

# Diseño de una plataforma logística para productos agrícolas en Panamá

## Design of a logistic platform for agricultural products in Panama

Humberto R. Álvarez<sup>1,3</sup>, Andrés Orozco<sup>2</sup>, Nuvia Martez<sup>3</sup>, José Manuel Castellón<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería Industrial, Universidad Tecnológica de Panamá, <sup>2</sup>Universidad Marítima Internacional de Panamá, <sup>3</sup>Centro de Investigación e Innovación Eléctrica, Mecánica y de la Industria

[humberto.alvarez@utp.ac.pa](mailto:humberto.alvarez@utp.ac.pa), [aorozco@umip.ac.pa](mailto:aorozco@umip.ac.pa), [nuvia.martez@utp.ac.pa](mailto:nuvia.martez@utp.ac.pa), [josemanuelcastrellon@yahoo.com](mailto:josemanuelcastrellon@yahoo.com)

**Resumen**– Uno de los mayores retos del sector agrícola es el de fortalecer los eslabones más débiles de la cadena agrícola. El objetivo de este proyecto, financiado por la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación de Panamá, fue el modelar matemáticamente, por primera vez, la cadena de suministros de productos agrícolas, y proponer políticas para una plataforma logística que optimice la distribución de estos productos en el país. Específicamente, se modeló la cadena de distribución de la lechuga, donde se desarrolló un modelo matemático que permitió proponer decisiones con respecto al volumen de lechuga a mover a los diferentes mercados y del tipo de vehículo utilizado. Se realizó un análisis de costos para entender las implicaciones para los diferentes elementos de la cadena de suministros. Finalmente, se presenta una propuesta para centros de distribución en función a diferentes escenarios.

**Palabras claves**– Plataforma logística, modelo matemático, optimización, cadena de suministros agrícola, centros de distribución.

**Abstract**– One of the main challenges of the agricultural sector in Panama is to fortify the weak links that can be found in the agricultural supply chain. The objective of this project, funded by the National Secretariat of Science, Technology and Innovation of Panama, was to model, for the first time, the supply chain of agricultural products, and to design and propose the corresponding policies for the logistic platform that would optimize distribution of agricultural products in the country. Specifically lettuce was used as the main product for the analysis, and an optimization model was developed in order to propose decisions, not only with respect to volume distributed to the different markets, but also with respect of the type of vehicle used. A cost analysis was performed in order to study the implications for the different elements of the supply chain. Finally, a decision for a new distribution center was made for different scenarios.

**Keywords**– Logistic platform, mathematical model, optimization, agricultural supply chain, distribution centers.

**Tipo de Artículo:** Original

**Fecha de Recepción:** 4 de marzo de 2016

**Fecha de Aceptación:** 11 de octubre de 2016

### 1. Introducción

Panamá ha sido siempre un punto central en la logística y transporte en el continente americano. Proyectos tales como la expansión del Canal de Panamá, la Zona Económica Especial Panamá Pacífico, la Zona Libre de Colón, el Aeropuerto de Tocumen, los puertos panameños y otros más, son una muestra de esto.

Por otro lado, hay una falta de estudios formales sobre la logística interna del país, en especial del sector

agrícola. Según la Contraloría General de la República [1] la agricultura y otras actividades conexas son las principales fuentes de empleo en las zonas rurales del país. Este sector representa cerca del 20% del total de la mano de obra empleada, pero sólo el 3% del PIB. La falta de modelos de análisis y optimización de la cadena agrícola interna puede ser una de las razones por la que no se puede entender claramente el origen de este problema.

El objetivo de este trabajo es el de presentar un modelo matemático que represente tanto el comportamiento de la cadena de suministro agrícola, como ser una herramienta de análisis y toma de decisiones que apoye el desarrollo de políticas de transporte a través de la optimización en el uso de diferentes medios terrestres de transporte.

El modelo presentado es el principal resultado de un proyecto de investigación financiado por la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación de la República de Panamá [2], [3], [4] que tuvo como objetivo el estudio de la red de distribución interna de los productos agrícolas y presentar escenarios que permitieran decidir sobre la ubicación óptima de una o varias plataformas logísticas (“hubs”) que permitan la distribución a menor costo de los diferentes productos en el mercado panameño. El resto de este documento presenta una breve revisión del estado del arte en este tema, la metodología utilizada y alguno de los principales resultados obtenidos.

