

## ***Gestión de operaciones en una cadena de suministro agroalimentaria / Operations management in a agri food supply chain***

Rafael Granillo-Macías. [rafael.granillo@upaep.edu.mx](mailto:rafael.granillo@upaep.edu.mx) \*

Elías Olivares-Benítez. [eolivares@up.edu.mx](mailto:eolivares@up.edu.mx) \*\*

José Luis Martínez-Flores. [joseluis.martinez01@upaep.edu.mx](mailto:joseluis.martinez01@upaep.edu.mx) \*

Santiago Omar Caballero-Morales. [santiagoomar.caballero@upaep.mx](mailto:santiagoomar.caballero@upaep.mx) \*

### **Institución de los autores**

Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla. \*

Universidad Panamericana, Campus Guadalajara. \*\*

**País:** México

### **RESUMEN**

La alta incertidumbre en la demanda y el suministro presentes en la cadena de suministro agroalimentaria ubican a la logística como elemento fundamental para mejorar su desempeño en este sentido los modelos de optimización enfocados en las operaciones logísticas de transporte buscan reducir los costos asociados con el traslado de productos agroalimentarios desde los puntos de cosecha hacia los centros de acopio y procesamiento considerando las distintas restricciones de estos productos como son el decaimiento en la calidad, el rendimiento de la producción, los niveles de servicio al cliente entre otros. En este artículo se propone una solución a un problema de transporte en la cadena de suministro de la cebada en México considerando las particulares de los niveles de rendimiento en la cosecha y realizando diferentes escenarios. Este estudio identifica las mejores asignaciones que permiten minimizar el costo de transporte asociados a esta cadena.

**PALABRAS CLAVE:** CADENA DE SUMINISTRO AGROALIMENTARIA; CEBADA; OPTIMIZACIÓN; ANÁLISIS ABC.

### **ABSTRACT**

The high uncertainty in demand and supply in the agri food supply chain located logistics as a key element to improve their performance, thus optimization models focused on logistics transport operations seeking to reduce the costs associated with the move of food products

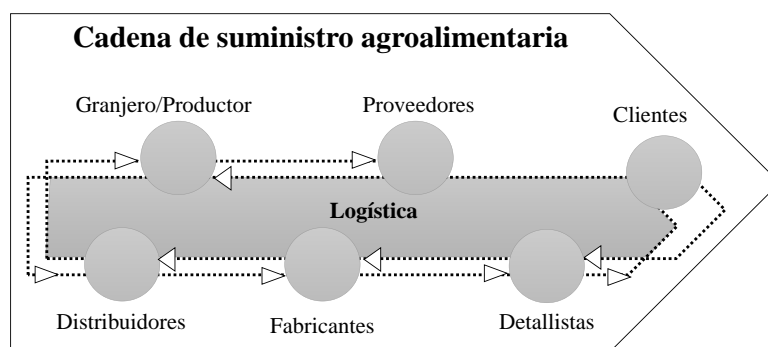
from point of harvest to the collection centers and processing considering the various constraints of these products as are the decay in quality, production performance, levels of customer service among others. This paper shows a solution to a transportation problem in the supply chain of barley in Mexico considering the particular levels of performance in harvesting under different scenarios. This study identifies the best assignments that minimize the cost of transportation in this chain.

**KEY WORDS:** AGRI FOOD SUPPLY CHAIN; BARLEY; OPTIMIZATION; ABC ANALYSIS.

## INTRODUCCIÓN

### Logística y Cadena de Suministro Agroalimentaria

Una cadena de suministro agroalimentaria (AFSC, por sus siglas en inglés) es aquella que produce y distribuye productos del sector alimentario, esta cadena como se muestra en la figura 1 se integra por una serie de partes involucradas (proveedores, granjeros, distribuidores, fabricantes y detallistas) que desempeñan una o más de las acciones de manejo, procesamiento, distribución, transporte y almacenamiento, con el fin de alterar la apariencia y el estado de la calidad de los productos.



**Figura 1.** AFSC

**Fuente:** Granillo, Olivares, y Santana (2016).

La logística se utiliza como elemento clave para gestionar la AFSC (Badole et al., 2012) cubriendo los procesos desde el servicio al cliente, las operaciones de transporte, el almacenamiento de productos alimenticios, el control de inventarios y flujos de materiales, el procesamiento de órdenes, la distribución desde la siembra hasta el punto de consumo, el manejo de materiales y los pronósticos de la demanda.

El diseño y operación de los procesos logísticos para una AFSC ha sido abordado principalmente a través de la aplicación de técnicas y herramientas enfocadas en la reducción de costo y tiempo en las operaciones de transporte y distribución.

