

LOCALIZACIÓN ÓPTIMA DE CENTROS DE ACOPIO Y RUTEO DE RECOLECCIÓN DE MANGO (MANGIFERA INDICA – VARIEDAD DE COLOMBIA) EN FINCAS DEL DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA – COLOMBIA

Área de investigación: Administración de la micro, pequeña y mediana empresa

Edwin Causado-Rodriguez

Programa de Ingeniería Industrial
Facultad de Ingeniería
Universidad del Magdalena
Colombia
ecausado@unimagdalena.edu.co

Frank Díaz-Armenta

Programa de Ingeniería Industrial
Facultad de Ingeniería
Universidad del Magdalena
Colombia
fkdante@gmail.com

Darwin Sánchez-González

Programa de Ingeniería Industrial
Facultad de Ingeniería
Universidad del Magdalena
Colombia
darwinsanchez31@gmail.com

Octubre 3, 4 y 5 de 2018

Ciudad Universitaria | Ciudad de México



LOCALIZACIÓN ÓPTIMA DE CENTROS DE ACOPIO Y RUTEO DE RECOLECCIÓN DE MANGO (MANGIFERA INDICA – VARIEDAD DE COLOMBIA) EN FINCAS DEL DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA – COLOMBIA



Resumen

En el diseño de rutas de recolección de productos se tienen en cuenta factores como la distancia a recorrer y el costo por unidad de distancia. Así mismo, a fin de determinar la localización de una instalación, no solo se presentan factores de decisión posicional; también hay que tener en cuenta factores políticos que no son de interés a este estudio, factores ambientales, sociales, cercanía a materia prima, entre otros. Razón por la cual, mediante esta investigación se pretende determinar la localización eficaz de un centro de acopio y ruta de recolección para mango en tres municipios en Colombia. Las características geográficas de la zona y el carácter de los cultivos dificultan la recolección de información y presentan una alta tasa de variabilidad, siendo fundamental determinar la ubicación del centro de acopio por municipio; para lo cual, se definieron las coordenadas de las fincas implicadas y la producción de mango de las mismas, utilizando para este caso el método de centro de gravedad, que permitiera obtener la posición ideal y una vez allí se analizó su viabilidad, mediante reubicación de las coordenadas bajo parámetros de proximidad a población o vía de acceso en caso de ser necesario. En este mismo ámbito, mediante el método algorítmico de barrido o sweep se diseñó la ruta de recolección de mango definiendo las paradas y secuencias entre el centro de acopio y cada una de las fincas. Se puede expresar que con el sistema planteado es factible disminuir el recorrido de los vehículos en un 50% y el precio de venta para los campesinos podrá lograr incrementos de hasta un 50% aproximadamente, dando la posibilidad de abrirse puertas en nuevos mercados y captar la atención de clientes potenciales al brindar robustez a todo el proceso y mejorar la calidad del producto.

Palabras clave: Centro de acopio, Cultivo de mango, Método de centro de gravedad, Método de barrido.



Abstract

In the design of product collection routes, factors such as distance to travel and cost per unit of distance are taken into account. Likewise, in order to determine the location of a facility, not only positional decision factors are presented; we must also take into account political, environmental, social factors, proximity to raw materials, among others. This is the reason why this research is intended to determine the effective location of a collection center and collection route for mango in three municipalities in Colombia. The geographical characteristics of the area and the nature of the crops make it difficult to collect information and have a high variability rate, being essential to determine the location of the collection center by municipality; for which, the coordinates of the farms involved and the mango production of the same were defined, using for this case the center of gravity method, which would allow obtaining the ideal position and once there the viability was analyzed, by relocating the the coordinates under parameters of proximity to population or access road if necessary. In this same area, using the algorithmic sweeping method, the mango harvesting route was designed defining the stops and sequences between the collection center and each one of the farms. It can be expressed that with the proposed system will reduce the travel of vehicles by 50% and the sale price for farmers can achieve increases of up to 45% approximately, giving the possibility of opening doors in new markets and attract attention of potential customers by providing robustness to the entire process and improving product quality.

Keywords: Collection center, Mango cultivation, Center of gravity method, Sweeping method.



Introducción

Colombia se ha caracterizado gracias a su naturaleza por poseer una gran variedad de frutas y hortalizas, teniendo la capacidad de suplir sus demandas tanto internas como externas de productos nativos y diferentes productos adaptados. El departamento del Magdalena – Colombia, aportó en el 2015 según datos de la secretaria de desarrollo económico de la gobernación del departamento, 22.773 toneladas de mango posicionándolo como uno de los principales cultivos de la región (Gobernación del Magdalena, 2016).

En la mayoría de los municipios del departamento del Magdalena, existe producción de mango (*Mangifera indica* – variedad de Colombia), donde se presenta un alto nivel de informalidad en el proceso productivo, como es el caso de los municipios de El Banco, Santana y Zona Bananera, además de que no existe información oficial acerca de los niveles de producción de este producto, en algunos de estos municipios; por lo cual, las estadísticas a nivel general están nutridas por las grandes empresas de la capital y de la segunda ciudad del departamento, así como de algunas asociaciones de cultivadores en menor medida. A su vez, en estado de informalidad se encuentran en su mayoría campesinos dedicados a trabajar la tierra de generación en generación, los cuales presentan dificultades para llevar su producto a los mercados o zonas urbanas donde puedan comercializarlo a un precio justo.

Catalogado como un producto de calidad media baja debido a la falta de garantías (Certificación) fitosanitarias, de acuerdo al carácter no estándar de sus procesos, la fruta proveniente de la informalidad es comprada a menor precio y utilizada comúnmente para consumo interno o materia prima para transformación en la fabricación de jugos, dulces, sumos, salsas, mermeladas, pulpa, entre otros; en las fábricas asentadas en grandes ciudades del país.

Se puede argüir a la desidia en logística e infraestructura, además de la falta de planeación conjunta entre el sector estatal y de producción campesina, como la causa principal de la informalidad, ésta a su vez, priva a los campesinos de los medios necesarios para el óptimo funcionamiento de su economía. Aunque es una situación general en todo el departamento, existen algunos municipios donde sus



características geográficas juegan un rol determinante, agudizando aún más los problemas para transportar la fruta y comercializarla debidamente.