## 2. Revisión de literatura

Boudahri [5] define el término cadenas de suministro agroalimentario (CSA) para describir las actividades desde la producción hasta la distribución final de productos agrícolas u hortícolas. Dichas cadenas están formadas por los agricultores, distribuidores, procesadores, comercializadores y consumidores finales de productos agrícolas.

El estudio de los sistemas de distribución de alimentos se convierte en un punto importante en la gestión de la cadena de suministro agroalimentario por varias razones. En primer lugar, la escasez de alimentos se vuelve crítica hoy en día debido al cambio climático. Por ejemplo, debido a la sequía que actualmente se sufre en los Estados Unidos y Rusia, o constantes inundaciones en Colombia, México, América Central y Europa Central y del Sur, los rendimientos en los cultivos y del ganado están disminuyendo. Por lo tanto, el costo de los alimentos está aumentando.

La logística agrícola es de interés [6] ya que las personas necesitan alimentos accesibles y seguros, en términos de disponibilidad, los efectos en la salud y los costos, convirtiéndose en una cuestión estratégica para los gobiernos. Así, aspectos como la conectividad y transporte de productos se convierten en elementos prioritarios para la CSA. Adicionalmente, el tema es de interés para investigadores y académicos [7], ya que se

busca optimizar la ubicación y diseño de centros de distribución a fin de optimizar la distribución de alimentos, en especial en cuanto a costos.

La distribución de productos agrícolas entre diferentes puntos implica considerar aspectos relacionados con la vida de los productos agrícolas, la complejidad de las cadenas logísticas, la existencia de diferentes operadores de transporte, la necesidad de mantener la cadena de frío a fin de mantener la integridad, inocuidad y calidad de los productos [5] [8] el estudio de las redes de distribución, a fin de abordar los diferentes problemas existentes entre los diferentes componentes de la cadena de suministros, entre ellos los sistemas de transporte y distribución [7], considerando que las redes de distribución pueden ser de un origen a un destino, de un origen a muchos destinos o múltiples orígenes y destinos que utilizan centros de trasbordo, a fin de encontrar modelos que permitan resolver estos problemas de manera óptima.

Así, el tipo del producto, medio de transporte y puntos de demanda definen diferentes tipos de redes [9], donde los costos asociados al transporte de productos agrícolas representan un porcentaje bastante alto del costo final [10], lo que puede representar entre el 20 y 30% del costo final del producto [8] [10].

En la literatura se han encontrado estudios relacionados con la optimización de la CSA. Por ejemplo, en [5] se presenta un modelo para la planificación de la distribución de la cadena de suministro de carne de pollo en Tlemcen, Argelia. El autor aplicó el modelo de problema de Asignación a fin de redefinir la cadena de tal manera que se minimizara la distancia recorrida por los clientes para llegar a los centros de distribución del producto. Además, en [6] se presenta un modelo para el análisis de un sistema de centros de distribución a través de una red unida a los sitios de producción. Se utilizó programación mixta para minimizar el costo total de la red, incluyendo costos de transporte, bienes e infraestructura.

Adicionalmente, en la literatura [11] se presenta un modelo de decisión basado en programación lineal a fin de determinar las políticas de empaque y distribución de productos congelados en Colombia. Por otra parte, [12] se enfoca el análisis en un modelo de optimización de la distribución y ruteo de vehículos para productos frescos.

Finalmente, diferentes autores presentan otras aplicaciones utilizando modelado y simulación de productos agrícolas ([13], [14], [15], [16], [17], [18]),

donde analizan y comparan diferentes modelos y su aplicación en diferentes contextos y productos.

### 3. Descripción del problema

La Provincia de Chiriquí provee cerca del 80% de las legumbres y vegetales que se consumen en la República de Panamá [19]. Por otra parte, la Provincia de Panamá, en especial la Ciudad de Panamá con cerca del 50% de la población nacional, consume más del 60% de estos productos. Adicionalmente, es necesario distribuir estos productos al resto de las provincias, tal y como se ve en la figura 1.