La gestión de operaciones ha mostrado un importante interés en la logística de los sectores agroindustriales (Akkerman et al., 2010) principalmente motivado por la dinámica en la calidad y la incertidumbre en la demanda y el suministro que complican el diseño de la red logística agroalimentaria. De acuerdo a Badole et al. (2012) y Van der Vorst y Snels (2014) uno de los retos logísticos en este sector son las estructuras de redes complejas en donde las pequeñas y medianas empresas comercializan con grandes multinacionales lo que exige una sincronización regional en nodos logísticos que permitan desarrollar mecanismos para conectar la demanda agregada con el suministro.

### **Redes de distribución y transporte en AFSC**

El diseño de redes en el sector agroalimentario busca contribuir a través de la optimización de recursos y la reducción de los costos logísticos de transporte asociados con la entrega hacia los centros de almacenamiento y/o procesamiento considerando restricciones como condiciones de rendimiento de producción, el decaimiento en la calidad, los niveles de servicio al cliente, entre otras características que hacen a esta cadena de suministro única y diferente de cualquier otra cadena.

Los problemas de diseños de redes de distribución se presentan generalmente de la forma siguiente: un número determinado de fábricas suministran a diversos almacenes con múltiples productos que a su vez son entregados a diversos clientes con cantidades específicas de demanda para los diferentes productos. Las decisiones que se realizan en el diseño de una red de distribución determinan el número de ubicaciones de la materia prima, las plantas donde se procesa y los almacenes en donde se mantendrá el inventario, además permite seleccionar los canales de distribución entre los proveedores y clientes, identificando los volúmenes de transporte entre los diferentes eslabones que conforman una cadena de suministro.

Autores como Köksalan et al. (2012), Mason et al. (2015) y De Keizer et al. (2015) han estudiado diferentes problemas relacionados con el diseño de redes de distribución del sector agroalimentario usando enfoques como la programación lineal entera mixta (MILP, por sus siglas en inglés) y la simulación, otras propuestas como la de Van der Vorst et al. (2009), Blackburn y Scudder (2009), Rong y Grunow (2010) presentan modelos basados en la simulación, la programación lineal, heurísticas (búsqueda tabú y algoritmos genéticos) y la programación dinámica. Estos enfoques presentan diferentes características en sus restricciones de acuerdo a la función objetivo y alcances del problema de estudio, de forma general las características de estos se muestran en la tabla 1.

**Tabla 1.** Modelos para el diseño de redes de distribución

| <b>Autor</b>                | <b>Técnica / Herramienta</b> | <b>Restricciones propuestas</b>                            |
|-----------------------------|------------------------------|--|
| De Keizer et al. (2015)     | MILP / Simulación discreta   | Capacidad de almacenamiento y producción, calidad.         |
| Mason et al. (2015)         | MILP                         | Capacidad de producción, rendimiento de cosechas, calidad. |
| Köksalan et al. (2012)      | MILP                         | Capacidad de almacenamiento, balance oferta y demanda.     |
| Boudahri et al. (2011)      | Programación dinámica        | Análisis de flujo del producto.                            |
| Rong y Grunow (2010)        | Heurísticas                  | Capacidad de producción, rendimiento de cosechas, calidad  |
| Blackburn y Scudder (2009)  | MILP                         | Selección y tipos de transporte                            |
| Van der Vorst et al. (2009) | Simulación                   | Integra la degradación de la calidad.                      |

**Fuente:** elaboración propia

Los enfoques de la tabla anterior se basan en analizar las condiciones de la cadena de suministro con el propósito de identificar aquellas restricciones que se deben de modelar y posteriormente integrar dentro del diseño de una solución conforme a los requerimientos de la red. Por ejemplo, para el caso de productos perecederos, la característica a considerar deberá ser la calidad y su degradación a través del tiempo, por lo que una restricción para su modelado tendría que estar enfocada en la calidad que se entrega al cliente.

A continuación, se analiza un caso de una AFSC en México la cual se forma por los eslabones de granjeros, centros de acopio y procesadores buscando optimizar los costos logísticos relacionados con el transporte entre estos y considerando la característica de rendimiento en la cosecha.

## **Definición del problema**

Estudios realizados por el Instituto Mexicano para la Competitividad (IMCO), señalan que las empresas del sector agroalimentario en México presentan deficiencias en sus procesos logísticos entre los que se incluyen las actividades de abastecimiento, el diseño de redes de transporte, la programación de pedidos, así como la administración de inventarios, el seguimiento y trazabilidad de los productos en este sector (IMCO, 2015). En este sentido, uno de los retos de esta cadena de suministro es la disminución de los costos logísticos y la seguridad alimentaria (A.T Kearney, 2012).

