

# **COSTOS DEL TRANSPORTE DE PAPA EN COLOMBIA CON BACKHAULS AND SUPPLY – MDVRPBS**

**Dr. (C) Jhon Jairo Santa Chávez  
Universidad Tecnológica de Pereira**

**Resumen** - Los costos de transporte tienen alta incidencia en los valores finales de productos de todo tipo que deben pagar los consumidores. En este artículo se aborda el problema de diseño de rutas óptimas que permitan atender la demanda de papa en ciudades capitales de Colombia considerando el modelamiento de una red de transporte donde se tienen nodos de oferta, nodos de demanda y posibles caminos de conexión entre ellos. El objetivo es diseñar una ruta que minimice los trayectos en vacío (sin carga) de la flota de vehículos. La solución del problema se realizó mediante diferentes estrategias, tales como: el algoritmo de transporte, la heurística del vecino más cercano, y la técnica Colonia de Hormigas. Se analizaron dos funciones objetivos: Una minimizar la distancia recorrida (Interés del Transportador) y otra minimizar los costos a los usuarios – fletes.

Palabras clave - Transporte de papa, colonia de hormigas, ruteamiento de vehículos, Optimización.

**Abstract** - The transportation costs have high incidence in the final values of the products that the costumers must pay. This paper addresses the problem of designing the optimal routes that allow fulfil the potatoe's demand in the main cities of Colombia considering the modeling of a transport network having offer nodes, demand nodes and alternative paths of connection between them. The goal is to design a route that minimizes the paths of the vehicle fleet when this one is empty (without load). The solution of the problem was developed through different strategies: the transportation algorithm, the heuristic of the closest neighbor and the ant colony technique. We analyzed two objective functions: minimize distance A (Interest Transporter) and another minimizing user costs - freight.

## **1. INTRODUCCIÓN**

La **papa** o **patata** es un tubérculo comestible que se extrae de la planta de probable origen andino, ya que desde 1538, se tubo evidencias de que en la sierra central de la actual Colombia la gente cultivaba la papa, constituyéndose en el cuarto alimento de mayor consumo en el mundo y al contrario de los otros tres maíz, trigo y arroz, tiene una marcada tendencia al aumento en su consumo. En Colombia, hace parte de la canasta familiar de los diferentes estratos sociales y su producción se distribuye en los diferentes departamentos, pero los principales productores en el 2009, fueron: Cundinamarca (37.74%), Boyacá (26.26%), Nariño (17.30%), Antioquia (6.53%) y Santander (5.64%). Para el presente estudio el consumo fue determinado por el Censo de Población del DANE, y se determinan las fuentes de distribución de restarle a la producción de cada departamento su consumo local, al realizar esta operación se tienen cuatro fuentes de distribución, así: Bogotá (nodo 1), Bucaramanga (nodo 2), Pasto (nodo 15) y Tunja (nodo 22) y los restantes nodos o ciudades como destino del presente trabajo.

**Tabla 1: Producción y Consumo Mensual de Papa en Colombia - (Toneladas/Mes)**

No.	Capital	Producción (Ton/mes)	Porcentaje	Consumo (Ton/mes)	Porcentaje	Oferta / Demanda (Ton/mes)
1	Armenia	15	0,01%	2.704	1,08%	-2.689
2	Barranquilla	0	0,00%	11.547	4,63%	-11.547
3	Bogotá	94.188	37,74%	49.274	19,74%	<b>44.914</b>
4	Bucaramanga	14.077	5,64%	9.879	3,96%	<b>4.198</b>
5	Buenaventura	0	0,00%	1.625	0,65%	-1.625
6	Cali	468	0,19%	20.131	8,07%	-19.663
7	Cartagena	0	0,00%	9.853	3,95%	-9.853
8	Cúcuta	6.181	2,48%	6.425	2,57%	-244
9	Florencia	31	0,01%	2.236	0,90%	-2.205
10	Ibagué	3.826	1,53%	6.791	2,72%	-2.965
11	Manizales	799	0,32%	4.778	1,91%	-3.979
12	Medellín	16.288	6,53%	30.267	12,13%	-13.979
13	Montería	0	0,00%	7.943	3,18%	-7.943
14	Neiva	35	0,01%	5.409	2,17%	-5.374
15	Pasto	43.188	17,30%	8.177	3,28%	<b>35.012</b>
16	Pereira	17	0,01%	4.553	1,82%	-4.536
17	Popayán	4.932	1,98%	6.531	2,62%	-1.599
18	Quibdó	0	0,00%	2.362	0,95%	-2.362
19	Riohacha	0	0,00%	4.254	1,70%	-4.254
20	Sincelejo	0	0,00%	4.022	1,61%	-4.022
21	Santa Marta	0	0,00%	5.953	2,38%	-5.953
22	Tunja	65.555	26,26%	6.184	2,48%	<b>59.371</b>
23	Valledupar	0	0,00%	4.824	1,93%	-4.824
24	Villavicencio	0	0,00%	4.411	1,77%	-4.411
25	Arauca	0	0,00%	1.234	0,49%	-1.234
26	Mocoa	0	0,00%	1.621	0,65%	-1.621
27	Yopal	0	0,00%	1.643	0,66%	-1.643
28	Industria			24.970	10,00%	-24.959
	Total	249.600	100,01%	249.600	100,00%	

También como se tiene el 90% de la papa para consumo en estado fresco, se reserva el otro 10% es consumido para la industria. En la actualidad sólo 4 grandes empresas, controlan cerca del 90% del mercado de producto procesado, particularmente en la línea de los denominados "chips" de papa y papa a la francesa prefrita congelada. Son industrias que en su mayor parte operan con grandes escalas y tecnología de producción avanzada. La mayor parte de la industria se encuentra ubicada en Cali y las demás se localizan en Bogotá, Medellín, Bucaramanga y regiones como el eje cafetero y el oriente del país.

Con respecto a la tasa de fletes, es indiscutible que el transporte terrestre, bien sea en camión de carga o en tren, es el medio más utilizado para la distribución de mercancía. Por esta razón, es de gran importancia que se regulen los costos de este servicio, a través de la resolución No.000888, la cual fue expedida el 13 de marzo de 2006, se determinaron "los criterios en las relaciones económicas entre los remitentes de la carga, las empresas de transporte y los propietarios y/o poseedores o tenedores de los vehículos de transporte

público terrestre automotor de carga". Al realizar un promedio de los costos por tonelada por kilometro movilizado se obtuvo \$458,68/Ton.km.

## **2. METODOLOGÍAS DE SOLUCIÓN**

### **2.1. HEURISTICA DEL CAMINO MAS CORTO**

Se utilizó inicialmente esta metodología para la búsqueda del camino más corto entre los nodos y poder hallar el recorrido completo entre las ciudades de fuente y destino, que sirviera de referencia para posteriormente hacer comparación con otros métodos.

Es conveniente el uso de esta heurística ya que el modelo del problema en estudio es muy complejo y su solución por métodos tradicionales de modelamiento también se dificulta.

### **2.2. MODELO DE TRANSPORTE**

El modelo de transporte busca determinar un plan de transporte de una mercancía de varias fuentes a varios destinos. Los datos del modelo son:

1. Nivel de oferta en cada fuente y la cantidad de demanda en cada destino.
2. El costo de transporte unitario de la mercancía a cada destino.

Como solo hay una mercancía, en nuestro caso la papa, un destino puede recibir su demanda de una o más fuentes. El objetivo del modelo es el de determinar la cantidad que se enviará de cada fuente a cada destino, tal que se minimice el costo del transporte total. La suposición básica del modelo es que el costo del transporte en una ruta es directamente proporcional al número de unidades transportadas. La definición de "unidad de transporte" variará dependiendo de la "mercancía" que se transporte.

### **2.3 METAHEURISTICA DE COLONIA DE HORMIGAS**

El sistema por colonia de hormigas es una metaheurística basada en el comportamiento natural de las hormigas cuando estas se encuentran en la búsqueda de su alimento. La tendencia lógica de cada individuo es reducir el esfuerzo y el tiempo necesario para recolectar el alimento, lo cual logra al disminuir la distancia entre ambos puntos. Una hormiga es un individuo relativamente simple, y llevar a cabo esta labor resulta altamente complejo. El éxito radica en la interacción de muchos individuos con el ambiente y la comunicación indirecta entre ellos por medio de sustancias químicas conocidas como feromonas.

Este comportamiento es usado para encontrar soluciones de buena calidad a problemas de optimización caracterizados por un espacio de solución bastante amplio y complejo. Para esto se debe hacer una equivalencia entre la colonia de hormigas naturales y un sistema artificial que se mueve dentro de un ambiente computacional. En la actualidad, esta técnica no ha sido puesta a prueba para resolver el problema de asignación de horarios, pero ha mostrado un alto desempeño en problemas de alta complejidad como son el problema del Cartero Viajero, Asignación Generalizada y Ubicación de condensadores

En el caso en estudio, se tienen dos hechos:

El primero, la Hormiga Artificial inicia su recorrido aleatoriamente en cualquiera de los nodos o ciudades fuentes y debe moverse a una ciudad destino o consumo, esta decisión se toma en función de la preferencia heurística, marcada por un componente dependiente de la distancia y el otro componente natural llamado feromona, según la regla probabilística de transición que define la probabilidad con la que la hormiga  $k$ , situada en la ciudad  $r$ , decide moverse hacia la ciudad  $s$ :

$$p_k(r,s) = \begin{cases} \frac{[\tau_{rs}]^\alpha \cdot [\eta_{rs}]^\beta}{\sum_{u \in J_k(r)} [\tau_{ru}]^\alpha \cdot [\eta_{ru}]^\beta}, & \text{si } s \in J_k(r) \\ 0, & \text{en otro caso} \end{cases}$$

Donde:

$\tau_{rs}$  es la feromona del arco  $a_{rs}$ ,  $\eta_{rs}$  es la información heurística del arco  $a_{rs}$ ,  $\alpha$  y  $\beta$  son pesos que establecen la importancia relativa entre la información heurística y los niveles de feromona,  $J(r)$  es el conjunto de nodos alcanzables desde  $r$  no visitados aún por la hormiga  $k$ .

### **Identificación de valores de los parámetros $\alpha$ y $\beta$**

- Si  $\alpha=0$  las ciudades más cercanas son las que tienen más probabilidad de ser escogidas (algoritmo clásico del gradiente con múltiples puntos de partida).
- Si  $\beta=0$  solo se tienen en cuenta los niveles de feromona, generalmente da lugar a resultados bastante pobres, especialmente si  $\alpha>1$ , situación que da lugar a la denominada situación de estancamiento (*stagnation*), en la que todas las hormigas siguen el mismo camino, proporcionando en general soluciones subóptimas

El segundo hecho, es la Actualización de la Matriz de Feromonas, que marcara la diversidad en la toma de decisiones por parte de la Hormiga para los siguientes recorridos. Se tiene inicialmente el hecho de que una hormiga transita por un camino deposita ciertos niveles de feromona, la cual se va evaporando con el tiempo.