Como se ve en la referida figura, los productos son transportados desde tierras altas de Chiriquí (Cerro Punta y Boquete) a los diferentes centros de población y distribución. Estos puntos son la Ciudad de David, donde se distribuyen los productos al resto de la provincia y a la Provincia Bocas del Toro; la Ciudad de Santiago, donde se distribuye al resto de la provincia, a la región de Azuero y a Coclé.



Figura 1. Rutas de distribución de vegetales de tierras altas [2].

Adicionalmente, existen rutas exclusivas que llevan el producto desde los centros de producción al Mercado de Abastos de la Ciudad de Panamá, de donde se distribuye no solo en la región metropolitana, sino a las provincias de Panamá Oeste, Colón y Darién. Esta distribución se hace en tres tipos de vehículos a saber: “pick ups”, camiones y “trailers” o mulas, vehículos que se utilizan de acuerdo al costo, capacidad, disponibilidad y preferencias del productor.



Figura 2. Modalidades en el transporte de vegetales.

En la figura 2, es posible apreciar algunas de estas modalidades, que no siempre cumplen con las normas existentes de transporte y conservación de alimentos.

De acuerdo a la Secretaría de la Cadena de Frío [19], la interface entre los productores, supermercados o mercados públicos está monopolizada por intermediarios, que son transportistas que brindan el servicio de carga o que compran en el sitio de producción y revenden en los puntos finales, lo que aumenta el costo final del producto. Estos transportistas mueven o revenden cerca del 60% de la producción local de vegetales, mientras el 40% es transportado por empresas privadas que tienen su propia CSA.

El objetivo de este Proyecto es el de presentar un modelo de optimización que ayude a encontrar no solamente el costo mínimo de satisfacer la demanda de productos considerando la oferta existente, sino proponer la asignación óptima de vehículos que permita la distribución óptima de productos. Adicionalmente se pretende analizar diferentes escenarios de tal manera que se pueda proponer la ubicación óptima de una, o varias, plataformas logísticas que permita la distribución óptima de productos a los diferentes mercados. No se ha encontrado en la literatura un estudio similar conducido en la República de Panamá.

### 4. Descripción del modelo matemático

A fin de proponer un modelo matemático que permita resolver el problema propuesto, se definen una serie de supuestos que se explican a continuación:

- Solamente se estudiará la lechuga en este momento. Se seleccionó este producto por recomendación de la Secretaría Nacional de la Cadena de Frío.
- La oferta y la demanda en diferentes fuentes y destinos se considerará semanal.
- No se considerará inventario en los puntos intermedios.
- Solamente se considerarán los tres tipos de vehículos mencionados.
- Toda la información referente a costos, oferta, demanda y disponibilidad de vehículos es conocida.
- La carga unitaria será la caja de 40 lbs. (18 kg) de lechuga.
- No se considerarán los tiempos de carga y descarga de los vehículos, así como las mermas en cosecha.
- Los costos se pueden dividir en dos grandes rubros: los costos de transporte por caja, que incluyen los costos de producción y manejo y los costos

relacionados con combustible, operaciones y depreciación.

- El precio de la caja no está considerado en el análisis ya que depende del distribuidor en el centro final de ventas.
- Aunque no hay limitaciones en la disponibilidad de vehículos en los puntos de origen, se requiere tener un mínimo de ellos.
- El modelo no incluye cambios en volumen por temporada.

A fin de desarrollar el modelo, se utilizó el enfoque de Redes de Flujo de Costo Mínimo [20]. Sea una red genérica  $G$  definida por  $G = (V, A)$ , donde  $V$  es el conjunto de vértices representando los centros de producción, distribución o mercados finales y  $A$  los arcos que conectan estos centros. Cada arco puede ser definido en función a un par de índices  $i, j$  indicando el origen y destino de cada uno. A su vez, cada arco puede tener un costo de transporte asociado y una capacidad.

Sea  $x_{i,j}$  la cantidad de producto (cajas de lechuga) enviada del punto  $i$  al punto  $j$ . Adicionalmente, considere  $y_{i,j}^{(k)}$  la cantidad de vehículos  $k$  utilizados para transportar el producto desde el punto  $i$  al punto  $j$ .

