

# **Mejora en el abastecimiento y recolección de materia prima, aplicando heurísticas de Ruteo de Vehículos**

**Jonatán Edward Rojas Polo**

Pontificia Universidad Católica del Perú, jrojasp@pucp.pe

**Walter Silva Sotillo**

Pontificia Universidad Católica del Perú, walter.silva@pucp.edu.pe

## **ABSTRACT**

This research deals with the situation faced by a processing plant of Holantao's cultivation when it has to plan the daily harvest on multiple gathering points in a province from the south of Lima. The planning is done considering variables such as distances, pick priorities, the amount of product at each gathering point and the ability of the transport units. The harvest runs on the field, where a main road is the road that connects the districts and each district opens a spanning tree connecting nodes that represent gathering points within the field of crop. Currently, we have two transport units, which make until two trips daily to collect the harvest. At this time, there is not defined a method to set the route that it takes by the transport units for collection. Therefore, in this research is performed first to identification of all the variables that influence the model and then to use the method of graph and design an algorithm that allows us to optimize the collection route without affect neither the product quality nor continuity processing of the processor plant.

**Keywords:** VRP, Supply of raw material.

## **RESUMEN**

Esta investigación aborda la situación que enfrenta una planta procesadora de cultivo de Holantao cuando tiene que planificar la recolección diaria de la cosecha en múltiples puntos de acopio en una provincia al sur de Lima. La planificación se realiza tomando en consideración variables como las distancias, las prioridades de recojo, la cantidad de producto en cada punto de acopio y la capacidad de las unidades de transporte. La recolección de la cosecha se ejecuta en el campo, donde existe un camino principal que es la carretera que une a los distritos, y de cada distrito se abre un árbol de expansión conectando a los nodos que representan los puntos de acopio dentro del campo de cultivo. Se cuenta actualmente con dos unidades de transporte, los cuales hacen hasta dos viajes diarios para recolectar las cosechas. No existe actualmente un método definido para programar la ruta que toman las unidades de transporte para la recolección. Por lo cual en esta investigación se realiza primero la identificación de todas las variables que influyen en el modelo de abastecimiento, para luego utilizar los métodos de grafos y finalmente se diseña un algoritmo que nos permite mejorar la ruta de recolección sin afectar la calidad del producto ni la continuidad de procesamiento de la planta procesadora.

**Palabras claves:** VRP, Abastecimiento de materia prima.

## **1. INTRODUCCIÓN**

Este proyecto se realizó en una empresa agroindustrial SafariFresh ubicada en la parte centro sur del Perú. Esta investigación constó en encontrar la mejor distribución del acopio a través de una adecuada ruta para recepcionar la materia prima a través de los distintos lotes o campos de cosecha ubicadas alrededor de la carretera de los libertadores (para esta investigación solo es de importancia los campos que posee para la siembra de Holantao y Sugar Snap en Pisco (Humay, Huancano). Siendo los lugares principales: Auquis, Hualla, Huancano, Humay, Pallasca y Quitasol. En cada sitio de los mencionados existen pequeños lotes de

cosecha. Ahora bien la problemática es como puedo realizar una adecuada secuencia de recepción de materia prima teniendo en cuenta el parámetro distancia [di] en kilómetros.

Buscando métodos para la solución de este problema, se acudió a herramientas de la teoría de redes, tales como los caminos Hamiltonianos, que se caracterizan porque conectan las diferentes aristas de un grafo sin pasar por un mismo arco más de una vez, y conectando todos los puntos; además del uso de heurísticas de ruteo de vehículos (VRP). Lo propuesto fue identificar todas las variables relevantes para luego elaborar el grafo de red representativo, diseñar un algoritmo ideal para resolver este caso considerando los principios de caminos Hamiltonianos.

## 2. SITUACION INICIAL

Al inicio se desarrolló el proceso de planificación de la recolección de la cosecha de Holantao en 30 nodos, donde existe un camino central, con 6 nodos principales en el camino central, y de cada nodo principal se extiende un árbol de expansión hacia los nodos que representan los puntos de acopio dentro del campo de cultivo. La recolección se realiza diariamente con dos unidades de transporte, las cuales se programan actualmente tomando en consideración solamente el momento en que el cultivo es cosechado. Actualmente no se toma en cuenta la ruta de menor distancia, y se programa de acuerdo a la experiencia. Cada punto de acopio tendrá su representación mediante un nodo, como se indica en la tabla 1.