Los municipios de El Banco, Santa Ana y Zona Bananera en el departamento del Magdalena – Colombia, presentan además de carencias en vías y transporte, una alta variabilidad climática y están catalogados como municipios de alto riesgo de inundación por estar cercanos a grandes ríos como el río Magdalena (Ibid, p44).

De acuerdo a comentarios de los mismos campesinos en información recolectada a través de encuestas, en muchas ocasiones han perdido la totalidad de su cultivo por no existir una forma de transportar su producto y la falta de algún comprador dispuesto a realizar el proceso de cosecha de sus fincas. Actualmente estas familias campesinas tienen un poder de negociación prácticamente nulo ante los compradores, al estar muy al interior de las zonas rurales, donde solo algunos de ellos están dispuestos a buscar la fruta si el precio de compra en conjunto al costo en transporte que asumen es menor al del mercado.

Lo anterior se traduce en precios de venta realmente bajos, en un deterioro significativo y progresivo de la economía de las familias campesinas de la región y en desaparición de la actividad agrícola del mango; donde algunas de estas familias han decidido abandonar el cultivo del mango y enfocarse en cultivos de pan coger, requirentes de menos exigencias en su proceso productivo, o en su defecto dedicarse a la actividad ganadera.

Estado del arte

En las organizaciones un área importante es la logística, esta permite llevar una trazabilidad correcta de los productos o servicios que ofrece la empresa, debido a que su función según la Association for Operations Management en Heizer y Render (2009) *“es obtener, producir y distribuir el material y el producto en el lugar y las cantidades apropiados, en el momento adecuado”*, partiendo de aquí la importancia de la ubicación de las instalaciones de las organizaciones para poder tener una gestión idónea de productos y servicios y así poder cumplir con los requerimientos establecidos; además de facilitar el alcance de las metas propuestas por la empresa (Gámez et al, 2016).





Excelentes resultados en la eficiencia y rentabilidad de la organización, serán susceptibles a las decisiones de logística que se tomen por parte de la organización, puesto que estas pueden influir en la disponibilidad de materia prima, la programación de la producción y en los costos de los productos y/o servicios ofrecidos; debido a que afectan necesariamente los costos de transporte, tiempos de entrega, flexibilidad para reaccionar, entre otros (Aardal, 1998).

Llegar a una correcta decisión de localización influye en gran manera en una organización, puesto que esta tiene impactos que son determinantes en el nivel de riesgo y las utilidades en las que esta incurre. La localización puede influir en aspectos como en los costos fijos y variables, impuestos, salarios, rentas, costos de transporte, materias primas, y otros (Albornoz y Johns, 2001).

Teniendo en cuenta que tomar una decisión de la localización de una planta, es un proceso que generalmente es muy trascendental, puesto que este puede determinar incluso tanto el éxito como el fracaso de toda la organización, por ende, cada uno de los diferentes departamentos de la empresa que estén involucrados en la elección de la ubicación deben evaluar cuidadosamente cada una de estas decisiones. De aquí surge la necesidad de tener en cuenta cuales pueden ser esos factores que pueden llegar a afectar la localización (Cordeau et al, 2007).

El tema de localización es aplicable a niveles tanto nacionales como internacionales, condición que se viene analizando con mayor frecuencia en lo últimos tiempos, debido al desarrollo y evolución de la economía, y a la manera de responder las organizaciones ante tal evolución, a fin de poder mantenerse posicionada en el mercado (Labbé et al, 1995).

Diferentes autores plantean varios factores dominantes o temas para la decisión de localización como pueden ser el clima laboral, proximidad con los mercados proveedores, recursos, costos totales, infraestructura, calidad de mano de obra, regulaciones ambientales, entre otros (Krajewski et al, 2008). Por su parte Heizer y Render (2009) y Garrido y San Martín (2015), establecen los factores críticos para el éxito necesarios que permitan alcanzar una ventaja competitiva, entre estos los métodos de localización; los cuales facilitan la resolución de estos problemas y la obtención de la ubicación más idónea de una organización que



favorezca el logro de la maximización de beneficios y los objetivos planteados, encontrando dentro de esos métodos el de centro de Gravedad.



El método del centro de gravedad es una técnica matemática que se usa para encontrar la localización de un centro de distribución que minimice los costos de distribución (Chase, Jacobs y Aquilano, 2009; y Heizer y Render, 2009).

Este método de localización permite su fácil aplicación puesto que para su aplicación se tiene en consideración las instalaciones que ya existen, las capacidades de producción y volúmenes, además la ubicación y distancias entre ellas. A través de su implementación, se pueden ubicar instalaciones de distribución, debido a que sus resultados muestran una ubicación intermedia o centrada entre las instalaciones existentes. En Chase, Jacobs y Aquilano (2009); especifican que el método supone que los costos de transporte de entrada y salida son iguales y no incluye costos de envío especiales por menos que cargas completas.

El método comienza con la ubicación de las localizaciones en un sistema coordinado. En este sentido, Heizer y Render (2009), explican que el origen del sistema coordinado y la escala usada son arbitrarios, siempre y cuando las distancias relativas se representen de manera correcta. Una vez se tienen las localizaciones en el sistema coordinado el centro de gravedad se determina mediante la aplicación de las siguientes ecuaciones:

$$\text{Coordenada } x \text{ del centro de gravedad} = \frac{\sum_i d_{ix} Q_i}{\sum_i Q_i}$$

$$\text{Coordenada } y \text{ del centro de gravedad} = \frac{\sum_i d_{iy} Q_i}{\sum_i Q_i}$$

Donde

d_{ix} = Coordenada x de la localización i

d_{iy} = Coordenada y de la localización i

Q_i = Cantidad de bienes que se lleva desde o hacia la localización i

Otro aspecto muy importante es la decisión del transporte del material; el transporte por carretera generalmente en camión constituye uno de





medios de transporte más populares que existen; en este sentido, en la mayoría de los países en vías de desarrollo se tornan dependientes de esta modalidad, por la inexistencia de integralidad multimodal del servicio, lo cual en últimas incide en la elevación de costos de producción y falta de competitividad del sector. Sin embargo, este medio de transporte para el caso de Colombia, se ha vuelto práctico debido a la inexistencia de algún otro, ya que ofrece cierto grado de flexibilidad para poder lograr la conexión deseada entre la organización y el cliente, además tiene ciertas ventajas en el manejo de este tipo de productos, la facilidad de acceder a la ubicación geográfica de este, el peso, volumen, cantidades y características.

