

EL DECAIMIENTO DE LA CALIDAD COMO ELEMENTO PARA EL DISEÑO DE CADENAS DE SUMINISTROS AGROALIMENTARIAS

Granillo Macías Rafael¹, Olivares Benítez Elías², Martínez Flores José Luis³,

Santana Robles Francisca¹, González Hernández Isidro Jesús¹.

RESUMEN

El conservar la calidad a lo largo de la cadena de suministro agroalimentaria es un aspecto fundamental que identifica, hace única y diferente de cualquier otro tipo de cadena, de esta forma los modelos para la optimización y el diseño de redes logísticas se han enfocado recientemente en la evaluación e integración de funciones para el decaimiento de la calidad que permitan mejorar la planeación y la toma de decisiones. En este artículo se analizan algunos aspectos relevantes y propuesta para evaluar el decaimiento de la calidad como parte del diseño de redes en donde los productos de origen agroindustrial enfrentan generalmente variaciones en su calidad ocasionada por la dinámica y condiciones naturales bajo las cuales son producidos.

Palabras clave: decaimiento de la calidad, cadena de suministro, logística

ABSTRACT

The preservation of quality throughout the food supply chain is a fundamental aspect that identifies and makes unique and different from any other type of chain. In this way the models for the optimization and the design of logistical networks have recently focused on The evaluation and integration of functions for the decay of the quality that allow to improve the planning and the decision making. In this paper we analyze some relevant aspects and proposal to evaluate the decay of quality as part of the network design in which products of agro-industrial origin generally face variations in quality caused by the dynamics and natural conditions under which they are produced

Keywords: quality decay, supply chain, logistic

¹ Profesor-Investigador en la Escuela Superior de Ciudad Sahagún de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Hidalgo, México.

² Profesor-Investigador en la Facultad de Ingeniería en la Universidad Panamericana, Guadalajara, México.

³ Profesor-Investigador en la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, Puebla, México.

1. INTRODUCCIÓN

Los aspectos de calidad y la seguridad alimentaria dentro de una cadena de suministro agroalimentaria (AFSC, por sus siglas en inglés) representan factores esenciales para el diseño de los diferentes procesos y funciones logística. En la particularidad de esta cadena de suministro existe alta incertidumbre en la calidad que se entrega hacia el cliente por lo que la logística asume un rol importante para asegurar las condiciones más favorables para conservar las características esenciales del producto (color, sabor, aspecto físico) a lo largo de los diferentes procesos que cubren desde las funciones de producción, el abastecimiento, almacenaje, distribución y entrega hacia el consumidor. La producción agroalimentaria es realizada generalmente en redes complejas en donde el principal factor que afecta el comportamiento de la calidad es la temperatura y el tiempo (Fritz y Schiefer, 2008).

2. ANTECEDENTES

La logística dentro de la AFSC incluye procesos desde el servicio al cliente, las operaciones de transporte, el almacenamiento, 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. En este sentido y en la particularidad de esta cadena de suministro, la dinámica con la que disminuye la calidad de los productos agroalimentarios representa un factor importante que influye en las estrategias para el abastecimiento y distribución derivado principalmente del limitado tiempo de vida de estos. Así, por ejemplo, para el diseño de la distribución de productos como la carne fresca o vegetales, se requiere analizar entre otros aspectos las condiciones para el traslado y manejo, las restricciones en el tiempo de abastecimiento, las condiciones de temperatura en las que se mueven estos productos, así como las rutas óptimas para la entrega hacia el cliente.

Para el análisis de la logística en la AFSC se pueden considerar contextos como:

- Minimizar los costos totales asociados con el flujo de productos (generalmente perecederos) a lo largo de la red de distribución.
- Optimización en la eficiencia operacional de la cadena a través de las rutas con el tiempo más corto de transporte considerando aspectos en la degradación de los productos.
- Respuestas eficientes principalmente en los centros de acopio y distribución como efecto de la incertidumbre en los cambios en los niveles de la demanda y el suministro.

En general la característica de la calidad deberá considerarse como una variable susceptible de analizar dentro del diseño de la logística en la AFSC (Rong et al.,2011; Ahumada y Villalobos,2011), así, por ejemplo, en productos como vegetales o frutas la característica a considerar es el color y la apariencia física del producto, mientras que en las semillas y granos la humedad se puede considerar como una característica objetiva para definir la calidad y su posible degradación.