Se usa una retroalimentación positiva para reforzar en el futuro los componentes de las buenas soluciones mediante un aporte adicional de feromona. Cuanto mejor sea la solución, más feromona se aporta.

Se usa la evaporación de feromona para evitar un incremento ilimitado de los rastros de feromona y para permitir olvidar las malas decisiones tomadas. La evaporación es la misma para todos los rastros, eliminándose un porcentaje de su valor actual:  $0 \leq \rho \leq 1$ . Es un mecanismo de evaporación más activo que el natural, lo que evita la perduración de los rastros de feromona y permite al algoritmo olvidar malas decisiones tomadas previamente.

La actualización de la matriz de feromonas se realiza con la siguiente ecuación\_

$$\tau_{rs}(t) = (1 - \rho) \cdot \tau_{rs}(t-1) + \sum_{k=1}^m \Delta \tau_{rs}^k$$

Donde:

$\Delta \tau_{rs}^k$  es la cantidad de feromona que la hormiga  $k$  deposita en los arcos que visita

$$\Delta \tau_{rs}^k = \begin{cases} \frac{1}{C(S_k)}, & \text{si la hormiga } k \text{ ha visitado el arco } a_{rs} \\ 0, & \text{en otro caso} \end{cases}$$

$C(S_k)$  : Es el coste de la solución generada por la hormiga  $k$ , es decir, la longitud del circuito  $S_k$ ,  $m$  es el número de hormigas, y  $\rho$  es el ratio de evaporación.

NOTA: Los arcos visitados por hormigas en la iteración actual (arcos prometedores) reciben un aporte extra de feromona y los no visitados por ninguna hormiga (poco prometedores) la pierden.

### ***El algoritmo de Sistema de Hormigas (Ant System) (AS)***

Se trata de una metaheurística en la que una colonia de hormigas artificiales cooperan para encontrar buenas soluciones en problemas de optimización discretos estáticos y dinámicos. Se propusieron tres versiones distintas (Dorigo et al., 1991; Colnani et al. 1992; Dorigo, 1992): *ant-density*, *ant-quantity* y *ant-cycle*.

Las dos primeras la **actualización de las feromonas se realiza** después de cada movimiento entre una ciudad y otra adyacente, mientras que en la tercera las feromonas solo se actualizan una vez que las hormigas han terminado de construir sus caminos. Las dos primeras versiones proporcionaban peores resultados. La actualización de la Matriz de feromona se realiza, así:

- **Asignar un valor ligeramente superior a la feromona** depositada por las hormigas en una iteración.
- Un posible estimación del mismo es  $\tau_{ij} = \tau_0 = m/C_m$ , donde  $m$  es el número de hormigas y  $C_m$  es la longitud del camino obtenido mediante la heurística del vecino más cercano.

### **3. PROBLEMÁTICA DEL TRANSPORTE DE MERCANCIAS CON RETORNO A LA FUENTE VACIO O BACKHAULS AND SUPPLY**

En general, el diseño de rutas óptimas para el desplazamientos de mercancías, así como el despacho adecuado en vehículos apropiados, se han tornado en labores cada vez más difíciles de estructurar, debido a diversos factores, como, por ejemplo, las actuales tendencias de crecimiento de la demanda, tanto en volumen, como en exigencia de tiempo, y, adicionalmente, por la acción de un mercado cada vez más competitivo. Lo anterior, conduce a una necesidad imprescindible por mejorar el servicio a través de políticas que conduzcan a un despacho logístico que optimice los recursos disponibles para atender la demanda. En estas condiciones, se requieren esfuerzos innovadores que superen y complementen medidas tradicionales, como aquellas enfocadas a ampliar la infraestructura física para almacenar mercancías, adquirir vehículos de mayor envergadura, subcontratar servicios, entre otros.

El transporte tradicional de carga contempla el despacho de vehículos desde centros de depósito hasta los puntos definidos por su clientela. Estos vehículos, en el proceso de distribución de mercancías, deben cumplir con un recorrido apropiado con el fin de garantizar el trayecto más corto posible que minimice los costos de combustible, y, adicionalmente, ofrezca a los usuarios menores tiempos de entrega. Por otro lado, y con el fin de flexibilizar la operación, las empresas de transporte disponen de vehículos con diferentes capacidades de almacenamiento, siendo que, en general, los vehículos de mayor envergadura poseen mayores tiempos de entrega, pero menores costos de relación operación/volumen.

### **COSTOS DEL TRANSPORTE DE PAPA EN COLOMBIA CON BACKHAULS AND SUPPLY – MDVRPBS**

**Dr. (C) Jhon Jairo Santa Chávez - Universidad Tecnológica de Pereira**

Actualmente, las empresas de transporte se encuentran revaluando su estructura logística, abordado el problema de despacho de rutas de una forma más integral. Bajo este enfoque, por tanto, se considera el concepto de "Backhaul", el cual, se define como el servicio logístico que aprovecha los recorridos en los cuales los vehículos cuenten con un volumen que pueda ser aprovechado para llevar insumos hasta el Centro de Distribución o buscar la fuente más cercana de abastecimiento y no volver a la fuente inicial de Distribución. De esta manera, se previene recorridos vacíos, con lo que se generan ahorros significativos en transporte de mercancías, y adicionalmente, logrando los siguientes beneficios:

- Atender compromisos de alta prioridad.
- Mejora en el Fill Rate (Este indicador mide el nivel de cumplimiento de la compañía en la entrega de pedidos completos al cliente, es decir, establece la relación entre lo solicitado y lo realmente entregado al cliente).
- Entrega de evidencias al 100%.
- Gestión de Rechazos.
- Ahorro de tiempo en entregas.
- Sistema de Rastreo y monitoreo las 24 horas.
- Desarrollo sostenible al medio ambiente

Por lo anterior, el proyecto de investigación considera la formulación de un modelo matemático no lineal, suficientemente amplio, que permita la elaboración de rutas para el transporte de mercancías, en las cuales, se considere la programación de diferentes tipos de vehículos con diferentes costos asociados de operación, flexibilidad en la movilidad, y volumen de almacenamiento. Adicionalmente, las rutas programadas deben cumplir con los tiempos programados de entrega/recibo de mercancías/insumos, y, al mismo, tiempo, minimizar el volumen desaprovechado en cada trayecto. Debido a la complejidad de este problema, se debe considerar la implementación de métodos de optimización basados en herramientas heurísticas, metaheurísticas, o técnicas híbridas junto con metodologías clásicas de optimización no lineal.

La elaboración de este proyecto de estar enfocado al apoyo de los profesionales de la región que tengan a su cargo la responsabilidad de la gestión, coordinación y ejecución de actividades y productos en temas transporte de mercancía, tanto en el sector público, como en el privado.

#### **4. ESTUDIO DEL TRANSPORTE DE PAPA EN COLOMBIA**

Se presenta a continuación los resultados obtenidos después de la aplicación de los conceptos antes enunciados.

#### 4.1 Ciudades objeto del presente trabajo:

##### MAPA DE COLOMBIA CON CAPITALS



Se adiciona la ciudad de Buenaventura, que aunque no es capital, si tiene una gran importancia por ser puerto de importación y exportación en Colombia.

4.2 **Se uso la Tabla No. 2** (Anexo 1) de distancias entre ciudades.

4.3 Se consideraron varias estrategias para diseñar la red óptima:

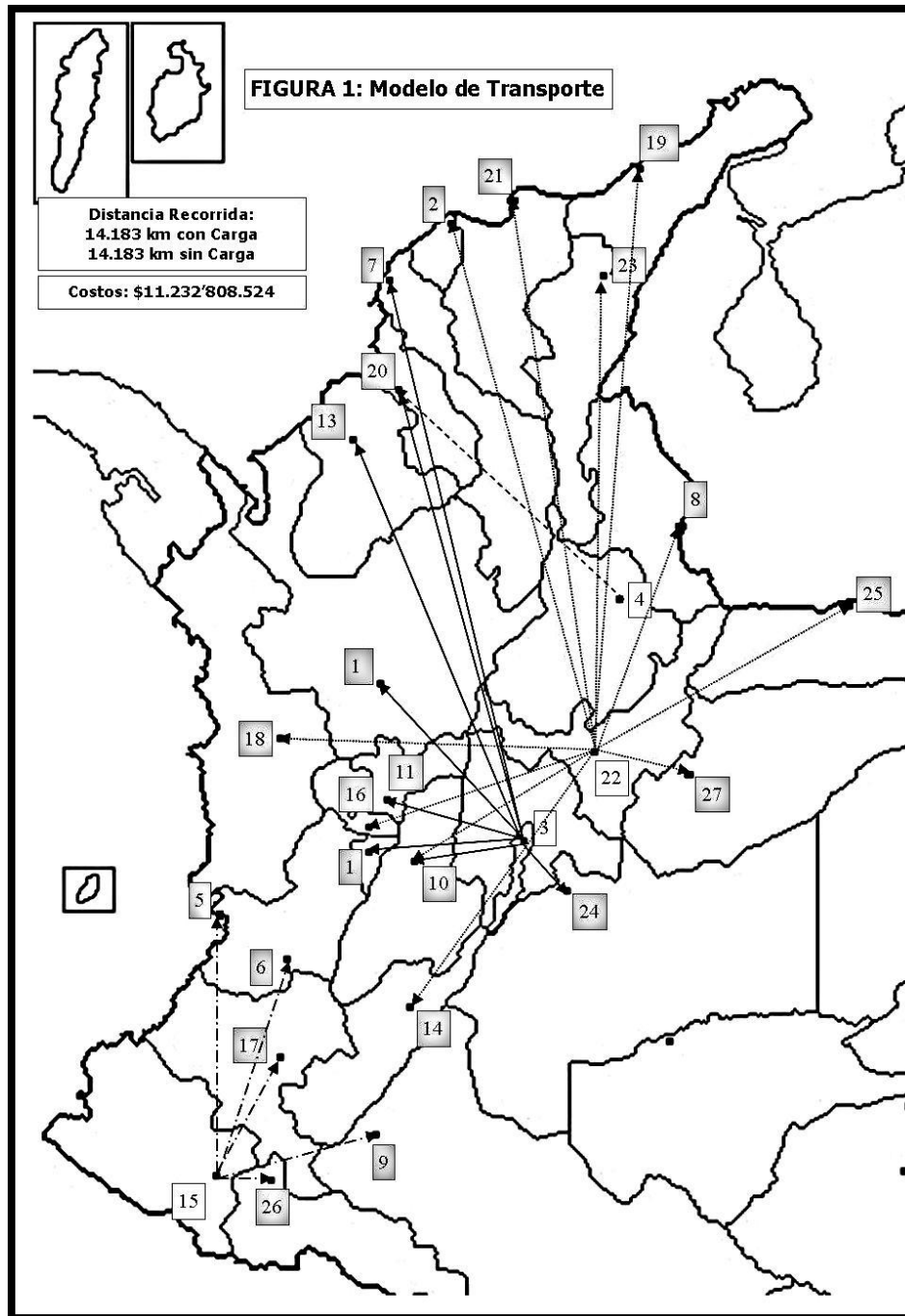
- i. Red de transporte
- ii. Heurística del vecino más cercano con múltiples orígenes (uno por cada fuente de producción de papa)
- iii. Heurística del vecino más cercano con un solo origen elegido aleatoriamente (vecino más cercano con reaprovisionamiento)
- iv. Cartero viajante y heurística del vecino sin considerar la carga para determinar la distancia recorrida mínima.
- v. Metaheurística Colonia de Hormigas con y sin reaprovisionamiento.