Por otra parte, posterior a la localización de emplazamientos, también es posible la aplicación secuencial de métodos de programación lineal para ruteo, método de problema de rutas de vehículos con capacidad o VRP (de la sigla en inglés Vehicle Routing Problem) o métodos para el diseño de rutas de recolección o distribución de bienes y servicios; los cuales buscan poder encontrar las mejores soluciones, a los problemas que se presentan respecto a cuál debería ser la mejor secuencia que se tendría que hacer en toda una ruta de recolección o distribución, que permita minimizar los costos, disminuir los tiempos de atención, aumentar las utilidades y a su vez garantizar entrega en los lugares y tiempos establecidos (Laporte, 1992: 1998 y Melkote y Daskin, 2001).

Esta técnica debe su gran importancia y relevancia al hecho de los distintos campos en los cuales presenta aplicación, tales como, transporte, logística, comunicaciones, manufactura, militar, entre otros; además, presenta una descripción de fácil entendimiento, en el sentido que puede ser definido como una flota de vehículos con capacidades uniformes que tiene que satisfacer la demanda de un grupo de clientes a través de un conjunto de rutas que empiezan y terminan en un almacén común y que representan el menor costo posible, así como la identificación del orden de visita a los mismos (Gendreau et al, 2012).

Ante tal escenario, la actual diversidad de aplicaciones, en donde las exigencias pueden variar, conllevan a la estructuración de variantes del VRP, de acuerdo a una serie de determinantes o atributos, dependiendo del objeto de estudio y del propósito de este; entre estos, la estructura del sistema (depósitos, flotas de vehículos), los requerimientos de los clientes (ventanas de tiempo, visitas multi-depósito), reglas de



operación de vehículos (lugar de carga, restricciones en rutas, distancia o tiempo total), y contextos de decisiones (congestiones vehiculares y planeación sobre horizontes de tiempo extendidos), entre otros (Xiao y Lu, 2012).



En este marco, el método del Barrido o Sweep, se enmarca dentro de las técnicas heurísticas de construcción, dado que parten de un problema y una solución "vacía" para que a partir de ella se pueda construir una solución factible pero que casi nunca resulta óptima (Laporte y Semet, 2002). Así mismo, este método se precisa dentro de los métodos de asignar primero y rutear después (*cluster first, route second*); específicamente, se busca primero generar grupos de clientes, también llamados clúster, que estarán en una misma ruta en la solución final. Luego, para cada clúster, se crea una ruta que visite a todos sus clientes. Las restricciones de capacidad son consideradas en la primera etapa, asegurando que la demanda total de cada clúster es un Problema de Agente Viajero (TSP – *Travelling Salesman Problem*), que, dependiendo de la cantidad de clientes en el clúster, se puede resolver en forma exacta o aproximada (Orrego, 2013).

El funcionamiento de este método de Barrido, se explica mediante la conformación del clúster a través de giros semirectos con origen en el depósito e incorporando los clientes barridos por dicha semirecta hasta que se viole la restricción de capacidad. Cada clúster es luego ruteado resolviendo un TSP de forma exacta o aproximada. Este algoritmo puede aplicarse en problemas planos, es decir, en los que cada nodo corresponde a un punto en el plano y las distancias entre ellos se definen como su distancia euclidiana, como es el caso presente (Toth y Tramontani, 2008). Este método es considerado sencillo para su aplicación, el cual busca definir una secuencia o estándar de un recorrido en específico en busca de la obtención de los objetivos planteados. Este método según (Wren y Holliday, 1972; Gillett y Miller, 1974), presenta un grado de precisión que se proyecta para producir una tasa de error promedio de aproximadamente 10%, el cual es considerado como aceptable, dado el corto periodo de análisis para el caso de este estudio.

Así mismo Ballou (2004), indica que el método del barrido se desarrolla de la siguiente manera: 1) Se necesita la ubicación de las localizaciones, junto con el depósito, sobre un mapa o un sistema coordenado, 2) Se





traza una línea recta desde la ubicación del depósito en dirección a la instalación más cercana que es el lugar donde iniciaría la ruta. Girar la línea en sentido de las manecillas del reloj, o en sentido contrario, hasta que se intercepte una localización. Seguidamente, se analiza si se excede la capacidad del vehículo con el volumen acumulado, si no se excede, se procede con la rotación de la línea recta hasta interceptar la siguiente parada, se analiza nuevamente si se excede la capacidad, si la respuesta es afirmativa, se excluye el último punto y se define la ruta. Luego continuando el barrido de la línea, se empieza una nueva ruta con el último punto que fue excluido de la ruta previa. Se continúa con este mismo procedimiento hasta que todas las localizaciones se encuentren asignadas en la ruta.

En este ámbito, en el estudio de Solano, Caballero y Toledo (2016), establecen el estudio para una localización óptima y confiable en una cadena de suministro, en el cual, mediante la aplicación de métodos y modelos de programación, buscan obtener la ubicación óptima para una instalación, con el objetivo de minimizar tanto la probabilidad de fracaso, como los costos totales que se puedan presentar en toda la cadena de suministro. Es notable la importancia de una localización ideal por medio del cual se pueda llegar a los mínimos costos deseados, distancias entre las localizaciones existentes, tiempos de entregas, entre otros, para así poder obtener cadenas de suministros sólidas.

Colombia es un país que se caracteriza por tener una gran variedad de recursos naturales, de cultura, en geografía, etc. Además de contar una gran diversidad natural. Entre sus departamentos encontramos el departamento del Magdalena ubicado en el Caribe Colombiano, en el cual se presenta una alta actividad económica, con una numerosa cantidad de diversidad natural (Ver Figuras 1 y 2).