Sea además  $c_{i,j}$  el costo de mover una caja de  $i$  a  $j$  y  $b_{i,j}^{(k)}$  el costo de mover un vehículo  $k$  del punto  $i$  a  $j$ . Adicionalmente, considere los puntos de distribución o trasbordo  $l$  que se considerarán para definir la política de transporte del sistema logístico que se recomendará.

El objetivo del modelo es el de optimizar la cantidad de producto enviado desde los puntos de producción a los mercados finales y la cantidad y tipo óptimo de vehículos utilizados para cumplir con la política de distribución.

Considérense los siguientes parámetros:

- $Z$  : Costo total óptimo de la política de transporte.
- $N_i^{(k)}$  : Cantidad de vehículos tipo  $k$  disponibles en el punto  $i$ .
- $A^{(k)}$  : Capacidad de carga del vehículo tipo  $k$  en término de cajas de 40 lbs.
- $S_i$  : Oferta semanal en el punto  $i$ .
- $D_j$  : Demanda semanal en el punto  $j$ .
- $W_l$  : Capacidad semanal de los puntos de trasbordo  $l$ .
- $M$  : Número de orígenes.
- $N$  : Número de destinos.
- $L$  : Número de centros de distribución.
- $K$  : Tipo de vehículos.

El modelo se describe a continuación:

- La función objetivo es:

$$\text{Min } Z = \sum_i \sum_j c_{i,j} x_{i,j} + \sum_i \sum_j \sum_k b_{i,j}^{(k)} y_{i,j}^{(k)} \quad (1)$$

Sujeto a:

- Capacidad semanal de las fuentes o centros de producción:

$$\sum_i x_{i,j} \leq S_i \quad \forall j \quad (2)$$

Esta restricción requiere que los diferentes centros de producción envíen cuanto más su capacidad de producción, o sea, el límite superior de la política de distribución es equivalente a la capacidad de producción de las fuentes.

- Demanda semanal de los puntos de destino:

$$\sum_j x_{i,j} \geq D_i \quad \forall i \quad (3)$$

Para cada destino final, la cantidad enviada no debe ser menor que la demanda estimada.

- No hay inventario en los puntos de trasbordo o distribución:

$$\sum_l x_{i,l} = \sum_l x_{l,i} \quad \forall i \quad (4)$$

Debido al poco tiempo de vida de la lechuga, no se permitirán inventarios en los diferentes puntos de origen, destino ni distribución.

- Capacidad semanal de los puntos de distribución:

$$\sum_i x_{i,l} = W_l \quad \forall l \quad (5)$$

Cada centro de distribución tiene una capacidad de almacenamiento que debe satisfacerse para poder cumplir con la política de envío.

- Disponibilidad semanal de los vehículos:

$$\sum_k \sum_j y_{i,j}^{(k)} \leq N_i^{(k)} \quad \forall k, j \quad (6)$$

La cantidad de vehículos utilizados en cada punto de envío debe ser menor o igual a la cantidad disponible de cada uno de ellos.

- Capacidad semanal de transporte de los vehículos:

$$\sum_j A^{(k)} y_{i,j}^{(k)} - \sum_j x_{i,j} \geq 0 \quad (7)$$

En cada centro de envío, la capacidad de los vehículos disponibles debe ser mayor a la cantidad de producto a enviar a los diferentes puntos de destino.

- Todas las variables son enteras, no se permiten fracciones de caja o fracciones de vehículos.

## 5. Resultados obtenidos y discusión

A fin de levantar los datos necesarios para definir el contexto del modelo y encontrar la solución del mismo, estudiantes de los programas de Logística y Transporte Multimodal e Ingeniería Industrial de diferentes sedes de la Universidad Tecnológica de Panamá (UTP), junto a estudiantes del Programa de dual UTP – Georgia Institute of Technology de Maestría en Ingeniería de la Cadena de Suministros y del programa de Maestría en Transporte y Logística Internacional de la Universidad Marítima Internacional de Panamá (UMIP) reunieron la información preliminar en la Ciudad de Panamá y en varios lugares de todo el país con el fin de conocer la situación y comprender el comportamiento de la distribución de las lechugas, papas, tomates y cebollas en estos puntos.