Un caso particular, es la cadena de suministro de la cebada maltera en la cual participan aproximadamente 55 000 granjeros, 2 500 centros de acopio y dos grupos procesadores de malta (Santana y Granillo, 2014), logrando posicionar a México en el primer lugar en exportación de cerveza a nivel internacional por arriba de países productores como Alemania, Holanda y Bélgica (Thomé y Soares, 2015).

El estado de Hidalgo, en el que se realiza este estudio, es actualmente considerado una de las regiones en México con mayor producción de cebada maltera a nivel nacional, con una superficie disponible de 614 940 hectáreas para el uso agrícola, de las cuales 100 041 hectáreas se destinan al cultivo de la cebada (SIAP, 2015). Específicamente la mayor producción de cebada maltera dentro del estado se concentra en la región del altiplano hidalguense la cual aporta más del 80% de toda la producción en Hidalgo, en donde las condiciones climáticas y tipos de suelo han concedido de igual forma, que este sea una región idónea para el cultivo de la cebada bajo las modalidades de temporal y riego.

El problema de estudio se centra específicamente en esta región del altiplano hidalguense en donde se busca determinar la red de distribución de granos con el costo mínimo de transporte considerando la variabilidad en el suministro, es decir, considerando los diferentes rendimientos que se presentan en las cosechas.

Para este caso se seleccionaron por estratificación 15 de los principales productores de cebada los cuales aportan en conjunto cerca del 10% de la producción total en esta región, también se seleccionaron cinco posibles centros de acopio de cebada grano y dos procesadoras de grano (malteras). La distribución de cebada maltera se da hacia adelante desde los granjeros pasando por los centros de acopio hasta llegar a las malteras o inclusive se puede dar de forma directa del granjero hacia la maltera sin pasar por el centro de acopio y en su caso entre centros de acopio.

## MATERIALES Y METODOS

### Asignación de costos, oferta y demanda

Los costos del transporte se obtuvieron con base en la distancia del granjero hacia el centro de acopio y hacia las malteras, considerando de acuerdo a (Moreno y De la Torre, 2011) un factor del costo de flete de 0,5 US\$/t\*km (dólares/tonelada kilometro), en el caso del costo de transporte entre el centro de acopio y maltera se consideró un costo fijo debido principalmente a los contratos de colaboración con las malteras, por lo que para este caso y con base en (INIFAP, 2012) el costo promedio se determinó como 7,7 US\$/t sin importar la distancia hacia la maltera, únicamente se consideró el peso que se transporta. En relación a la oferta de los granjeros esta se calculó con base en tres escenarios como se muestran en la tabla 2, así, por ejemplo, con un rendimiento bajo en la cosecha se esperaba obtener 1,8 toneladas por hectárea sembrada, siendo esta una característica propia de la incertidumbre en la oferta que presenta la cadena de suministro de la cebada. En cuanto a la demanda de cada maltera, en este caso se consideró que existe un contrato de asignación de 50% de la producción total para cada una de las dos empresas, posteriormente se realizaron otros escenarios considerando variaciones en los porcentajes que se entregan a cada una de las malteras, esta condición también es característica de esta cadena de suministro en donde existen la “agricultura por contrato” en la cual el granjero está obligado a entregar su producción a sus patrocinadores(malteras) bajo ciertas condiciones estimuladas de común acuerdo.

**Tabla 2.** Rendimiento por escenario

| Escenario | Rendimiento esperado (t/ha) |
|-----------|-----------------------------|
| Bajo      | 1.8                         |
| Medio     | 2.5                         |
| Bueno     | 3.5                         |

**Fuente:** elaboración propia con datos de INIFAP (2012)

Con base en la información anterior y considerando las ubicaciones propuestas, se realizó una integración de los costos (US\$/t) relacionados con las posibles combinaciones de asignaciones entre granjeros desde  $P_1$  hasta  $P_{15}$ , centros de acopio desde A hasta E así como malteras  $S_1$  y  $S_2$ , considerando que existen asignaciones no permitidas ponderadas con un valor muy grande, así por ejemplo y de acuerdo a las relaciones comerciales y de

negocios existentes en esta cadena, los centros de acopio B y C para este caso solo puede entregar producto a la maltera ubicada como  $S_2$  de la misma manera las ubicaciones correspondientes a los centros de acopio A, D y E solo pueden entregar a  $S_1$ . Por otro lado, el flujo de productos entre malteras  $S_1$  y  $S_2$  si es permitido bajo ciertas condiciones de operación en la cadena de suministro, sin embargo, el costo de asignación entre malteras también se considera elevado en comparación con otras ubicaciones. Para este caso de estudio se consideró también, que los centros de acopio A, B, C, D y E no realizan ningún proceso productivo ni consumen parte de la producción que se mueve a lo largo de esta cadena.