3. ADMINISTRACIÓN DE OPERACIONES EN LA AFSC

3.1 Factores que afecta el modelado de la AFSC

Dentro de las cadenas de suministros agroalimentarias, condiciones como la dispersión geográfica de los centros de producción, los patrones de producción dependientes del clima y la estacionalidad son características que determinan el diseño y modelado de la logística, destacando que las operaciones de producción y distribución se realizan frecuentemente en redes complejas integradas por empresas multinacionales así como por pequeñas y medianas empresas (Granillo et al., 2016), otros autores como Min y Nagurney (2013) y Salin (1998) consideran otros factores para la modelación como lo son los rendimientos en la producción y cosecha, el manejo poscosecha de los cultivos, aspectos como los modos de acopio y los intermediarios a lo largo de las operaciones de abastecimiento y distribución, los medios de transporte y las pérdidas por perecibilidad, de igual forma son factores claves que determinan la eficiencia en esta cadena. Aspectos como la relaciones comerciales entre las diferentes partes involucradas (productores, acopiadores, distribuidores y procesadores) que se presentan generalmente por distribuciones asimétricas en las negociaciones son elementos que caracterizan igualmente a este sector. Aramyan et al.,(2006), Gan et al., (2011) y Tsolakis et al., (2014) señalan asimismo, que factores como las restricciones en el tiempo de vida de los insumos, los largos tiempos de procesamiento, las condiciones de estacionalidad, los efectos ocasionados por las condiciones de transporte y almacenamiento, así como las variaciones en la calidad y en la cantidad en el rendimiento de cultivos ocasionados por factores biológicos son elementos relevantes que caracterizan a las operaciones logísticas y el propio diseño de la red de estos productos agroalimentarios.

En general, las pérdidas por calidad y la incertidumbre en el suministro, son aspectos fundamentales para el diseño de estas cadenas, principalmente por los elevados costos operativos y distribución que generan estrechos márgenes de utilidades hacia los productores.

3.2 Enfoques para el modelado de una red de distribución

El diseño de una red de distribución en la AFSC tiene determinadas cualidades en diferentes partes de la cadena (Ljungberg y Gebresenbet, 2004), estas son caracterizadas por factores estacionales y patrones de producción dependientes del clima, recolección dispersa geográficamente en zonas de producción rural y requerimientos de trazabilidad. De forma particular, y desde la perspectiva de los productos perecederos es necesario considerar variables que permitan evaluar la calidad de estos dentro de la planeación de la red de distribución (Ahumanda y Villalobos, 2011), en este sentido, diversos autores plantean la necesidad de integrar dentro de los modelos para la optimización de redes, variables que evalúen el decaimiento en la calidad a lo largo de esta cadena de suministro.

3.3 Decaimiento en la calidad

Diversos autores sugieren que el decaimiento de la calidad de productos agroalimentarios en condiciones de almacenamiento depende de variables como el tiempo, la temperatura en la que se almacenan, el manejo post cosecha, las condiciones de transporte, entre otros factores.

La evaluación del decaimiento en la calidad con base en la temperatura es una condición propuesta por Rong et al. (2011) dentro de un modelo de programación lineal entera mixta (MILP, por sus siglas en inglés) en donde considera a k como la tasa de decaimiento de la calidad, k_0 un valor constante, E_a la activación de energía, R la constante de los gases y T la temperatura absoluta, esta representación matemática se muestra en [1], la cual se basa en la ecuación de Arrhenius.

$$k = k_0 * \exp\left[\frac{-E_a}{RT}\right] \quad [1]$$

Esta expresión parte de considerar que el decaimiento de la calidad depende del tiempo de almacenamiento t , temperatura de almacenaje T y diversas constantes como E_a y R , que de forma general se representa en [2].

$$\frac{dq}{dt} = kq^n \quad [2]$$

Donde q es la calidad de un producto, k la tasa de decaimiento de la calidad y n el factor de poder que se relaciona con el orden de la reacción química de decaimiento. Esta ecuación puede asumir valor para n de 0 y 1 dependiendo de los efectos en la degradación en la calidad que presente el producto durante los diferentes procesos logísticos como la cosecha, el transporte, almacenamiento o la distribución. Así por ejemplo productos perecederos como carnes o lácteos presentan una degradación de la calidad exponencial de primer orden, mientras que otros productos como granos, semillas y vegetales presentan una degradación de orden cero.

En el estudio realizado por Rong et al. (2011) ejemplifican el decaimiento en la calidad con base en el costo de almacenamiento y transporte dependiendo de la temperatura y ciertas características con las que se realizan los procesos de conservación del frío, considerando diversos niveles de calidad conforme transita el producto por múltiples periodos de tiempo que se cubren durante el transporte y el almacenamiento.