Figura 1: Mapa de Colombia con Señalización del Departamento del Magdalena

Fuente: Google Earth





Figura 2: Mapa del Departamento del Magdalena con Señalización de los Municipios de El Banco, Santa Ana y Zona Bananera

Fuente: Google Earth

Caso de estudio

EL Caso de estudio se desarrolló en algunas fincas productoras de mango (*Mangifera indica* – variedad de Colombia) en municipios emergentes en esta producción en el departamento del Magdalena – Colombia; a su vez, estas fincas carecen de procesos tecnificados y las formas de trabajar la tierra se ha transmitido generación tras generación. Durante años y en la actualidad, el principal problema ha sido el trasportar el producto hasta las zonas urbanas, el acceso a las fincas es caótico y se ve empeorado en invierno; en éste las lluvias deterioran aún más las vías ocasionando costos elevados de transporte hasta el punto de impedirlo, en muchas ocasiones la producción de cada una de estas fincas se pierde al no poder ser transportadas a los mercados regionales.

Actualmente el productor prefiere no responsabilizarse del transporte de la fruta, debido a la no garantía del mercado en la compra del producto y la falta de incentivos para la comercialización del producto por parte del gobierno, entre otros; por lo cual, el comprador principalmente del interior del país y ciudades costeras como Barranquilla y Santa Marta negocian todo el cultivo y se hacen cargo de



descargar cada árbol y el transporte de la fruta a las grandes urbes, esto ocasiona que el precio de compra sea bastante bajo, lo cual en muchos casos termina no cubriendo los costos de producción.



Los municipios magdalenenses emergentes en producción constante de mango son El Banco, Santa Ana y Zona Bananera; dado que existen municipios productores de mango (*Mangifera indica* – variedad de Colombia) consolidados como Ciénaga y Santa Marta – Capital del departamento, incluso con naciente proceso exportador de este fruto. Se plantea para cada uno de ellos, escoger los mejores prospectos de fincas y diseñar un centro de acopio que permita aglomerar la producción de todas, con el objeto de facilitar al comprador, el transporte de modo que se defina un precio mejor al actual; este aumento estará fundamentado en que el comprador ya no tendrá que ir por cada una de las fincas recogiendo el producto, si no tomando toda la fruta directamente del centro de acopio, embalada y lista para cargar.

Localización del centro de acopio: Para cada uno de los municipios se escogerán las fincas con mayor regularidad y cantidad de producción de la fruta (Información obtenida mediante encuestas (Ver Tablas 1, 2 y 3).

Tabla 1. Fincas escogidas y toneladas de producción trimestral en el municipio de El Banco.

EL BANCO MANGO	
FINCA	PRODUCCIÓN (TON)
Bella luz	2
El Cedro	8
Los Negritos	12
San Felipe	15

Fuente: Autores.



Tabla 2. Fincas escogidas y toneladas de producción trimestral en el municipio de Zona Bananera.



ZONA BANANERA MANGO	
FINCA	PRODUCCIÓN (TON)
San José	4
El Reposo	14
Río Frio	12
Santa Rosalía	2
Latal	8
Palomar	11
Sevilla	16

Fuente: Autores.

Tabla 3. Fincas escogidas y toneladas de producción trimestral en el municipio de Santa Ana.

SANTA ANA MANGO	
FINCA	PRODUCCIÓN (TON)
Juan león	9
Pedro Fernández	15
Los Deseos	4
Santo Domingo	2
La Granja	1

Fuente: Autores.

Al ser todo un proceso artesanal, se presenta escases de información y la variabilidad en la producción, volúmenes y procesos; además de que las vías según la temporada del año a analizar, no hacen posible definir el costo de transporte por kilómetro, por lo cual es apropiado la utilización para la ubicación del centro de acopio el método de centro de gravedad, con el fin de buscar las coordenadas céntricas que permitan el menor recorrido posible entre el centro de acopio y las fincas dando prioridad a las fincas de mayor producción. Mediante la



utilización de Google Earth se define la coordenada de cada una de las fincas en los municipios seleccionados (Ver Tablas 4, 5 y 6).

Tabla 4. Coordenadas de fincas escogidas en el municipio de El Banco



EL BANCO MANGO		
FINCA	X	Y
Bella luz	9,273940	- 73,98595
El Cedro	9,25945	- 73,98223
Los Negritos	9,02937	- 74,07909
San Felipe	9,06628	- 74,12724

Tabla 5. Coordenadas de fincas escogidas en el municipio de Zona Bananera



ZONA BANANERA MANGO		
FINCA	X	Y
San José	10,969560	- 74,18329
El Reposo	10,9503	- 74,16796
Rio Frio	10,91663	- 74,16664
Santa Rosalía	10,83382	- 74,11943
Latal	10,79999	-74,1664
Palomar	10,79096	- 74,10356
Sevilla	10,74427	- 74,15001



Tabla 6. Coordenadas de fincas escogidas en el municipio de Santa Ana



SANTA ANA MANGO		
FINCA	X	Y
Juan león	9,401380	- 74,47557
Pedro Fernández	9,38584	- 74,52249
Los Deseos	9,33068	- 74,56169
Santo Domingo	9,31522	- 74,52914
La Granja	9,31543	- 74,50644

Una vez definidos los parámetros necesarios para la aplicación del método se estiman las coordenadas del centro de acopio para cada municipio (Ver Figuras 3, 4 y 5).

