipio de Corozal cuenta con una serie de rutas empíricas, la primera de ella consta del envío directo del tubérculo desde los productores hasta los clientes, (Almidones de Sucre, Medellín y Barranquilla), y la segunda, de clientes a productores en busca del tubérculo.

6.4 Tiempo en el ruteo de la yuca de Corozal- sucre

El ruteo de la yuca industrial se debe hacer de manera eficiente y adecuada, debido a que el tubérculo puede llegar a perder calidad y peso si se deja expuesto al sol por más de 24 horas, sin embargo, el tiempo en el ruteo puede variar por factores externos, ya sea el clima, el tráfico, estado de las vías (Figura 26), velocidad, avería de una parte del vehículo, entre otras.

Por otra parte, el tiempo de las rutas que se manejan en la distribución de la yuca industrial de Corozal está establecido de la siguiente manera:

Tabla 7

Tiempo en el ruteo de la yuca industrial en Corozal, Sucre.

Productores	Distancia en km		
	Almidones de Sucre	Medellín	Barranquilla
1	20,7	483,3	251,6
2	18,8	491,8	243,8
3	16,6	481,1	249,3
4	7,5	455,6	233,1
5	19	495,3	256,3
6	16,6	481,1	249,3
7	7,5	455,6	233,1
8	19	495,3	256,3
9	9,9	477,6	253,5
10	19	495,3	256,3
11	19	495,3	256,3
12	13,4	475,6	241,8
13	13,4	475,6	241,8

14

12,6

468,5

238,7

Fuente: Elaboración propia 2020.

6.4.1 Vehículos utilizados en el ruteo de la yuca industrial en Corozal- Sucre

El transporte de la yuca industrial debe ser adecuado y eficiente para que sea mayor el beneficio económico del agricultor. Por su parte, los vehículos utilizados para la distribución del tubérculo son camiones de tipo C2 y C3 (Figura 24) con capacidad de 12 y 15 toneladas, para productores y clientes.

6.4.2 Puntos de producción de la yuca industrial en Corozal – Sucre

La yuca industrial es un tubérculo producido en 14 municipios del Departamento de Sucre, centrandó esta investigación en la producción del municipio de Corozal – Sucre, el cual es el mayor productor de la raíz en el departamento, enmarcando 14 productores en este municipio, entre ellos se encuentran productores mayoristas y minoristas (Tabla 6).

7. Diseño del modelo matemático para el ruteo de la yuca industrial

7.1 Modelo conceptual

Considerando los problemas que se presentan en la cadena de suministro de la yuca industrial, el modelo 2E-SplitCHVRPTW contempla los problemas propios del ruteo actual del municipio de Corozal Sucre, teniendo como objetivo el diseño de un modelo de ruteo de vehículos para mejorar la eficiencia y minimizar los costos en la distribución de la yuca industrial del municipio de Corozal, Sucre. Así mismo, se analizarán los eslabones de la cadena, y los vehículos que intervienen en cada uno de ellos, considerando un modelo mono objetivo.

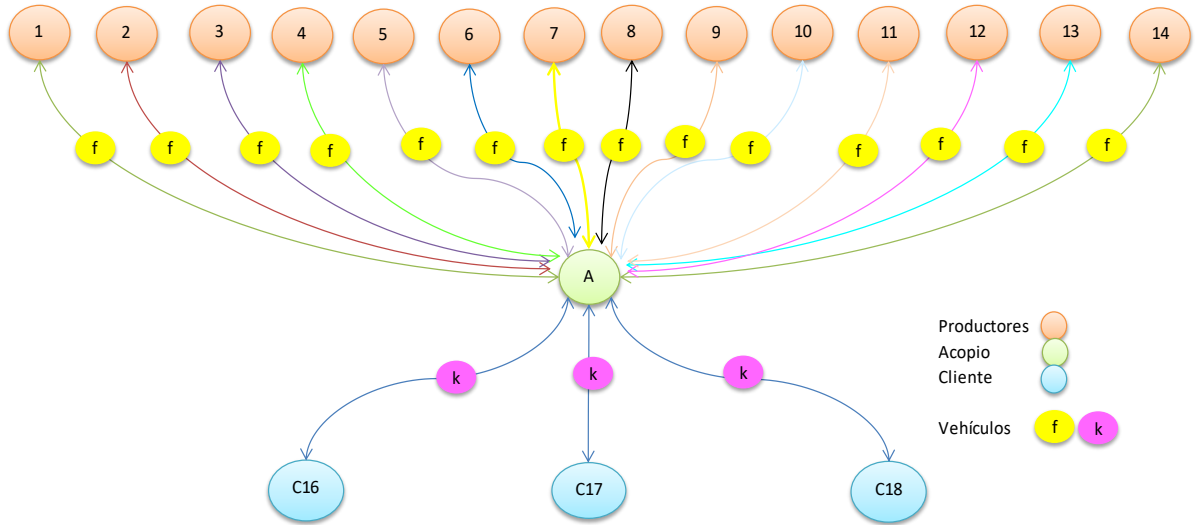
Ahora bien, para este modelo se consideran los productores, el centro de acopio, clientes del tubérculo y los vehículos:

- Productores, realizan actividades propias para la producción de la raíz, como siembra y cultivo.
- Centro de acopio, es el lugar donde se reúne la cosecha de los productores.
- Clientes, son los transformadores y consumidores.
- Los vehículos, se encargan de llevar el producto al centro de acopio y a los clientes o transformadores.

En la siguiente figura se ilustra el modelo conceptual con cada uno de los involucrados en el ruteo de Corozal, Sucre.

Figura 16

Modelo conceptual de la cadena de suministro de la yuca industrial en Corozal,



Fuente: Elaboración propia 2020.

Para el 2E-SplitCHVRPTW, una solución es factible si cumple con las siguientes restricciones:

- Cada cliente puede ser visitado más de una vez.
- Cada una de las rutas debe iniciar en el centro de acopio y finalizar en el mismo.
- Debe existir una continuidad en la ruta.
- Un vehículo debe ser asignado a una sola ruta.
- La capacidad de los vehículos no puede ser excedida por la capacidad de la demanda de los clientes que visita.
- La capacidad del centro de acopio es ilimitada, por tanto, el recibe todo lo que los productores cosechen.

7.2 Modelo matemático

7.2.1 Conjuntos

Este modelo considera tres tipos de conjuntos:

i : Conjunto de nodos

i_a : Subconjunto de clientes

i_b : Subconjunto de centro de acopio

i_c : Subconjunto de productores

k : Conjunto de vehículos

f : Conjunto de vehículos

7.2.2 Parámetros

Los parámetros que alimentan este modelo son:

D_j = demanda del cliente j en toneladas

W_i = Capacidad de producción del productor i en toneladas

WA_i = Capacidad del acopio en toneladas

Q_k = Capacidad del vehículo k en toneladas

Q_{1_f} = Capacidad del vehículo f en toneladas

V_k = Costo por uso del vehículo k

V_{1_f} = Costo por uso del vehículo f

a_i = Ventana de tiempo (hora de inicio)

b_i = Tiempo de llegada mas tardio

7.2.3 Escalares

S= Tiempo de servicio

N_g = Número muy grande para acotar las cantidades a transportar de i a j

n = número de clientes y centro de acopio

n_1 = número de productores y centro de acopio

7.2.4 Variables

En el modelo se utilizan las siguientes variables:

$X_{i,j,k}$ = Asignacion del vehiculo k a la ruta acopio – cliente.

$X_{1,i,j,f}$ = Asignacion del vehiculo f a la ruta productor – acopio.

$H_{i,k}$ = Cantidad del producto a transportar de i en el vehiculo k acopio – cliente.

$HH_{i,f}$ = Cantidad del producto a transportar de i en el vehiculo f productor – acopio.

FF_i = Sub tours o alternativas de la ruta acopio – cliente .

FFF_i = Sub tours o alternativas de la ruta productores – cliente.

$TS_{i,k}$ = Tiempo de llegada al nodo i con el vehiculo k .

$TSS_{i,f}$ = Tiempo de llegada al nodo i con el vehiculo f .

