

*/02/*

# EFFECTO DE LA APLICACIÓN DEL ALGORITMO DE COLONIA DE HORMIGAS EN UN SERVICIO LOGÍSTICO

## EFFECT OF THE APPLICATION OF THE ANT COLONY ALGORITHM IN A LOGISTIC SERVICE

---

Ángel Geovanny Guamán Lozano  
Profesor investigador. Facultad de Mecánica. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.  
Riobamba. (Ecuador).  
E-mail: [a\\_guaman@esPOCH.edu.ec](mailto:a_guaman@esPOCH.edu.ec) ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5145-6994>

Gloria Elizabeth Miño Cascante  
Profesora investigadora. Vicerrectora Académica. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.  
Riobamba. (Ecuador).  
E-mail: [vracademico@esPOCH.edu.ec](mailto:vracademico@esPOCH.edu.ec) ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2896-3987>

Julio Cesar Moyano Alulema  
Profesor investigador. Facultad de Mecánica. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.  
Riobamba. (Ecuador).  
E-mail: [j\\_moyano@esPOCH.edu.ec](mailto:j_moyano@esPOCH.edu.ec) ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6672-9409>

Alcides Napoleón García Flores  
Profesor investigador. Facultad de Mecánica. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.  
Riobamba. (Ecuador).  
E-mail: [an\\_garcia@esPOCH.edu.ec](mailto:an_garcia@esPOCH.edu.ec) ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6883-7067>

Juan Carlos Cayán Martínez  
Profesor investigador. Facultad de Mecánica. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.  
Riobamba. (Ecuador).  
E-mail: [j\\_cayan@esPOCH.edu.ec](mailto:j_cayan@esPOCH.edu.ec) ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9573-3706>

Recepción: 22/01/2018. Aceptación: 27/02/2018. Publicación: 14/12/2018

Citación sugerida:

Guamán Lozano, Á. G., Miño Cascante, G. E., Moyano Alulema, J. C., García Flores, A. N. y Cayán Martínez, J.C. (2018). Efecto de la aplicación del algoritmo de colonia de hormigas en un servicio logístico. 3CTecnología. Investigación y pensamiento crítico. doi:<http://dx.doi.org/10.17993/3ctecno.2018.v7n4e28.28-47/>

## RESUMEN

Con el desarrollo tecnológico que se evidencia en la actualidad, el uso de algoritmos enfocados a la resolución de problemas de la vida real se da con mayor frecuencia. La presente investigación tuvo como objetivo determinar una ruta eficiente para la distribución de productos en la ciudad de Riobamba en el Ecuador, utilizando un vehículo repartidor mediante la aplicación de un algoritmo de optimización denominado colonia de hormigas y considerando variables como la distancia, costo y visibilidad. La recopilación de los datos se ejecutó a través del levantamiento en campo de todas las rutas de la empresa panificadora. A continuación, se desarrolló el algoritmo informático utilizando el lenguaje de programación C# en Visual Basic. El programa generó una ruta con menores distancias de recorrido. Una vez determinada la solución de enrutamiento se evaluaron los tiempos de respuesta del programa considerando el número de iteraciones ejecutadas. Como conclusión se observa que existen problemas en los tiempos de procesamiento, evidenciándose que el algoritmo optimización de colonias de hormigas presenta soluciones cercanas a la óptima en tiempos extensos de respuesta.

## ABSTRACT

With the technological development that is evidenced at present, the use of algorithms focused on solving real-life problems occurs more frequently. The objective of the present investigation was to determine an efficient route for the distribution of products in the city of Riobamba in Ecuador, using a delivery vehicle through the application of an optimization algorithm called an ant colony and considering variables such as distance, cost and visibility. The data collection was carried out through the field survey of all routes of the bakery company, then the computer algorithm was developed using the C # programming language in Visual Basic. The program generated a route with shorter travel distances. Once the routing solution was determined, the program response times were evaluated considering the number of iterations executed. As a conclusion it is observed that there are problems in the processing times, evidencing that the ant colony optimization presents solutions close to the optimum.

## PALABRAS CLAVE

Enrutamiento, modelo, optimización de colonias de hormigas, logística.

## KEY WORDS

Routing, model, optimization of ant colonies, logistics.

## 1. INTRODUCCIÓN

Un servicio logístico de calidad está orientado a la satisfacción de los clientes a través de múltiples ventajas competitivas que hacen que un consumidor prefiera un producto y no el de la competencia. La distribución comercial es responsable de la eficiencia de la entrega del producto hacia los clientes en el tiempo y lugar exacto (Perez, 2013).

Una característica de calidad se presenta en el tiempo de ejecución de las actividades en la cadena de suministro. Con el fin de mejorar el panorama de las organizaciones, se han formulado soluciones exactas, heurísticas y genéticas que reducen el consumo de recursos y mejoran los tiempos de entrega de productos y servicios.

Los algoritmos genéticos son procesos que están dados por la evolución que ha surgido en la selección natural, y al relacionarles con la vida real resultan factibles especialmente cuando se tratan de casos con datos en cadenas finitas en alfabeto finito (Luaces, Beyris y Rosales, 2011). Los operadores genéticos proporcionan potenciales soluciones que se generan por iteraciones, actualizando su sistema a cada instante, para lo cual se señalan tres tipos: un operador de selección de las mejores soluciones, un operador de cruce que otorga nuevas soluciones a partir de dos respuestas previas y, un operador de mutación que realiza una pequeña transformación sobre una solución previa.