Por otro lado, De Keizer et al. (2015) proponen como variable para evaluar la calidad dentro de un modelo de MILP a la suma de temperaturas en el tiempo (TTS, por sus siglas en inglés) en el cual se considera el denominado “tiempo de vida en maceta” (VL, por sus siglas en inglés), [3] y [4] muestran estas expresiones para evaluar la calidad, en donde i es un proceso en la logística durante el cual la temperatura es constante y A como la condición inicial de la cadena de suministro.

$$TTS = \sum_i \text{tiempo}_i * \text{temperatura}_i \quad [3]$$

$$VL = A - \frac{1}{20} TTS \quad [4]$$

Ahumada y Villalobos (2011) identifican también la característica de color como variable para evaluar el decaimiento en la calidad, para lo cual proponen una distribución de clases de colores con base en [5] en donde H_{max} es el máximo color alcanzado en la madurez de un producto, H_{min} es el

mínimo color en “estado verde”, H_0 es el color durante la cosecha, t es la variable de tiempo, k es una constante que depende de la temperatura por lo que se relaciona con [1].

$$H(t) = H_{\max} + \frac{H_{\min} - H_{\max}}{1 + (e^{kt(H_{\min} - H_{\max})} (H_{\min} - H_0) / (H_0 - H_{\max}))} \quad [5]$$

Estos autores estiman el decaimiento en la calidad dentro de un modelo MILP a través de [5], considerando los cambios en el color que sufre en el tiempo los productos agroalimentarios como las frutas.

4. DECAIMIENTO DE LA CALIDAD

4.1 Efectos del decaimiento de la calidad

El efecto del decaimiento en la calidad tiene diversas implicaciones para el modelado una red de distribución, por ejemplo, en el modelo de Rong et al (2011) se muestra que para una cadena de suministro de vegetales el decaimiento en la calidad se relaciona con la temperatura, es decir, conforme aumenta el nivel de temperatura a la que está expuesto el producto, la calidad y el tiempo de vida decrece.

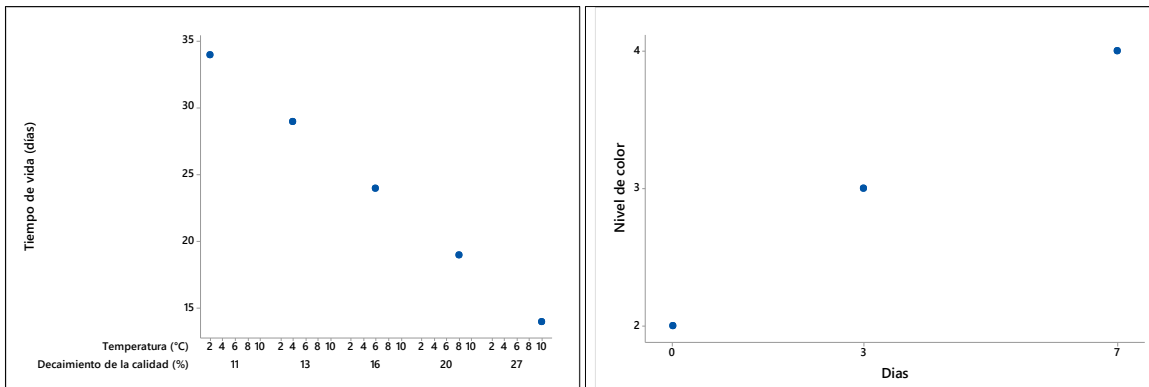


Figura 2. Efecto en el decaimiento

En productos como las flores, el decaimiento de la calidad se considera como una restricción con base en el TTS durante el flujo logístico (De Keizer et al., 2015). Otros efectos asociados se presentan en productos como granos en donde la función de decaimiento en la calidad se puede relacionar con características físicas como el porcentaje de humedad contenida en los mismos. En general las restricciones en la calidad ocasionan cierta incertidumbre en esta cadena de suministro principalmente por las penalidades o descuento como consecuencia de la degradación que sufren estos durante las diversas operaciones logísticas. Un ejemplo es la cadena de suministro de la cebada en México, en donde de acuerdo a las normas oficiales mexicanas vigentes, existe una penalidad o deducción en el precio de compra del grano si este se encuentra en un porcentaje de 14.6 a 16.5 de humedad contenida, mientras que, por otra parte, existe una bonificación en el precio si el grano se encuentra en niveles de humedad de entre el 6 y 11 por ciento.

4.2 Formulación general

Para la formulación de un modelo de diseño de red de distribución diversos autores analizan aspectos a considerar en la función objetivo como el minimizar los costos de transporte, los costos de almacenamientos, los costos asociados con la instalación de un proceso productivo, los costos de inventario, entre otros.