7.2.5 Función objetivo

La función objetivo tiene como propósito minimizar costos en el ruteo de la yuca industrial de Corozal, Sucre, teniendo en cuenta variables que intervienen en el mismo.

$$Z = \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} \sum_{k \in K} C_{ij} X_{ijk} + \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} \sum_{f \in F} C_{ij} X_{1ijf} + \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} \sum_{k \in K} V_k X_{ijk} + \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} \sum_{f \in F} V_{1f} X_{1ijf}$$

7.2.6 Restricciones

Sujeto a:

$$R1 \sum_{i \in V} \sum_{k \in K} X_{ijk} \geq 1 \quad \forall j \in J$$

$$R2 \sum_{i \in V} \sum_{f \in F} X_{ijf} \geq 1 \quad \forall j \in J$$

Cada unidad productiva y cada cliente pueden ser visitados por más de un vehículo.

$$R3 \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} H_{ik} \leq WA_j \quad \forall j \in J$$

Garantiza que las cantidades a transportar de acopio a cliente en el vehículo k deben ser menores o iguales a la capacidad del acopio.

$$R4 \sum_{i \in V} X_{iuk} = \sum_{j \in V} X_{ujk} \quad \forall u \in V, \forall k \in K$$

$$R5 \sum_{i \in V} X_{iuf} = \sum_{j \in V} X_{ujf} \quad \forall u \in V, \forall f \in F$$

Este grupo de restricciones garantizan la restricción del flujo de la red, es decir un vehículo debe salir del mismo cliente o productor al cual llega a visitar.

$$R6 \sum_{i \in V} H_{ik} = D_i \quad \forall i \in I$$

Garantiza que las cantidades que se envíen hacia los clientes sean igual a la demanda de los mismos.

$$R7 \sum_{i \in V} HH_{if} = W_i \quad \forall i \in I$$

Garantiza que las cantidades que envían los productores sean igual a la capacidad de producción de estos.

$$R8 \sum_{i \in V} HH_{if} \geq D_i \quad \forall i \in I$$

Garantiza que las cantidades que envían los productores sean mayor igual a la demanda de los clientes.

$$R9 \sum_{i \in V} H_{ik} \leq Q_k \quad \forall k \in K$$

Las cantidades a transportar desde cada cliente sean menores o iguales a la capacidad del vehículo k.

$$R10 \sum_{i \in V} HH_{if} \leq Q_{1f} \quad \forall f \in F$$

Las cantidades a transportar desde cada productor sean menores o iguales a la capacidad del vehículo f.

$$R11 \sum_{j \in J} X_{jik} * D_i \geq H_{ik} \quad \forall i \in I \quad \forall k \in K$$

Indica que la demanda de los clientes multiplicada por la variable binaria debe ser mayor o igual a la cantidad enviada a los clientes en cada vehículo k.

$$R12 \sum_{j \in J} X_{jikf} * W_i \geq H_{if} \quad \forall i \in I \quad \forall f \in F$$

Muestra que la capacidad de producción del productor multiplicada por la variable binaria debe ser mayor o igual a la cantidad enviada desde cada productor en los vehículos f.

$$R13 \quad b_j \geq TT_{ij} + s - Ng * 1 - X_{ijk} \quad \forall j \in J, \forall i \in I, \forall k \in K$$

$$R14 \quad b_j \geq TT_{ij} + s - Ng * 1 - X_{ijf} \quad \forall j \in J, \forall i \in I, \forall f \in F$$

El tiempo de llegada más tardío de cada viaje, no puede ser menor al tiempo total de visitar cualquier cliente o productor más el tiempo de servicio y se utiliza Ng como un número grande para acotar cantidades.

$$R15 \quad TS_{ik} \geq TS_{jk} + TT_{ij} + s - Ng * 1 - X_{ijk} \quad \forall j \in J, \forall i \in I, \forall k \in K$$

$$R16 \quad TSS_{if} \geq TSS_{jf} + TT_{ij} + s - Ng * 1 - X_{ijf} \quad \forall j \in J, \forall i \in I, \forall f \in F$$

Para estas restricciones se utiliza Ng como un número grande para acotar cantidades, estas restricciones indican que el vehículo (k, f) no puede llegar a su destino antes que cumpla con los tiempos de $TS_j + TT_{ij} + s$

$$R17 \quad a_i \geq TS_{ik} \quad \forall i \in I, \forall k \in K$$

$$R18 \quad a_i \geq TSS_{if} \quad \forall i \in I, \forall f \in F$$

Indican que la ventana de tiempo (hora de inicio) será menor o igual al tiempo de llegada a los nodos tanto de productor como para clientes.

$$R19 \quad TS_{ik} \leq b_i \quad \forall i \in I, \forall k \in K$$

$$R20 \quad TSS_{if} \leq b_i \quad \forall i \in I, \forall f \in F$$

Indican que el tiempo de llegada a los nodos debe ser menor o igual a los tiempos de llegada más tardía.

$$R21 \quad X_{ijk} = 0 \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall k \in K$$

$$R22 \quad X1_{ijf} = 0 \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall f \in F$$

Restringen los flujos directos de los nodos (con los vehículos k-f) hacia y desde el centro de acopio.

$$R23 \quad FF_i - FF_j + n * X_{jik} \leq n - 1 \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall k \in K$$

$$R24 \quad FFF_i - FFF_j + n1 * X1_{jif} \leq n1 - 1 \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall f \in F$$

Eliminan los sub-tours y se imponen que en cada ruta no haya más clientes o productores.

7.3 Validación del modelo con instancias iniciales

El modelo matemático pretende dar solución al problema de ruteo de vehículos con flota heterogénea, vehículos capacitados, ventanas de tiempos y entregas divididas, para obtener una minimización de costos considerando parámetros tales como costos de viajes, demanda de los clientes y capacidades de productores y vehículos.

El modelo matemático presenta un buen desempeño en instancias iniciales construidas, obteniendo soluciones óptimas, se generan en el solver CPLEX de GAMS aplicadas a las instancias creadas, para ello se consideran cinco productores, un acopio y diez clientes, cinco vehículos para los productores y siete vehículos para los clientes, se consideran los parámetros

mencionados en el párrafo anterior y variables de asignación de vehículos a las rutas establecidas, capacidad del cliente y productor y tiempos de llegadas a los nodos.

Ahora bien, se establecen las cantidades de yuca industrial que demanda cada productor, para el caso del primer productor este tiene una demanda de 40 toneladas del tubérculo (Tabla 8), de igual forma, se establece una capacidad para el acopio de 1000 toneladas de la raíz, también, capacidades y costos fijos de los vehículos de la ruta acopio – cliente (Tabla 9) y a su vez, las capacidades y costos fijos para los vehículos de la ruta productores – acopio (Tabla 10).

Tabla 8

Cantidades de yuca industrial de cada productor.

Cientes	Cantidades (ton)
1	40
2	30
3	30
4	20
5	30

Fuente: Elaboración propia 2020.

Para las instancias iniciales se trabaja con 5 productores que manejan diferentes cantidades con el fin de conocer su comportamiento.

Tabla 9

Capacidades y costos fijos de los vehículos de la ruta acopio - cliente.

Vehículos	Capacidades (ton)	Costo fijo \$
1	50	160000
2	70	160000
3	25	120000

4	15	120000
5	40	120000

Fuente: Elaboración propia 2020.

Ahora bien, para la ruta acopio – cliente, se trabajan 5 vehículos con diferentes capacidades y variación en los costos fijos, dependiendo el tipo de vehículo.

Tabla 10

Capacidades y costos fijos de los vehículos de la ruta productores – acopio.

Vehículos	Capacidades (ton)	Costo fijo \$
1	30	160000
2	20	160000
3	20	120000
4	15	120000
5	15	120000
6	28	80000
7	36	20000

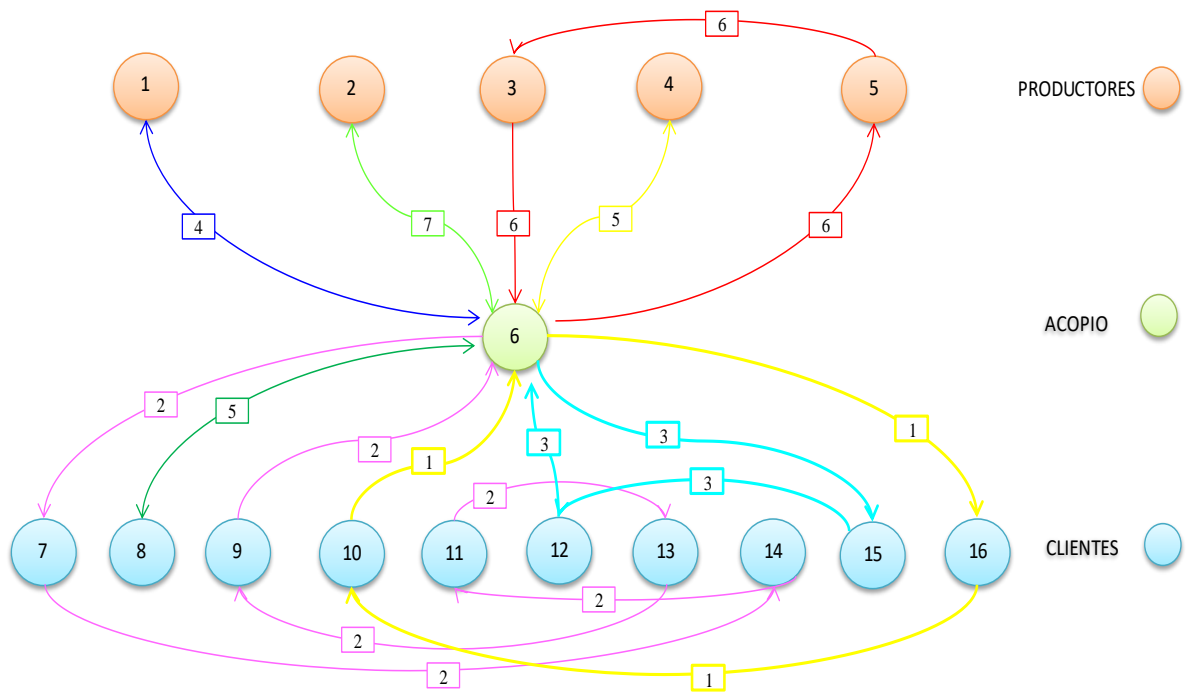
Fuente: Elaboración propio 2020.