#### **COSTOS DEL TRANSPORTE DE PAPA EN COLOMBIA CON BACKHAULS AND SUPPLY – MDVRPBS**

**Dr. (C) Jhon Jairo Santa Chávez - Universidad Tecnológica de Pereira**

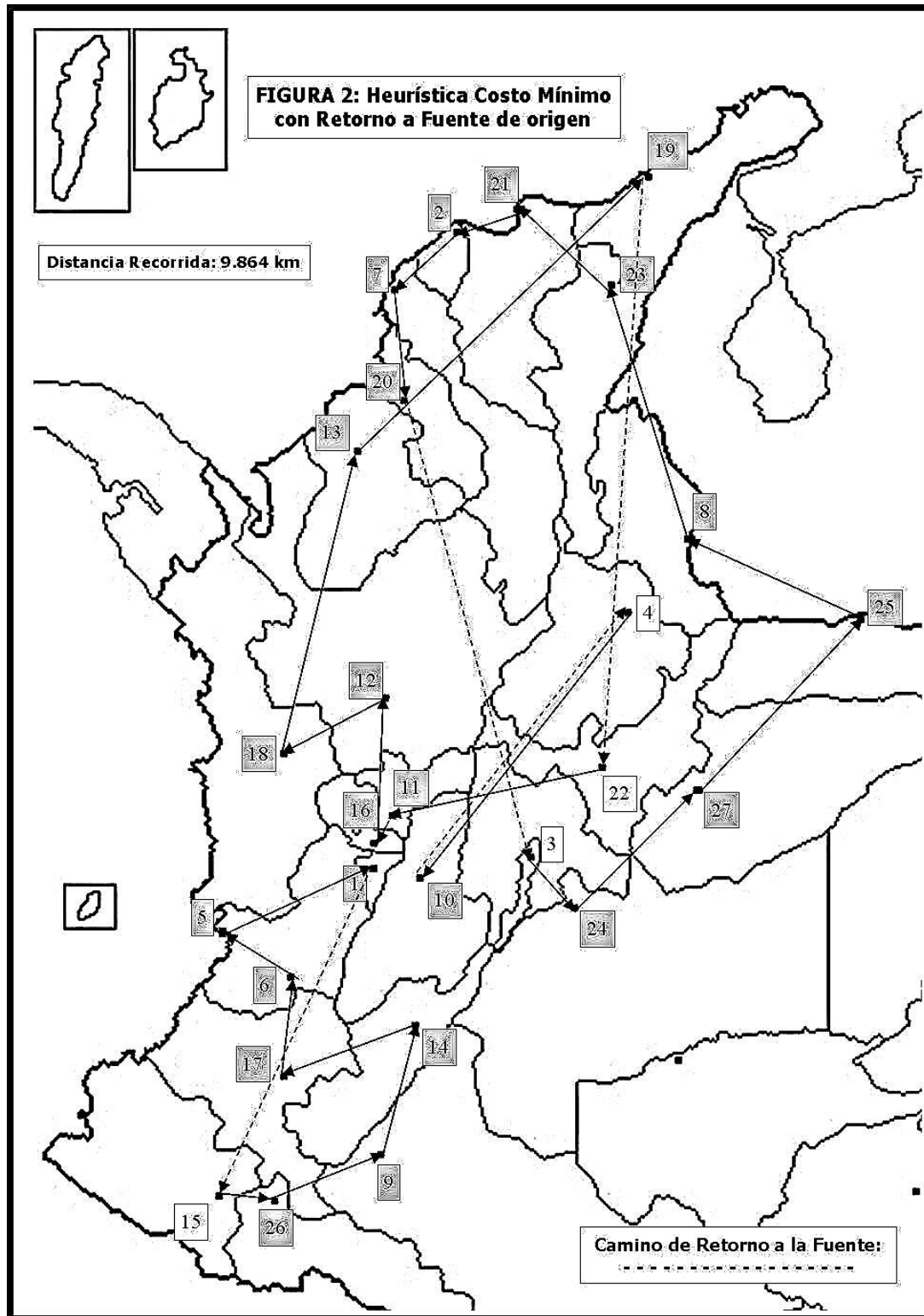
### 5.1 Aplicación del Modelo de Transporte al caso de Producción y Consumo de papa, Tabla No. 3 (Anexo 2).

Los resultados obtenidos fueron, un costo mínimo de \$ 11.232.808.524 y una distancia de 14.183 km, es importante resaltar que los vehículos deben retornar a las fuentes vacíos, es decir recorrerán vacíos estos mismos 14.183 km, encareciendo el transporte de la producción, en la figura No.1, se observa gráficamente la solución encontrada.



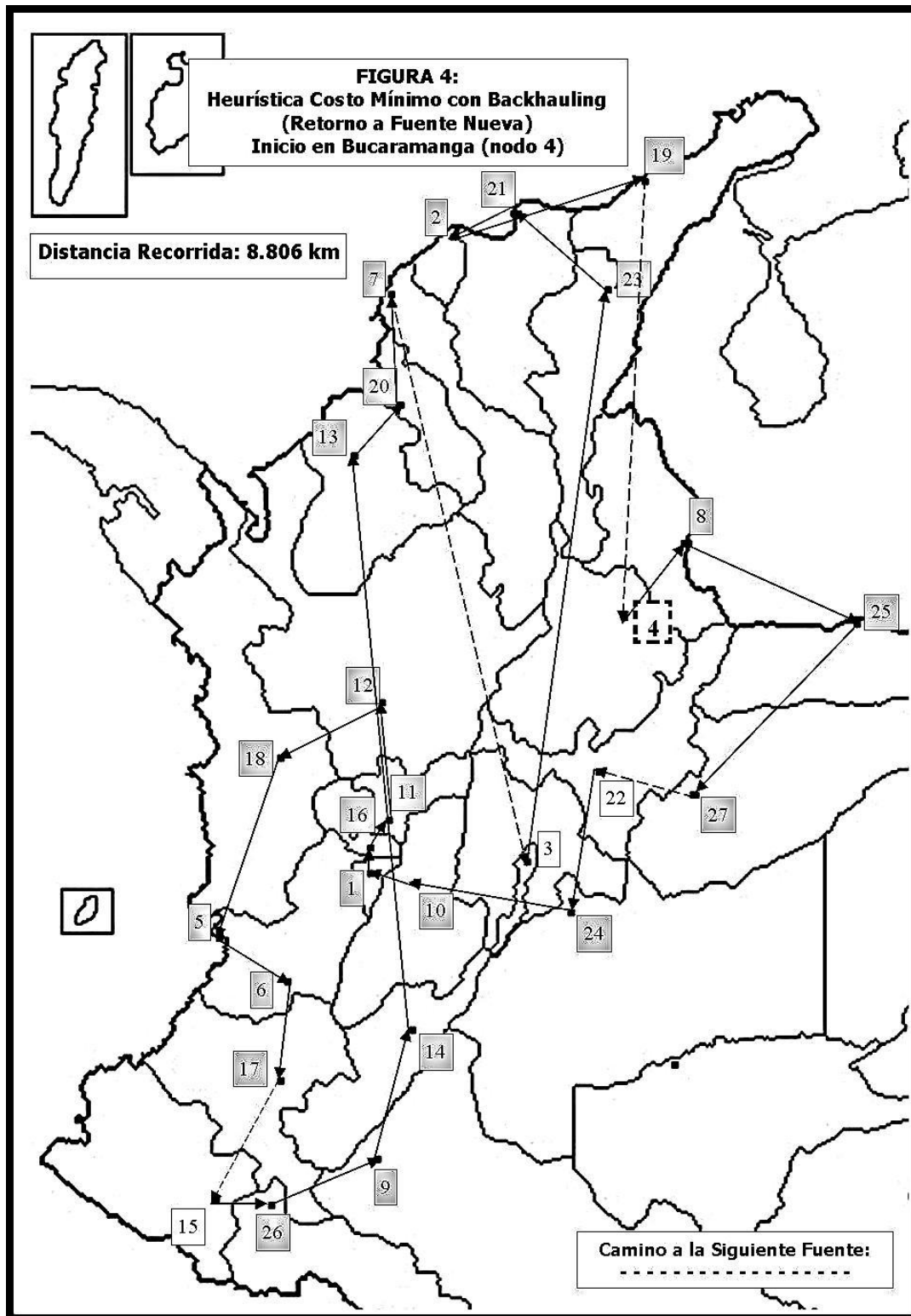


5.2 **Aplicando la Heurística del Camino más Corto:** El resultado obtenido fue una distancia de 9.864 km, es importante resaltar que los vehículos deben retornar a las fuentes vacíos para culminar su recorrido, es decir recorrieron vacíos 3.231 km de los 9.864 km totales, encareciendo el transporte de la producción, en la figura No.2, se observa gráficamente la solución encontrada.