La información de estas fuentes se recogió a través de entrevistas y cuestionarios aplicados a un grupo de actores que fueron seleccionados más por conveniencia que por la selección al azar. Se recogieron datos tales como los costos de transporte, costos de operación, la disponibilidad de vehículos, la capacidad de producción, la demanda del mercado, almacenes y capacidades de distribución.

Adicionalmente, se utilizó información de la Secretaría Nacional de la Cadena de Frío y del Instituto de Mercadeo Agropecuario [19] lo que permitió a los investigadores obtener datos de producción. Por otra parte, los datos obtenidos de estas organizaciones ayudaron a los investigadores a comparar esta información con la recogida de los proveedores y los consumidores, ya que la misma no era similar para las diferentes fuentes.

Las tablas 1 y 2 muestran los principales datos del problema, mientras la Tabla 3 muestra un resumen de la solución óptima, la cual se encontró utilizando el *software* MPL® [21].

**Tabla 1.** Información relevante para el caso

	Pick up	Camión	Trailer
Capacidad, en cajas, de los vehículos	35	75	250
Costo de Combustible, por viaje	\$ 70.00	\$ 100.00	\$ 600.00
Costo de transporte, por caja	\$ 1.25	\$ 1.25	\$ 1.25
Costo de empaque, por caja	\$ 1.75	\$ 1.75	\$ 1.75
Costo de manejo, por caja	\$ 0.05	\$ 0.05	\$ 0.05
Costo de mano de hora, por embarque	\$ 25.00	\$ 25.00	\$ 25.00
Costo operativo por viaje	\$ 95.00	\$ 125.00	\$ 625.00

**Tabla 2.** Demanda mensual de cajas de lechuga

David	2,000
Santiago	1,850
Chitré	1,300
Las Tablas	500
Aguadulce	550
Penonomé	650
Chorrera	2,100
Arraiján	2,000
Ciudad de Panamá	6,000
San Miguelito	1,800
Colón	2,300
Total	21,050

**Tabla 3.** Solución óptima

Costo total	\$ 19,442.50
Para distribuir 5, 264 cajas semanales a todo el país	
Costo de transporte	\$ 11,147.50
Costo de vehículos	\$ 8,295.00
Vehículos utilizados	
23 Pick-ups	
36 Camiones	
10 Tráileres	

El resultado óptimo mostrado en la tabla 3 muestra que la política óptima de distribución de lechugas consiste en enviar 5,264 cajas a la semana a los diferentes puntos de demanda a un costo total de

\$19,442.50. Para lograr dicho objetivo se utilizarán 23 *pick-ups*, 36 camiones y 10 tráileres a un costo total de \$8,295.

El modelo considera que la demanda total será satisfecha enviando todo el suministro desde los puntos de producción, tomando en cuenta que los productos serán enviados a los puntos intermedios de Santiago y Mercado de Abastos, de donde se distribuirán a los consumidores finales.

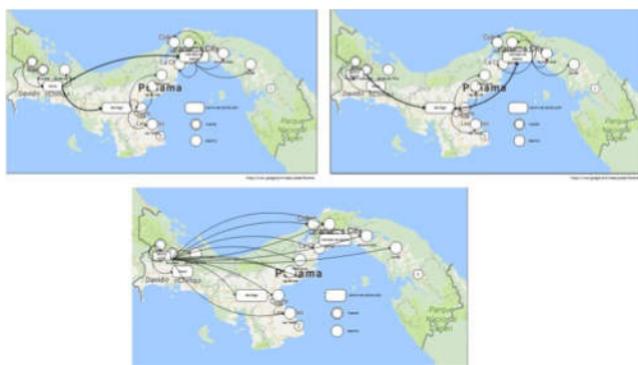
Adicionalmente, el modelo sugiere la cantidad óptima de vehículos necesarios para cumplir con la política de distribución óptima. Estos vehículos satisfacen no solamente la demanda existente, sino también la cantidad disponible de vehículos en los diferentes puntos de distribución. El modelo propone el uso de equipos pequeños para distancias cortas, mientras que los vehículos más grandes para distancias y demandas mayores, aprovechando así el concepto de economía de escalas.