Por su parte, la ruta productores – acopio, cuenta con 7 vehículos con diversas capacidades y costos fijos, como se muestra en la tabla anterior.

Ahora bien, el modelo se desarrolló en un computador con un procesador Intel (R) Celeron (R) CPU N3060@ 1.60 GHZ, memoria RAM de 4,00 GB, con un sistema operativo Windows 10 de 64 bits. A continuación, se muestran las rutas obtenidas para cada eslabón.

Figura 17

Rutas de la validación del modelo matemático con instancias iniciales.



Fuente: Elaboración propia 2020.

En la imagen anterior, se observan las rutas que se dan en los eslabones de productores – acopio y acopio- clientes, con los respectivos vehículos; en el caso del acopio (6) este se dirige al productor uno con el vehículo 5 para luego retornar al acopio (6) con el mismo vehículo y para el caso del vehículo 6, este inicia su recorrido en el productor cinco, luego pasa al productor tres para así retornar al centro de acopio.

Ahora bien, para el segundo eslabón de acopio - clientes, se da una ruta del acopio (6) al cliente 7 con el vehículo dos, luego, sale del mismo cliente, al cliente 14, parte de ahí al cliente 11 para llegar al cliente 13 visitando por último al cliente 9, terminando así su recorrido en el centro de acopio (6) del cual partió utilizando el vehículo dos.

Así mismo, el modelo permitió obtener datos tales como, cantidades del producto a transportar de i a j en los vehículos de cada ruta, en las rutas acopio – clientes (Tabla 11) y productores – acopio (Tabla 12), y los tiempos de llegada al nodo (TS) (Tabla 13). El modelo se corre con los datos proporcionados por cada miembro de la cadena de suministro, utilizando 1846.948 iteraciones en un tiempo de 8 horas, arrojando así un gap del 0%, los costos que arrojo el programa fueron de \$12'935.000.

Tabla 11

Cantidades del producto a transportar (ton), ruta acopio - cliente.

Ruta (acopio - cliente)	vehículos			
	1	2	3	5
6 – 7		70		
6 – 8				39
6 – 15			44	
6 – 16	47			
7 – 14		60		
11 – 13		35		
13 – 9		20		
14 – 11		44		
15 – 12			35	
16 – 10	22			

Fuente: Elaboración propio 2020.

Tabla 12

Cantidades del producto a transportar (ton), ruta acopio - productor

Ruta (acopio - productor)	vehículos			
	4	5	6	7
5 – 3			50	
6 – 1	40			
6 – 2				50
6 – 4		40		
6 - 5			80	

Fuente: Elaboración propio 2020.

Tabla 13

Tiempo de llegada al nodo.

Nodos	Tiempo de llegada (min)
1	120
2	140
3	130
4	130
5	130
6	196
7	249
8	244
9	271
10	339
11	396
12	258
13	344

14	303
15	315
16	447

Fuente: Elaboración propio 2020.

7.4 Validación del modelo con instancias reales del municipio de Corozal, Sucre

Resulta importante tener en cuenta la caracterización de la yuca industrial en el municipio de Corozal, Sucre, para proceder a realizar la validación del modelo con los datos reales del mismo, en el cual se tienen 14 productores del tubérculo, con la cantidad de tubérculo que cosechan (Tabla 14), 1 centro de acopio, 3 clientes y dos tipos de vehículos C2 y C3.

Por su parte, el centro de acopio tiene una capacidad de 1200 toneladas del tubérculo, en cuanto a los clientes se conoce la demanda que manejan cada uno de ellos (Tabla 15), también los vehículos manejan costos fijos de \$ 25.000 y, por último, cada tipo de vehículo tienen distintas capacidades (Tabla 16).

Tabla 14

Toneladas de yuca industrial por productor.

Productor	Capacidad (ton)
P1	150
P2	150
P3	90
P4	40
P5	30
P6	30
P7	10
P8	5

P9	4
P10	4
P11	4
P12	3
P13	3
P14	2

Fuente: Elaboración propio 2020.

Tabla 15

Demanda de los clientes en tonelada.

Clientes	Demanda (ton)
C1	187
C2	174
C3	150

Fuente: Elaboración propio 2020.

Tabla 16

Capacidad de los vehículos.

Tipo de vehículos	Capacidad (ton)
C2	12
C3	15

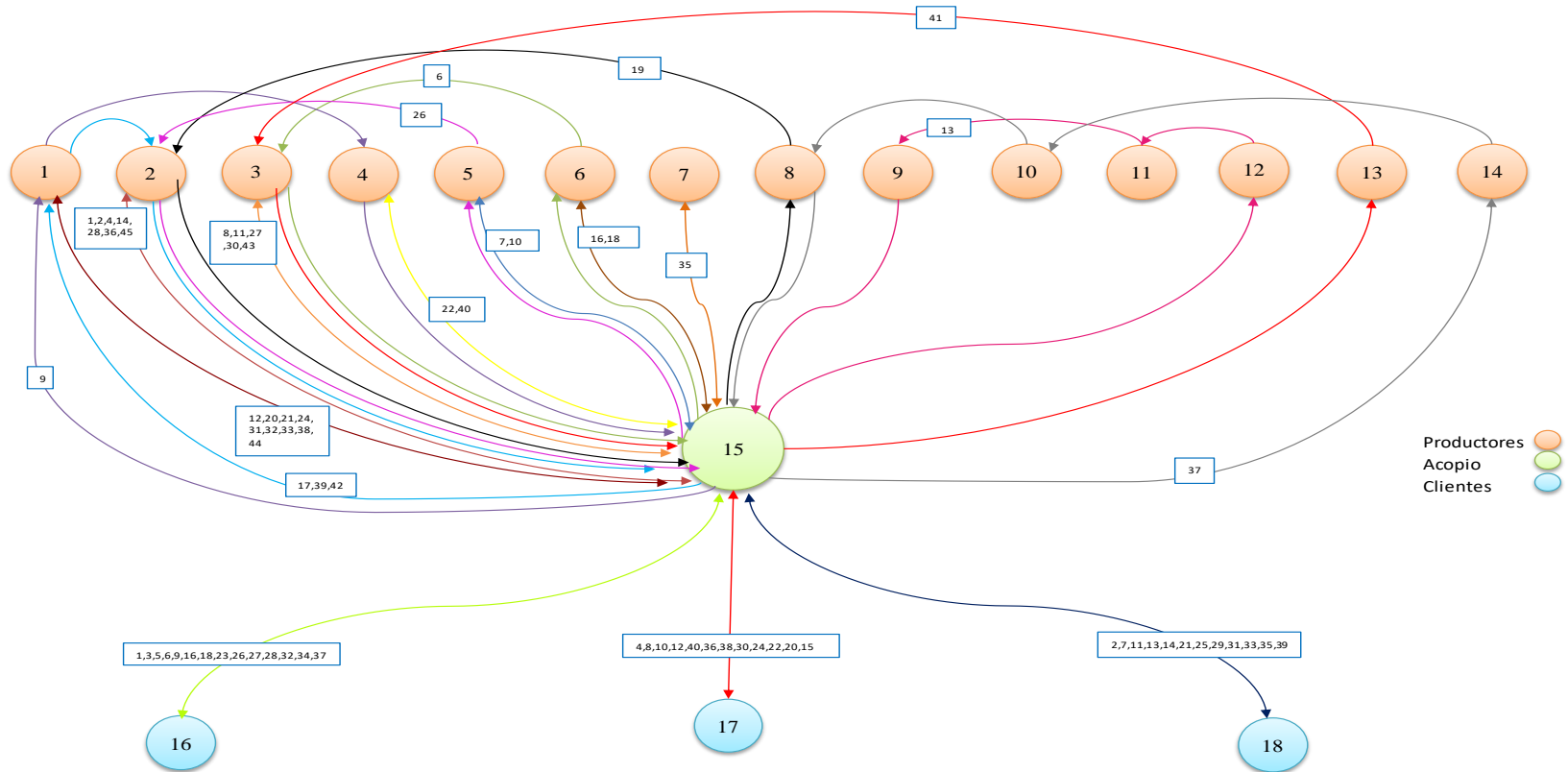
Fuente: Elaboración propio 2020.

En la siguiente figura, se evidencia el ruteo que se da en el municipio de Corozal, Sucre, entre los eslabones productor – acopio y acopio – clientes respectivamente, por ejemplo, en el caso del vehículo (13) en la ruta productor – acopio, empieza su recorrido en el centro de acopio (15), para ir a cargar al productor (12), saliendo de este punto, se dirige al productor (11), de allí

llega al productor (9) para continuar su recorrido, culminando así en el centro de acopio (15), donde es depositado el tubérculo (Figura 18).

Figura 18

Ruteo actual de la yuca industrial en el municipio de Coroza, Sucre.



Fuente: Elaboración propia 2020.

1-4	9
11-9	13
12-11	13
1-2	17 39 42
8-2	19
5-2	26
10-8	37
13-3	41
14-10	37

Fuente: Elaboración propia 2020.

