

## **Vendor Managed Inventory (VMI) en mipymes – Agrocadena del plátano**

### **Vendor Managed Inventory (VMI) in micro, small and medium enterprises (MSMEs) – Plantain agricultural-chain**

*Martín Darío Arango Serna<sup>1</sup>, Wilson Adarme Jaime<sup>\*2</sup>, Patricia Contreras Portilla<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Grupo I+D+I, Logística Industrial- Organizacional GICO, Universidad Nacional de Colombia, Cra 80 N.º 65-225. Medellín, Colombia

<sup>2</sup>Departamento Ingeniería de Sistemas e Industrial, Universidad Nacional de Colombia Carrera 30 N.º 45-03. Bogotá, Colombia

<sup>3</sup>Universidad Nacional de Colombia, Centro de Investigaciones para el Desarrollo - CID, Auditoria Integral Fomipyme, Calle 44 N.º 45-67. Bogotá, Colombia

(Recibido el 26 de febrero de 2010. Aceptado el 13 de abril de 2011)

#### **Resumen**

Este artículo surge como resultado de una investigación en el tema de Vendor Managed Inventory (VMI) en la cadena productiva de deshidratados de plátano, compuesta por una planta deshidratadora (proveedor) y una granja porcina (cliente), incorporando el costo de transporte del producto como parámetro integral de los costos de inventarios, con el fin de examinar las prácticas de gestión de inventarios antes y después de la implementación de VMI. Se muestra inicialmente la contextualización de la cadena en el ámbito del sector y la agroindustria del plátano en Colombia. Posteriormente, se desarrolla el modelo de coordinación de inventarios, tomando como referencia el modelo propuesto por Yao, *et al.* [1], el cual se fundamenta en el modelo de lote económico de pedido (*EOQ*). Se realiza la modelación matemática en los escenarios sin VMI y con VMI, incorporando el costo de transporte del producto al costo total del manejo de inventarios. Los resultados muestran que la adopción de VMI genera ahorros para la cadena integrada y como el costo de transporte resulta ser un elemento individual relevante en la estructura de costos logísticos de la cadena estudiada.

---

\* Autor de correspondencia: teléfono: + 57 + 1 + 316 50 00 ext. 14093, correo electrónico: wadarmej@unal.edu.co. (W. Adarme)

----- **Palabras clave:** Inventario administrado por el proveedor, integración de la cadena de suministro, coordinación, costos logísticos, agrocadena del plátano

### **Abstract**

This paper emerges as a research result of the Vendor Managed Inventory (VMI) issue to a dehydrated plantain productive chain, which is composed by a dehydrating plant (supplier) and a pig-raise farm (client), adding the product transport cost as an integral parameter to inventory cost, in order to examine the inventory process practice before and after establishing VMI. Initially a chain contextualization in the field sector and the Colombian plantain agro-industry is shown. Then, the inventory coordination model is formulated taking as reference the model proposed by Yao, et al. [1], which is based on the model of economic batch supplier order. According to the previous information, the mathematical model is then applied with VMI and without VMI, after that, the product transport cost is incorporated to the total cost of management inventory. The result shows that VMI adoption generates savings for the integrated chain and how the transport cost becomes a relevant individual element in the structure for logistics cost of the analyzed chain.

----- **Keywords:** Vendor managed inventory, supply chain integration, logistics cost, coordination, plantain agro-chain

### **Introducción**

La cadena de suministro presenta dificultades en el almacenamiento, la distribución y el acopio de los productos, debido a que los recursos y medios disponibles para estas actividades son limitados e implican altos costos de operación. Los anteriores problemas se deben fundamentalmente a la falta de coordinación entre los actores de la cadena, lo cual redundo en sobrecostos por los altos niveles de inventarios generados por demoras en los tiempos de ciclo de producción, comunicación y colocación de los pedidos [2].

Como lo menciona Vidal [3], “Las causas fundamentales para la necesidad del mantenimiento de inventarios en cualquier empresa son las fluctuaciones aleatorias de la demanda y de los tiempos de reposición (*Lead Times*). Los inventarios también surgen del desfase que existe entre la demanda de los consumidores y la producción o suministro de dichos productos”.