Otra consideración importante para el diseño de una red de distribución es que la oferta de los granjeros (si cumple con los requisitos de calidad) es consumida en su totalidad por las malteras esto de acuerdo al contrato de producción que se realiza entre ambas partes.

En general, el suministro se vuelve variable dadas las condiciones en el rendimiento de las cosechas por lo que es posible visualizar diferentes escenarios bajo los cuales el granjero deberá enviar su cosecha hacia las malteras.

### **Método de solución**

El modelo de optimización propuesto busca determinar el costo mínimo de transporte durante los procesos de cosecha y entrega de grano a los puntos de acopio/malteras considerando diferentes escenarios de rendimiento en la producción.

La formulación matemática se basa en:

#### **Variable de decisión (endógena)**

$X_{ij}$ : cantidad de toneladas de grano transportadas desde un granjero  $i$  hacia un centro de acopio  $j$

$X_{ik}$ : cantidad de toneladas de grano transportadas desde un granjero  $i$  hacia una maltera  $k$

$X_{jk}$ : cantidad de toneladas de grano transportadas desde un centro de acopio  $j$  hacia una maltera  $k$

#### **Variables exógenas**

$C_{ij}$ : costo de transportar una tonelada de grano del granjero  $i$  hacia el centro de acopio  $j$

$C_{ik}$ : costo de transportar una tonelada de grano del granjero  $i$  hacia una maltera  $k$

$C_{jk}$ : costo de transportar una tonelada de grano del centro de acopio  $j$  hacia la maltera  $k$

$a_i$ : oferta (en toneladas) del granjero  $i$

$b_k$ : demanda (en toneladas) de la maltera  $k$

El modelo queda expresado como:

## Función objetivo

$$\text{MIN} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} c_{ij} x_{ij} + \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} c_{ik} x_{ik} + \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} c_{jk} x_{jk} \quad (1)$$

## Restricciones

$$\sum_{j \in J} x_{ij} + \sum_{k \in K} x_k \leq a_i \quad \forall i \in I \quad (2)$$

$$\sum_{i \in I} x_{ik} + \sum_{j \in J} x_{jk} \geq b_k \quad \forall k \in K \quad (3)$$

$$\sum_{i \in I} x_{ij} = \sum_{k \in K} x_{jk} \quad \forall j \in J \quad (4)$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (5)$$

$$x_{ik} \geq 0 \quad \forall i \in I, \forall k \in K \quad (6)$$

$$x_{jk} \geq 0 \quad \forall j \in J, \forall k \in K \quad (7)$$

La función objetivo (1) es minimizar el costo de transporte entre los granjeros y los centros de acopio/malteras, la ecuación (2) se refiere a la oferta disponible en cada granjero, la ecuación (3) señala la demanda en cada maltera, la ecuación (4) indican el balance en punto de transbordo y por último las ecuaciones (5), (6) y (7) señalan que las cantidades que se transportan deben ser mayor a cero.

## RESULTADOS

### Implementación

El modelo de solución propuesto se desarrolló a través de hojas de cálculo en Excel, presentando diferentes escenarios en cuanto a las cantidades a distribuir considerando los porcentajes entre  $S_1$  y  $S_2$  de 50/50, 60/40, 70/30, 40/60 y 30/70 además en un escenario inicial se consideró que el 100% de los granjeros presentaron los rendimientos bajo, regular y bueno en sus cosechas, posteriormente se desarrolló la solución para cada escenario con bases en los costos asociados y las demandas obtenidas en cada rendimiento utilizando para ello la herramienta de MATLAB.



## Resultados iniciales

Con base en los datos generales se obtuvo un escenario inicial en el cual se observa que el mejor costo de transporte se da cuando la proporción de la distribución en las malteras  $S_1$  y  $S_2$  es de 40 y 60 respectivamente bajo los tres tipos de rendimiento considerados para este problema.

Del diseño propuesto en la solución de la red de distribución se obtiene también que al pasar de un escenario bajo a medio y de medio a uno bueno, las asignaciones se mantienen para el mejor caso en donde el costo de transporte es el mínimo, es decir  $S_1=40$  y  $S_2=60$  con un costo de transporte de \$ 15 306.72, \$ 21 259.33, \$ 29 763.06 para los escenarios de bajo, regular y bueno respectivamente como se muestra en la tabla 3.