Tabla 18

Vehículos utilizados en la ruta acopio - cliente

Ruta acopio - cliente	vehículos utilizados (X)													
15 - 16	1	3	5	6	9	16	18	23	26	27	28	32	34	37
15 - 17	4	8	10	12	40	36	38	30	24	22	20	15		
15 - 18	2	7	11	13	14	21	25	29	31	33	35	39		
16 - 15	1	3	5	6	9	16	18	23	26	27	28	32	34	37
17 - 15	4	8	10	12	40	36	38	30	24	22	20	15		
18 - 15	2	7	11	13	14	21	25	29	31	33	35	39		

Fuente: Elaboración propia 2020.

En relación con lo anterior, el modelo se compila durante 8 horas haciendo 9.302.078 iteraciones. Además, los resultados obtenidos por el software con relación a los costos son de \$ 9'615.000, con un gap de 9,2%. Cabe resaltar que se hicieron pruebas con mayor tiempo computacional, sin embargo, excedieron las limitaciones del GAMS.

8. Evaluación del modelo

Una vez realizada la validación del modelo del ruteo de la yuca industrial con instancias iniciales y con datos reales del municipio de Corozaal – Sucre, se procede a realizar una evaluación de este, el cual consiste en crear nuevos escenarios y observar cómo se comporta cada uno de ellos.

El primer escenario se fundamenta en disminuir la demanda del cliente en un 20% con relación al modelo inicial, con la intención de conocer la cantidad a producir y vender. El segundo escenario se basa en limitar las capacidades del centro de acopio, es decir, este no podrá recibir todo lo que se envía, ya que, tendrá unas limitaciones. Todo esto se hace con el fin de crear rutas óptimas en las que se disminuyan los costos del modelo de ruteo inicial que se maneja en la yuca industrial. A continuación, se describen los escenarios propuestos.

8.1 Primer Escenario

Después de realizar la caracterización de la cadena de suministro en el municipio de Corozaal - Sucre, se diseña un primer escenario con catorce productores, tres clientes, cuarenta vehículos para la ruta acopio – cliente y cuarenta y cinco vehículos para la ruta acopio – productor.

Ahora bien, en este primer escenario se considera una disminución de la demanda de los clientes del 20% con respecto a la demanda real, con el fin de mirar el comportamiento de esta.

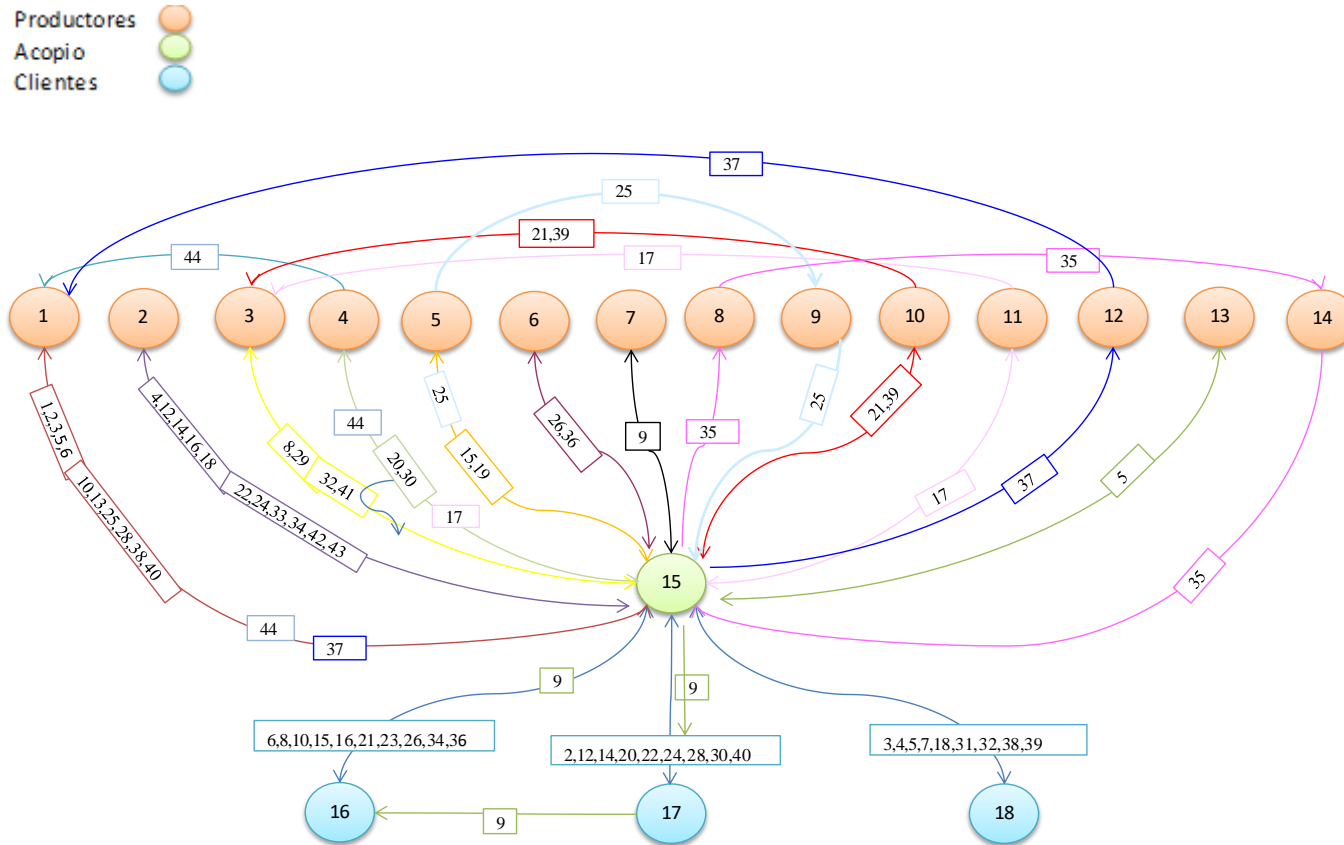
Para darle solución al modelo se cuentan con los siguientes datos de entrada.

- Toneladas de yuca industrial por productor (Tabla 14).
- Nueva Demanda: 149, 139 y 120 ton respectivamente.
- Capacidad de los vehículos, 12 y 15 toneladas respectivamente (Tabla 16).

- Capacidad del acopio de 1200 toneladas.

Figura 19

Ruta del escenario 1.



Fuente: Elaboración propia 2020.

Teniendo en cuenta la figura anterior, se evidencia la ruta que hace el modelo teniendo en cuenta una disminución porcentual en la demanda de los clientes, se observa que en la ruta acopio – clientes, el vehículo 9 visita dos clientes, es decir este vehículo, visita primero al cliente 17 y luego termina su recorrido pasando por el cliente 16.

En cuanto a la ruta, productores – acopio, se observa que en su ruta visitan varios productores como es el caso del vehículo 25, el cual inicia su recorrido en el centro de acopio, llegando primeramente al productor cinco, pasando luego por el productor uno, terminando así su ruta en el productor nueve.

Por otra parte, para el caso de la ruta acopio – cliente se necesitan 29 vehículos (Tabla 19), por su parte la ruta, productor – acopio se utilizan 39 de los 45 vehículos que se tienen inicialmente (Tabla 20).

Tabla 19

Vehículos utilizados en la ruta Acopio - Cliente.

Ruta acopio - cliente	vehículos utilizados (X)										
15 - 16	2	8	10	15	16	21	23	26	34	36	
15 - 17	6	9	12	14	20	22	24	28	30	40	
15 - 18	3	4	5	7	18	31	32	38	39		
16 - 15	2	8	9	10	15	16	21	23	26	34	36
17 - 15	6	12	14	20	22	24	28	30	40		
18 - 15	3	4	5	7	18	31	32	38	39		

Fuente: Elaboración propia 2020.

Tabla 20

Vehículos utilizados en la ruta productores - acopio.

Ruta productores - acopio	Vehículos utilizados (X1)												
1 – 3	27												
1 – 15	1	2	3	5	6	10	13	18	28	37	38	40	44
2 – 15	4	12	14	16	22	24	28	34	42	43	45		
3 – 15	8	17	21	27	29	32	39	41					
4 – 1	44												
4 – 15	20	30											
5 – 1	18												
5 – 15	15	19											
6 – 15	26	36											
7 – 15	9												
8 – 14	35												
9 – 15	25												
10 – 3	21	39											
11 – 3	17												
12 – 1	37												
13 – 15	5												
14 – 15	35												
15 – 1	1	2	3	5	6	10	13	27	28	38	40		
15 – 2	4	12	14	16	22	24	28	34	42	43	45		
15 – 3	8	29	32	41									
15 – 4	20	30	44										
15 – 5	15	18	19										
15 – 6	26	36											
15 – 7	9												
15 – 8	35												
15 – 9	25												
15 – 10	21	39											
15 – 11	17												
15 – 12	37												
15 – 13	5												

Fuente: Elaboración propia 2020.

En consecuencia, el modelo se compila durante 8 horas haciendo 6.392.902 iteraciones. Además, los resultados obtenidos por el software con relación a los costos son de \$ 8'090.000, lo que refleja una disminución notoria monetariamente con relación al modelo real, con un gap de 8%. Cabe resaltar que se hicieron pruebas con mayor tiempo computacional, sin embargo, excedió las limitaciones del GAMS.

8.2 Segundo Escenario

Para el segundo escenario del modelo de ruteo de la yuca industrial se consideran catorce productores, un centro de acopio, tres clientes, cuarenta vehículos para los clientes y cuarenta y cinco vehículos para los productores.