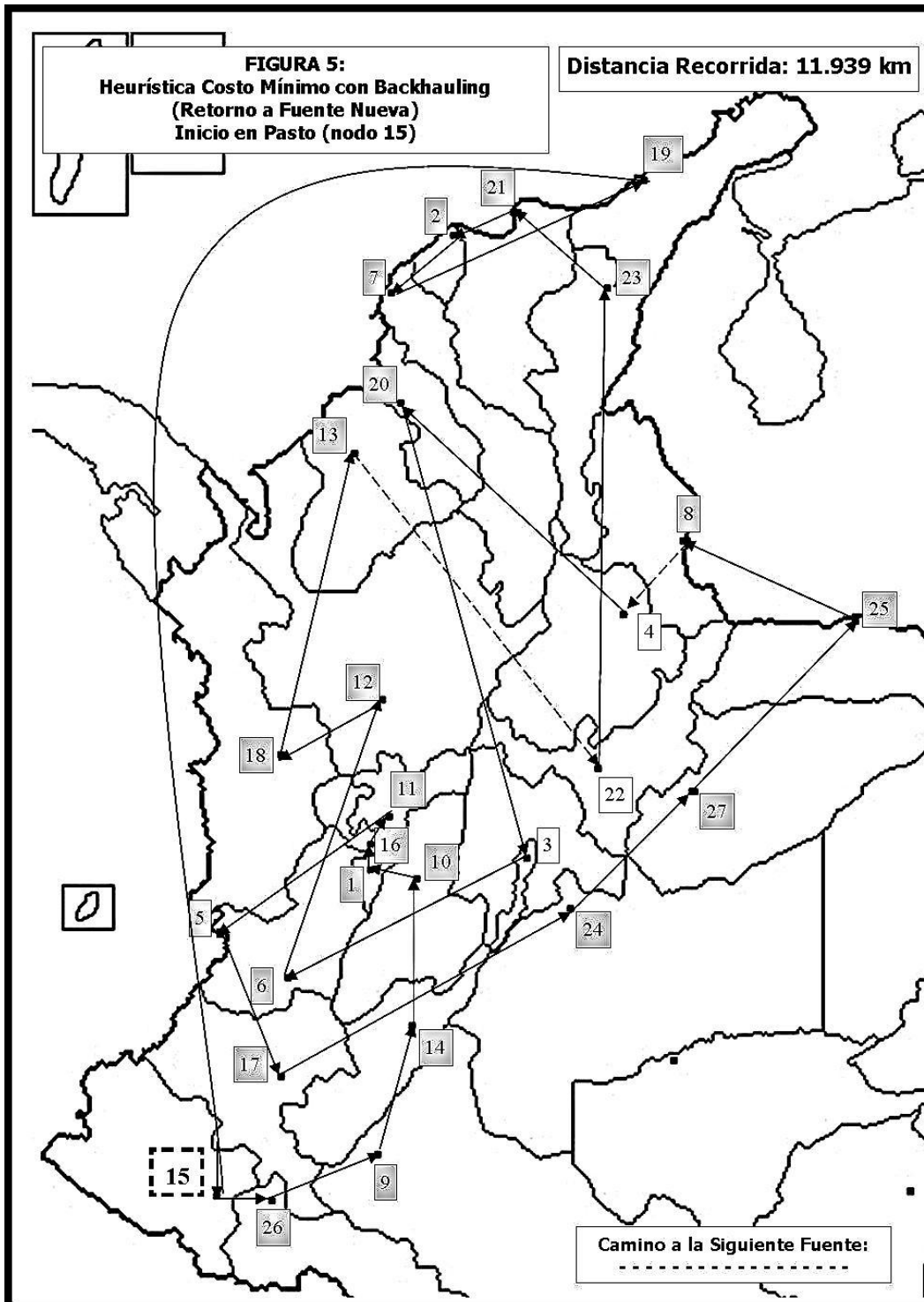




5.3.2 **Saliendo de Bucaramanga:** El resultado obtenido fue una distancia de 8.806 km, es importante resaltar que los vehículos solo deben desplazarse vacíos en la búsqueda de la siguiente fuente para continuar su recorrido, es decir recorrieron vacíos 2.356 km de los 8.806 km totales, encareciendo el transporte de la producción, en la figura No.4, se observa gráficamente la solución encontrada



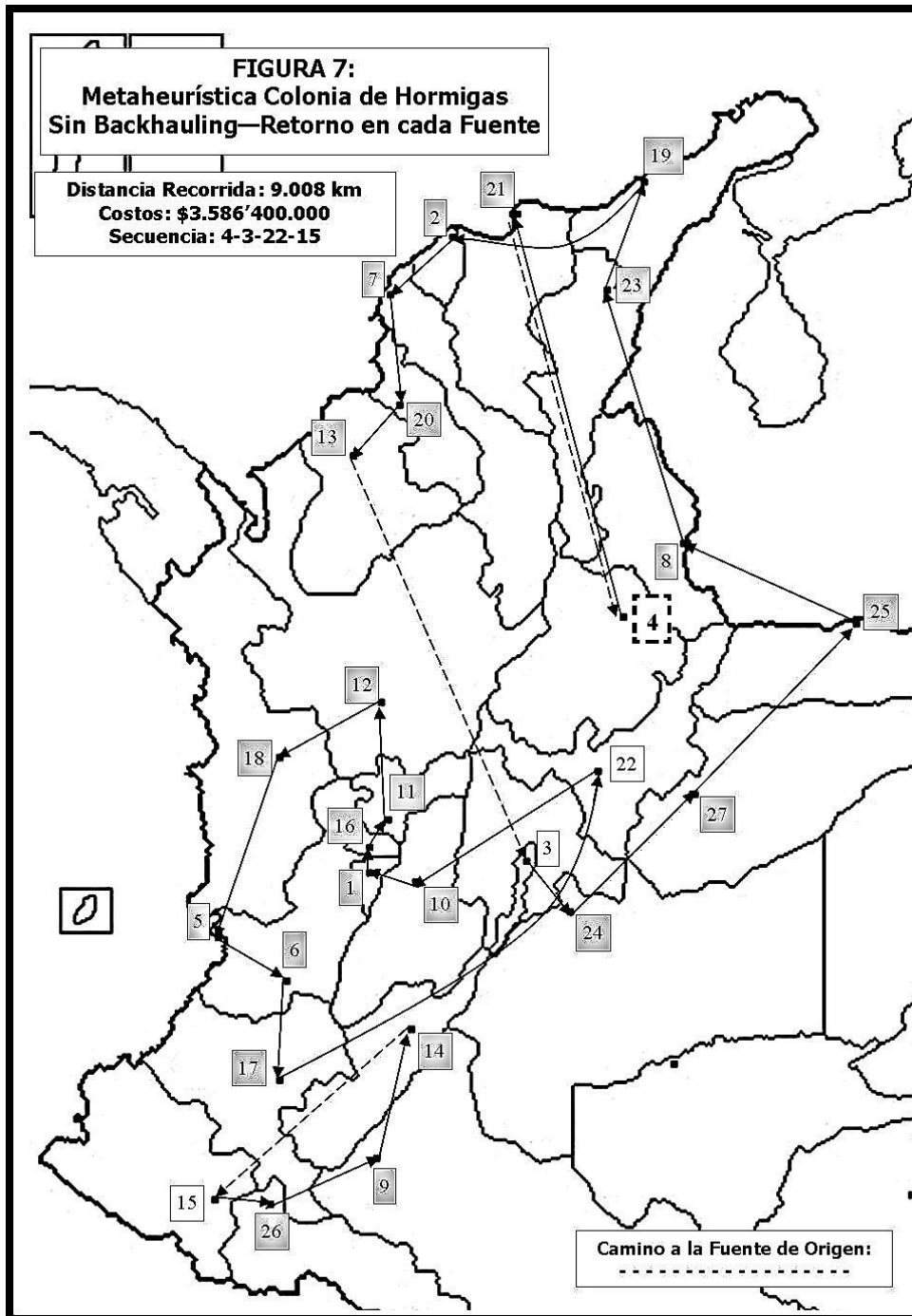
5.3.3 **Saliendo de Pasto:** El resultado obtenido fue una distancia de 11.939 km, es importante resaltar que los vehículos solo deben desplazarse vacíos en la búsqueda de la siguiente fuente para continuar su recorrido, es decir recorrieron vacíos 4.096 km de los 11.939 km totales, encareciendo el transporte de la producción, en la figura No.5, se observa gráficamente la solución encontrada.





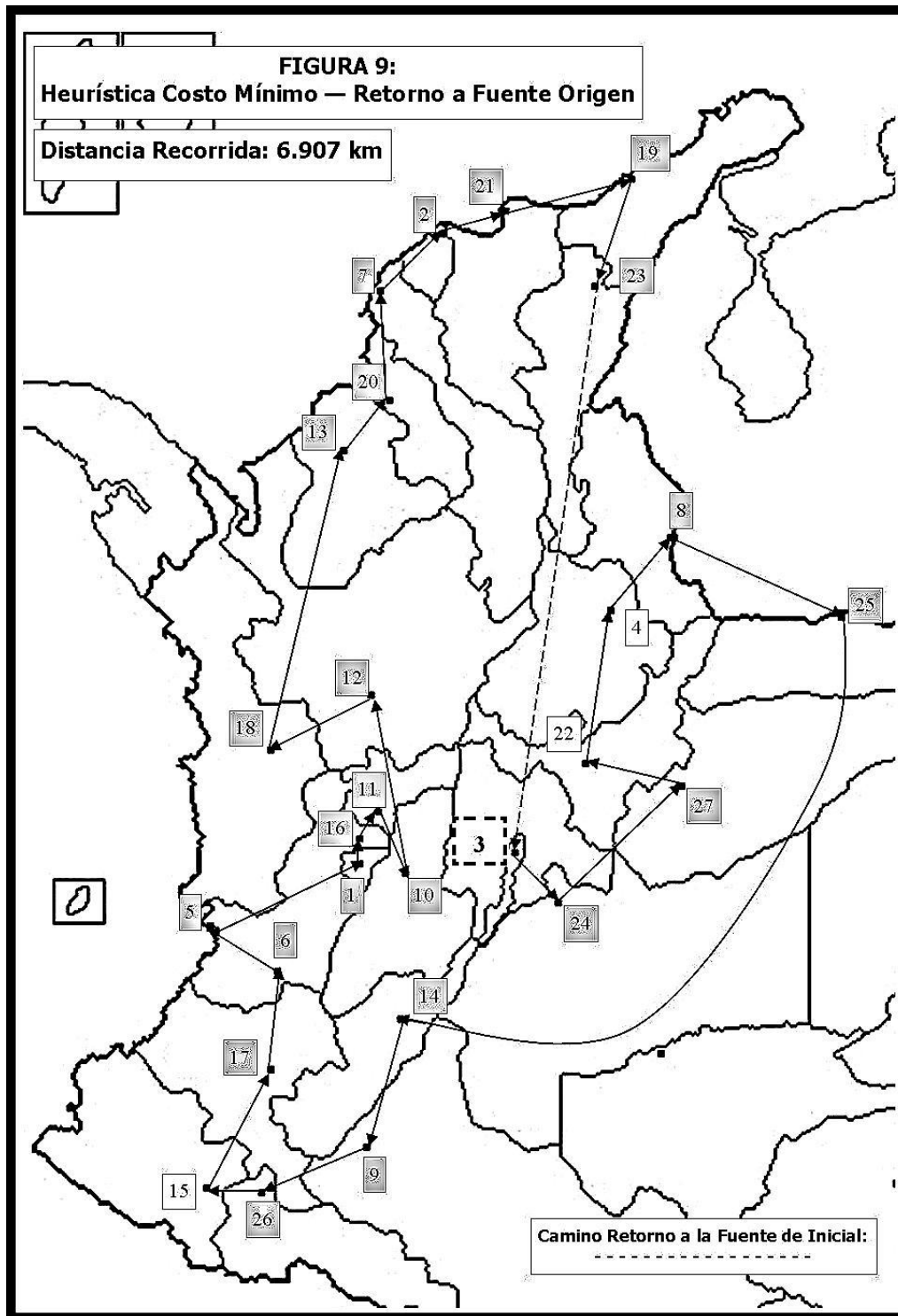
**5.4 Aplicando la Metaheurística de Colonia de Hormiga, comparando el resultado obtenido en la secuencia de recorrido de fuentes 4 - 3 - 22 y 15 (Bucaramanga, Bogotá, Pasto y Tunja), con retorno en cada fuente y con un solo retorno al final de la ruta:**