**Tabla 1** - Notación de cada lote para representarlo en nodo

Nodo	Lugar	Lote	Nodo	Lugar	Lote
1	Humay	Nestares 1	16	Auquis	Huamani 2
2	Humay	Nestares 2	17	Auquis	Huamani 3
3	Humay	Nestares 3	18	Auquis	Saavedra 2
4	Humay	Nestares 4	19	Pallasca	Sebastián 1
5	Humay	Nestares 5	20	Pallasca	Sebastián 2
6	Humay	Nestares 6	21	Huancano	Huancano 1
7	Hualla	Pantaleón 1	22	Huancano	Huancano 2
8	Hualla	Pantaleón 2	23	Huancano	Huancano 3
9	Hualla	Pantaleón 3	24	Huancano	Huancano 4
10	Auquis	Valdivieso 1	H	Humay	
11	Auquis	Valdivieso 2	L	Hualla	
12	Auquis	Huamani 1	A	Auquis	
13	Auquis	Blanco 1	P	Pallasca	
14	Auquis	Saavedra 1	O	Huancano	
15	Auquis	Blanco 2	Q	Quitasol	Yauricasa

Elaboración propia

Las restricciones a considerar para una secuencia óptima de acopio, fueron las siguientes entidades:

- **Vehículos:** Se dispone de dos camiones pequeños, que son la base para el acopio del Holantao en campo. Siendo las dimensiones útiles de los vehículos, Ancho = 2.20m y Largo = 4.60m. Cuya capacidad es medida en jabas de materia prima cosechada. Por lo tanto se definió las siguientes equivalencias, 1 camión = 320 jabas y 1 jaba = 10 kg de Holantao.
- **Clientes:** En este caso los clientes son definidos como los puntos de acopio y son representados mediante nodos (tal como se aprecia en la Tabla 2), en estos nodos se indica una cantidad promedio de materia prima que se cosecharán. La cantidad de materia prima que se recolectará en cada nodo no es un dato exacto, ya que esta cantidad está influenciada por factores no manejables del medio ambiente tales como la temperatura y humedad del sitio, además de posibles plagas que se puedan presentar.
- **Depósito:** En este caso el depósito principal, es la planta de proceso “Fundo Doña Pancha” (ubicado en la ciudad Chincha), no obstante como la distancia de la planta de proceso hacia el nodo H es recorrido constante, y no se puede reducir, se tomará al nodo H (Humay) como nuestro almacén de acopio. Para recorrer desde el nodo H hacia los otros puntos de recolección, se elegirá las distancias más convenientes para el ruteo, ver la Figura 1.

**Tabla 2** - Cantidad aproximada de materia prima a recolectar

Nodo	Lugar	Lote	Cantidad mínima (kg)	Cantidad máxima (kg)
1	Humay	Nestares 1	283.97	313.68
2	Humay	Nestares 2	270.58	321.60
3	Humay	Nestares 3	265.80	344.90
4	Humay	Nestares 4	261.59	288.28
5	Humay	Nestares 5	229.00	310.18
6	Humay	Nestares 6	206.74	305.89
7	Hualla	Pantaleón 1	197.91	283.81
8	Hualla	Pantaleón 2	250.73	297.66
9	Hualla	Pantaleón 3	72.96	167.83
10	Auquis	Valdivieso 1	243.69	340.62
11	Auquis	Valdivieso 2	258.01	310.20
12	Auquis	Huamani 1	257.07	289.81
13	Auquis	Blanco 1	230.26	298.62
14	Auquis	Saavedra 1	123.49	173.82
15	Auquis	Blanco 2	90.05	138.56
16	Auquis	Huamani 2	145.30	201.83
17	Auquis	Huamani 3	114.98	201.84
18	Auquis	Saavedra 2	78.14	167.26
19	Pallasca	Sebastián 1	115.06	181.78
20	Pallasca	Sebastián 2	48.06	119.15
21	Huancano	Huancano 1	44.99	96.43
22	Huancano	Huancano 2	136.61	179.16
23	Huancano	Huancano 3	44.47	111.02
24	Huancano	Huancano 4	37.18	119.78
Q	Quitasol	Yauricasa	277.49	337.12