En la actualidad, el estudio de los problemas de abastecimiento y control de los inventarios es

una temática en constante evolución, que está siendo atendida por los investigadores mediante el planteamiento de modelos que enfocan sus esfuerzos en determinar el tamaño de lote económico de producción/pedido que satisfaga las necesidades del cliente y el proveedor, ayudando a la toma de decisiones coordinadas para la gestión de los inventarios.

Autores como Feenstra [4], Baldwin y Philippe [5], Maeersman y Voorde [6], Feenstra y Gordon [7], sostienen que el acelerado crecimiento del comercio internacional ha generado flujos de bienes que demandan altos niveles de coordinación entre diferentes países.

Según Gallardo [8], el fenómeno de la globalización dio inicio a nuevas formas de organización logística y de gestión de los flujos físicos, fortalecidas por el desarrollo tecnológico del transporte y las comunicaciones. Dichos modelos de articulación logística de la producción han propiciado el desarrollo de diversas estrategias de coordinación, reduciendo el grado de independencia de

cada miembro del sistema [9], lo cual exige que todos los eslabones de la cadena operen sobre la misma base de un sistema homogéneo de producción y control [10, 11].

Entre los procesos colaborativos de la cadena de suministro se incluye el VMI (*Vendor Managed Inventory*), el cual es un sistema donde el proveedor asume la responsabilidad del mantenimiento de los niveles de inventario y la determinación de las cantidades ordenadas para sus clientes, permitiendo una evaluación sistemática de los beneficios de los proveedores y los clientes, y facilitando automáticamente la coordinación de la cadena de suministro [12]. La implementación de VMI requiere compartir información y coordinar e integrar los procesos entre clientes y proveedores [1, 13].

Esta estrategia ha sido profundamente estudiada por diversos autores interesados en determinar la forma y los efectos de la implementación de VMI en cadenas de suministro específicas. Según Dong y Xu [13] existe evidencia de que VMI genera beneficios tanto para el comprador como para el proveedor, aunque el proveedor puede que tenga un periodo largo de adaptación y reconfiguración antes de que los beneficios de VMI puedan ser realizados [14, 15].

La adopción de este tipo de iniciativas colaborativas en el contexto Colombiano es muy limitada [11], especialmente en las mipymes, las cuales representaron el 99,9% de las empresas del país, según datos del Censo Económico 2005-2006 [16]. La dificultad o resistencia de las organizaciones para incorporar estas estrategias se debe en parte a que su aplicación implica entregar y compartir información muy sensible, como nivel de inventarios, costos operacionales, previsiones de la demanda, consideradas fuentes clave de información estratégica.

La agenda interna para la productividad y la competitividad de Colombia (2005), menciona que dentro del sector agropecuario y agroindustrial los departamentos del país consideran que sus principales potencialidades se encuentran entre otros, en el sector frutícola,

representado principalmente por productos como la uchuva y el plátano, logrando este último una participación en las exportaciones de frutales del 47% en el año 2005 [17].

De acuerdo con datos de Agronet, la participación del plátano en la producción de cultivos permanentes se encuentra entre el 19% y el 22% para el periodo comprendido entre los años 2000 y 2007. En cuanto al empleo agrícola generado por la cadena del plátano, durante los años 2002 a 2007 se ha mantenido en niveles superiores a los 170.000 empleos directos [18].

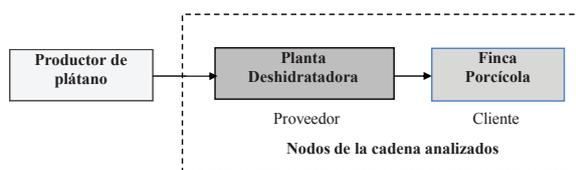
Se estima que el mercado industrial utiliza alrededor de 12 mil toneladas/año, que se destinan principalmente a la preparación de comestibles (snacks), harinas, productos procesados para consumo humano y alimentos concentrados para consumo animal, industrializándose cerca del 1% del total de la producción de plátano [18].

Después de haber evidenciado la importancia de VMI como estrategia de coordinación de la cadena de suministro, su escasa aplicación en mipymes del país y la importancia de la cadena productiva del plátano, en este artículo muestra el efecto de su adopción, realizando en primera instancia la descripción de la cadena de deshidratados de plátano; posteriormente se desarrolla un modelo matemático para la coordinación de los inventarios entre dos eslabones de la cadena de suministro (proveedor y cliente) y finaliza con conclusiones y recomendaciones donde se exponen algunos resultados generales del estudio.