**Tabla 3.** Resultados

|                    | Distribución de la producción en maltera (%) |       | Costo de transporte asociado a la red (US\$) |
|--------------------|--|-------|--|
|                    | $S_1$  | $S_2$ |  |
| <b>Rendimiento</b> |  |       |  |
| Bajo               | 50   | 50    | 15 797.78                                    |
|                    | 60   | 40    | 16 541.94                                    |
|                    | 70   | 30    | 17 291.17                                    |
|                    | 40   | 60    | 15 306.72                                    |
|                    | 30   | 70    | 15 642.83                                    |
| Regular            | 50   | 50    | 21 941.39                                    |
|                    | 60   | 40    | 22 974.94                                    |
|                    | 70   | 30    | 24 229.67                                    |
|                    | 40   | 60    | 21 259.33                                    |
|                    | 30   | 70    | 21 726.17                                    |
|                    |  |       | 30 717.94                                    |
|                    |  |       | 32 164.89                                    |
| Bueno              | 50   | 50    | 33 963.78                                    |

|  |    |    |           |
|--|----|----|-----------|
|  | 60 | 40 | 29 763.06 |
|  | 30 | 70 | 30 579.72 |

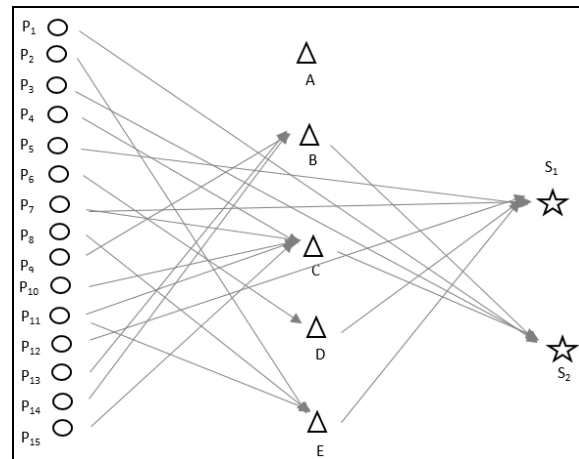
**Fuente:** elaboración propia

La asignación en cantidades de toneladas de grano a transportar entre los diferentes eslabones de esta cadena, de acuerdo a la solución obtenida con el modelo propuesto se presenta en la tabla 4, en la cual se muestra que el centro de acopio A no recibe producto por lo que se considera como una ubicación sin uso, también se puede identificar, que el diseño de la red con el costo mínimo no cambia al transitar de un escenario a otro, por lo que se mantiene como se refleja en la figura 2.

**Tabla 4.** Asignaciones por escenario

|                           | Bajo  | Medio | Bueno |                                | Bajo   | Medio | Bueno |
|---------------------------|-------|-------|-------|--------------------------------|--------|-------|-------|
| P <sub>2</sub> -E         | 144   | 200   | 280   | B.S <sub>2</sub> -             | 226.8  | 315   | 441   |
| P <sub>4</sub> -C         | 108   | 150   | 210   | C.S <sub>2</sub> -             | 362.52 | 503.5 | 704.9 |
| P <sub>6</sub> -D         | 99    | 137.5 | 192.5 | D.S <sub>1</sub> -             | 99     | 137.5 | 192.5 |
| P <sub>7</sub> -C         | 97.2  | 135   | 189   | E.S <sub>1</sub> -             | 294.48 | 409   | 572.6 |
| P <sub>8</sub> -E         | 95.4  | 132.5 | 185.5 | Centro de acopio – maltera     |        |       |       |
| P <sub>9</sub> -B         | 84.6  | 117.5 | 164.5 |                                | Bajo   | Medio | Bueno |
| P <sub>10</sub> -C        | 73.8  | 102.5 | 143.5 | P <sub>1</sub> -S <sub>2</sub> | 144    | 200   | 280   |
| P <sub>11</sub> -C        | 18.72 | 26    | 36.4  | P <sub>3</sub> -S <sub>2</sub> | 118.8  | 165   | 231   |
| P <sub>11</sub> -E        | 55.98 | 76.5  | 107.1 | P <sub>5</sub> -S <sub>1</sub> | 102.6  | 142.5 | 199.5 |
| P <sub>13</sub> -B        | 72    | 100   | 140   | P <sub>12</sub> -              | 72     | 100   | 140   |
| P <sub>14</sub> -B        | 70.2  | 97.5  | 136.5 | S <sub>1</sub>                 |        |       |       |
| P <sub>15</sub> -C        | 64.8  | 90    | 126   | Granjero-maltera               |        |       |       |
| Granjero-centro de acopio |       |       |       |                                |        |       |       |