Elaboración propia

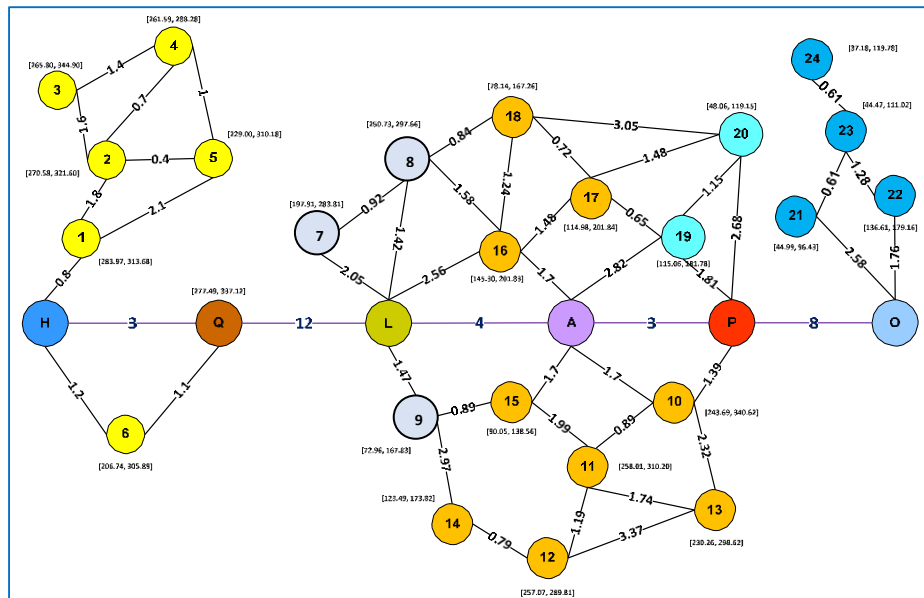


Figura 1 - Diagrama de Recolección de Materia Prima

Elaboración Propia

## PROGRAMACION INICIAL DE VEHICULOS

Como se ha mencionado con anterioridad, la programación de vehículos se realiza según el criterio del ingeniero de campo, más no se aplican métodos de optimización para elegir la mejor ruta. Las rutas usadas actualmente se muestran en la figura 2 y figura 3. No obstante para calcular la distancia de las rutas y para posteriores efectos de comparación con los modelos de ruteo a proponer, a los arcos HQ, QL, LA, AP y PO (de la figura 1) los multipliqué por un coeficiente de 75% para compensar el tiempo y esfuerzo, ya que estos tramos son pavimento, a diferencia de los otros arcos de la subred que son caminos - trocha. Este coeficiente lo obtuve al realizar una medición de tiempos en recorrido de los vehículos en camino trocha y en pavimento en una distancia de 100 metros, obteniendo que el tiempo promedio de recorrido en camino trocha es de 6 segundos y en pavimento 4.5 segundos.

Veamos las rutas que se ejecutan:

- **Vehículo 1:** calcularemos la distancia que recorre y la capacidad

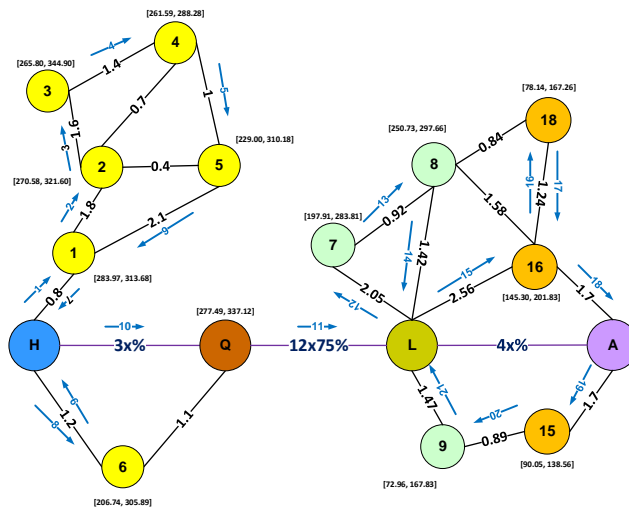


Figura 2 - Secuencia actual de la ruta para el vehículo 1  
Elaboración propia

La distancia total recorrida es de 49.59 km, y la capacidad máxima transportada es de 3478.60kg y la capacidad mínima es de 2630.28 kg

- **Vehículo 2:** esta secuencia recorre una distancia de 72.25km.

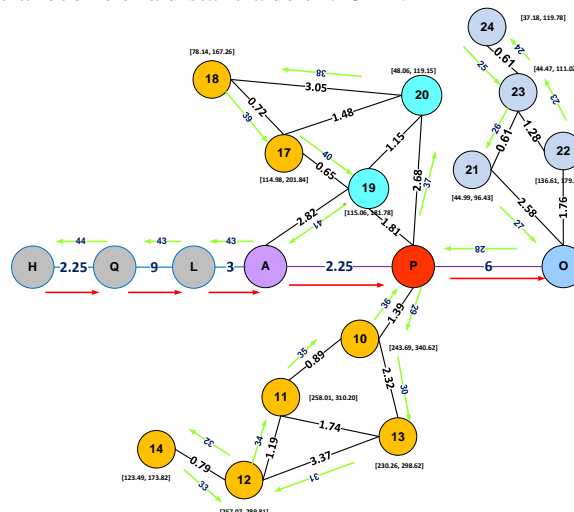


Figura 3 - Secuencia actual de la ruta para el vehículo 2  
Elaboración propia

La distancia total recorrida es de 72.25 km, y la capacidad máxima transportada es de 2422.23 kg y la capacidad mínima es de 1653.87 kg

### 3. SITUACION MEJORADA

Se realizó el algoritmo en dos partes, primero con el algoritmo de Clarke and Wright, y luego con el algoritmo de clusterización de Gillet & Miller.