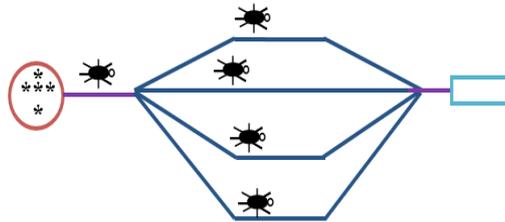
Por otra parte, una alternativa de solución es el llamado Algoritmo de Optimización de Colonia de Hormigas (ACO). El modelo fue desarrollado en la década de los 90 (Robles, 2010) y es un considerado un método heurístico porque presenta una serie de procedimientos antes de llegar a la solución factible, entre los que se encuentran el establecer el problema, delimitar y mostrar el problema para volver a verificar los resultados de las actividades.

El desarrollo del algoritmo se basa en la capacidad de las hormigas para comunicarse entre sí sin contar con una adecuada visibilidad, sin embargo, utilizan una sustancia química llamada feromona que permite establecer las rutas más cortas para encontrar alimentos en el menor tiempo. Previamente a este resultado debieron realizar un recorrido de exploración, es decir, su trabajo se ejecuta en equipo y se transforma en la manera más adecuada de funcionar y subsistir, de ahí el nombre del algoritmo "Ant Colony Optimization" (Perez, 2011).

La meta del algoritmo es dar soluciones aproximadas a problemas generales, permitiendo que su

implementación en la vida real sea posible por la facilidad de obtener resultados sin recorrer todo el espacio de búsqueda. El grado de aceptación que presenta la solución es dependiente de los objetivos que se deseen satisfacer o garantizar (Fernandez, 2015).

Los ACO persiguen, precisamente, explotar esta realidad: a través de un conjunto de agentes individuales simples (hormigas), trabajando en conjunto (colonia), se pretende obtener soluciones a problemas de optimización complejos. En concreto, los algoritmos simulan el comportamiento de recolección de comida de una colonia de hormigas. En el ejemplo que se muestra en la Figura 1, se puede observar como las hormigas salen desde su colonia en busca de comida recorriendo todas las posibles rutas hasta llegar a su destino.



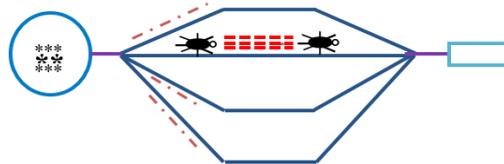
**Gráfico 1.** Exploración de las hormigas a la ruta más corta, en busca de alimentos.

**Fuente:** elaboración propia.

Debido a que estos insectos no tienen una visión desarrollada, su comunicación con el entorno se lleva a través de un rastro de feromonas (Cobo & Maria, 2005). Las hormigas, en su camino del nido a la fuente de alimento y viceversa, depositan feromonas en el suelo formando un rastro que el resto de componentes de la colonia son capaces de oler. Contra mayor es la concentración en una ruta, mayor es la probabilidad de que una hormiga la siga. Por tanto, en un principio las hormigas se desplazan por un camino u otro indiferentemente, pero con el paso del tiempo se acumula más feromona en el camino más transitado, por lo que las hormigas lo escogen con mayor probabilidad (Aparicio, 2012).

Las hormigas, en su camino del nido a la fuente de alimento y viceversa, depositan feromonas en el suelo formando un rastro que el resto de componentes de la colonia son capaces de oler. Contra mayor es la concentración en una ruta, mayor es la probabilidad de que una hormiga la siga.

Las hormigas tienen la capacidad de recordar las rutas que han visitado y las que son desconocidas para ellas (Tito, Silva, Alfaro, & Evelyn, 2015). En la Figura 2, se ilustra los depósitos de feromonas que dejan las hormigas como rastro para que sus colegas sigan la ruta hasta que completen el trabajo.



**Gráfico 2.** Depósito de feromonas y ruta.  
**Fuente:** elaboración propia.

Al hablar de las feromonas se encuentran aspectos muy interesantes como la dependencia directa que tienen con el entorno natural, y se debe a que este es el encargado de evaporarlas después de que transcurra un tiempo. Según estudios biológicos la rapidez con la que desaparece la feromona está dada por la clase de hormigas y el suelo, ya que pueden tardar horas o hasta meses según sea el caso (Alonso, 2012).

ACO ha sido exitosamente utilizado en la resolución de problemas de combinación así como algunas de sus extensiones como el SoSACO-v2 (Sense of Smell - Ant Colony Optimization) (Calle, Rivero, Cuadra & Isasi), siendo sus elementos básicos las variables que se procede a detallar: la variable que hace relación a las hormigas artificiales y la matriz de feromonas  $\tau$ . Por otro lado, están los algoritmos de EACO o evolutivos, este algoritmo puede resolver los problemas de topología, lo que hace que EACO sea muy atractivo para resolver problemas de optimización no combinatoria (Buntara, et al., 2017).

La matriz  $\tau$  es el medio indirecto que utilizan las hormigas para comunicarse, depositando y censando a la vez feromonas durante un recorrido en la construcción de una solución sobre un grafo  $G(E, V)$  (Insfrán, Pinto, & Benjamín, 2006), siendo este una representación de un mapa de recorrido que las hormigas persiguen hasta encontrar su objetivo, por ello es importante establecer lugares de llegada conocidos como nodos.

Básicamente, la elección de un nodo  $j$  mientras una hormiga se encuentra en un nodo  $i$  es dada por la siguiente ecuación probabilística:

$$p_{ij} = \begin{cases} \frac{\tau_{ij}^{\alpha} \eta_{ij}^{\beta}}{\sum_{\forall g \in N_i} \tau_{ij}^{\alpha} \eta_{ij}^{\beta}} & \text{si el enlace } (i, j) \in E \\ 0 & \end{cases} \quad (1)$$

Dónde:

$\tau_{ij}$  = representa el nivel de feromonas depositado en el enlace (i,j);

$N_i$  = es el conjunto de nodos factibles, vecinos del nodo i.