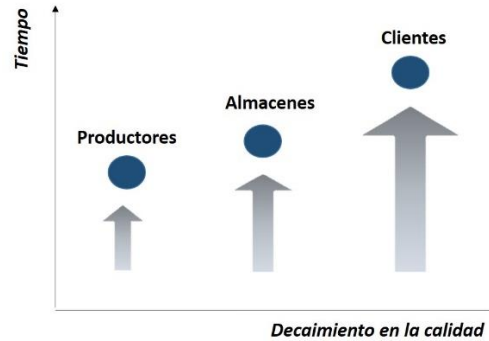


Figura 1.

En una red integrada por productores i , almacenes j y clientes k (figura 1) una función objetivo tradicional sería, por ejemplo, el minimizar los costos de transporte asociados c , en donde I, J y K representan los conjuntos formados por los productores, almacenes y clientes, donde x es la cantidad transportada entre los diferentes niveles de esta cadena [6], en este sentido una posible restricción que considere el decaimiento en la calidad podría expresarse como [7]

$$MIN \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} c_{ij} x_{ijq} + \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} c_{jk} x_{jkq} \quad [6]$$

$$\Delta q_{ij} + \Delta q_{jk} \leq \max q_k \quad [7]$$

Donde q representa el decaimiento en la calidad que sufre el producto dentro de las operaciones logísticas a lo largo de la cadena. Esta degradación Δq se especifica de acuerdo a Rong et., al (2011) como una función lineal del tiempo cuando los productos están expuestos a condiciones ambientales a una cierta temperatura. Otras posibles restricciones asociadas las presenta Ahumada y Villalobos (2011) como [8] la cual indica que la cantidad de producto cosechado Qh por el productor i depende de la producción esperada Eh y del parámetro o indicador de la calidad Qs como puede ser el color o apariencia física, de esta misma forma, la capacidad de procesamiento Ca en los almacenes j se puede expresar en [9] en donde Mg es la cantidad de producto enviado desde un productor i .

$$Qh_i = Eh_i Qs_i \quad [8]$$

$$\sum_{i \in I} Mg_{ij} Qs_i \leq Ca_j \quad [9]$$

En particular se puede incorporar diferentes características dependiendo de la cadena de suministro y de la dinámica de los productos como el costo de penalidad en la calidad el cual se incluyen en la función objetivo, restricciones de tiempo de procesamiento y de entrega entre otras variables dentro de la planeación y diseño de la red.

5. CONCLUSIONES

Los modelos de decaimiento en la calidad enfocados en el diseño de cadenas de suministro representan una útil herramienta para la toma de decisiones principalmente en las operaciones de producción y distribución, en general aspectos como la temperatura y la apariencia física de los productos son características clave que deben ser consideradas en el modelado y diseño de la red. En este trabajo se analizaron de forma breve algunas contribuciones enfocada en ciertos productos agroalimentarios, sin embargo, resulta necesario que el modelado y diseño logístico sea aplicado a diferentes tipos de productos como frutas, vegetales y semillas considerando sus propias particularidades, por lo que el decaimiento de la calidad debe ser analizado conforme a su propia naturaleza del producto que se entrega al cliente.

6. REFERENCIAS

- Ahumada O., y R. Villalobos. (2011). Operational model for planning the harvest and distribution of perishable agricultural products. *Int. J. Production Economics* 133: 677-687.
- Aramyan C., Onderstejin, O., Van Kooten, O., y Lansink, A. (2006). Performance indicators in agri-food production chains, In: *Quantifying the Agri-Food Supply Chain*. Springer.
- De Keizer, M., R. Haijema., J. M. Bloemhof., y J.G.A.J. Van der Vorst. (2015). Hybrid optimization and simulation to design a logistics network for distributing perishable products. *Computers and Industrial Engineering* 88: 26-38
- Fritz M., y G. Schiefer. (2008). Food chain management for sustainable food system development: a European research agenda. *Agribusiness* 24:440-452.
- Granillo-Macías R., F. Santana y E. Olivares. (2016). Diseño de la logística en la cadena de suministro agroalimentaria. *Boletín científico Ingenio y Conciencia* 4.
- Gan, W., Zhun, Y., y Zhang, T. (2011). On RFID Application in the tracking and tracing system of agricultural product logistics. En *Computer and Computing Technologies in Agriculture* 4: 400-407.
- Ljungberg D., y G. Gebresenbet. (2004). Mapping out the potential for coordinated goods distribution in city centres: The case of Uppsala. *International Journal of Transport Management* 2: 161-172.
- Rong A., R. Akkerman., y M. Grunow. (2011). An optimization approach for managing fresh food quality throughout the supply chain. *Int. J. Production Economics* 131: 421-429.
- Salin V. (1998). Information technology in agri-food supply chains. *International Food and Agribusiness Management Review* 3: 329-334
- Min Y., y A. Nagurney. (2013). Competitive food supply chain networks with application to fresh produce. *European Journal of Operational Research* 224: 273-282.