#### 3.1 Algoritmo de Clarke y Wright

Para realizar el ruteo por este método, es necesario tener las distancias (arcos) entre los pares de nodos para armar la matriz de costos, además es necesario tener las distancias desde el nodo de origen hacia los demás puntos de acopio, con la finalidad de calcular la matriz de ahorros. No obstante, es ahí donde se vuelve compleja la resolución por este método, ya que solo tenemos 3 puntos de acopio están conectados al punto de partida. Además la red de acopio presenta puentes, por lo cual se dificulta aún más la resolución de ésta.

Entonces para facilitar el ruteo de la red de acopio, se procede a eliminar los puentes, para lo cual se identificara el par de nodos que contienen al arco puente, y se duplica cada uno de este par de nodos, con todos los arcos que entran y salen de él, tal como se muestra en la figura 4.

Además, se realizará una pequeña modificación a la red de la figura 2, se unirá el nodo 24 al nodo 23 y se acumulará la distancia en las rutas que le preceden a este nodo, dado que no es factible de que un vehículo transite hasta el nodo 23 y luego otro vehículo transite hasta el nodo 24, ya que esto aumentaría la distancia a recorrer de los vehículos de la empresa.

Por lo tanto se normará que todo arco puente que contenga en uno de sus extremos a un nodo de grado 1, dicho nodo será incluido en el nodo predecesor, es decir se acumulará la capacidad de materia prima acopiada, a la vez que la distancia del arco puente será incluida en todos los demás arcos de los nodos predecesores del puente.

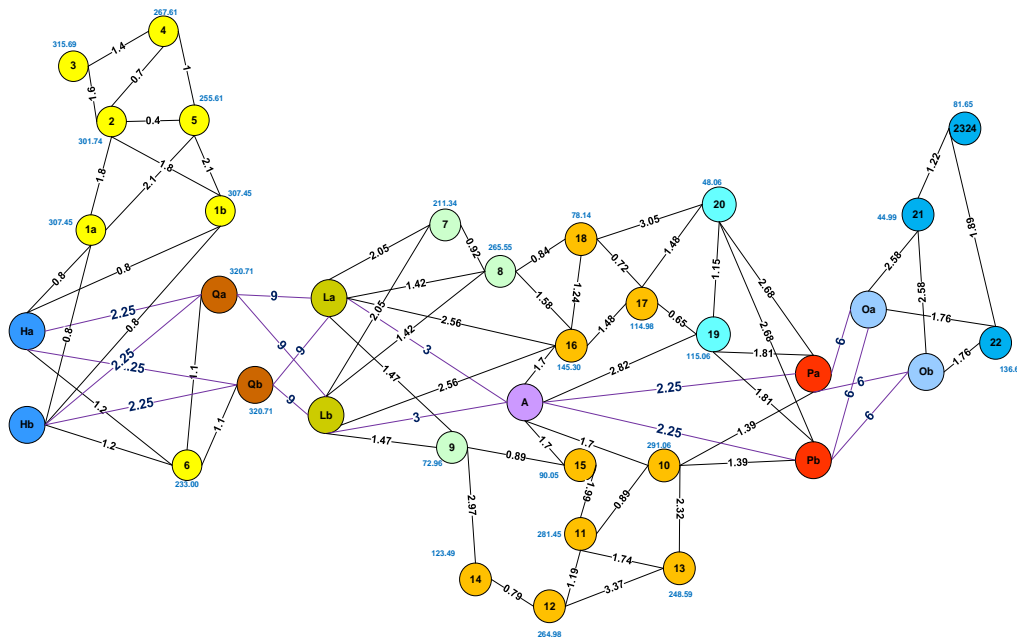


Figura 4 - Diagrama de la red de acopio sin puentes

Una vez modificada la red, se procederá a trabajar con el algoritmo de Clarke y Wright.