La convergencia hacia la solución óptima utilizando la ecuación (1), es relativamente lenta, quedando en muchas ocasiones estancada en óptimos locales. Para intentar superar este problema, algunos trabajos han propuesto el concepto de visibilidad. La visibilidad en su forma más simple es la deseabilidad en función de algún parámetro asociado a los enlaces (Cruz, 1999). En ese contexto, la elección del siguiente nodo es regido por la ecuación (2).

$$p_{ij} = \begin{cases} \frac{\tau_{ij}^{\alpha} \eta_{ij}^{\beta}}{\sum_{\forall g \in N_i} \tau_{ij}^{\alpha} \eta_{ij}^{\beta}} & \text{si el enlace } (i, j) \in E \\ 0 & \end{cases} \quad (2)$$

Dónde:

$\eta_{ij}$  = representa la visibilidad del enlace (i, j),

$\alpha$  y  $\beta$  = Parámetros que determinan la importancia relativa entre  $\tau_{ij}$  y  $\eta_{ij}$ .

Para evitar una convergencia prematura hacia óptimos locales, otros trabajos han introducido el concepto de evaporación de las feromonas. La evaporación es regida por la ecuación 3:

$$\tau_{ij} = (1 - \rho)\tau_{ij} \quad (3)$$

Dónde:

$0 \leq \rho \leq 1$  es el factor de persistencia de las feromonas.

La teoría de grafos es de gran ayuda para modelar estructuras matemáticas y para representar fenómenos discretos, se hace referencia al algoritmo de la colonia de hormigas para resolver el modelo matemático con un análisis inductivo (Luaces, Beyris, & Rosales, 2011).

En este caso, el trabajo se centra en la aplicación del algoritmo colonia de hormigas para la distribución de productos de una empresa panificadora, para de esta manera llegar a determinar la ruta más adecuada en un tiempo corto. En su desarrollo ACO se manifiesta en dos problemas, tanto estática como dinámicamente, entendiéndose como la aplicación de la parte estática, esto se debe a que la topología y los costos no cambian mientras se ejecuta el algoritmo, claro está que son dos circunstancias muy similares, pero difieren en la implementación, lo que significa que se destinan según la necesidad y requerimientos (Dorigo-Stützle, 2006).

## 2. METODOLOGÍA

La investigación es de tipo experimental, el estudio transversal cuantitativo fue desarrollado en el año 2017, con el registro del recorrido completo de distribución con 15 destinos de recepción de mercadería. La toma de datos se realizó partiendo desde el lugar de producción e incluyó todos los destinos establecidos en la planificación de la empresa "La Vienesa", que cuenta con una matriz de producción en la ciudad de Riobamba, y una sucursal ubicada a 4 kilómetros del lugar, la investigación fue realizada en la matriz de producción.

La ruta se generó partiendo desde una perspectiva realista que se obtuvo una vez realizada la medición cuantitativa, haciendo uso de una muestra de tamaño amplio, pues la toma de datos se dio en tiempo real. Con lo cual, permitió conocer la importancia de adquirir cierto tipo de consideraciones a tener en cuenta en el desarrollo de este problema en particular, fundamentada en el algoritmo de colonia de hormigas (Collazos, 2013).

Se establecen dos tipos de variables para la resolución de este tipo de problemas, siendo una de ellas el nivel de feromonas depositadas por las hormigas durante el trayecto hacia el lugar de origen. En este caso son las calles, no obstante es ineludible el número de nodos que existen acorde a cada sitio de distribución que se encuentran sujetos a las siguientes restricciones: el número de veces que el vehículo debe pasar por un nodo específico no excederá una, sin tomar en cuenta los tiempos de aprovisionamiento del producto y de mora que conlleva este tipo de actividad comercial. El principal

propósito al realizar este estudio es determinar la ruta optima de distribución de la panificadora de la ciudad de Riobamba ubicada en las calles Larrea y 10 de agosto.

Las fuentes de información son de tipo secundaria y primaria, entendiendo por secundaria aquella prevista que se relaciona con todas las investigaciones realizadas en años anteriores por diversos autores, sin olvidar la importancia de partir de modelos de tipo heurístico (Gutiérrez, 2007). La información primaria corresponderá a los trabajos producidos en campo por parte de los sujetos participantes.

Los instrumentos utilizados en la investigación fueron todos aquellos que permitieron la toma de muestras precisas y acertadas. Se contó con una ficha de observación diseñada para la toma de datos de acuerdo a recorrido del vehículo, validando la recepción de muestras a través del software libre Google Maps existente en la Web 2.0. Por otro lado, se programó una hoja de cálculo en el programa Excel que permite observar y obtener las posibles rutas que el camión puede seguir. Todas estas herramientas son útiles porque permiten que los datos sean de manera precisa y eficaz. Con la aplicación del Algoritmo de Colonia de Hormigas se realizan varias iteraciones que permiten encontrar una solución factible al problema antes planteado. Estos datos se presentan antes, durante y después de la investigación debido a que ayudan a dar soluciones eficaces y pertinentes haciendo un método totalmente justificable para enrutamiento vehicular.