5.4.1 Se Obtuvo una distancia recorrida de 9.008 km y un costo de \$3.586'400.000, es importante resaltar que los vehículos se debieron desplazar vacios nuevamente a la fuente de origen, es decir recorrieron vacios 2.889 km de los 9.008 km totales, encareciendo el transporte de la producción, en la figura No.7, se observa gráficamente la solución encontrada.



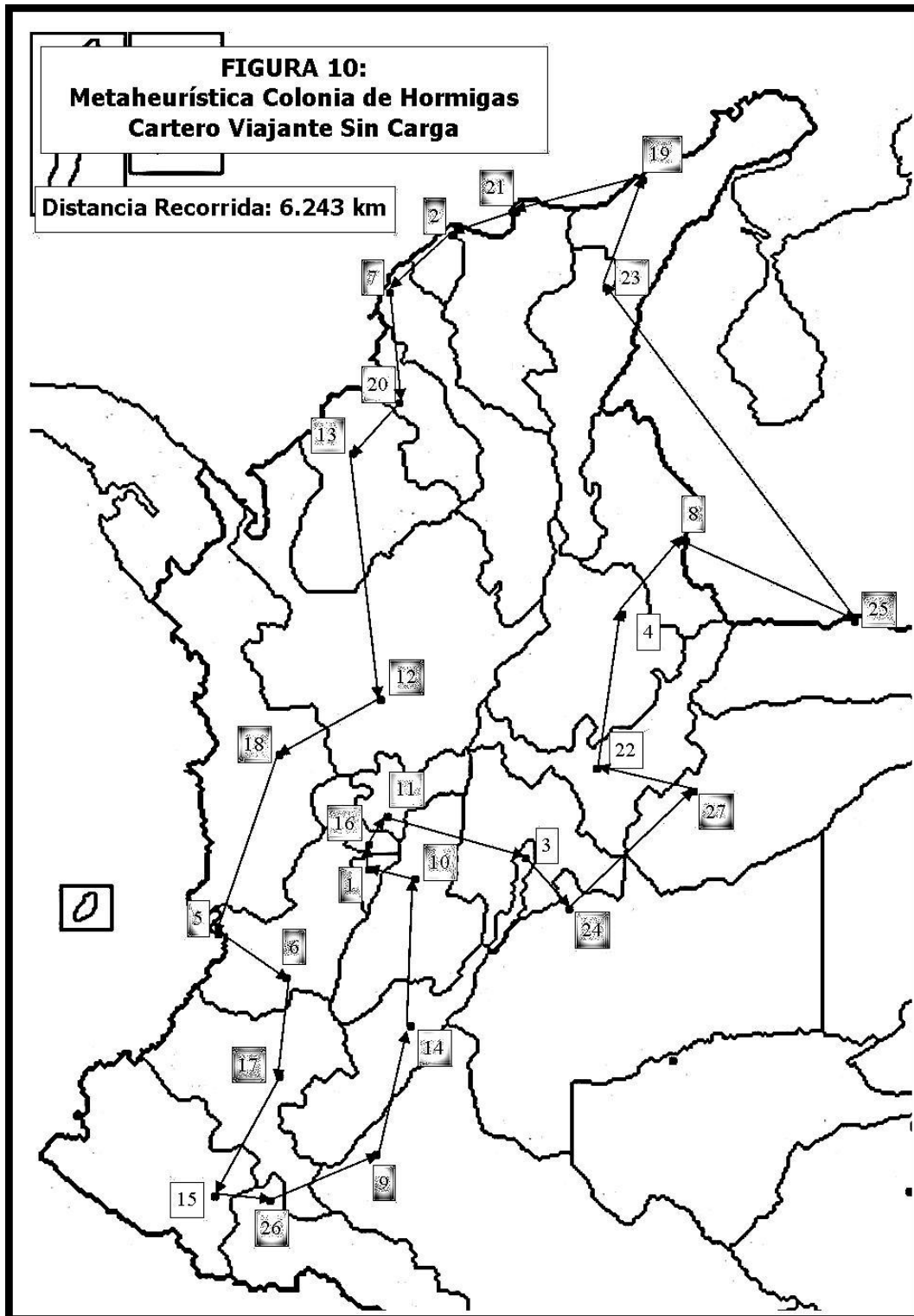


5.5 **Heurística del Camino Costo Mínimo aplicado al recorrido por Colombia:** A continuación se presenta el resultado obtenido al aplicar la Heurística del Camino de Costo Mínimo cuando no se consideran las cargas a transportar, se realizó para determinar que tanto afecta el hecho de transportar cargas en el cálculo de la distancia total recorrida, se obtuvo una distancia recorrida de 6.907 km, figura 9.