#### - Arcos vacíos llenados con Dijkstra:

Para poder trabajar la matriz de costos (distancia) es necesario tener una red completa, para lo cual los costos de los arcos entre cada par de nodos se obtendrán mediante el Algoritmo de Dijkstra tal como se indica en la **tabla 3**. Luego se procederá a calcular la matriz de ahorros, estos datos se obtienen



**Tabla 5 – Matriz de asignación de rutas**

T	Hb	1a	1b	2	3	4	5	6	Qa	Qb	La	Lb	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	A	19	20	Pa	Pb	Oa	Ob	21	22	2324		
0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
0.0	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5.2	5.2	5.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6.1	4.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4
2.3	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
19.7	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5
22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5
25.1	22.5	23.4	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5
22.5	23.6	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5	22.5
24.9	25.4	25.4	25.4	25.4	25.4	25.4	25.4	25.4	25.4	25.4	25.4	25.4	25.4	25.4	25.4	25.4	25.4	25.4	25.4	25.4	25.4	25.4	25.4	25.4	25.4	25.4	25.4	25.4	25.4	25.4	25.4	25.4	25.4	25.4	25.4	25.4
30.7	30.4	31.0	28.8	26.7	26.4	26.3	24.9	28.5	27.6	27.6	31.1	31.1	31.1	31.1	31.1	31.1	31.1	31.1	31.1	31.1	31.1	31.1	31.1	31.1	31.1	31.1	31.1	31.1	31.1	31.1	31.1	31.1	31.1	31.1	31.1	31.1
30.9	31.4	26.9	24.8	24.8	23.3	27.0	26.1	26.0	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5
29.3	27.2	25.4	25.4	24.0	27.6	26.7	26.7	30.1	30.1	30.1	30.1	30.1	30.1	30.1	30.1	30.1	30.1	30.1	30.1	30.1	30.1	30.1	30.1	30.1	30.1	30.1	30.1	30.1	30.1	30.1	30.1	30.1	30.1	30.1	30.1	30.1
25.4	23.2	23.2	22.5	25.4	24.5	24.5	27.9	27.9	27.9	27.9	27.9	27.9	27.9	27.9	27.9	27.9	27.9	27.9	27.9	27.9	27.9	27.9	27.9	27.9	27.9	27.9	27.9	27.9	27.9	27.9	27.9	27.9	27.9	27.9	27.9	27.9
24.0	23.0	22.5	26.2	24.0	23.7	26.2	26.2	26.2	26.2	26.2	26.2	26.2	26.2	26.2	26.2	26.2	26.2	26.2	26.2	26.2	26.2	26.2	26.2	26.2	26.2	26.2	26.2	26.2	26.2	26.2	26.2	26.2	26.2	26.2	26.2	26.2
26.6	26.1	26.4	26.6	26.6	26.4	26.4	26.4	26.4	26.4	26.4	26.4	26.4	26.4	26.4	26.4	26.4	26.4	26.4	26.4	26.4	26.4	26.4	26.4	26.4	26.4	26.4	26.4	26.4	26.4	26.4	26.4	26.4	26.4	26.4	26.4	26.4
27.0	25.3	28.5	28.5	28.3	28.3	28.3	28.3	28.3	28.3	28.3	28.3	28.3	28.3	28.3	28.3	28.3	28.3	28.3	28.3	28.3	28.3	28.3	28.3	28.3	28.3	28.3	28.3	28.3	28.3	28.3	28.3	28.3	28.3	28.3	28.3	28.3
24.8	27.0	27.0	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8	26.8
26.3	26.0	28.5	28.5	28.5	28.5	28.5	28.5	28.5	28.5	28.5	28.5	28.5	28.5	28.5	28.5	28.5	28.5	28.5	28.5	28.5	28.5	28.5	28.5	28.5	28.5	28.5	28.5	28.5	28.5	28.5	28.5	28.5	28.5	28.5	28.5	28.5
29.5	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5
29.4	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	33.0	
41.5	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	
45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	
46.2	50.0																																			
48.5																																				

La secuencia óptima de acopio de materia prima se muestra en la figura 5.