## 3. RESULTADOS

### 3.1. SITUACIÓN ACTUAL

La empresa comienza la repartición del producto a las 05h00 visitando 15 centros de distribución dentro de la ciudad. En la Tabla 1 se observa una recopilación de datos obtenidos en la ruta que se realiza por cada punto de entrega desde el punto de distribución o de inicio, además de presentar la dirección de llegada facilitando así la red de distribución que se muestra continuación con la ayuda de Google Maps.

| ITEM | DIRECCIÓN LLEGADA                         |
|------|---|
| 1    | Paseo Shopping                            |
| 2    | Calle SN                                  |
| 3    | Edelberto Bonilla y Antonio José de Sucre |
| 4    | Junín y Diego de Ibarra                   |
| 5    | Eucaliptos y Arrayanes                    |
| 6    | Junin y Jacinto Gonzales                  |
| 7    | Av. La Prensa y Argentinos                |

| ITEM | DIRECCIÓN LLEGADA                                       |
|------|---|
| 8    | Av. 11 de Noviembre y Lizarzaburo                       |
| 9    | Romero y Cordero  |
| 10   | Río Quininde y Río Amazonas                             |
| 11   | Pasaje Río Quevedo y Río Amazonas                       |
| 12   | Río Quevedo y Panamericana Lizarzaburo                  |
| 13   | Av. Monseñor Leónidas Proaño y Panamericana Lizarzaburo |
| 14   | Av. Monseñor Leónidas Proaño y Araucanos                |
| 15   | Larrea y 10 de Agosto                                   |

**Tabla 1.** Puntos de visita de carro repartidor de “La Vienesa”. **Fuente:** elaboración propia.

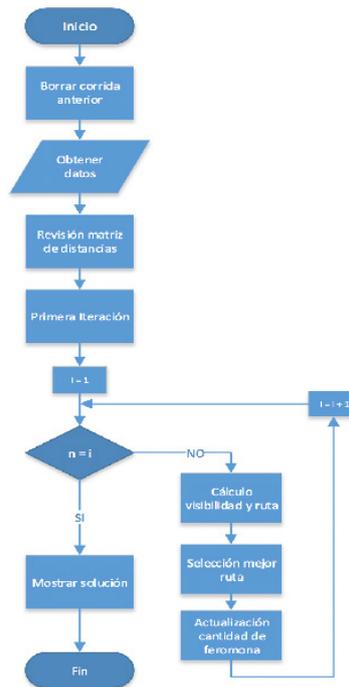
En la Tabla 2 se especifica la distancia y el tiempo empleado por el camión repartidor de la “La Vienesa”, la distancia fue calculada mediante la ayuda de Google Maps mientras que el tiempo se midió con el empleo del cronometro.

| ITEM         | DISTANCIA (m) | TIEMPO (min) |
|--------------|---------------|--------------|
| 1            | 2090          | 7            |
| 2            | 400           | 1            |
| 3            | 1100          | 2            |
| 4            | 1200          | 5            |
| 5            | 850           | 4            |
| 6            | 300           | 2            |
| 7            | 550           | 2            |
| 8            | 1300          | 6            |
| 9            | 1600          | 4            |
| 10           | 1400          | 6            |
| 11           | 190           | 2            |
| 12           | 210           | 2            |
| 13           | 600           | 3            |
| 14           | 1500          | 7            |
| 15           | 5900          | 16           |
| <b>TOTAL</b> | <b>19190</b>  | <b>69</b>    |

**Tabla 2.** Datos de distancia y tiempo empleado en cada distribución. **Fuente:** elaboración propia.

### 3.2. DESARROLLO DEL ALGORITMO

El programa se basa en un bucle repetitivo que establece un número determinado de iteraciones, buscando siempre una solución factible actualizando las variables en cada ciclo.



**Gráfico 3.** Diagrama de flujo del programa. **Fuente:** elaboración propia.

A continuación, se muestra el código de la programación utilizada en la macro desarrollada, es importante detallar el número nodos por los cuales las hormigas seguirán su ruta determinada y los bucles de repetición de acuerdo al número de ciudades ingresadas. Con estas dos variables se realizan las iteraciones para comparar y mandar a ejecutar la siguiente línea de código. En el bucle de comparaciones se aplica la fórmula (2), con el valor obtenido se procede a vincular a otra sub función. La resolución se hizo con 10 vinculaciones de sub funciones, cada una de ellas con una programación definida, una parte del código se detalla a continuación.

```
Sub Iteraciones ()
`Determinación iterativa de las rutas de las hormigas
For w = 1 To Ciudades - 1 `Numero de Iteraciones del Algoritmo
  For a = 1 To h `Iteracion Hormiga
    `Borrado de la Iteracion de Hormiga Anterior
    ReDim Dist_Temp(Ciudades)
    ReDim P(Ciudades, Ciudades)
    revisionmatrizdistancias `Llama la rutina "revisionmatrizdistancias"
    `Calcula la matriz de probabilidades
    For j = 1 To Ciudades ` El 8 lo determina el numero de ciudades
      If Dist_Temp(j) <> "" Then
        If Dist_Temp(j) <> 0 Then
          cociente = 0
          For f = 1 To Ciudades
            If Dist_Temp(f) <> 0 Then
              If Dist_Temp(f) <> "" Then
                cociente = cociente + (t(k(a, w), f) ^ alfa) * (1
/ (Dist_Temp(f) ^ beta))
              End If
            End If
          Next f
          If cociente <> 0 Then
            P(k(a, w), j) = ((t(k(a, w), j) ^ alfa) * (1 / (Dist_
Temp(j) ^ beta))) / cociente
          Else
            P(k(a, w), j) = 0
          End If
        End If
      End If
    Next j
    `Eleccion de la siguiente Ciudad
    For j = 1 To Ciudades ` El 8 lo determina el numero de ciudades
      If P(k(a, w), j) = WorksheetFunction.Max(P()) Then
        k(a, w + 1) = j
        N(a, j) = "x"
```

```
        Exit For
    End If
Next j
Next a
Next w
End Sub
Sub revisionmatrizdistancias()
For j = 1 To Ciudades ` Columna
    If N(a, j) <> "x" Then
        Dist_Temp(j) = distancias(k(a, w), j)
    End If
Next j
End Sub
```