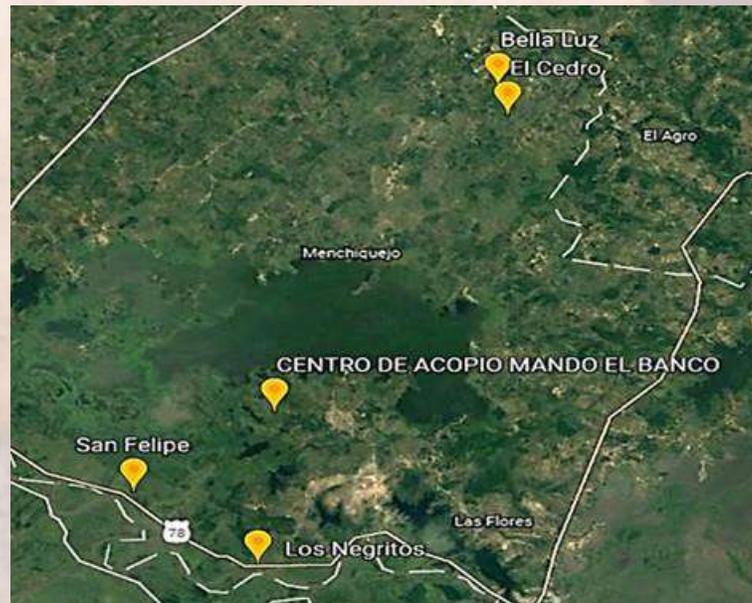


Figura 3. Ubicación ideal del centro de acopio en el municipio de El Banco. Coordenadas 9,107300541; -74,0726

Fuente: Google Earth y cálculos de autores.





Figura 4. Ubicación ideal del centro de acopio en el municipio de Zona Bananera. Coordenadas 10,85012853; -74,152377
Fuente: Google Earth y cálculos de autores.



Figura 5. Ubicación ideal del centro de acopio en el municipio de Santa Ana. Coordenadas 9,376406774; -74,513837
Fuente: Google Earth y cálculos de autores.



El método de centro de gravedad es un proceso que brinda una posición ideal desde un enfoque plenamente geométrico que, si bien presenta la mejor posición, no tiene en cuenta el sin número de factores que pueden afectar la localización de una instalación, así; ocasionalmente la ubicación resultado no esté disponible, o requiere ajustes para una óptima convergencia con dichos factores.

La zona de estudio por su característica rural cuenta con pocas vías de acceso y mucho deterioro de las mismas, por lo cual se tomó la cercanía a estas como factor de decisión fundamental para ajustar las coordenadas obtenidas. Se determinó como criterio de selección, la preferencia en acercar la ubicación a un asentamiento o pueblo de la zona cercano a las coordenadas obtenidas o en su defecto a las carreteras de acceso a las fincas (Lo que más cerca esté de las coordenadas obtenidas).

En el municipio de Zona Bananera y Santa Ana, si bien no se presenta ningún inconveniente con la ubicación (Figura 4 y 5), se encuentra considerablemente alejadas de las vías de acceso; para el ajuste en este caso se corre la coordenada cerca de la vía de acceso más cercana. Respecto al municipio de El Banco, presenta un inconveniente geográfico al estar cerca de una ciénaga (Ciénega del Chilloa) como lo muestra la figura 3, y al tratarse de zonas propensas a inundación se potencia el riesgo; bajo los parámetros ya planteados, la mejor opción de reubicación es a las afueras de la Vereda los negritos, si bien se no encuentra a la distancia ideal de la ciénaga, cuenta con vías de acceso en mejor estado y con nivel de afectación por el clima menor. En las figuras 6, se puede observar el traslado y la cercanía de la coordenada con la ciénaga.





Figura 6. Ubicación ajustada del centro de acopio en el municipio de El Banco. Coordenadas 9,071724; -74,03445

Fuente: Google Earth y cálculos de autores.

Asi mismo, en las figuras 7, 8 y 9, se presenta la reubicación de los respectivos centros de acopio.

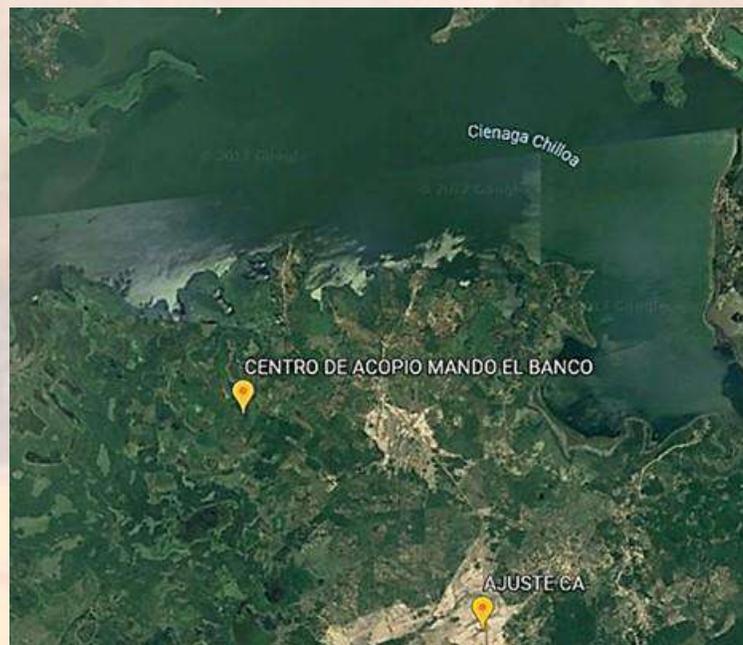


Figura 7. Vista comparativa de la ubicación y la ubicación ajustada del centro de acopio en el municipio de El Banco.

Fuente: Google Earth y cálculos de autores.

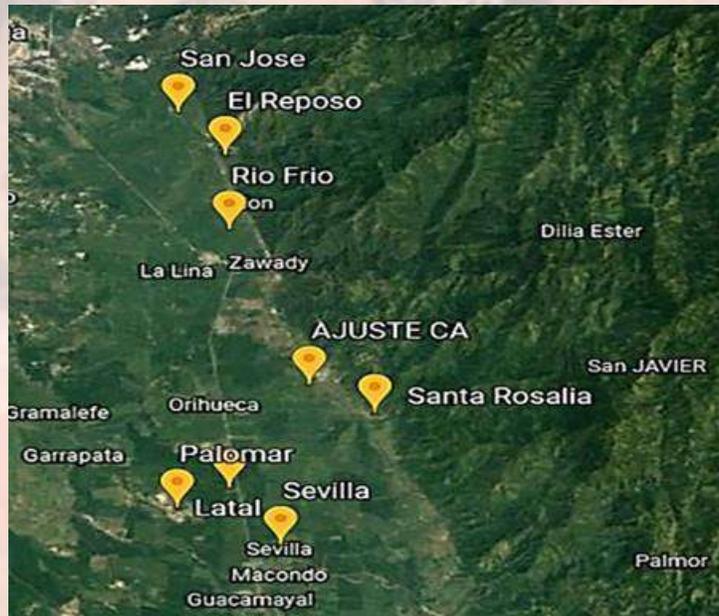


Figura 8. Ubicación ajustada del centro de acopio en el municipio de Zona Bananera. Coordenadas 10,846589; -74,140709
Fuente: Google Earth y cálculos de autores.