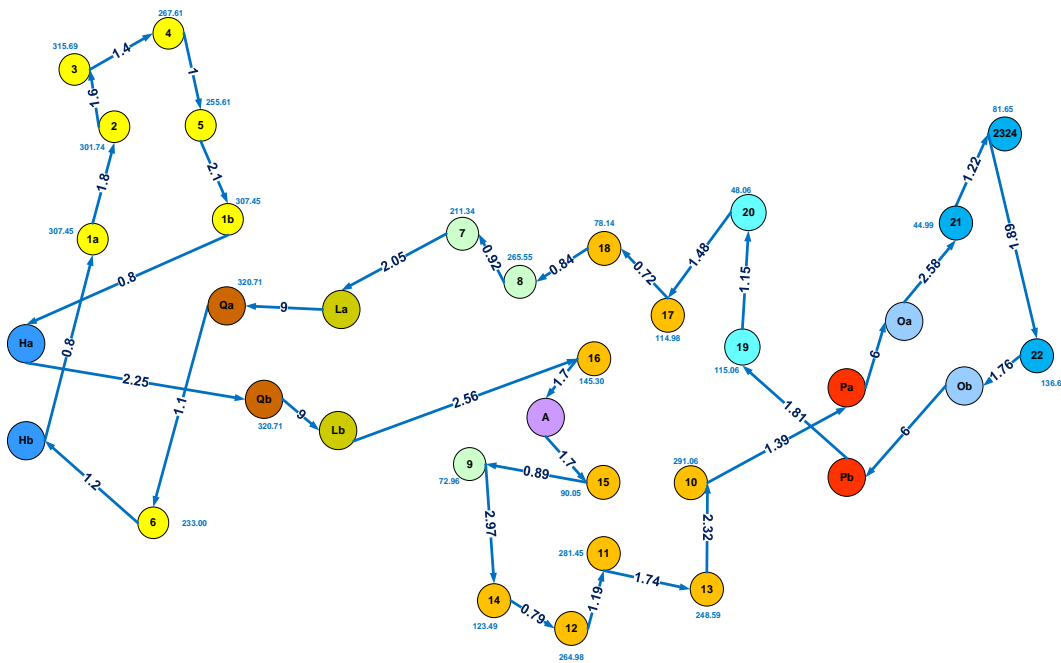


Figura 5 - Diagrama de la secuencia de acopio

La asignación se realiza eligiendo al mayor ahorro de la matriz, identificada la celda se procederá a resaltarla de color verde y el valor T de los nodos que contienen a dicho arco, se les restará el valor de 1, este procedimiento se repetirá hasta que los valores T sean igual a cero, si el valor mayor ahorro elegido se encuentra dentro de la ruta, se resaltaría de color naranja y no se modificaría el valor T (con la finalidad de evitar los sub-tours), por lo tanto se seguirá en busca del siguiente mayor, hasta que todos los nodos estén conectados. La secuencia es Ha-Qb-Lb-16- A-15-9-14-12-11-13-10-Pa-Oa-21-2324-22-Ob-Pb-19-20-17-18-8-7-La-Qa-6-Hb-1a-2-3-4-5-1b-Ha.



Una vez obtenida la secuencia de la ruta, se calculará la distancia total del recorrido, el recorrido de esta secuencia es de 77.72 km, su recorrido se muestra en la figura 5.

Finalizado el paso de elegir la mejor secuencia de ruteo, dividiremos la ruta en clúster para dos vehículos, aplicando el algoritmo de Gillett y Miller. Además se realizarán ciertas restricciones que al dividir la red sea beneficiosa para obtener de manera eficaz la solución total. Dentro de la red queda prohibido dividirla para solo recoger en un punto de acopio, por ejemplo al observar la figura 5, sería más costoso dividir la red para que el vehículo 1 recorra al punto 21 y 2324, y que el vehículo 2 recoja en el punto 22, por lo cual quedará normado que todo grupo pequeño que esté conectado a la red mediante un puente, tendrá que ser unida en un solo clúster como se puede ver en la figura 6.

Una vez dividida la red, el vehículo  $k$ ,  $k \in \{1,2\}$ , recorrerá los puntos que estén agrupadas en él, y cuando el vehículo este en el nodo  $i$  final, se calculará su distancia hacia el nodo  $H$  usando el algoritmo de Dijkstra. Por lo tanto se procede a dividir la red, primero se dividirá de manera aleatoria (en función al número de puntos recorridos), figura 5, y posteriormente se dividirá usando el algoritmo de Gillett y Miller (girando una semirrecta con el origen), figura 6.

El algoritmo de Gillett y Miller, ver la figura 6, para aplicar este algoritmo primero se busca una recta de origen, para luego con una segunda recta ir formando un ángulo e ir adicionando el volumen (oferta de campo) de cada punto de acopio hasta copar la capacidad del vehículo. Como en la red tenemos que el punto de partida de los vehículos está dividido en dos nodos,  $H_a$  y  $H_b$ , lo usaremos para trazar una recta que intersecte a estos puntos, la cual será la recta base.

Luego procedemos trazar una segunda recta la cual irá girando en sentido anti-horario y girará de 10 grados en 10 grados e irá acumulando la oferta de los puntos de acopio hasta copar la capacidad del vehículo  $k$ , en la figura 6 se observa que la recta girará hasta un ángulo de 110 grados con un capacidad a transportar de 3167.97 kg, dado que la capacidad máxima de carga de cada vehículo es de 3200kg, luego calcularemos la distancia generada en cada clúster (su diseño se observa en la figura 7 y figura 8), la distancia del arco  $H_a,1a$  de la figura 7 y del arco  $H_a,6$  de la figura 8, son valores que se obtienen de la red original - figura 4.