Cabe resaltar que inicialmente el modelo de ruteo de vehículos cuenta con un centro de acopio con capacidades ilimitadas, es decir, él puede recibir toda la cantidad de producto que se desee enviar al mismo; ahora bien, para este escenario se plantea un acopio con capacidades limitadas, el cual, probablemente no reciba el total de la cosecha de los diversos productores, es decir, el modelo contemplaría la cantidad de tubérculo a recoger en cada uno de ellos.

Para ello, se hace necesario agregar un nuevo parámetro que indique las capacidades mínimas del centro de acopio y una nueva restricción al modelo matemático anteriormente descrito, que permita que las cantidades que se envíen al centro de acopio estén dentro de las capacidades que este tenga.

Nuevo parámetro

$$WAM_i = \text{Capacidad mimima del acopio en toneladas}$$

Restricción que permite que las cantidades a transportar al acopio sean mayores o iguales a la capacidad mínima del mismo.

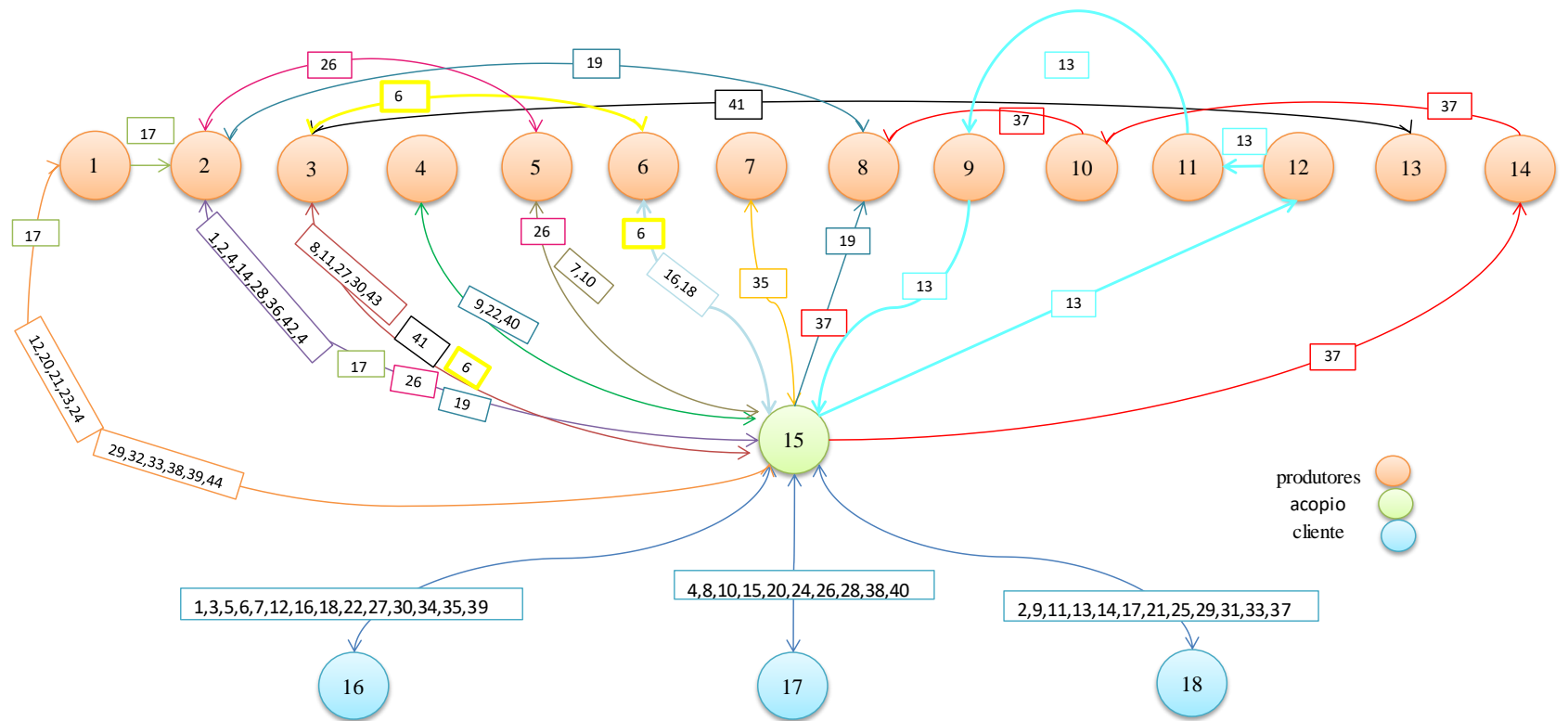
$$R25 \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} HH_{if} \geq WAM_i \quad \forall i \in I$$

Para darle solución al modelo se cuentan con los siguientes datos de entrada.

- Toneladas de yuca industrial por productor (Tabla 14).
- Demanda de los clientes (Tabla 15).
- Capacidad de los vehículos, 12 y 15 toneladas respectivamente (Tabla 16).
- Capacidad mínima del acopio de 515 toneladas.

Figura 20

Ruta del escenario 2.



Fuente: Elaboración propia 2020.

Ahora bien, en la figura anterior se observa el ruteo que se da partiendo de un acopio con capacidades limitadas, en el caso de las rutas productor – acopio, los productores, 1, 2 y 3 requieren más de un vehículo para enviar su producción al punto de acopio ya que estos son los que mayor parte del producto distribuyen, también, se evidencia como el vehículo (37) hace su recorrido partiendo del centro de acopio y pasando por tres de los productores, el catorce, diez, y ocho respetivamente.

Para el caso de la ruta acopio – clientes, los vehículos hacen rutas muy similares, es decir van a uno de los clientes y se devuelven del mismo, sin tener que visitar a los demás clientes, como es el caso del cliente dieciséis, a este llegan los vehículos 4, 8, 10, 15, 20, 24, 26, 28, 38 y 40 respectivamente.

También, se conoce que la capacidad de los vehículos es de 12 y 15 toneladas respectivamente, por lo que el modelo permite saber las toneladas de yuca industrial que carga cada vehículo, como es el caso de los vehículos 6, 13, 19, 37 y 41 que en su recorrido visitan a varios productores, se evidencia cuantas toneladas carga en cada una de sus visitas (HH) (Tabla 21).

Tabla 21

Cantidad de yuca industrial a cargar en cada productor.

Vehículos	Productores	Cantidad de producto que recoge en cada uno de los productores (ton)
6	6	3
	3	9
	12	3
13	11	4
	9	4
	8	12
19	2	3
	14	2

7 – 15	35												
8 -2	19												
8 - 15	37												
9 – 15	13												
10 – 8	37												
11 – 9	13												
12 – 11	13												
13 – 3	41												
14 – 10	37												
15 – 1	12	17	20	21	23	24	29	32	33	38	39	44	
15 – 2	1	2	4	14	28	36	42	45					
15 – 3	8	11	27	30	43								
15 – 4	9	22	40										
15 – 5	7	10	26										
15 – 6	6	16	18										
15 – 7	35												
15 – 8	19												
15 – 12	13												
15 – 13	41												
15 – 14	37												

Fuente: Elaboración propia 2020.

Por lo anterior, el modelo se compila durante 8 horas haciendo 9.979.694 iteraciones. Además, los resultados obtenidos por el software con relación a los costos son de \$9'492.000, lo que refleja una disminución notoria monetariamente con relación al modelo real, con un gap de 9%. Cabe resaltar que se hicieron pruebas con mayor tiempo computacional, sin embargo, excedió las limitaciones del GAMS.

9. Comparación de los escenarios evaluados

En los tres escenarios evaluados se consideraron catorce productores de Yuca Industrial en los que se tienen siete productores mayoristas y siete minoristas, un centro de acopio, tres clientes, cuarenta vehículos para el eslabón de acopio – clientes y cuarenta y cinco para el eslabón de productor – acopio.

Ahora bien, en el primer escenario se contempló una disminución del 20% de la demanda de los clientes con respecto a los valores reales, en cuanto a los resultados se redujo en un 16% los costos totales en comparación al costo real. En otras instancias, se estableció en el segundo escenario un centro de acopio limitado en el que se comprende una nueva restricción para instituir que el acopio no recibirá más producto del estipulado en su máxima capacidad, ni menos de su mínima capacidad, ahora bien, en cuanto a los resultados presentó una disminución del 1,2% con relación a los costos. Cabe resaltar, que los modelos evaluados se realizaron en tiempos computacionales de 8 horas.

Para mayor comprensión, se realizó una tabla de comparativa con los resultados que se obtuvieron en los escenarios.

Tabla 24

Tabla comparativa de los escenarios propuestos.

Modelos evaluados	Rutas	GAP	# de vehículos usados	Diferencia en \$ con relación al modelo real	Costos totales
Instancias Reales	acopio - cliente productor - acopio	9,20%	38 39		\$ 9.615.000
Primer escenario	acopio - cliente productor - acopio	8%	29 39	\$ 1.525.000	\$ 8.090.000
Segundo escenario	acopio - cliente productor - acopio	9%	38 31	\$ 123.000	\$ 9.492.000

Fuente: Elaboración propia 2020.