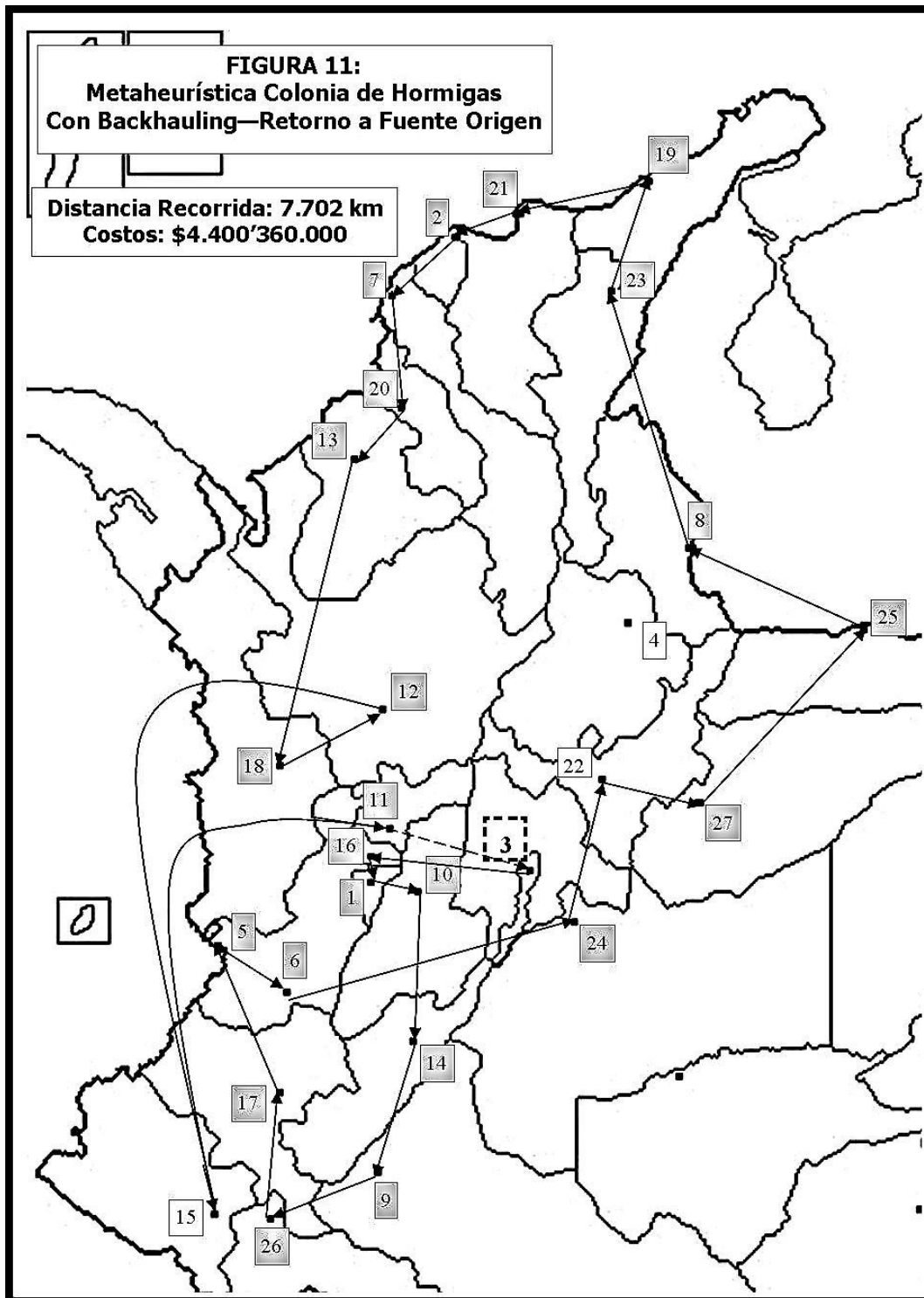




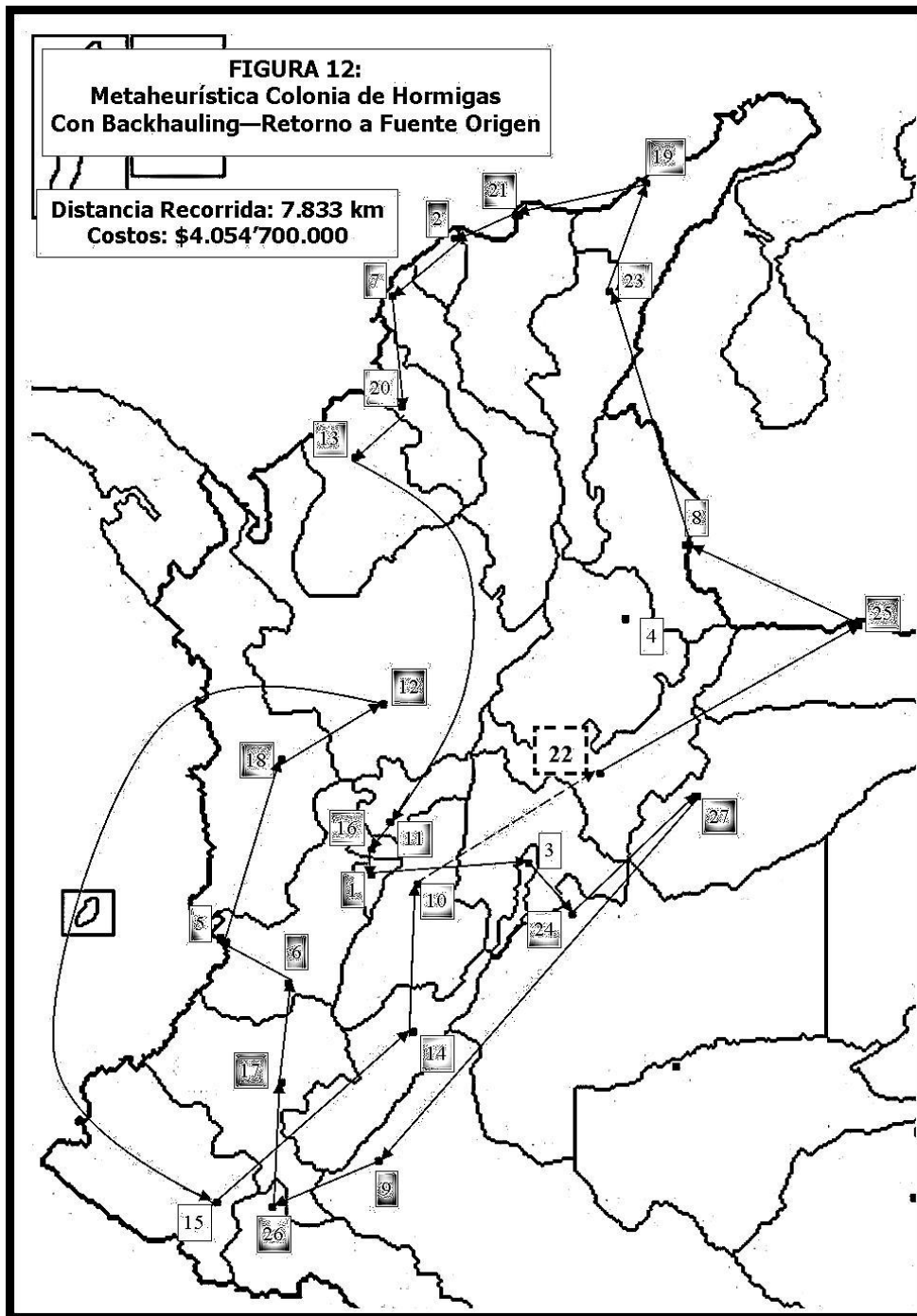
5.6 **Método del Cartero Viajante aplicado al recorrido por Colombia:** A continuación se presenta el resultado obtenido al aplicar el modelo del Cartero Viajante cuando no se consideran las cargas a transportar, se realizó para determinar que tanto afecta el hecho de transportar cargas en el cálculo de la distancia total recorrida, se obtuvo una distancia recorrida de 6.243 km, figura 10.



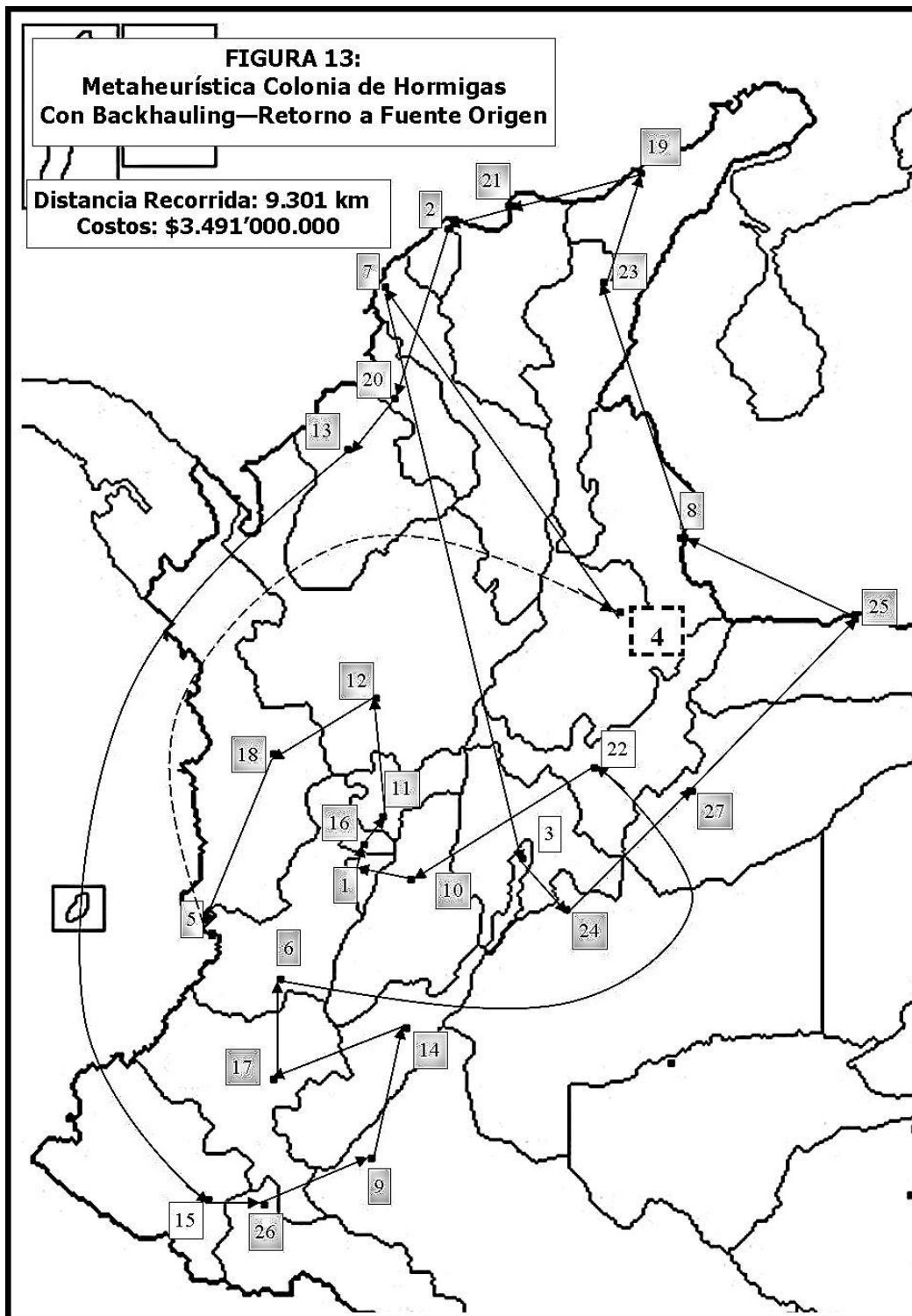
5.7 **Método de Colonia de Hormigas aplicado al recorrido por Colombia:** A continuación se presenta el resultado obtenido al aplicar el modelo de Colonia de Hormigas al transporte de papa, se obtuvo una distancia total recorrida de 7.702km y unos costos de \$4.400'360.000, figura 11.



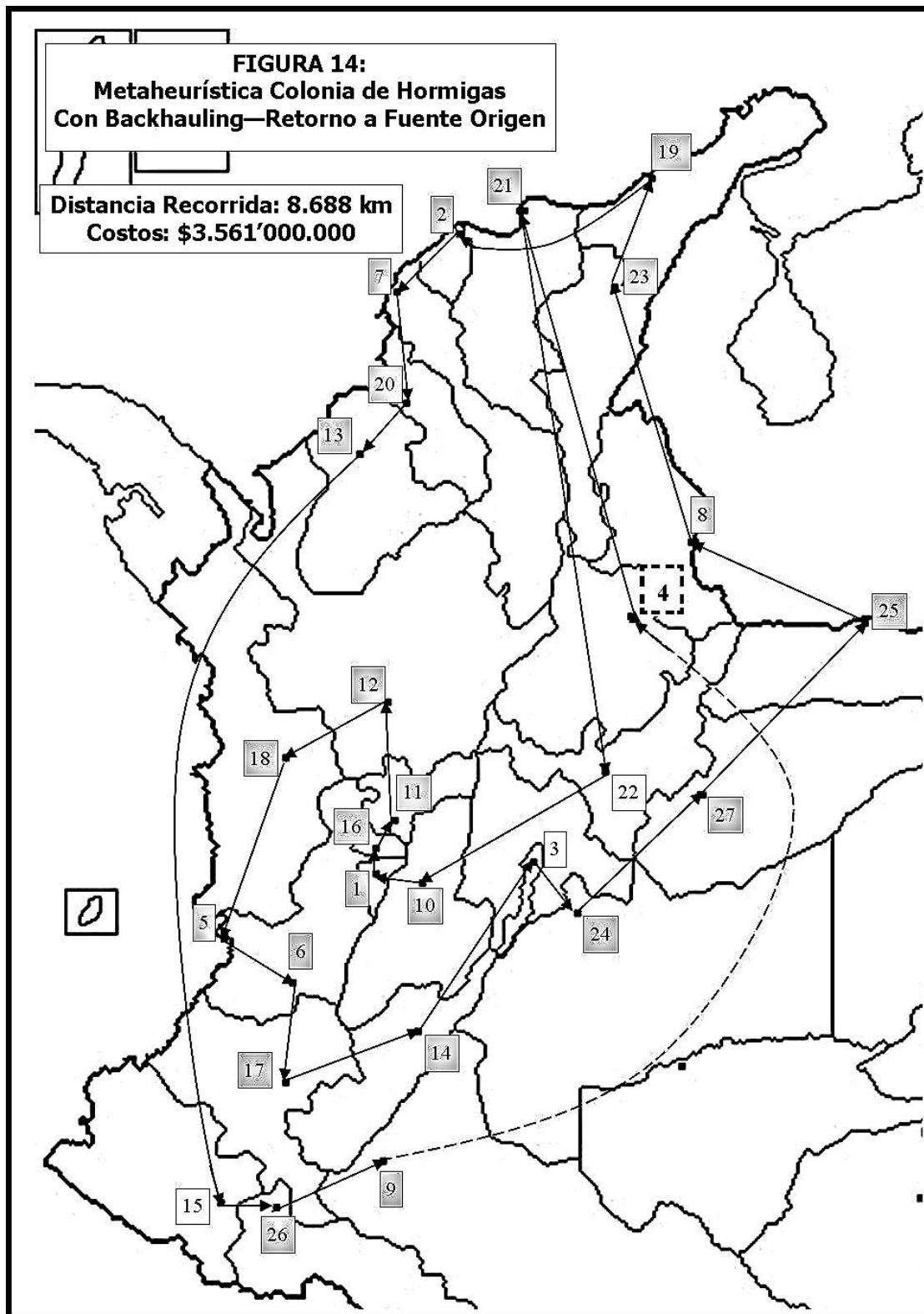
5.8 **Método de Colonia de Hormigas aplicado al recorrido por Colombia:** A continuación se presenta el resultado obtenido al aplicar el modelo de Colonia de Hormigas al transporte de papa, se obtuvo una distancia total recorrida de 7.833 km y unos costos de \$4.054'700.000, figura 12.