**Fuente:** elaboración propia



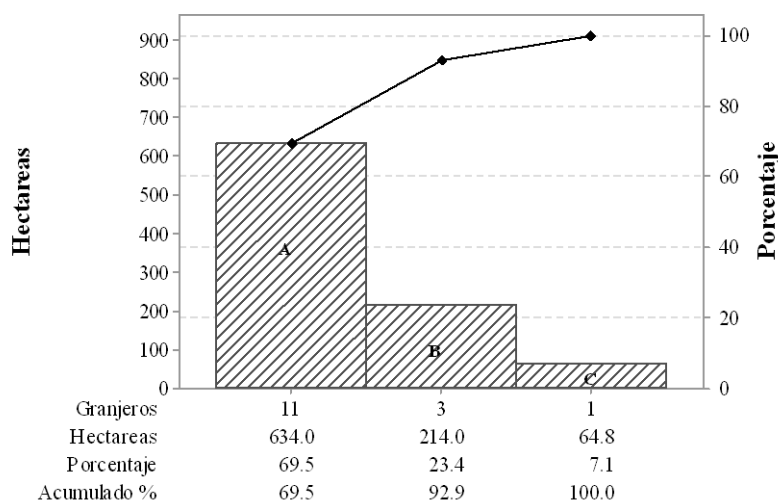
**Figura 2.** Red de distribución óptima

**Fuente:** elaboración propia

### Escenarios

Con el fin de evaluar la pertinencia de la solución propuesta, se desarrollaron otros escenarios considerando que los granjeros puedan presentar diferentes combinaciones en los rendimientos de sus cosechas, para lo cual se utilizó un análisis ABC para clasificar a los granjeros de acuerdo a sus niveles de producción (hectáreas disponibles para la siembra), de esta forma los granjeros tipo A son aquellos que representan el 69.5% de la producción total, los tipo B agrupan aproximadamente el 23.4% de la producción total y por último los granjeros tipo C representan el 7.1% restante de la producción total disponible. La figura 3 muestra los resultados de la clasificación ABC donde once granjeros son del tipo A, tres del tipo B y solo uno del tipo C.

Con la clasificación ABC se organizaron diferentes escenarios que se resolvieron a través del modelo propuesto, a modo de ejemplo, cuando los granjeros tipo A presentan un rendimiento bajo, los granjeros tipo B obtienen en su cosecha un rendimiento medio y los tipos C tienen un resultado alto, el costo asociado con el transporte da como resultado \$ 16,783.89 considerando una asignación entre malteras de  $S_1=40$  y  $S_2=60$ .

**Figura 3. Análisis ABC**

Fuente: elaboración propia

La tabla 5 muestra los resultados obtenidos con base en los escenarios propuestos y utilizando la clasificación ABC, de esta manera se observa que en todos los escenarios se mantiene la solución dentro de la asignación de  $S_1=40$  y  $S_2=60$  asociada al mejor costo mínimo obtenido.

**Tabla 5. Escenarios en rendimiento**

| Escenario en rendimiento |      |       |       | Distribución de la producción en maltera (%) |       | Costo de transporte asociado a la red (US\$) |
|--------------------------|------|-------|-------|--|-------|--|
|                          | Bajo | Medio | Bueno | $S_1$  | $S_2$ |  |
| A                        | B    | C     |       | 50   | 50    | 17 345.44                                    |
|                          |      |       |       | 60   | 40    | 18 168.61                                    |
|                          |      |       |       | 70   | 30    | 19 164.44                                    |
|                          |      |       |       | 40   | 60    | 16 783.89                                    |
|                          |      |       |       | 30   | 70    | 17 052.50                                    |
| B                        | A    | C     |       | 50   | 50    | 21 391.11                                    |
|                          |      |       |       | 60   | 40    | 22 371.67                                    |
|                          |      |       |       | 70   | 30    | 23 674.44                                    |
|                          |      |       |       | 40   | 60    | 20 835.06                                    |
|                          |      |       |       | 30   | 70    | 21 263.00                                    |

|   |   |   |    |    |           |
|---|---|---|----|----|-----------|
| C | B | A | 50 | 50 | 28 649.78 |
|   |   |   | 60 | 40 | 30 006.39 |
|   |   |   | 70 | 30 | 33 227.17 |
|   |   |   | 40 | 60 | 27 983.61 |
|   |   |   | 30 | 70 | 28 658.22 |
| A | C | B | 50 | 50 | 18 316.22 |
|   |   |   | 60 | 40 | 19 118.94 |
|   |   |   | 70 | 30 | 19 975.33 |
|   |   |   | 40 | 60 | 17 526.44 |
|   |   |   | 30 | 70 | 17 824.22 |
| C | A | B | 50 | 50 | 22 787.72 |
|   |   |   | 60 | 40 | 24 014.50 |
|   |   |   | 70 | 30 | 26 325.39 |
|   |   |   | 40 | 60 | 22 138.67 |
|   |   |   | 30 | 70 | 22 643.22 |
| B | C | A | 50 | 50 | 28 184.00 |
|   |   |   | 60 | 40 | 29 381.56 |
|   |   |   | 70 | 30 | 32 291.56 |
|   |   |   | 40 | 60 | 27 446.78 |
|   |   |   | 30 | 70 | 28 089.83 |