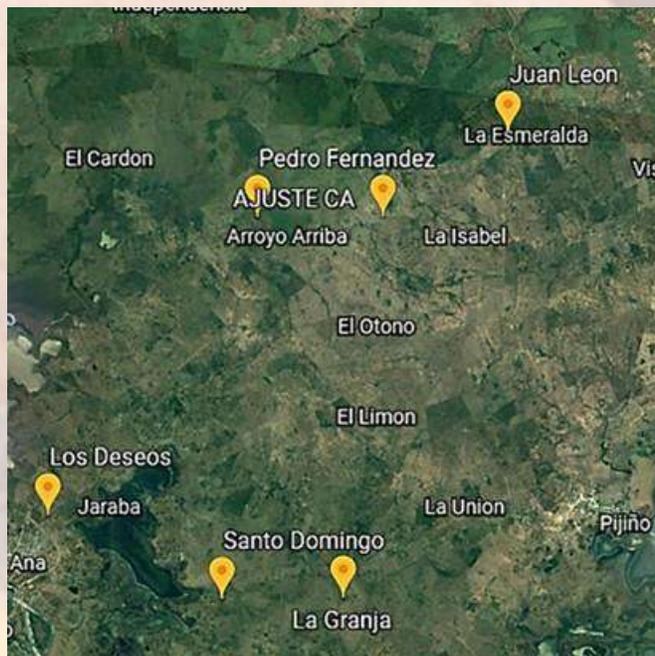


Figura 9. Ubicación ajustada del centro de acopio en el municipio de Santa Ana. Coordenadas 9,385826; -74,499
Fuente: Google Earth y cálculos de autores.





En cuanto a la ruta de recolección: la zona de estudio del municipio de El Banco, presenta dos etapas climáticas muy bien marcadas que varían de manera importante el estado de las vías de acceso a las fincas y municipios, también está caracterizada como zona con riesgo de inundación por su cercanía a brazos importantes del río Magdalena, el río más importante y de mayor caudal en el país.

La desidia de la zona y por ende la falta de infraestructura de todo tipo impide fijar costos de transporte y parámetros necesarios para determinar una ruta de recolección por métodos considerados más efectivos y confiables; en este ámbito, a fin de brindar un impulso económico a estos municipios y a sus familias agricultoras se decide definir la ruta de recolección de mango por medio del método de barrido, aceptando el 10% de error que este presenta, brindando una solución a corto plazo como medida primaria y temporal para la creación de la estructura vial ideal.

A partir de encuestas realizadas a los agricultores y sus métodos de trabajar la tierra, se determinó que en la mayoría de los casos se tienen 2 cosechas por ciclo de producción manteniendo en promedio la misma cantidad de fruta entre ellas. Los datos presentados en las tablas 1, 2 y 3 muestran los valores totales de un ciclo de producción, así; las cantidades a recoger en la ruta son el promedio de las mostradas, por lo cual se representa la ruta para una sola cosecha. El vehículo para realizar la recolección será un camión de dos ejes con capacidad de 16 toneladas (Vehículo de carga de mayor capacidad capaz de recorrer las vías en el estado actual) (Ver Tabla 7 y Figuras 10, 11 y 12).

Tabla 7. Convenciones

Convenciones	Definiciones
	Finca
	Producción
	Primera Finca
	Del CA a la Finca
	De la Finca al CA

Fuente: Autores.





Capacidad Camión: 16 Ton

- 1 = Bella Luz
- 2 = El Cedro
- 3 = Los Negritos
- 4 = San Felipe
- CA = Centro de Acopio

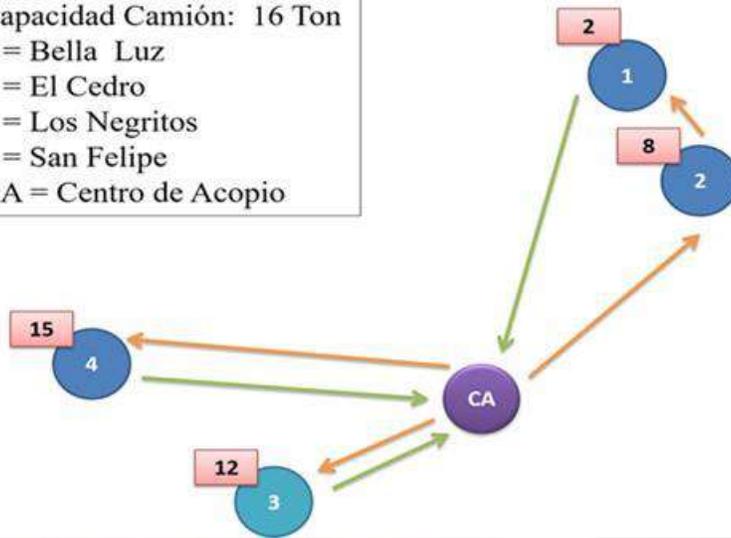


Figura 10. Ruta de recolección de mango en el municipio El Banco.