10. Conclusiones

La cadena de suministro de la yuca industrial en el municipio de Corozal, Sucre, no tiene una distribución definida, tiene rutas empíricas, por lo tanto, no están establecidas de manera estratégica para una buena distribución. El municipio carece de centros de acopio para recolectar el producto; por dichas, razones la investigación se centró en caracterizar la cadena actual de la yuca industrial del municipio, además de analizar la capacidad de producción de los productores mayoristas y minoristas, la demanda de los clientes potenciales del tubérculo, y revisar la literatura de los problemas de ruteo de vehículos, las variantes que en ellos se presentan y sus principales métodos de solución.

Así mismo, se diseñó un modelo matemático de programación entera mixta que considero flota heterogénea, capacidades limitadas, con ventanas de tiempos y entregas fraccionadas, para la eficiencia de la distribución de la yuca industrial en el municipio de Corozal, la cual tiene como objetivo la minimización de los costos presentes en el ruteo.

Ahora bien, para el modelo se consideraron 14 productores de yuca industrial en el municipio de Corozal, Sucre, 3 clientes potenciales, ubicados en Barraquilla, Medellín y Corozal, un centro de acopio adaptado de la investigación de (Mendoza, 2018), 40 vehículos para el eslabón de acopio – clientes y 45 vehículos para el eslabón productores acopio. Estos vehículos son de tipo C2 Y C3, con capacidades de 12 y 15 toneladas respectivamente.

Además, se consideran dos escenarios para evaluar el comportamiento del modelo real frente a situaciones inciertas que pueden ocurrir dentro del mismo. Para el primer escenario se propuso una disminución del 20% en la demanda de los clientes con relación a la demanda real, lo cual dio como resultado una disminución significativa en los costos de un 16% por debajo del costo inicial y se obtuvo un gap de 8%. La diferencia de los costos entre el modelo real y dicho escenario fue de \$1'525.000.

En el segundo escenario se planteó un centro de acopio con capacidades limitadas, con lo cual se obtuvo una disminución en cuanto a los costos de 1,2% en relación con el modelo real y se obtuvo un gap de 9%. Por su parte, la diferencia de los costos entre el modelo real y dicho escenario fue de \$123.000.

11. Recomendaciones

A la hora de realizar la investigación, se hizo necesario conocer e indagar sobre los productores de Yuca Industrial en el municipio de Corozal – Sucre. Este proceso fue complicado, debido a que aparece poca información, por lo cual se recomienda que se reorganice el plan de desarrollo territorial de dicho municipio dado la importancia que tiene en el sector económico y los beneficios que proporciona. Además, al momento de aplicar el instrumento a los productores, se evidenció que no existe claridad sobre los clientes potenciales del tubérculo, por ende, se recomienda realizar un estudio de mercado con el fin de conocer dicha información.

Para futuras investigaciones, se puede contemplar la existencia de varios centros de acopios, con el fin de disminuir los tiempos y distancias en el transporte, además de minimizar los costos empleados en la ruta, también, se recomienda la implementación de un algoritmo que promueva un menor consumo de combustible y emisiones de CO_2 , así mismo, se deben tomar medidas que reemplacen los químicos utilizados en el cultivo de la yuca industrial por productos naturales, procurando así el cuidado del medio ambiente. Por otra parte, se recomienda la utilización de heurísticas y metaheurísticas para aquellas investigaciones que busquen obtener soluciones empleando menores tiempos computacionales.

Así mismo, se recomienda implementar un modelo que tenga en cuenta el costo que incurre en el cargue y descargue del producto en el centro de acopio. Del mismo modo, realizar un análisis de sensibilidad a los parámetros que se consideren necesarios.

Referencias Bibliográficas

- Agronet. (2017). *EVA - Dpto de Sucre 2007-2017 (1). Cuadros de Informe de Coyuntura EVA 2017 del Departamento de Sucre.*
- Aguilar, E. (2017). Manual Del Cultivo De Yuca. In *Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria*. <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-10918.pdf>
- Aguilera, M. (2012). La yuca en el caribe colombiano: de cultivo ancestral a agroindustrial. *Centro de Estudios Económicos Regionales (CEER) - Cartagena, 158*. http://www.banrep.gov.co/docum/Lectura_finanzas/pdf/dtser_158.pdf
- Alarcón, D., Peña, D., & Rivera, F. (2016). Análisis dinámico de la capacidad de respuesta de una cadena de suministros de productos tecnológicos. Caso Samsung. *Entramado, 12(2), 254–275*. <https://doi.org/10.18041/entramado.2016v12n2.24218>
- Alcaldía de Corozal, S. (2019). *Información general del Municipio de Corozal Sucre*. <http://www.corozal-sucre.gov.co/>
- Almidones de sucre. (2015). *Cartilla Integral de la yuca*. <http://www.almidonesdesucre.com.co/es/gestión-agrícola/siembra-de-yuca-industrial.html>
- Anaya, J. (2009). *El transporte de mercancías* (Esic edito). <https://books.google.com.co/books?id=5MPJjWL7ZuAC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>
- Anbuudayasankar, S., Ganesh, K., Lenny, K., & Ducq, Y. (2011). Modified savings heuristics and genetic algorithm for bi-objective vehicle routing problem with forced backhauls. *ElServier, 39, 289*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957417411011201>
- Arto, J. (2017). La Gestión de la Cadena de Suministro Dirección de Operaciones La Gestión de la Cadena de Suministro. *Escuela de La Organización Industrial, 1–14*.
- Babilonia, L., Gonzales, E., & Orjuela, J. (2011). State of the art review of the vehicle routing problem: A historic account with solving methods. *Seventh International Symposium on Precision Engineering Measurements and Instrumentation, 8321(2), 83213U*. <https://doi.org/10.1117/12.905506>
- Baldacci, R., Mingozzi, A., & Roberti, R. (2012). Recent exact algorithms for solving the vehicle routing problem under capacity and time window constraints. *ElServier, 1–6*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0377221711006692>
- Ballou, R. (2016). Logística: Administración de la cadena de suministro. *Revista Argentina de Radiología, 80(1), 76*. <https://doi.org/10.1016/j.rard.2015.07.002>
- Batero, D. (2017). *Modelo matemático multi-objetivo de ruteo e inventarios para la cadena de suministro de perecederos: caso sector frutícola*. Universidad distrital francisco jose de caldas.
- Berger, J., Salois, M., & Begin, R. (2001). A hybrid genetic algorithm for the vehicle routing problem

- with time windows. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 1418, 114–127. https://doi.org/10.1007/3-540-64575-6_44
- Blanchard, D. (2011). *Supply chain management*. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195138108.003.0010>
- Bonilla, E., Hurtado, J., & Jaramillo, C. (2009). *La investigacion, Aproximaciones a la construccion del conocimiento científico* (Alfaomega (ed.)). <https://www.marcombo.com/la-investigacion-aproximaciones-a-la-construccion-del-conocimiento-cientifico-9789586827485/>
- Botero, G. (2018). *Propuesta para la gestión logística de medicamentos e insumos médicos bajo el enfoque de " Última Milla "; estudio de caso : distribución de medicamentos a IPS en la zona urbana Bogotá.*
- Cadavid, L., & Lopez, L. (2015). *Tenologías Modernas para la producción de yuca* (Corporacio).
- Cajal, A. (2019). Sectores economicos de Colombia: primario, secundario y terciario. *Lifeder.Com*, 1–3. <https://www.lifeder.com/sectores-economicos-colombia/#:~:text=Los sectores económicos de Colombia,sector de prestación de servicios.&text=Cada uno de estos sectores,se diferencia de los demás.>
- Calderon, C., & Tolosa, J. (2016). *Ruteo en la cadena fruticola Cundinamarca - Bogotá. 101*, 101.
- Calderón, J., Gomez, A., & Góngora, A. (2016). *Methodology for the design of routes in a reverse logistics system. c*, 15–23.
- Cardenas, P. (2018). *Optimizacion del transporte de caña de azucar desde la zona de cosecha a la planta procesadora de un ingenio azucarero mediante el diseño de un modelo de trasnporte capacitado CVRP y un modelo de simulacion de teoria de colas de markov. 112.*
- Cardona, A. (2019). Aumenta el consumo de la yuca industrial en colombia con mejoras en variedades. *Agronegocios*, 1–4. <https://www.agronegocios.co/agricultura/aumenta-el-consumo-de-la-yuca-industrial-en-colombia-con-mejoras-en-variedades-2820472#:~:text=Agro-,Aumenta el consumo de la yuca industrial en Colombia con,al consumo de este tipo.&text=de 2019 GUARDAR-,Cerca de 1>
- Castañeda, J., & Cardona, J. (2017). Design of a Reverse Logistics Network to recover Oil Used in Pereira implementing CVRP. *Scientia et Technica Año XXII*, 22(2), 150–160. <https://doi.org/10.22517/23447214.9243>
- Castillo, H., & Bermeo, J. (2013). Propuesta de sistemas inteligentes para la implementación de un modelo de gestión triple A en la cadena de suministro de centros de acopio de leche cruda en la provincia de Azuay. In *Universidad Politecnica Salesiana: Vol. (5)2* (Issue 2). Politecnica Salesiana.
- Cattaruzza, D., Absi, N., Feillet, D., & Vidal, T. (2014). A memetic algorithm for the Multi Trip Vehicle Routing Problem. *European Journal of Operational Research*, 236(3), 833–848. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2013.06.012>
- Causado, E., Díaz, F., & Sánchez, D. (2018). Localizacion optima de centros de acopio y ruteo de