Hay que recordar que el modelo supone solamente el transporte de lechuga, por lo que los vehículos no comparten espacio con otros productos.

Una vez que el modelo fue ejecutado, fue posible desarrollar un análisis de costos. Como se muestra en la tabla 4, cerca del 31% de los costos están relacionados con el transporte del producto, lo que confirma el hecho de la influencia de los intermediarios en el costo final de los productos agrícolas en Panamá.

**Tabla 4.** Análisis de costos de la política de envíos

Precio promedio por caja	\$ 12.00
Total de cajas enviadas	5,264
Valor total del envío	\$ 63,168.00
Costos de transportes	\$ 19,442.50
Fracción del valor total	30.80%



**Figura 3.** Escenarios para diferentes plataformas logísticas [4].

Finalmente, se ensayaron diferentes ubicaciones para las posibles plataformas logísticas. La figura 3 [4] muestra las diferentes iteraciones, bajo escenarios de producción y distribución diferentes.

A través del modelo se pudo determinar que la localización de la plataforma logística cerca del mercado central (o en ella) disminuiría los costos de logística cerca de 4%. Este porcentaje puede ser mejorado si se incorporan otras áreas de producción y se aplican mejores políticas de transporte por los productores. Con las políticas correctas, los costos pueden disminuir, desde el actual 31%, hasta un 12%, por lo que es necesario que los productores, transportistas y el gobierno definan políticas conjuntas que garanticen no sólo la disponibilidad de alimentos, sino también a un costo accesible para los consumidores.

## 6. Conclusiones y trabajo futuro

El modelo desarrollado permitió generar una solución con una política óptima de distribución y uso de equipos. El uso de equipos de diferentes tamaños y las cantidades movidas entre los diferentes puntos de la red están ligados a los diferentes costos y capacidades definidos.

La política óptima, aunque ideal, no es realista ya que supone que los transportes van llenos de lechuga, cosa que no es cierta ya que estos equipos llevan una combinación de productos, y no necesariamente vienen llenos.

De los resultados obtenidos es posible concluir que cualquier política de distribución debe tomar en cuenta no solamente la oferta y demanda de los productos. También se debe tomar en cuenta las facilidades de almacenamiento y distribución, así como los equipos utilizados para movilizar los productos.

Es importante mencionar que la falta de información relativa a la demanda y oferta de productos agrícolas es una limitante real. No hay realmente información confiable en las fuentes oficiales o no oficiales existentes. Así, se hace muy difícil obtener soluciones reales aplicables a una política nacional de distribución de productos y alimentos en Panamá. La incongruencia entre la información encontrada en diferentes fuentes hace muy difícil validar los resultados del modelo, aunque permite dar una idea del comportamiento del sistema logístico de alimentos en Panamá.

Es esencial que las diferentes organizaciones involucradas en la cadena agroalimentaria trabajen de manera coordinada y compartan información, tecnología y recursos de tal manera que la cadena se mantenga de manera efectiva para productores, distribuidores y consumidores finales.

Como trabajo futuro, es necesario ampliar el modelo utilizando más productos, lo que hace que el modelo se comporte como un modelo de flujo de productos múltiples [20] el cual se hace más complicado al adicionar una mayor cantidad de productos y adicionalmente considerando que además de minimizar el costo de transporte y distribución se buscaría maximizar el valor de cada embarque de productos. Por lo anterior, el problema se convierte en un problema de objetivo múltiple de flujo mínimo con múltiples productos, con asignación de equipos de transporte.

## 7. Agradecimiento

Los autores quieren agradecer a la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación de la República de Panamá, por el apoyo a la realización de este trabajo de investigación gracias al financiamiento a través del Proyecto FID-069 "Diseño de una plataforma logística a través de la optimización de redes de distribución para el sector agrícola."