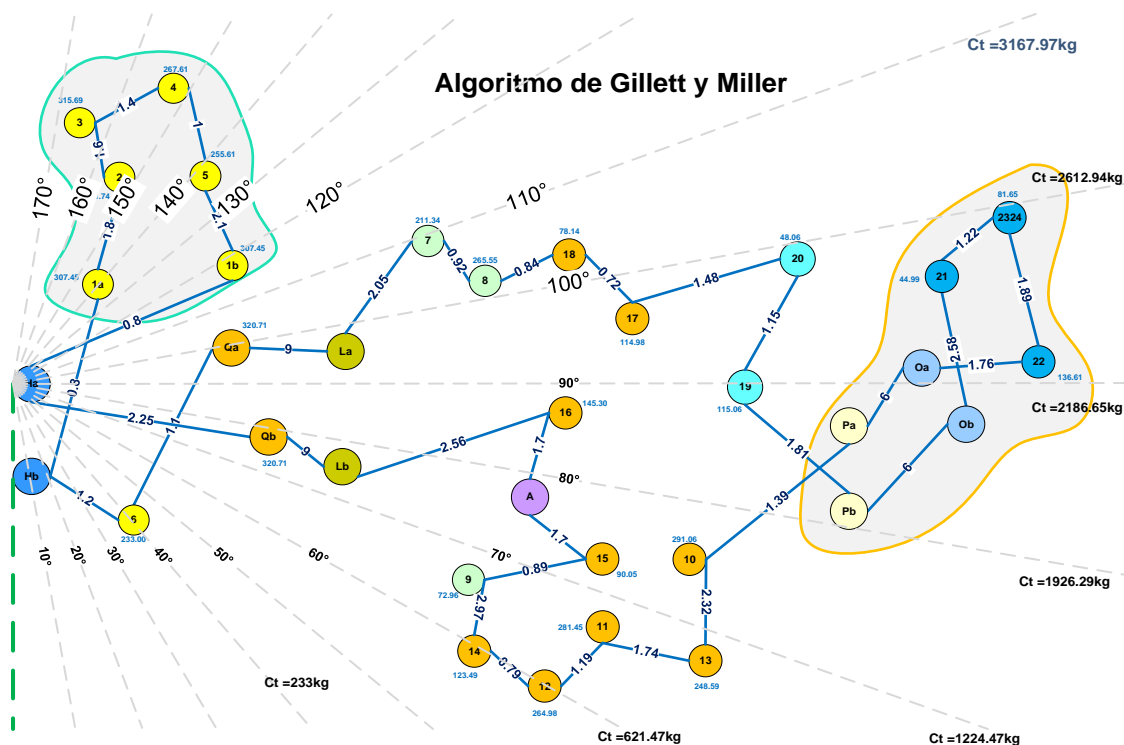


Figura 6 - Selección de clúster - Gillett & Miller



La secuencia de acopio de cada uno de los vehículos es:

**Vehículo 1:** la distancia total recorrida = 9.5 km y la capacidad **esperada** a transportar es de 1448.1kg, ver la figura 7.

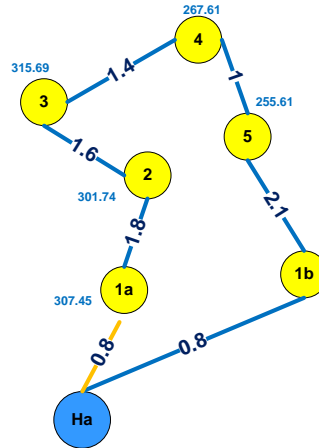


Figura 7 - Ruta para el vehículo 1

**Vehículo 2:** la distancia total recorrida es 68.22 km y la capacidad **esperada** a transportar es de 3167.97 kg, ver la figura 8.