- recolección de mango (*Mangifera indica* - variedad de Colombia) en fincas del departamento del Magdalena - Colombia. *Administración de La Micro, Pequeña y Mediana Empresa*, 1–30, 28.
- Contardo, C. (2005). Formulación Y Solución De Un Problema De Ruteo De Vehículos Con Demanda Variable En Tiempo Real, Traspasos Y Ventanas De Tiempo. *Repositorio ANID*, 110–130. <http://repositorio.conicyt.cl/handle/10533/189507>
- Corozal. (2018). Características de Corozal. *Wikipedia*, 12. [https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Escudo_de_Corozal_\(Sucre\).svg#:~:text=En su interior encontramos tres,el unico aeropuerto del departamento.%22](https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Escudo_de_Corozal_(Sucre).svg#:~:text=En su interior encontramos tres,el unico aeropuerto del departamento.%22)
- Costa, C. (2010). Ministerio de Ambiente y Desarrollo territorial. *República de Colombia*, 2.
- Dane. (2016). *Sucre Sincelejo Informe De Coyuntura Económica Regional*. 91.
- Daza, J. M., Montoya, J. R., & Narducci, F. (2009). Resolución de problema de enrutamiento de vehículos con limitaciones de capacidad utilizando un procedimiento metaheurístico de dos fases. *Eia*, 1(12), 23–38.
- Delgado, I. (2016). *Diseño de un Modelo de Ruteo de Vehículos - VRP para la Distribución de Llantas Aplicando Programación Dinámica. Model of Vehicle Routing Design -VRP for Tire Distribution Applying Dynamic Programming*. 1–10.
- Delgado, L., & Lozano, J. (2011). Medición del nivel de servicio en ruteo de vehículos con priorización de clientes con apoyo de redes de petri. *Universidad Del Valle*, 107.
- Douglas, M. (2016). The vehicle routing problem with hard time windows and stochastic travel and service time. *Vehicle Routing with Time Windows Stochastic Travel Times Stochastic Service Times Metaheuristic*, 64, 104–116. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957417416303670>
- Echeverría, A. (2012). Diseño de un sistema logístico de planificación. *Universidad Francisco Gavidia*, 122.
- Eitzen, H., Lopez-pires, F., Park, I. T., Baran, B., & Sandoya, F. (2018). *Routing multi-objective of vehicles in two levels for intelligent urban logistics*. November. <https://doi.org/10.32480/rscp.2018-23-1.123-138>
- Elizalde, M., & Pazmiño, J. (2015). Investigación y estudio de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz) y nuevas propuestas gastronómicas; *Universidad de Guayaquil*, 130. [http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/14076/1/TESIS Gs. 103 - 28MTESIS FINAL MARZO %28YUCA%29%281%291.pdf](http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/14076/1/TESIS%20Gs.103-28MTESIS%20FINAL%20MARZO%20YUCA%29%281%291.pdf)
- encolombia. (2018). Análisis de los Sectores de la Economía. *Encolombia*. <https://encolombia.com/economia/economicolombiana/analisisdelossectoresdelaeconomia/>
- Escobar, J. W. (2017). Modelo matemático para la planificación de servicios y programación de rutas en empresas prestadoras de servicios de control de plagas. *Entramado*, 13(1), 72–77. <https://doi.org/10.18041/entramado.2017v13n1.25105>

- Fernando, D., Manso, B., Arturo, J., Castro, O., Distrital, U., & Jos, F. (2018). *Inventory Routing Problem in Perishable Supply Chains : A Literature Review El Problema de Ruteo e Inventarios en Cadenas de Suministro de Perecederos : Revisión de Literatura*. September. <https://doi.org/10.14483/23448393.12691>
- Freen, K. (2016). Importancia del transporte en la logística. *Prezi*, 6. <https://prezi.com/ejobcpemyisb/importancia-del-transporte-en-la-logistica/>
- Galeano, M., & Lopez, J. (2011). *Mejoramiento del proceso de recolección de leche en el acopio número cuatro de la empresa Parmalt S.A.* Unersidad Catolicade Pereira.
- Galena, J. (2016). *Definiciones de cadenas de suministro*. Meetlogistic. <https://meetlogistics.com/cadena-suministro/definicion-cadena-de-suministros/>
- Garcia, H., & Isaza, C. (2018). *Liderazglo empresarial para la competitividad regional* (Issue 5).
- Gil, S., Bueno, J., & Rodriguez, J. (2017). Business model for supply chain management: a review and bibliometric analysis. *Universidad de Investigación y Desarrollo*, (5)2(2), 285–299.
- Gonzales, V., & Uribe, L. (2018). El problema de ruteo de vehiculos. *Simplyioute*, 1–19. <https://www.simpliroute.com/post/como-simpliroute-resuelve-el-problema-de-ruteo-de-vehiculos>
- Grangier, P., Gendreau, M., Lehuédé, F., & Rousseau, L. M. (2016). An adaptive large neighborhood search for the two-echelon multiple-trip vehicle routing problem with satellite synchronization. *European Journal of Operational Research*, 254(1), 80–91. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.03.040>
- Grupo Sepro. (2015). *Corredor de la yuca*. 1. <https://nemanosalvab.github.io/cta.sepro.unal/yuca.html>
- Herazo, N. (2012). *Modelación matemática del problema de ruteo de vehículos con restricciones de múltiples depósitos, flota heterogénea de vehículos y ventanas de tiempos 1*. 1–147.
- Hernandez, G. (2017). El agro saca la cara por la economía del país. *El Tiempo*, 1. <https://www.eltiempo.com/economia/sectores/situacion-del-agro-en-colombia-96246>
- Hernández, R. (2014). *Metodología de la investigación* (sexta).
- Hernandez, Y. (2016). Diseño de un sistema de ruteo de vehiculos con multiples depositos en empresas de transporte de carga por carretera. *Nusa*, 5(1), 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Herrera, C. (2013). *Aplicacion de una metodologia multicriterio para el diseño de rutas eficientes en una distribuidora de alimentos en Suba*. 9, 59.
- IGAC. (2019). *Mapa politico de Sucre*. <https://www.igac.gov.co/es/noticias/usaid-el-gran-aliado-del-igac-en-sucre>.
- Isaza, J. (2009). *Supply Chains: Approaches and Concepts (Cadenas Productivas: Enfoques Y Precisiones Conceptuales)*. 120, 118. https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1507966

- Jiang, J., Ming, K., Leng, K., & Meng, K. (2014). Vehicle routing problem with a heterogeneous fleet and time windows. *ResearchGate*, 41, 1–141. https://www.researchgate.net/publication/259991973_Vehicle_routing_problem_with_a_heterogeneous_fleet_and_time_windows
- Laport, G. (1992). The vehicle routing problem: An overview of exact and approximate algorithms. *ScienceDirect*, 59, 145–290. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/037722179290192C>
- Macias, R., Benitez, E., Martinez, J., & Caballero, S. (2017). Gestión de operaciones en una cadena de suministro agroalimentaria. *Ciencias Holguín*, 23(4), 1–15.
- Mahmoudi, M., & Zhou, X. (2016). Finding optional solutions for vehicle routing problem with pickup and delivery services with time windows: A dynamic programming approach on state-space-time network representations. *Arizona State University*, 31, 1–31.
- Marinelli, M., Colovic, A., & Dell'Orco, M. (2018). A novel Dynamic programming approach for Two-Echelon Capacitated Vehicle Routing Problem in City Logistics with Environmental considerations. *Transportation Research Procedia*, 30, 147–156. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2018.09.017>
- Márquez, E., & Olarte, M. (2017). *Análisis de la cadena productiva y la implementación de tecnología en el cultivo de la yuca en Colombia*. Universidad del Rosario.
- Martín, R. (2006). Cadena de suministro (SCM). *EOI Escuela de Negocios*, 45. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=465545874007>
- Mendoza, G. (2018). *Modelo de localización de múltiples instancias como soporte estratégico a las operaciones logísticas en una cadena de suministro agroalimentaria*.
- Miguel, F. M. (2017). Planificación operativa del ruteo de vehículos y programación de cargas desde un enfoque multi-objetivo, en una red de distribución urbana de mercaderías perecederas, usando técnicas computacionales evolutivas. In *Universidad nacional del sur*.
- Minagricultura. (2017). Comienza creación del clúster de tubérculos para organizar la producción y evitar caídas de precios. *Minagricultura*, 1–5. <https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/comienza-creacion-del-cluster-tuberculos.aspx>
- Mincomercio. (2020). *Perfiles Económicos Departamentales*. 1–37, 37.
- Mineducación. (2017). *Marco Nacional de Cualificaciones. Un camino para la inclusión, la equidad y el reconocimiento*. 17. https://www.mineducacion.gov.co/1759/articles-362828_recurso.pdf
- Miranda, J. (2017). Alineamiento de la estrategia de negocio con la cadena de suministro. *Logistic*, 1–9. <https://www.revistalogistec.com/index.php/scm/estrategia-logistica/item/2999-alineamiento-de-la-estrategia-de-negocio-con-la-cadena-de-suministro>
- Mojica, A., Solano, O., & Osuna, H. (2018). *Sembramos 1*. 1–24.
- Montesinos, O., & Hernández, C. (2018). Modelos matemáticos para enfermedades infecciosas. *Salud*