5.9 **Método de Colonia de Hormigas aplicado al recorrido por Colombia:** A continuación se presenta el resultado obtenido al aplicar el modelo de Colonia de Hormigas al transporte de papa, se obtuvo una distancia total recorrida de 9.301 km y unos costos de \$3.491'000.000, figura 13.



5.10 **Método de Colonia de Hormigas aplicado al recorrido por Colombia:** A continuación se presenta el resultado obtenido al aplicar el modelo de Colonia de Hormigas al transporte de papa, se obtuvo una distancia total recorrida de 8.688 km y unos costos de \$3.561'000.000, figura 14.



**6. Análisis de Resultados:** A continuación se presenta el resumen de resultados, Tabla No.4:

**Tabla 4: Resumen de Modelos y Métodos Empleados  
Transporte de papa en Colombia**

Figura	Método/Modelo	Costo	Distancia	Acarreo Vacio	Porcentaje Sobrecosto	RUTA	Parámetros ACO
1	Modelo Transporte	11.232.808.524	28.366	14.183	50,00%	Cuatro rutas centralizadas en las fuentes	
2	Heurística Camino más Corto Cerrando en Cada Fuente		9.864	3.231	32,76%	Cuatro rutas que inician en cada fuente y se cierran en la fuente de origen	
3	Heurística Camino más Corto Cerrando en Fuente Inicial		10.752	3.224	29,99%	Una ruta única que se cierra en la fuente inicial - Inicio en Bogotá	
4	Heurística Camino más Corto Cerrando en Fuente Inicial		8.806	2.356	26,75%	Una ruta única que se cierra en la fuente inicial - Inicio en Bucaramanga	
5	Heurística Camino más Corto Cerrando en Fuente Inicial		11.939	4.096	34,31%	Una ruta única que se cierra en la fuente inicial - Inicio en Pasto	
6	Heurística Camino más Corto Cerrando en Fuente Inicial		10.444	2.229	21,34%	Una ruta única que se cierra en la fuente inicial - Inicio en Tunja	
7	Colonia de Hormigas - Regreso a cada origen	3.586.400.000	9.008	2.889	32,07%	4-21-4-3-24-27-25 8-23-19-2-7-20-13-3-22-10-1-16-11-12-18-5-6-17-22-15-26-9-14-15	M=100, $\alpha=1$ , $\beta=1$ y $\rho=0.5$
8	Colonia de Hormigas - Backhauling y regreso a la Ciudad Inicial	3.586.400.000	8.407	2.715	32,29%	4-21-3-24-27-25-8-23-19-2-7-20-13-22-10-1-16-11-12-18-5-6-17-15-26-9-14-4	
9	Heurística del Camino Mas Corto - Sin Carga		6.907			3-24-27-22-4-8-25-14-9-26-15-17-6-5-1-16-11-10-12-18-13-20-7-2-21-19-23-3	
10	Colonia de Hormigas - Cartero Viajante Sin Carga		6.243			15-26-9-14-10-1-16-11-3-24-27-22-4-8-25-23-19-21-2-7-20-13-12-18-5-6-17-15	
11	ACO-Backhauling y regreso a la Ciudad Inicial	4.003.600.000	7.702	1.557	20,22%	3-16-1-10-14-9-26-17-5-6-24-22-27-25-8-23-19-21-2-7-20-13-18-12-15-11-3	M=100.000, $\alpha=1$ , $\beta=1.2$ y $\rho=0.5$
12	ACO-Backhauling y regreso a la Ciudad Inicial	4.054.700.000	7.833	1.580	20,17%	22-25-8-23-19-21-2-7-20-13-11-16-1-3-24-27-9-26-17-6-5-18-12-15-14-10-22	M=100.000, $\alpha=1$ , $\beta=1.2$ y $\rho=0.5$
13	ACO-Backhauling y regreso a la Ciudad Inicial	3.491.000.000	9.301	3.999	43,00%	4-7-3-24-27-25-8-23-19-21-2-20-13-15-26-9-14-17-6-22-10-1-16-11-12-18-5-4	M=100.000, $\alpha=0.5$ , $\beta=1.2$ y $\rho=0.5$
14	ACO-Backhauling y regreso a la Ciudad Inicial	3.561.700.000	8.688	3.533	40,67%	4-21-22-10-1-16-11-12-18-5-6-17-14-3-24-27-25-8-23-19-2-7-20-13-15-26-9-4	M=100.000, $\alpha=0.5$ , $\beta=1.2$ y $\rho=0.5$

El Modelo de Transporte en ese caso de Producción y Consumo de papa, se obtuvo un 50% del transporte en vacío (vehículo sin carga), costos que deberán ser incurridos por el transportador (figura 1), mientras que aplicando la Heurística del Camino más Corto (con cuatro rutas, una por cada fuente y retorno a esta), se reduce este transporte en vacío (o sin backhauling) al 32,76% y con una sola ruta, es decir al final de cada ruta de cada fuente no se vuelve a ésta sino que se busca la fuente de recarga de producción más cercana y en el caso de la respuesta de mejor calidad (saliendo de Bucaramanga) se obtuvo un recorrido total 8.806 y un transporte en vacío del 26.75% (figura 4).

En las figuras 7 y 8, se presenta las diferencias que se tienen cuando aplicando la Metaheurística Colonia de Hormigas y solo variando el hecho de que al final de cada recorrido el transporte no vuelve a su origen (figura 7), sino que busca la fuente más cercana para abastecerse y seguir

**COSTOS DEL TRANSPORTE DE PAPA EN COLOMBIA CON BACKHAULS AND SUPPLY – MDVRPBS**

**Dr. (C) Jhon Jairo Santa Chávez - Universidad Tecnológica de Pereira**

realizando el recorrido (figura 8) la distancia total se redujo de 9.008 km a 8.407 km, esta diferencia de distancia recorrida será asumida por el transportador, porque los costos a cobrar al cliente no variaron de \$3.586.400.000.

En la figura 9 y 10, se plantean las distancias mínimas de recorridos sin tener en cuenta la carga producción de papa, estos valores son las mejores respuestas que se podrían tener bajo estas circunstancias, la mejor respuesta se obtiene con la metaheurística de Colonia de Hormigas 6.243 km recorridos (figura 10).

Finalmente, en las figuras 10, 11, 12 y 13, se transcribieron y graficaron las mejores respuestas, en las figuras 11 y 12 las distancias mínimas 7.702 km (figura 11) y 7.833 km (figura 12) favoreciendo al transportador, mientras que en las figuras 12 y 13, se obtuvieron costos de 3.491 y 3.561,7 mil millones de pesos respectivos, con altos porcentajes de transporte en vacío del 43,00% y 40,67% en detrimento del transportador y favoreciendo al usuario o cliente productor.

## **7. Conclusiones:**

Las mejores respuestas obtenidas aplicando Colonia de Hormigas y backhauling fueron: En distancia total recorrida 7.702 km y \$3.491 mil millones de pesos/mes en procesos o ejecuciones diferentes.

Es un hecho evidente que los intereses económicos de los productores y transportadores no son los mismos.

El valor mínimo de recorrido con la Heurística de Colonia de Hormigas con el modelo del Cartero Viajante de 6.243 km, está muy alejado de la mejor respuesta obtenida de 7.702 km con Colonia de Hormigas, situación que se desprende del hecho que la producción de papa reside en el sur y Centro del país, mientras que en la Costa Atlántica y en los Santanderes hay un alto consumo y la producción es mínima.

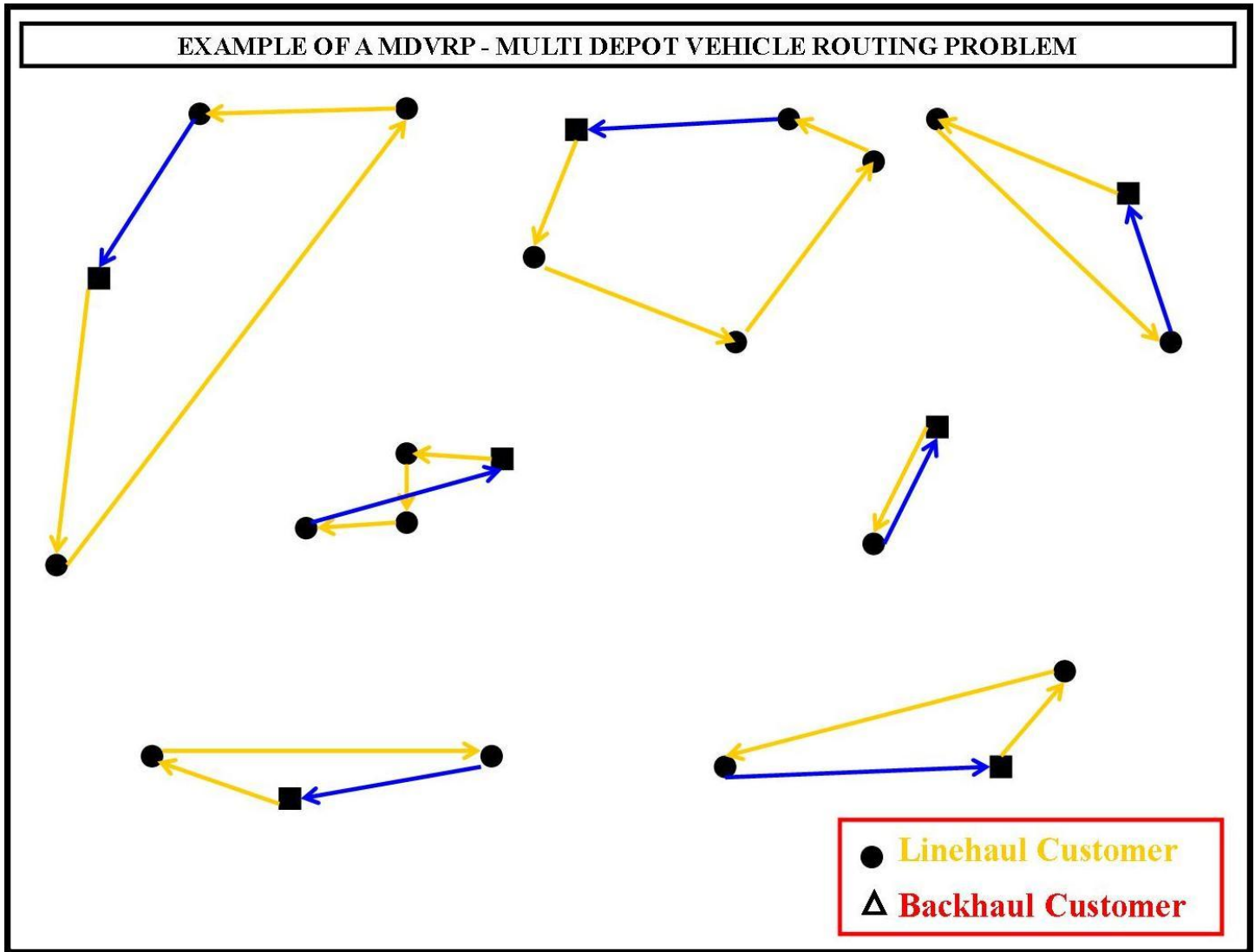
Es un hecho que los modelos tradicionales del Cartero Viajante, Modelo de Transporte, Heurística o Metaheurística de Colonia de Hormigas, sin considerar Bachauling encarecen los costos de transporte de la mercancía o producción.