Capacidad Camión: 16 Ton

- 1 = Juan León
- 2 = Pedro Fernández
- 3 = Los Deseos
- 4 = Santo Domingo
- 5 = La Granja
- CA = Centro de Acopio

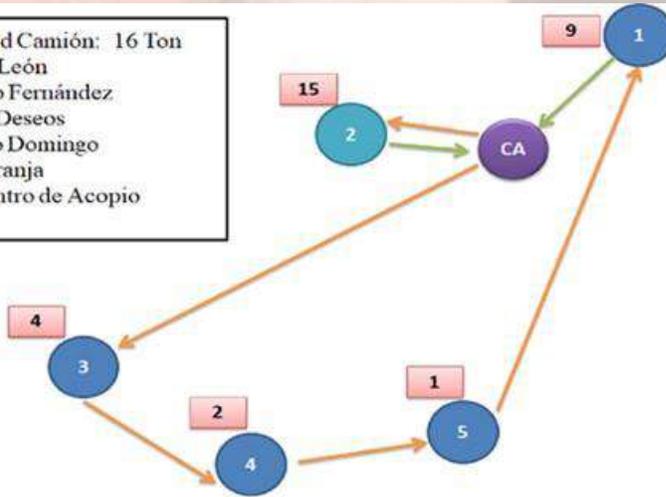


Figura 11. Ruta de recolección de mango en el municipio Santa Ana.



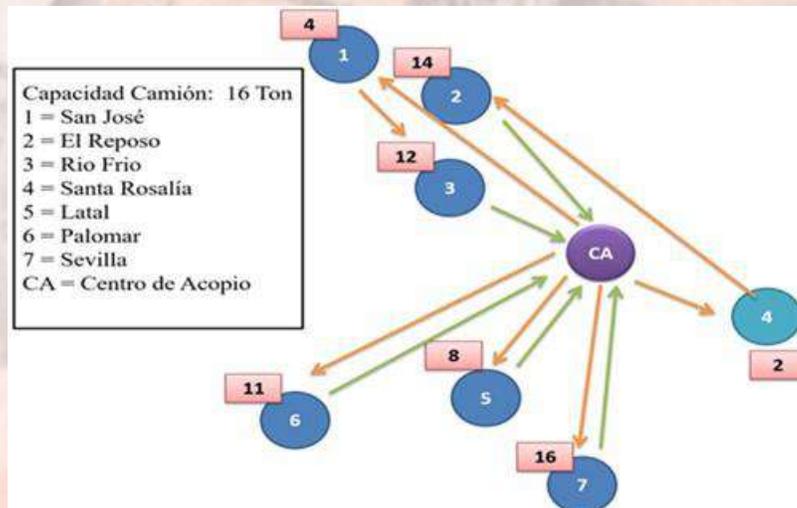


Figura 12. Ruta de recolección de mango en el municipio Zona Bananera.

Esta herramienta es de amplia aplicación, dado que el sentido común facilita su implementación, ya que se puede hacer de forma manual y por lo tanto es de fácil entendimiento, por cualquier actor institucional y productivo. Además, como en el caso presente, se recomienda su uso dado que las distancias a recorrer de ida y vuelta son similares y no existe restricción en el tiempo de las rutas, por lo que la mayor atención se dirige a la mayor cantidad de productos, en este caso mango (*Mangifera indica* – Variedad de Colombia), que deben ser recolectados en cada una de las fincas de los municipios del departamento del Magdalena – Colombia (El Banco, Santana y Zona Bananera), de acuerdo al medio de transporte seleccionado y al cálculo de la ubicación preliminar del centro de acopio mediante al método de centro de gravedad.

Conclusiones

La presente investigación abarcó la localización de tres (3) centros de acopio para mango y el diseño de una ruta de recolección de los mismos. Esta propuesta nace con dos fines específicos que son el mejoramiento de la calidad de vida de los campesinos implicados y el desarrollo económico de los pequeños productores de los municipios de El Banco, Santana y Zona Bananera y su zona de influencia.

Estas familias campesinas por diferentes factores se encuentran aisladas de toda la economía frutícola de la región, durante años ha sido el





mango uno de los principales cultivos y uno de los más rentables respecto al año 2015; en este sentido, para el caso del municipio de Zona Bananera y Santa Ana se produjeron 2.860 y 270 toneladas respectivamente según datos de la secretaria de desarrollo económico de la gobernación del magdalena, pero no presentan datos formales de producción de mango en el municipio del Banco. Estos datos, aunque prometedores no representan el 40% del potencial de cada uno de los municipios, en el caso específico de El Banco esta información no tiene ninguna representación en la producción debido a la informalidad, los aportes a estas estadísticas son las grandes empresas productores de mango y en un margen muy pequeño los campesinos.

Actualmente estas familias campesinas se delimitan entre dos opciones; lograr llevar su producto a un mercado o sitio de venta (Cuando es posible), o jugar una carta segura negociando todo su cultivo a un mayorista o cliente transformador directo, lo cual es lo presente en casi todas las fincas de este territorio; además, esta “seguridad” plantea un costo muy alto, se fija un precio de venta en ocasiones de hasta un 60% menor al precio del mercado y el comprador intermediario, solo hace legitima la compra hasta el momento de la cosecha, mientras pasa el tiempo hasta que este punto llegue, toda la responsabilidad es plenamente del campesino pudiendo a fin de cuentas el comprador decidir a última hora si compra o no, sin contar el daño que sufre la fruta en el transporte al sobrecargar los vehículos para reducir la cantidad de viajes.

El tener un centro de acopio les brinda a los pequeños productores la oportunidad de almacenar la fruta de manera correcta y reducir en 50% aproximadamente el recorrido del cliente para recogerla, como también lo exime de la labor de recolección; brindando así un producto de mayor calidad mediante el cual se pueda fijar precios respecto al precio del mercado y de esta manera lograr mayores beneficios que puedan cubrir los costos de producción en general.

Dentro de este contexto, se desarrolló la metodología de solución del método de Barrido, que consiste en la implementación de la heurística constructiva para la generación de los Clústeres, lo cual arroja la solución a la ruta óptima de cada camión dentro de cada municipio. Tomando como medida de desempeño, la minimización de la distancia total recorrida por el conjunto de vehículos.