Para el algoritmo antes expuesto fue necesaria la recolección de datos de dos variables de importancia: las rutas de distribución y nodos que se obtuvieron a través de una indagación de campo. La ejecución de las variables parte de conocer las variables distancia y sitios de distribución, que hacen referencia a las feromonas y a las hormigas que siguen por dicho camino respectivamente. Entonces, una hormiga (vehículo repartidor) parte del nodo inicial  $i$  hacia a otro nodo  $j$ , comenzando de un grafo que se obtuvo al realizar la representación de la repartición del producto en cuestión.

La distancia hacia cada nodo de las diferentes coordenadas con una probabilidad, está marcada por la entrada de nodos del grafo, lo que quiere decir que mientras más sean los datos de ingreso mayor será el número de rutas posibles. Es así como el nivel de dificultad se incrementa debido a las posibles permutaciones que se pueden presentar para resolverlo.

El número de soluciones posibles dependerá de la cantidad de nodos ingresados por la factorial del mismo número para compararlas entre sí, así, la complejidad de resolución del problema se incrementará.

Los datos de cada nodo se ingresan y se procede a encontrar la distancia aplicando distancias euclidianas entre dos puntos. Con estos resultados se realizan iteraciones que corresponden a la hormiga en un ciclo completo mientras ejecuta una probabilidad, siempre y cuando se tenga en cuenta que la ciudad no haya sido visitada dos veces en el ciclo.

La visibilidad de las ciudades representadas por los coeficientes alfa y beta, tienen una característica en común, su valor es 1, pero también se presentan como parámetros ajustables, porque al final del recorrido cada hormiga debe depositar una cierta cantidad de feromona en cada nodo por el que ha pasado dependiendo del recorrido obtenido con respecto a otras hormigas. Por lo tanto, se recomienda tomar tantas hormigas como nodos exista. La cantidad de feromona que se encuentra presente en los nodos del algoritmo es una información renovada a cada instante debido a la dependencia del número de veces que se ha pasado por dicha ruta.

### 3.3. POSIBLES ESCENARIOS

En la Tabla 4 se establecen los valores o parámetros utilizados para la aplicación de la fórmula del ACO mencionada anteriormente.

**Tabla 3.** Parámetros empelados en ACO.

| PARÁMETROS      |     |
|-----------------|-----|
| Alfa            | 1   |
| Beta            | 1   |
| $\rho$          | 0,8 |
| Max Iteraciones | 5   |
| Nº Hormigas     | 5   |
| Ciudades        | 16  |

**Fuente:** elaboración propia.

Para encontrar la solución factible es necesario colocar los datos en una matriz cuadrática, que está dada por las distancias mostradas en la Tabla 2, además se despliega la matriz inversa, de esta manera se tiene la Tabla 4.