## 8. Referencias

- [1] Contraloría General de la República de Panamá, «Principales indicadores económicos de la República de Panamá», [www.contraloria.gob.pa](http://www.contraloria.gob.pa), Accesado el 14 de junio de 2015, 2014.
- [2] H. Álvarez y A. Orozco, «Modeling a distribution network of agricultural products in Panama,» de *Proceedings of the Industrial and Systems Engineering Research Conference*, San Juan, Puerto Rico, Institute of Industrial Engineering, 2013, pp. CD-Published.
- [3] H. Álvarez, A. Orozco y N. Martez, «Design of a logistic platform through the optimization of agricultural distribution networks in Panama,» de *Proceedings of the 17th International Conference on Harbor, Maritime and Multimodal Logistics Modeling and Simulation*, Bergeggi, Italy, I3M, September 21-23, 2015.
- [4] A. Orozco, Diseño de una plataforma logística a través de la Optimización de Redes de Distribución para el Sector Agrícola, Tesis de Maestría: Universidad Marítima Internacional de Panamá, 2014.
- [5] F. Boudahri, J. Bannekrouf, F. Belkaid y Z. Sari, «Application of a Capacitated Center Clustering Problem for Design of Agricultural Supply Chain Network,» *International Journal of Computer Science Issues*, vol. 9, nº 4, pp. 1694-1714, 2012.
- [6] H. Etemadnia, «Optimal wholesale facilities within the fruit and vegetables supply chain with bimodal transportation options: An LP-MIP heuristic approach,» *European Journal of Operations Research*, nº 244, pp. 648-661, 2015.
- [7] C. Daganzo, *Logistics Systems Analysis*, Springer-Verlag: Nueva York, Estados Unidos., 1992.
- [8] D. Tan, «Developing Agricultural Products Logistics in China from the Perspective of Green Supply Chain,» *International Journal of Business and Management*, vol. 7, nº 21, pp. 106-112, 2012.
- [9] M. Estrada, Análisis de estrategias eficientes en la logística de distribución de paquetería, Disertación Doctoral: Universidad Politécnica de Cataluña, 2007.
- [10] D. Agra, Localización de centros de intercambio modal y plataformas logísticas., Tesis de Maestría: Universidad Politécnica de Cataluña, 2008.
- [11] G. Mejía y E. Castro, «Logistics Optimization in a Colombian Frozen and Refrigerated Foods Company,» *Revista de Ingeniería de la Universidad de los Andes, Bogotá, Colombi*, nº 26, pp. 47-54, 2007.
- [12] S. Zhang, Q. Hu y D. Wang, «Research of Fresh Agricultural Products Logistics Vehicle Optimization,» *International Journal of Intelligent Information Processing*, vol. 2, nº 2, pp. 45-58, 2011.
- [13] A. Weintraub y C. .. Romero, «Operations Research Models and the Management of Agricultural and Forestry Resources: A Review and Comparison,» *Interfaces*, vol. 36, nº 5, pp. 446-457, 2006.
- [14] G. Brinza, «Simulation and optimization in Supply Chain,» *Procedia Economics and Finance*, vol. 3, pp. 635-641., 2012.
- [15] Y. R. Perdana, «Logistics Information System for Supply Chain of Agricultural Commodity,» *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 65, pp. 608-613, 2012.
- [16] K. Piewthongngam, «Systems dynamics modelling of an integrated pig production supply chain,» *Biosystems Engineering*, nº 127, pp. 24-40., 2015.
- [17] W. Jan y K. Klein, «Supply Chain Models for Small Agricultural Enterprises,» *Annals of Operations Research*, vol. 190, nº 1, pp. 359-374, 2011.
- [18] P. Jones, T. Lowe, R. Traub y K. G., «Matching Supply and Demand: The Value of a Second Chance in Producing Hybrid Seed Corn,» *Manufacturing and Service Operations Management*, vol. 3, nº 2, pp. 122-137, 2001.
- [19] Secretaría Nacional de la Cadena de Frío de la República de Panamá, Información estadística, Available at <http://www.cadenadefrio.gob.pa>: Accessed on June 14, 2015., 2012.
- [20] M. Bazaraa, J. Jarvis y H. Sherali, *Linear Programming and*

Network Flows, Nueva York, Estados Unidos: Wiley Interscience, 2005.

[21] Maximal Software Corporation, *MPL Modeling Systems*, Release 4.2d, 2004.