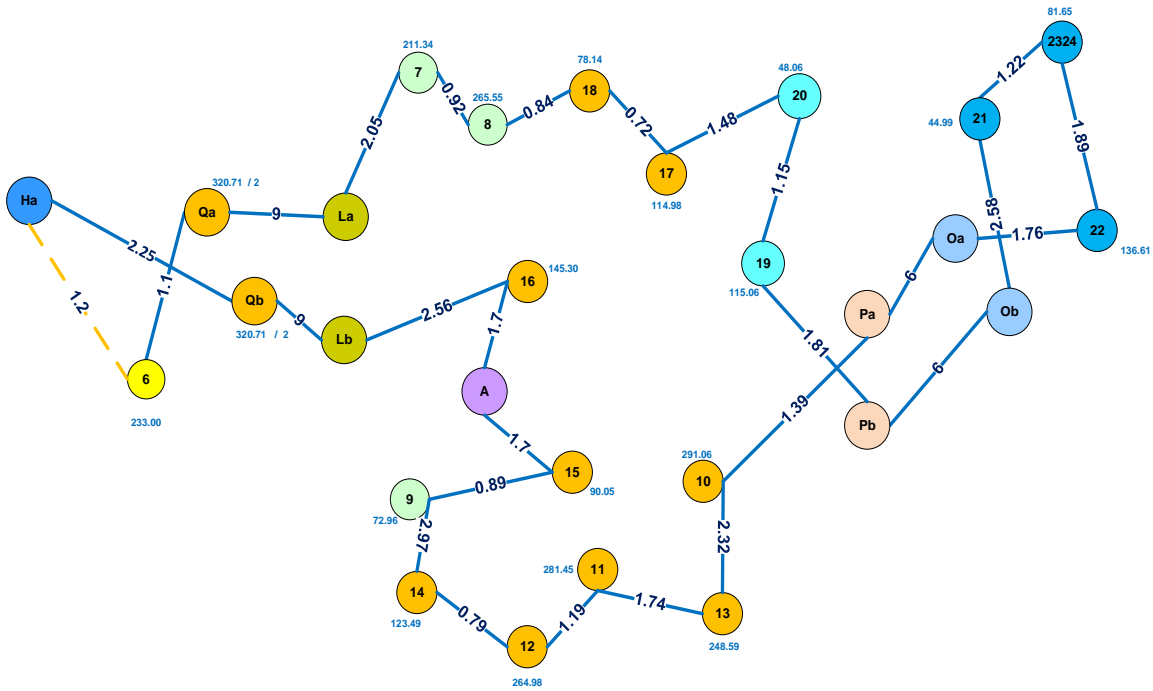


Figura 8 - Ruta para el vehículo 2

### 3.2 Interface de solución

En este módulo se puede obtener de forma matricial: la matriz inicial, matriz de costos, y la matriz de ahorros. La solución se obtiene de manera interactiva, el sistema busca al mayor de los datos y lo muestra gráficamente, el usuario acepta a los mejores caminos entre un par de nodos, y la distancia recorrida se acumula, o también se puede calcularla ruta con un solo paso (botón auto). Obsérvese la figura 9

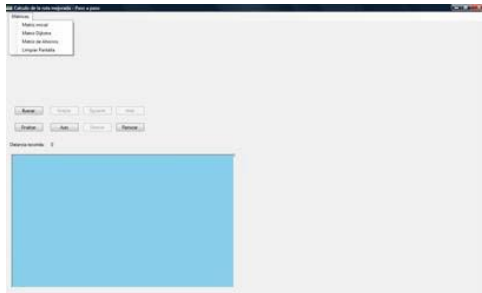


Figura 9 - Interface: Menú de solución

#### 4. RESULTADOS

Como ya se ha analizado en los puntos anteriores, el método de ruteo con el cual se trabajará, mejorará la velocidad en el acopio.

Tabla 7 - Comparación de las Métodos trabajados

Heurística	Método	Distancia (km)	Capacidad E(kg)	Distancia total
Ruteo actual - Experiencia	Vehículo 1	49.59	2865.15	121.84
	Vehículo 2	72.25	1750.92	
Mejora propuesta	Vehículo 1	9.5	1448.1	77.72
	Vehículo 2	68.22	3167.97	

Finalmente se calculará el ahorro de la distancia propuesta con relación a la distancia actual, obteniendo como resultado un ahorro de recorrido en distancia de 44.12 km.

#### 5. CONCLUSIONES

Se demostró la viabilidad técnica de elaborar un algoritmo de ruteo de Vehículos a partir de principios y mezcla otros algoritmos heurísticos del problema de ruteo de vehículos. Esta unión de principios mejoró la calidad de respuesta del algoritmo propuesto. Con el uso de los algoritmos no se concluye que es el recorrido óptimo, no obstante es un recorrido cercano al óptimo y mejor al recorrido actual.

La implementación del algoritmo propuesto permitiría disponer de información oportuna, confiable y principalmente adaptable a los problemas que suceden en campo.

#### 6. BIBLIOGRAFIA

Clarke, G. & Wright, J. (1962). Scheduling of vehicles from A central Depot to a number of delivery points. Cooperative Wholesale Society. Operations Research 12 (1964), pp 568 – 581.

Dijkstra, E. W. (1959). A note on two problems in connexion with graphs. Numerische Mathematik 1, 269 – 271.

Gillett, B. & Miller, L. (1971). A Heuristic Algorithm for the Vehicle-Dispatch Problem. Operations Research 22 (1974), pp 340 -349.

Olivera, A. (2004). Heurísticas para Problemas de Ruteo de Vehículos. Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, Montevideo. : Uruguay.

#### *Authorization and Disclaimer*

*Authors, Jonatán Rojas & Walter Silva, authorize LACCEI to publish the paper in the conference proceedings. Neither LACCEI nor the editors are responsible either for the content or for the implications of what is expressed in the paper.*