| PARAMETROS      |     | A | B | C | D | E  | F        | G        | H        | I        | J        | K        | L        | M        | N        | O       | P        | Q        | R        | S        | T        | U        |
|-----------------|-----|---|---|---|---|----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Alfa            | 0,8 |   |   |   |   | 1  | 0,0      | 2,090,0  | 2,490,0  | 3,590,0  | 4,790,0  | 5,640,0  | 5,940,0  | 6,490,0  | 7,790,0  | 8,390,0 | 10,790,0 | 10,390,0 | 11,190,0 | 11,790,0 | 13,290,0 | 13,190,0 |
| Beta            | 0,8 |   |   |   |   | 2  | 2,090,0  | 0,0      | 400,0    | 1,500,0  | 2,700,0  | 3,550,0  | 3,850,0  | 4,400,0  | 5,700,0  | 7,300,0 | 8,700,0  | 8,890,0  | 9,100,0  | 9,700,0  | 11,200,0 | 17,100,0 |
| R <sub>0</sub>  | 0,8 |   |   |   |   | 3  | 2,490,0  | 400,0    | 0,0      | 1,100,0  | 2,300,0  | 3,150,0  | 3,450,0  | 4,000,0  | 5,300,0  | 6,900,0 | 8,300,0  | 8,490,0  | 8,700,0  | 9,300,0  | 10,800,0 | 16,700,0 |
| Max Iteraciones | 10  |   |   |   |   | 4  | 3,590,0  | 1,500,0  | 1,100,0  | 0,0      | 1,200,0  | 2,050,0  | 2,350,0  | 2,900,0  | 4,200,0  | 5,800,0 | 7,200,0  | 7,390,0  | 7,600,0  | 8,200,0  | 9,700,0  | 15,600,0 |
| Nº Hormigas     | 5   |   |   |   |   | 5  | 4,790,0  | 2,700,0  | 2,300,0  | 1,200,0  | 0,0      | 850,0    | 1,150,0  | 1,700,0  | 3,000,0  | 4,600,0 | 6,000,0  | 6,190,0  | 6,400,0  | 7,000,0  | 8,500,0  | 14,400,0 |
| Ciudades        | 16  |   |   |   |   | 6  | 5,640,0  | 3,550,0  | 3,150,0  | 2,050,0  | 850,0    | 0,0      | 300,0    | 850,0    | 2,150,0  | 3,750,0 | 5,150,0  | 5,340,0  | 5,550,0  | 6,150,0  | 7,650,0  | 13,550,0 |
|                 |     |   |   |   |   | 7  | 5,940,0  | 3,850,0  | 3,450,0  | 2,350,0  | 1,150,0  | 300,0    | 0,0      | 550,0    | 1,850,0  | 3,450,0 | 4,850,0  | 5,040,0  | 5,250,0  | 5,850,0  | 7,350,0  | 13,250,0 |
|                 |     |   |   |   |   | 8  | 6,490,0  | 4,400,0  | 4,000,0  | 2,900,0  | 1,700,0  | 850,0    | 550,0    | 0,0      | 1,300,0  | 2,900,0 | 4,300,0  | 4,490,0  | 4,700,0  | 5,300,0  | 6,800,0  | 12,700,0 |
|                 |     |   |   |   |   | 9  | 7,790,0  | 5,700,0  | 5,300,0  | 4,200,0  | 3,000,0  | 2,150,0  | 1,850,0  | 1,300,0  | 0,0      | 1,600,0 | 3,000,0  | 3,190,0  | 3,400,0  | 4,000,0  | 5,500,0  | 11,400,0 |
|                 |     |   |   |   |   | 10 | 9,390,0  | 7,300,0  | 6,900,0  | 5,800,0  | 4,600,0  | 3,750,0  | 3,450,0  | 2,900,0  | 1,600,0  | 0,0     | 1,400,0  | 1,590,0  | 1,800,0  | 2,400,0  | 3,900,0  | 8,800,0  |
|                 |     |   |   |   |   | 11 | 10,790,0 | 8,700,0  | 8,300,0  | 7,200,0  | 6,000,0  | 5,150,0  | 4,850,0  | 4,300,0  | 3,000,0  | 1,400,0 | 0,0      | 190,0    | 400,0    | 1,000,0  | 2,500,0  | 8,400,0  |
|                 |     |   |   |   |   | 12 | 10,390,0 | 8,890,0  | 8,490,0  | 7,390,0  | 6,190,0  | 5,340,0  | 5,040,0  | 4,490,0  | 3,190,0  | 1,590,0 | 190,0    | 0,0      | 210,0    | 810,0    | 2,310,0  | 8,210,0  |
|                 |     |   |   |   |   | 13 | 11,190,0 | 9,100,0  | 8,700,0  | 7,600,0  | 6,400,0  | 5,550,0  | 5,250,0  | 4,700,0  | 3,400,0  | 1,800,0 | 490,0    | 210,0    | 0,0      | 600,0    | 2,100,0  | 8,000,0  |
|                 |     |   |   |   |   | 14 | 11,790,0 | 9,700,0  | 9,300,0  | 8,200,0  | 7,000,0  | 6,150,0  | 5,850,0  | 5,300,0  | 4,000,0  | 2,400,0 | 1,000,0  | 810,0    | 600,0    | 0,0      | 1,500,0  | 7,400,0  |
|                 |     |   |   |   |   | 15 | 13,290,0 | 11,200,0 | 10,800,0 | 9,700,0  | 8,500,0  | 7,650,0  | 7,350,0  | 6,800,0  | 5,500,0  | 3,900,0 | 2,500,0  | 2,310,0  | 2,100,0  | 1,500,0  | 0,0      | 5,900,0  |
|                 |     |   |   |   |   | 16 | 19,190,0 | 17,100,0 | 16,700,0 | 15,600,0 | 14,400,0 | 13,550,0 | 13,250,0 | 12,700,0 | 11,400,0 | 9,800,0 | 8,400,0  | 8,210,0  | 8,000,0  | 7,400,0  | 5,900,0  | 0,0      |
|                 |     |   |   |   |   | 17 |          |          |          |          |          |          |          |          |          |         |          |          |          |          |          |          |
|                 |     |   |   |   |   | 18 |          |          |          |          |          |          |          |          |          |         |          |          |          |          |          |          |
|                 |     |   |   |   |   | 19 |          |          |          |          |          |          |          |          |          |         |          |          |          |          |          |          |
|                 |     |   |   |   |   | 20 |          |          |          |          |          |          |          |          |          |         |          |          |          |          |          |          |
|                 |     |   |   |   |   | 21 |          |          |          |          |          |          |          |          |          |         |          |          |          |          |          |          |

**Tabla 4.** Matriz e inversa en función a distancias. **Fuente:** elaboración propia.

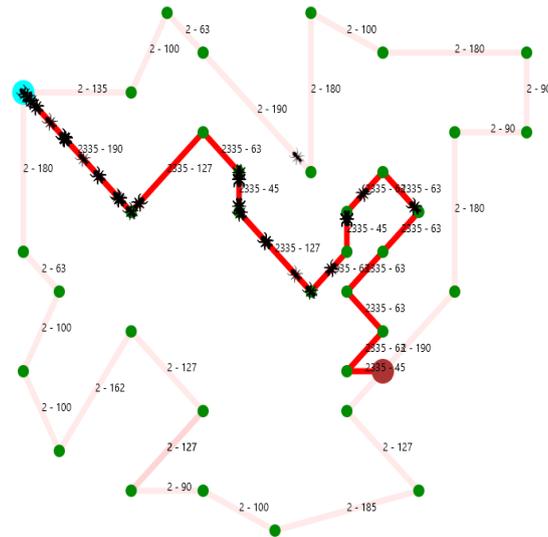
El programa presenta mediante la macro las rutas factibles que el camión podría seguir en sus entregas, también muestra las distancias cuando en un inicio los camiones salen en busca de comida sin conocer el camino como se muestra en la Tabla 5.