Cuando se distribuía totalmente la carga de una de las fuentes se buscaba o recargaba el transporte con la siguiente fuente, se podría mejorar las respuestas si se consideraran otros criterios, por ejemplo que se recargue cuando haya capacidad de transporte disponible y se esté ubicado cerca de una fuente de producción.

Se consideró capacidad de transporte ilimitado, ya que el presente trabajo quiere presentar una aproximación a las consecuencias económicas que trae el movilizar vehículos sin carga, que en el medio de transporte es llamado compensación.

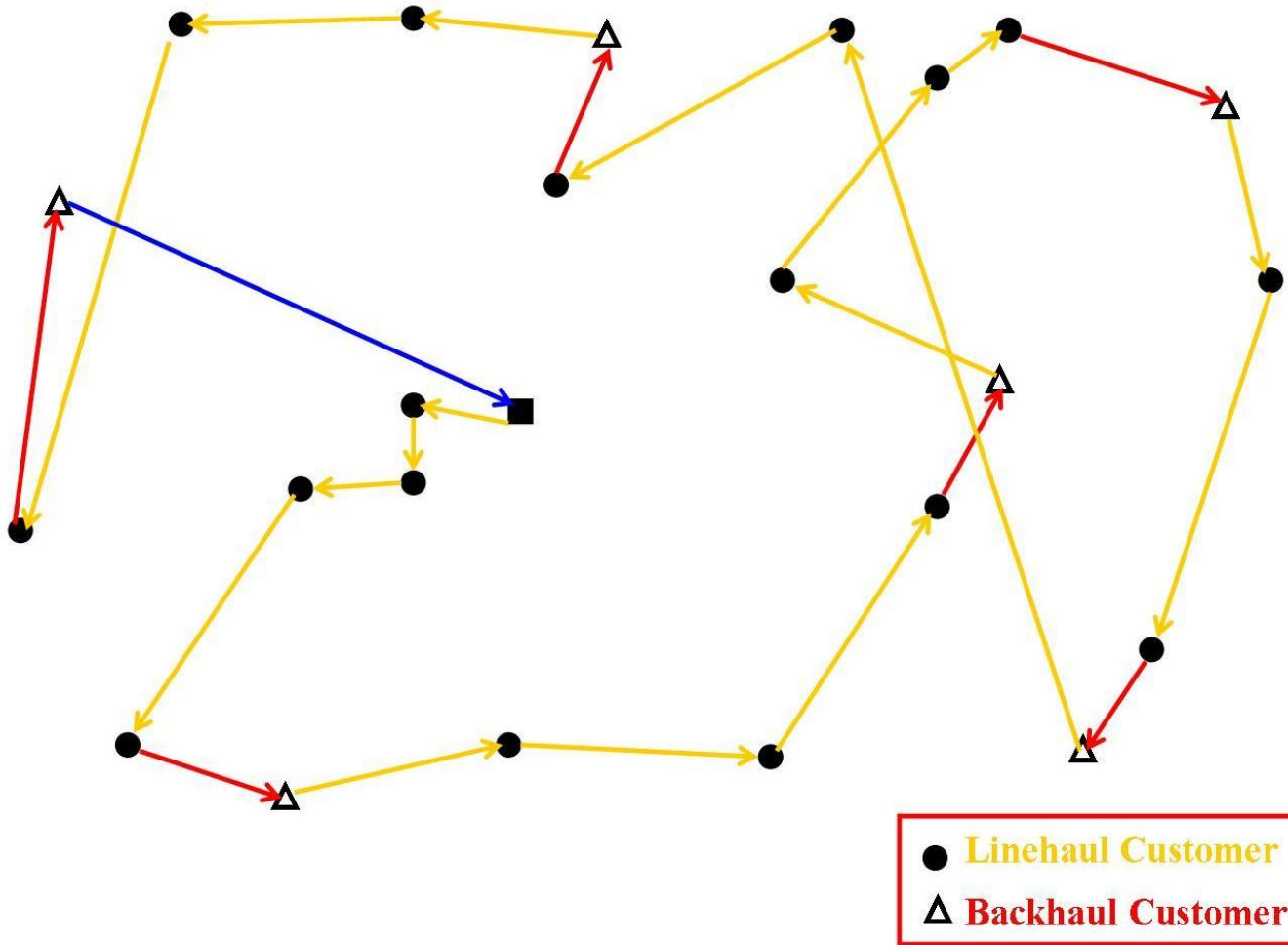
Cuando se varió  $\alpha$  y  $\beta$ , se encontraron mejor respuestas, ya que se diversificó la Metaheurística.

Con respecto al modelo propuesto busca disminuir el recorrido en vacío, se presenta las soluciones obtenidas con el modelo tradicional VRP con Múltiples Depósitos y con un modelo propuesto de VRP con Backhauls and Supply, donde se muestra que la suma de recorridos en vacío en el modelo MDVRP (color azul) son mayores que el obtenido en el recorrido MCVRPBS, a continuación se presentan los dos siguientes diagramas:





## EXAMPLE OF A MDVRPBS - VEHICLE ROUTING PROBLEM WITH BACKHAULS AND SUPPLY



## 8. BIBLIOGRAFIA

- [1]Toth,p,VigoD.: An overview of Vehicle Routing problems. Monographs on Discrete Mathematics and Applications. In: The Vehicle Routing Problem. SIAM(2000) 1-26.
- [2] P.Toth, D.Vigo. The Vehicle Routing problem.Universitá degli Studi di Bologna, Bologna,Italy,2002,p.195.3]G. Clarke, J:W: Wright.Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points. Operations Research 12 (1964), 568-581.
- [4]N.Christofides, A. Mingozzi, P. Toth. Exact Algorithms for the vehicle routing problem based on spanning tree and shortest path relaxations. Mathematical Programming. 1981 255-282.
- [5]D. Naddef., G. Rinaldi. Vehicle routing. Filadelfia:SIAM.2001.

- [6]G. Laporte. The vehicle routing problem: an overview of exact and approximate algorithms. European Journal of Operational Research 59. 1992. 345-358.
- [7]G. Laporte. Y. Norbert. Exact algorithms for the vehicle routing problema. Annals of Discrete Mathematics 31. 1987. 147-184.
- [8]G. Laporte; F. Semet. The Vehicle routing problem. Monographs on Discrete Mathematics and Applications. SIAM, Philadelphia,2002, ch. Classical heuristics for the Capacitated VRP, pp 109-128
- [9] J. Cordeau. G. Laporte, Savelsbergh M.;D. Vigo. Transportation, Handbooks in Operations Research and Management Science, Vol 14. Elsevier, Amsterdam, 2007. Vehicle Routing, pp367-428.
- [10] G.Laporte. Fifty years of vehicle routing. Transportation Science 43,4(2009), 408-416.
- [11] B. Bullnheimer, R. Hard. Applying the ant system to the vehicle routing problem. Proceedings of the 2nd International Conference on Metaheuristics.1997.pp 297-309.
- [12] B. Bullnheimer, R. Hard. An improved ant system for the vehicle routing problem. Annals of Operations Research 89. 1999. 319-328.
- [13]I. Osman.Metastrategy simulated annealing and tabu search algorithms for combinatorial optimization problems. London:PhD. Thesis, The Management school, Imperial College.1991.
- [14] Y. Rochat.; R. Taillard. Probabilistic diversification and intensification in local search of vehicle routing. Journal of Heuristics 1 (1995). 147-167.
- [15]L. Ochi. L.; D. Vianna. L. Drummond. A. Victor. A parallel evolutionary algorithm for the vehicle routing problem with heterogeneous fleet. Parallel and Distributed Processing 1388 (1998),216-224
- [16] C. Prins. A simple and effective evolutionary algorithm for the vehicle routing problem. Computers and Operations Research 31, 12 (2004),1985-2002.
- [17] F. Zhao; J. Sun; S. Li; W.Li. A hybrid genetic algorithm for the traveling salesman problem with pickup and delivery. International Journal of Automation and computing 6, 1(2009)97-102.
- [18][http://www.finagro.com.co/html/i\\_portals/index.php?p\\_origin=internal&p\\_name=content&p\\_id=MI-197&p\\_options=](http://www.finagro.com.co/html/i_portals/index.php?p_origin=internal&p_name=content&p_id=MI-197&p_options=)
- [19]<http://www.mintransporte.gov.co/documentos.php?id=14&colorder=fecha&order=ASC&offset=5>
- [20] B. Golden, L.Bodin, T. Doyle y W. Stewart Jr. Approximate traveling salesman algorithms. Operations Research, vol28, No3, part 2 (1980),674-711.  
<http://www.jstor.org/stable/170036> .

[21]M.Dorigo, Optimization, Learning and Natural Algorithms,PhD Thesis,Politecnico di Milano,Italia,1992.

[22] <http://www.mahe.com.co/documents/dist.pdf>

[23] E. Toro, J. Santa, M. Granada, Solution of the vehicle routing problem for the potatoe distribution in Colombia, Scientia et Technica Año XVIII, Vol. 18, No 1, Abril de 2013. Pag 128-139.  
<http://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/8373/5305>