**Fuente:** elaboración propia

## CONCLUSIONES

En este artículo se presentó un enfoque para el diseño de una red de distribución considerando la incertidumbre en el abastecimiento la cual es una condición que se encuentra presente en la cadena de suministro agroalimentaria.

Mediante la aplicación de modelos de optimización es posible mejorar la toma de decisiones considerando diversas restricciones como el rendimiento en las cosechas. En lo particular para el diseño de redes de distribución un elemento clave son los costos logísticos por lo que través de estos modelos se busca encontrar las mejores condiciones para el abastecimiento en términos económicos. Con este estudio se determinó el costo mínimo para el diseño de una red de distribución evaluando los diferentes escenarios en los rendimientos en la cosecha.

A través del modelado basado en un enfoque en el que se incluyen diferentes escenarios de producción es posible evaluar la factibilidad del diseño propuesto con base en diferentes combinaciones. Como trabajos futuros se debe considerar otras variables que afecten la productividad, además de considerar otras restricciones como el decaimiento en la calidad y niveles de servicio hacia el cliente final con el propósito de integrar estos resultados en las decisiones estrategias para toda la cadena.

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores expresan su reconocimiento a la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo(UAEH), Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla (UPAEP), Universidad Panamericana (UP) y el Programa de Mejoramiento al Profesorado(PRODEP) por el apoyo otorgado para la realización de esta investigación.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Akkerman R., Farahani, P. y Grunow, M. (2010). Quality, safety and sustainability in food distribution: a review of quantitative operations management approaches and challenges. *Or Spectrum*, 32(1), 863-904.
- A.T. Kearney. (2012). Encuesta de evaluación del desempeño de la cadena de suministro agroalimentaria en México. Secretaría de Economía. México.
- Badole C.M., Jain, R., Rathore, A.P.S. y Nepal, B. (2012). Research and Opportunities in Supply Chain Modeling: A Review. *Int. J. Sup. Chain. Mgt*, 1(3), 63-86.
- Boudahri F., Sari, Z., Maliki, F. y Bennehrouf, M. (2011). Communications, Design and optimization of the supply chain of agri-food: Application distribution network of chicken meat. *International Conference on Computing and Control Applications. Hammamet IEEE*, 1-6.
- Blackburn J. y Scudder, G. (2009) Supply chain strategies for perishable products: the case of fresh produce. *Product Oper Manage*, 18(2), 129–137.
- De Keizer, M., Haijema, R.J., Bloemhof, M. y Van der Vorst, J.G.A.J. (2015). Hybrid optimization and simulation to design a logistics network for distributing perishable products. *Computers and Industrial Engineering*, 88, 26-38.
- Granillo, Macias, R., Olivares, E. y Santana, F. (2016). Herramientas para la integración logística bajo el enfoque de cadena de suministro agroalimentaria. *Global Conference on Business and Finance Proceedings*, 11, 1466-1473. Costa Rica: IBFR.
- INIFAP. Instituto Nacional de Investigaciones, Forestales, Agrícolas y Pecuarias. (2012). *Costos Cebada*.

- Instituto Mexicano para la Competitividad A.C. (2015). *La corrupción en México: Transamos y no avanzamos*. México: IMCO.
- Köksalan M., Süral, H. y Özpeynirci, S. (2012). Network Redesign in Turkey: The Supply Production, and Distribution of Malt and Beer. In Bookbinder, J. H. (ed). *Handbook of Global Logistics*. Springer, New York.
- Mason, N., Flores, H., Villalobos, R., y Ahumada, O. (2015). Planning the Planting, Harvest, and Distribution of Fresh Horticultural Products. In *Handbook of Operations Research in Agriculture and the Agri-Food Industry*, editor Lluís Plá-Aragonés, pp. 19-54. New York: Springer.
- Moreno, Q. E., y De la Torre, R. E. (2011). *Indicadores Económicos en el Autotransporte Federal de Carga*. Sanfandila, Queretaro: Instituto Mexicano del Transporte - Secretaría de Comunicaciones y Transportes.
- Rong, A. Y., y Grunow, M. (2010). A methodology for controlling dispersion in food production and distribution, *Or Spectrum*, 32 (4), 957-978.
- Santana Robles F., y Granillo Macias, R. (2014). Sistemas de Planeación Avanzada como herramienta para la planeación de una cadena de suministro agroalimentaria. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 18, 992-1003.
- SIAP, S. (2015). *Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera*. SAGARPA
- Van der Vorst, J.G.A.J., Tromp, S.O. y Van der Zee, D.J. (2009) Simulation modelling for food supply chain redesign; integrated decision making on product quality, sustainability and logistics. *Int J Product Res* 47(23), 6611–6631.
- Van der Vorst, J., y Snels, J. (2014). *Developments and needs for sustainable agro-logistics in developing countries*. The Netherlands: The World Bank Group / The Netherlands Ministry of Foreign Affairs.