**Tabla 5.** Solución factible presentada por el programa.

| Distancias | Ruta Óptima |
|------------|-------------|
| 38.380     | 15          |
| 38.380     | 14          |
| 38.380     | 13          |
| 38.380     | 12          |
| 38.380     | 11          |
|            | 10          |
|            | 9           |
|            | 8           |
|            | 7           |
|            | 6           |
|            | 5           |
|            | 4           |
|            | 3           |
|            | 2           |
|            | 1           |
|            | 16          |
|            | 15          |

**Fuente:** elaboración propia.

La investigación necesitaba ser aún más detallada, por este motivo se utilizó el programa "AntAlgorithm Simulator" mediante el cual se simulan las rutas que el camión puede seguir representado por hormigas variando los parámetros de ingreso. En la Figura 4 se muestra la ruta del primer tramo que se realizó de 5 puntos de entrega a partir de las calles Larrea y 10 de agosto hasta Eucaliptos y Arrayanes.

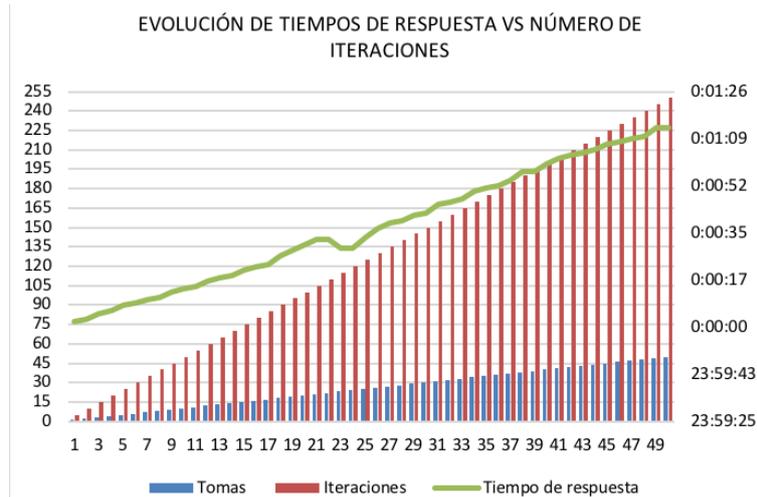


**Gráfico 4.** Ruta desde Larrea y 10 de agosto hasta Eucaliptos y Arrayanes.  
**Fuente:** elaboración propia.

Los resultados alcanzados indican que existen varias rutas adecuadas para realizar el recorrido de distribución de pan, disminuyendo el tiempo de repartición, reduciendo costos de producción debido al transporte e incrementado la eficiencia de entrega del producto, brindando así un mejor servicio a los clientes y satisfaciendo sus necesidades.

### 3.4. FACTOR DE TIEMPO DE PROCESO

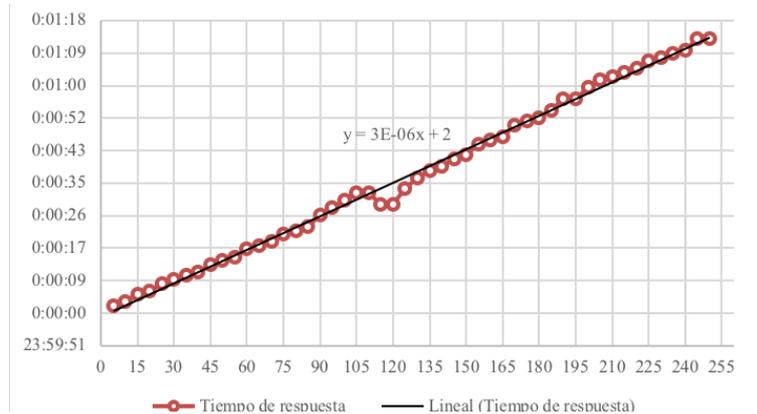
Las simulaciones anteriormente detalladas fueron ejecutadas en un computador con procesador Intel Core i7-4510U, 2.00 GHz y memoria RAM de 8GB. Con estos antecedentes se establecieron de forma aleatoria 50 corridas para el programa, con incrementos de 5 iteraciones en cada ciclo como se muestra en la Figura 5.



**Gráfico 5.** Ruta desde Larrea y 10 de agosto hasta Eucaliptos y Arrayanes.

**Fuente:** elaboración propia.

El comportamiento de los datos establece una tendencia lineal (Figura 6), mediante un método de regresión lineal se puede predecir el tiempo en que tardaría en realizar todas las combinaciones posibles y encontrar la solución óptima agotando todas las alternativas.



**Gráfico 6.** Tendencia lineal ascendente.

**Fuente:** elaboración propia.

Aplicando estos métodos se obtienen las siguientes relaciones matemáticas de la ecuación 4.

$$y = a + bx \quad (4)$$
$$y = 1,99998855820106 + 0,00000343759726112663x$$

Donde:

y: tiempo de respuesta

x: número de iteraciones

El número de combinaciones para el caso llega a  $n=15!$  permutaciones posibles, es decir que  $n=1307674368000$ , resultando como tiempo análisis total 513,16 años. Un valor improcedente que hace que el algoritmo sea útil para soluciones cortas de pocos nodos o a su vez para las primeras iteraciones.

## 4. CONCLUSIONES

Si bien es cierto, el algoritmo de la colonia de hormigas es de tipo heurístico, por lo cual no asegura soluciones óptimas. Sin embargo, es de gran contribución para obtener resultados aceptables reduciendo el tiempo de cómputo en el desarrollo con respecto a métodos alternativos, mediante una adecuada definición de variables dependientes e independientes.