- Publica de Mexico*, 49(3), 218–226. <https://doi.org/10.1590/s0036-36342007000300007>
- Moreno, A., Caicedo, A., & Orjuela, J. (2015). External Integration on Agri-Food Supply Chain: A review to the state of the arte. *Biochimica et Biophysica Acta - General Subjects*, 1673(3), 194–200. <https://doi.org/10.1016/j.bbagen.2004.04.016>
- Nguyen, V., Prins, C., & Prodhon, C. (2012). Solving the two-echelon location routing problem by a GRASP reinforced by a learning process and path relinking. *European Journal of Operational Research*, 216(1), 113–126. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2011.07.030>
- Nieto, I., Franco, J., & Herazo, N. (2012). *Desarrollo y codificación de un modelo matemático para la optimización de un problema de ruteo de vehículos con múltiples depósitos*. (5)2(2), 285–299.
- Niño, A. (2017). *Estudio del problema de ruteo de vehículos de dos escalones*. Universidad Industrial de Santander.
- Pacheco-Hernández, X. J., Rodríguez-Dorantes, A., González-Rivera, R., Amora-Lazcano, E., Guerrero-Zúñiga, L. A., & Rodríguez-Tovar, A. V. (2015). Evaluation of phytotoxic effect of deleterious rhizobacteria on the root growth of *axonopus affinis* (chase) and *lens esculenta* (moench). *Polibotánica*, 0(40), 137–152. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.40.9>
- Palacio, A. G. (2016). *Evolución del transporte terrestre de carga en Colombia y su impacto en empresas del sector industrial del Valle de Aburrá* Alfredo Gómez Palacio UNIVERSIDAD EAFIT. 90.
- Pemberthy, J. (2013). Implementación de un algoritmo metaheurístico para la solución de un problema de programación de transporte terrestre internacional. *Universidad Nacional de Colombia*, 103. <http://www.bdigital.unal.edu.co/9512/>
- Portafolio. (2018). Crece apetito mundial por la yuca para distintos industrias. *Portafolio*, 1–9. <https://www.portafolio.co/economia/crece-apetito-mundial-por-la-yuca-para-distintas-industrias-521212>
- Rey, M. (2017, July 8). Evaluación a la cadena de suministro: ¿Cómo responder a la cadena? *Logística*, 1–9. <http://www.logisticamx.enfasis.com/articulos/77754-evolucion-las-cadenas-suministro-como-responder-la-demanda>
- Ruiz-Meza, J. (2018). *Diseño de un modelo multiobjetivo de VRP pick-up and delivery simultáneo (VRPSPD) para el aprovisionamiento de la leche en la cadena de suministros lácteos*. Universidad Tecnológica de Bolívar.
- Ruiz, J. (2018). *Diseño de un modelo multiobjetivo de VRP PICK-UP and delivery simultáneo (VRPSPD) para el aprovisionamiento de la leche en la cadena de suministros de lácteos*.
- Sepúlveda, J., Escobar, J. W., & Adarme, W. (2014). An algorithm for the routing problem with split deliveries and time windows (SDVRPTW) applied on retail SME distribution activities. *Dyna*, 81(187), 223–231. <https://doi.org/10.15446/dyna.v81n187.46104>
- Silvera, R., & Mendoza, D. (2017). *Costos logísticos del transporte terrestre de carga en Colombia*:

- Estrategias para la generación de valor en la logística del transporte terrestre con plus agregado*.
https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/11404/4125/7/costos_logist_tmp_ri.pdf
- Soto, D., Soto, I. W., Pinzón, Y., San, U., Sede, M., Grupo, B., Algoritmia, D., & Algos, C. (2008). Una metaheurística híbrida aplicada a un problema de planificación de rutas. *Revista Avances En Sistemas e Informática*, 5(3), 135–144.
- Soyal, M., Bloemhof, J., & Bektas, T. (2015). The time-dependent two-echelon capacitated vehicle routing problem with environmental considerations. *ElServier*, 164, 366–378.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925527314003788>
- Tapia, L. (2019). Diseño de la cadena de suministro agroalimentaria de la berenjena en Córdoba-Colombia mediante la integración del modelado y el enfoque de optimización. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Issue 9).
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- TodaColombia. (2019). Economía Departamento de Sucre. *TodaColombia*, 1.
<https://www.todacolombia.com/departamentos-de-colombia/sucre/economia.html>
- Toro-Ocampo, E. M., Franco-Baquero, J. F., & Gallego-Rendón, R. A. (2016). Mathematical Model for Capacitated Location Routing Problem with Private Fleet and Common Carrier. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 17(3), 357–369. <https://doi.org/10.1016/j.riit.2016.07.006>
- Toscano, L. (2013a, June). La yuca en Sucre debe ser vista como una empresa, no como un cultivo. *El Heraldo*, 1–4.
- Toscano, L. (2013b, June 7). La yuca en Sucre debe ser vista como una empresa, no como un cultivo. *El Heraldo*, 1–4. <https://www.elheraldo.co/noticias/agropecuaria/la-yuca-en-sucre-debe-ser-vista-como-una-empresa-no-como-un-cultivo-113054>
- Vasco, L. (2016). Logística de aprovisionamiento. *Gestiopolis*, 1–3.
<https://www.gestiopolis.com/logistica-de-aprovisionamiento/>
- Velandia, C. (2018). *Propuesta de distribución de productos alimenticios con bicicletas o triciclos de carga* (Vol. 131). universidad nacional de colombia.
- Viancha, Z. (2012). *Diseño de un modelo logístico para la cadena de suministro de una fruta en la provincia de lengua en el departamento de Boyacá*. Universidad de la Sabana.
- Wang, Y., Assogba, K., Liu, Y., Ma, X., Xu, M., & Wang, Y. (2018). Two-echelon location-routing optimization with time windows based on customer clustering Two-echelon location-routing optimization with time windows based on customer clustering. *Expert Systems With Applications*, 104(August), 244–260. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.03.018>
- Yepes Piqueras, V. (2002). Optimización heurística económica aplicada a las redes de transporte del tipo VRPTW. *Tesis Doctoral*, 352.

APÉNDICES

Apéndice A: encuesta 001

Encuesta 001

Encuesta dirigida a: Productores de Yuca Industrial en el municipio de Corozal, Sucre.

Objetivo: Caracterizar el estado actual de las actividades de producción, aprovisionamiento y distribución de la yuca industrial en el municipio de Corozal, Sucre.

Investigadores: Yessica Quiroga y María Vásquez.

I. Datos Generales

1. Nombre: _____
2. Sexo:
 - Masculino
 - Femenino
3. Edad: _____
4. Nivel de estudio:
 - Ninguno
 - Básica Primaria
 - Básica Secundaria
 - Universitarios
 - Posgrados
5. Vereda o corregimiento donde cultiva la yuca industrial: _____

II. Aspectos de producción

1. ¿Cuántas hectáreas de Yuca Industrial cosechan por hectárea? _____
2. ¿Cuántas toneladas de Yuca Industrias se producen por hectárea? _____
3. ¿Cuántas cosechas se realizan en el año? _____
4. ¿Cuál es el periodo del año donde se produce el pico más alto de producción?

5. ¿Utiliza usted insumos para generar una buena producción?
 - Sí
 - No
6. ¿Qué insumos utiliza y donde los adquiere? _____
7. ¿Cuáles son los costos que se incurren en el transporte de la Yuca Industrial?

8. ¿Cuántos vehículos se utilizan para transportar la Yuca Industrial? _____

III. Aspectos de Comercialización

9. ¿De qué manera se comercializa la Yuca Industrial? _____
10. ¿Quiénes son sus principales clientes? _____
11. ¿Cómo considera usted el precio de la Yuca Industrial al momento de su comercialización?

12. ¿Ha quedado con producto en inventario por falta de compradores?
 - Sí
 - No

Apéndice B: encuesta 002***Encuesta 002***

Encuesta dirigida a: Conductores de Vehículos de Yuca Industrial en el municipio de Corozal, Sucre.

Objetivo: Caracterizar el proceso actual de distribución de Yuca Industrial en Corozal, Sucre para determinar las principales variables y condiciones iniciales del modelo.

Investigadores: Yessica Quiroga y María Vásquez.

IV. Datos Generales

1. Nombre: _____

2. Sexo:

Masculino

Femenino

3. Edad: _____

4. Nivel de estudio:

Ninguno

Básica Primaria

Básica Secundaria

Universitarios

Posgrados

5. Número de ayudantes

6. Características técnicas del vehículo

Marca	
Modelo	
Año	
Peso vacío (Tara)	
Peso de Carga Máxima	

7. ¿Valor del flete?

Apéndice C: Evidencias fotografías

Figura 21

Mata de Yuca Industrial.



Fuente: propia 2020.

Figura 22

Cultivo de Yuca Industrial.



Fuente: propia 2020.

Figura 23

Sacos listos para cargar al camión.



Fuente: propia 2020.

Figura 24

Camión C2 cargado de Yuca Industrial.



Fuente: propia 2020.

Figura 25

Visita al cultivo de Yuca Industrial.



Fuente: propia 2020.

Figura 26

Vía actual de un corregimiento productor del tubérculo.



Fuente: propia 2020.