## Síntesis curricular de los Autores

\* **MSc. Rafael Granillo-Macías.** [rafael.granillo@upaep.edu.mx](mailto:rafael.granillo@upaep.edu.mx) Profesor investigador en la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, licenciado en ingeniería industrial, maestro en ciencias por el Tecnológico de Monterrey Campus Estado de México y actualmente cursando el doctorado en Logística y Dirección de la Cadena de Suministro por la Universidad Popular Autónoma de Estado de Puebla. Certificado como Supply Chain Professional por APICS con experiencia profesional en el área de logística y cadena de suministro para el sector de alimentos. Su investigación se centra en la logística en cadenas de suministros agroalimentarias.

\*\* **DrC. Elías Olivares-Benítez.** [eolivares@up.edu.mx](mailto:eolivares@up.edu.mx) Profesor de la Universidad Panamericana, Campus Guadalajara. Especialista en los campos de Logística, Ingeniería Industrial e Ingeniería de Materiales. Su investigación se centra en el desarrollo de métodos de optimización computacional para resolver problemas en Logística y Manufactura, y en el uso de ciencia de datos para la Gestión de la Innovación. Licenciado en Ingeniería Metalúrgica, Maestro en Sistemas de Manufactura y Doctor en Ingeniería por el Tecnológico de Monterrey. Su principal experiencia industrial es en una empresa transnacional que produce tubos de acero sin costura para la industria del petróleo y el gas. Ha sido profesor en varias universidades privadas en México. Su investigación ha sido publicada en revistas como International Journal of Production Economics, Journal of Intelligent Manufacturing, TOP, International Journal of Industrial Engineering, Mathematical Problems in Engineering, International Transactions in Operational Research y otras revistas arbitradas. Es miembro activo de la Sociedad Mexicana de Investigación de Operaciones (SMIO).

\* **DrC. José Luis Martínez-Flores.** [joseluis.martinez01@upaep.edu.mx](mailto:joseluis.martinez01@upaep.edu.mx) Licenciado en Matemáticas, Maestro en Ciencias de la Administración y Doctor en Ingeniería por la Universidad Autónoma de Nuevo León. Ha sido profesor-investigador y coordinador académico del Posgrado en Ingeniería de Sistemas (PISIS) en la Universidad Autónoma de Nuevo León (1996-1999), así como profesor de planta en el Departamento de Ingeniería Industrial y de Sistemas del ITESM Campus Monterrey (1999-2006). Desde 2006, es profesor-investigador y Director Académico del Posgrado en Logística y Dirección de la Cadena de Suministro de la UPAEP. En 2013 obtuvo el Premio Nacional de Logística y actualmente es miembro del Sistema Nacional de Investigadores Nivel I. Sus áreas de investigación están relacionadas con el Diseño y Optimización de Cadenas de Suministro, Distribución de Productos, Ubicación de Plantas Productivas y Centros de Distribución, Procesos Logísticos en Cadenas de Suministro.



\* **DrC. Santiago Omar Caballero-Morales**, [santiagomar.caballero@upaep.mx](mailto:santiagomar.caballero@upaep.mx), profesor-investigador a tiempo completo en la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla (UPAEP, México). Principales áreas de investigación: reconocimiento automático de voz para idiomas nativos, traducción de voz, interacción multimodal hombre-robot, logística, investigación de operaciones, análisis y simulación de procesos industriales, optimización combinatoria, planificación de transporte, control de calidad estadística, gestión de inventario. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI, México).

### **Institución de los autores**

Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla. \*

Universidad Panamericana, Campus Guadalajara. \*\*

**Fecha de Recepción:** 05 de agosto 2016

**Fecha de Aprobación:** 29 de septiembre 2017

**Fecha de Publicación:** 31 de octubre 2017