En la distribución de mercadería, es necesario encontrar rutas factibles que ayuden a los distribuidores a entregar su producto en el lugar y tiempo indicado. Los resultados obtenidos muestran claramente que en el algoritmo colonia de hormigas es importante tomar en cuenta  $\eta_{ij}$  como la visibilidad del enlace (i, j) para el problema la inversa de las distancias,  $\alpha$  y  $\beta$  factores asumidos con el valor de uno porque destaca la solución factible, ya que incrementa las feromonas dejadas en el camino,  $t_{ij}$  hizo referencia a las diferentes rutas por donde el camión realiza el recorrido habitualmente.

Los resultados obtenidos muestran claramente que en el algoritmo colonia de hormigas es importante tomar en cuenta  $\eta_{ij}$  como la visibilidad del enlace (i, j) para el problema la inversa de las distancias,  $\alpha$  y  $\beta$  factores asumidos con el valor de uno porque destaca la solución factible.

Es necesario considerar que al aplicar el mencionado algoritmo existen diferentes factores que no se consideran, tales como: en primer punto el estado de la vía, debido a la situación geográfica de una ciudad puede tener algunas vías en mejores condiciones que otras. En segundo punto el tránsito, que en el caso de estudio fue bajo en el horario de las 4:15 a.m. hasta las 5:23 a.m., garantizando de esta manera una toma de datos certera, pero no exacta. Como tercer punto el tiempo de espera, por las señales de tránsito que se debe seguir. Como cuarto punto el clima que es independiente de mejoras, pero es clave ya que en el transporte resulta una variable no definida.

Los tiempos de procesamiento hacen que el ACO sea un método limitado y se acepten tan solo soluciones viables, más no totalmente optimizadas, elevando de forma considerable la búsqueda de una ruta óptima de servicio en el caso de estudio presentado.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICOS

Alonso, S., Cordon, O., Fernández de Viana, I. y Herrera, F. (2012). La Metaheurística de optimización basada en colonias de hormigas: modelos y nuevos enfoques. Granada, España: Universidad de Granada.

Aparicio, D. (2012). Aplicación de los algoritmos de hormigas para la resolución de un RALBP. Barcelona, España: ETSEIB.

Calle, J., Rivero, J., Cuadra, D. e Isasi, P. (2017). Extending ACO for fast path search in huge graphs and social networks. *Expert Systems With Applications*, 86, pp. 292–306. doi: [10.1016/j.eswa.2017.05.066](https://doi.org/10.1016/j.eswa.2017.05.066)

Cobo, A., y Maria, S.A. (2005). Un algoritmo híbrido basado en colonias de hormigas para la resolución de problemas de distribución en la planta orientados a procesos. Recuperado de: [https://www.uv.es/asepuma/XIII/comunica/comunica\\_04.pdf](https://www.uv.es/asepuma/XIII/comunica/comunica_04.pdf)

Collazos, C. (2013). Rediseño del sistema productivo utilizando técnicas de distribución de planta. Recuperado de: <http://www.bdigital.unal.edu.co/12157/1/8912504.2013.pdf>

Cruz, I. (1999). Los canales de distribución de productos de gran consumo. Barcelona, España: Piramide.

Dorigo, M. (2006). The Ant Colony Optimization Metaheuristic: Algorithms, Applications, and Advances. En *International Series in Operations Research & Management Science* (pp. 250-285). doi: [https://doi.org/10.1007/0-306-48056-5\\_9](https://doi.org/10.1007/0-306-48056-5_9)

Buntara, G., Takahiro, H., Aylie, H., Alisjahbana, S. y As'ad, S. (2017). Evolutionary ACO algorithms for truss optimization problems. *Procedia Engineering*, 171. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.01.467>

Fernandez, J. (2005). Equipo de Algoritmos Evolutivos Multiobjetivo Paralelos (Tesis de Final de Grado). Recuperado de: [https://www.cnc.una.py/publicaciones/4\\_130.pdf](https://www.cnc.una.py/publicaciones/4_130.pdf)

Gutiérrez,V.(2007).ModelosdeGestióndeInventariosenCadenas.Recuperadode:<http://www.scielo.org.co/pdf/rfiua/n43/n43a12.pdf>

Insfrán, C., Pinto, D. y Benjamín, B. (2006). Diseño de Topologías Virtuales en Redes Ópticas. Recuperado de: [https://www.cnc.una.py/publicaciones/4\\_143.pdf](https://www.cnc.una.py/publicaciones/4_143.pdf)

Luaces, R., Beyris, M., y Rosales, M. (2011). Colonia de hormigas aplicada a la teoría de grafos. En *Acta Latinoamericana de Matemática Educativa* (pp.545-552). Cuba: Comité Latinoamericano de Matemática Educativa A.C.

Ortega, A., y Ana, S. (2005). Un Algoritmo Híbrido Basado en Colonias de Hormigas para la Resolución de Problemas. *XIII Jornadas de ASEPUMA*, 3.

Perez,I.(2011).Heurísticainspiradaenelánalisisistémicodel“vecinomáscercano”parasolucionarinstancias simétricasTSPempleandounabasecomparativamulticriterio.(TesisdeFinaldeMáster).Recuperadode: <http://bdigital.unal.edu.co/5443/1/71225056.2011.pdf>

Perez,S.(2013).ImplementacióndeunalgoritmobasadoenColoniasdeHormigasparalaoptimizaciónde funciones con datos mezclados. Santa Clara: Universidad Central Marta Abreu de Las Villas.