Igualmente, mediante la implementación de estas técnicas anteriores del método de centro de gravedad para determinar ubicación óptima de la instalación y el método de Barrido, son esenciales para determinar eficiencia en el recorrido de la cosecha en las fincas de cada municipio. Sin embargo, se valida la necesidad de encontrar y desarrollar nuevos métodos aproximados en el mediano y largo plazo, posterior a que los distintos actores del entorno conozcan en mayor detalle estas herramientas y se apropien de estas, a fin de que se pueda avanzar en mejores soluciones en tiempo y distancias admisibles; dada la dificultad que presentan el uso de los diversos métodos existentes exactos de solución. Desafortunadamente, estos otros métodos denominados de VRP, se caracterizan por su dificultad en su implementación y entendimiento por parte del productor primario (el campesino) y de la institucionalidad local, transformándose en un problema, por la necesidad de uso intensivo de información y herramientas computacionales de gran capacidad, no sólo con el aumento del número de fincas proveedoras, del número de municipios, sino también con la topología general de los mismos, con lo cual esta primera aproximación brinda el punto de partida para avanzar a otros estados de conocimiento en la implementación de diversas técnicas de solución óptima en el sector frutícola.

Aunque la propuesta plantea mejoras significativas, todavía el estado de las vías presenta una problemática a resolver que reducirá la capacidad de competir de cada una de las fincas al interior de los municipios y a nivel intermunicipal; por lo cual, se espera lograr un precio de venta de un 10% por debajo del precio del mercado presentando una mejora del 50% en el precio. Cabe destacar que el estado de las vías también afecta la eficiencia de la ruta de recolección, puesto que por sus características limitan la capacidad de carga de los vehículos de recolección.

Todo este sistema de recolección y distribución dará la posibilidad de abrirse puertas en nuevos mercados y captará la atención de clientes potenciales al brindar robustez a todo el proceso y mejorar la calidad del producto.



Referencias bibliográficas

Aardal, K. (1998). "Reformulation of Capacitated Facility Location Problems: How Redundant Information can Help". *Annals of Operations Research*. Vol. 82, pp. 289-308.

Albornoz, V & Johns, E. (2011). "Localización de Paraderos de Detención y Diseño Optimo de Rutas en el Transporte de Personal". *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*. Vol. 19 N° 3, pp 457-472.

Ardila, W; Romero, D & González, F. (2014). "Estrategias para la Gestión de Riesgos en la Cadena de Suministros". *Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology*. Guayaquil, Ecuador. 22-24.

Ballou, R. (2004). "Logística Administración de la Cadena de Suministro". Quinta Edición. pp 219-243. Pearson Educación. México.

Chase, R; Jacobs, F & Aquilano, N. (2009). "Administración de Operaciones Producción y Cadena de Suministro". Duodécima Edición. pp 384-393. Mc Graw Hill. México.

Cordeau, J; Laporte, G; Savelsbergh, M & Vigo, D. (2007). "Vehicle Routing". En *Transportation*, editado por C. Barnhart, G. Laporte. *Handbooks in Operations Research and Management Science*. Vol. 14. North Holland, Amsterdam, pp. 367-428.

Gámez, H; Mejía, C & León, R. (2016). "Diseño de una Red de Distribución a Través de un Modelo de Optimización Considerando Agotados". *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, Vol. 25. N°4, pp 619-632.

Garrido, L & San Martín, C. (2015). "Algoritmo para el Problema de Localización de Plantas y Centros de Distribución Maximizando Beneficio". *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*. Vol. 24. N°3. pp 493-501.

Gendrau, M., Vidal, T., Crainic, T. & Prins, C. (2012). Heuristics for multi-attribute vehicle routing problems: A survey and synthesis. *CIRRELT*.



Gillett, B. and Miller, L. A. (1974). Heuristic algorithm for the vehicle-dispatch problem. *Operations Research*, 22, pp340-349.

Gobernación del Magdalena. (2016). Plan de Desarrollo 2016 – 2019 Departamento del Magdalena - Magdalena Social, ¡Es la Vía!.

Heizer, J & Render, B. (2009). “Principios de Administración de Operaciones”. Séptima Edición. pp 315-326. Pearson Educación. México.

Krajewski, L; Ritzman, L & Malhotra, M. (2008). “Administración de Operación Procesos y Cadena de Valor”. Octava Edición. pp 421-434. México. Pearson Educación.

Labbé, M; Peeters, D & Thisse, J. (1995). “Location on networks”. En *Network Routing*, editado por M.O. Ball, T.L. Magnanti, C.L. Monma and G.L. Nemhauser. *Handbooks in Operations Research and Management Science*. Vol. 8. North Holland. Amsterdam, pp. 551-624.

Laporte, G. (1992). “The Vehicle Routing Problems: An overview of exact and approximate algorithms”. *European Journal of Operational Research*. Vol. 59, pp. 345-358.

Laporte, G. (1998). “Location-routing problems”. En *Vehicle Routing: Methods and Studies*, editado por B.L.Golden, A.A. Assad. Elsevier Science Publishers. North Holland. Amsterdam, pp. 163-197.

Melkote, S & Daskin, M. (2001). “Capacitated Facility Location/Network Design Problems”. *European Journal of Operational Research*. Vol.129, Issue 3, pp. 481- 495.

Orrego, J. (2013). Solución al problema de ruteo de vehículos con capacidad limitada “cvrp” a través de la heurística de barrido y la implementación del algoritmo genético de chu-beasley. Trabajo para optar al título de Ingeniero Industrial de la Universidad Tecnológica de Pereira.

Solano, F; Caballero, J & Toledo, L. (2016). “Localización Óptima y Confiable de Instalaciones en una Cadena de Suministro”. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*. Vol. 25. N° 4, pp. 693-706.



Toth, P., & Tramontani, A. (2008). An integer linear programming local search for capacitated vehicle routing problems. The vehicle routing problem: Latest advances and new challenges, volume 2, p. 275-295.



Wren, A. and Holliday, A. Computer scheduling of vehicles from one or more depots to a number of delivery points. Operational Research Quarterly 23 (1972) 333-44.

Xiao, J., & Lu, B. (2012). Vehicle routing problem with soft time windows. Advances in Computer Science and Information Engineering. Volume 168, pages 317-322.