## Metodología

### ***Aplicación del modelo de coordinación de inventarios***

La cadena productiva de deshidratados de plátano se encuentra ubicada en el departamento de Risaralda y está constituida por el productor de plátano, la planta deshidratadora y la finca porcina, los dos últimos tomados como referencia para la aplicación de los modelos de inventarios, como se ilustra en la figura 1.



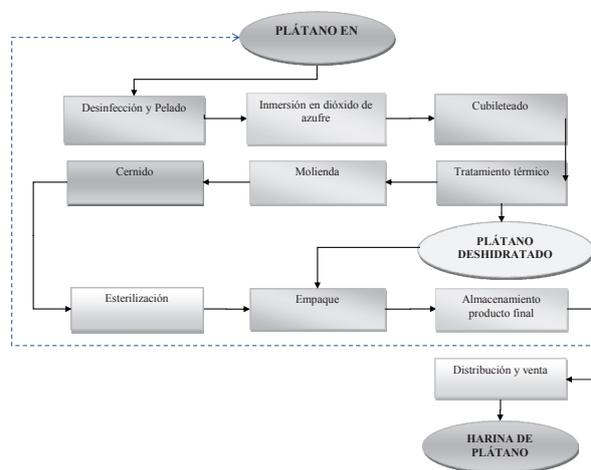
**Figura 1** Cadena productiva de deshidratados de plátano

La secuencia de actividades para la fabricación de este producto se ilustra en la figura 2.

Las actividades desarrolladas por el proveedor y el cliente para el manejo de los inventarios se detallan en las tablas 1 y 2.

En la situación actual, el poder de la cadena de suministro lo tiene el cliente, quien determina el tamaño del pedido y la frecuencia de reaprovisionamiento. El proveedor de acuerdo a los requerimientos del cliente realiza la

programación de la producción y la entrega de los pedidos.



**Figura 2** Proceso de deshidratación del plátano

**Tabla 1** Actividades para la preparación y despacho del pedido de plátano deshidratado

<b>Responsable</b>	<b>Actividad</b>
<b>Planta deshidratadora</b>	Contactar al proveedor de plátano, acordando condiciones de entrega del producto.
<b>Proveedor de plátano en fresco</b>	Confirmar telefónicamente el despacho de la materia prima. Entregar el pedido de plátano fresco. Recibir el pedido de plátano fresco. Realizar el pesaje de la materia prima.
<b>Planta deshidratadora</b>	Almacenar el plátano fresco en la bodega. Desarrollar el proceso productivo de deshidratados de plátano detallado en la figura 2. Empacar el plátano deshidratado en sacos de polipropileno laminado. Consolidar y despachar el pedido.

**Tabla 2** Actividades para la realización y almacenamiento del pedido de plátano deshidratado

<b>Responsable</b>	<b>Actividad</b>
<b>Granja porcina</b>	Contactar telefónicamente al proveedor de plátano deshidratado, acordando las condiciones de entrega del producto.
<b>Planta deshidratadora</b>	Realizar el traslado del producto hasta las instalaciones de la granja porcina. Descargar el producto y conducirlo a la bodega de almacenamiento del cliente.
<b>Granja porcina</b>	Almacenar el producto en la bodega, sobre estibas de madera, en un lugar seco y cerrado, libre de roedores y previamente fumigado contra insectos.

La modelación matemática para la coordinación de los inventarios entre los dos eslabones de la cadena de suministro se soporta en los planteamientos de Yao *et al.* [1] y Arango *et al.* [11], los cuales parten del Modelo de Lote Económico (EOQ). Se asume que un producto (plátano deshidratado) es negociado entre el proveedor y el cliente, y que el cliente conoce la demanda externa de los consumidores. En una cadena de suministro sin VMI, el proveedor observa la demanda del consumidor sólo indirectamente a través de la política de pedidos de los clientes. Con VMI, el sistema de información del proveedor recibe directamente los datos de demanda del consumidor. La demanda del consumidor es asumida como determinística, teniendo en cuenta que es aproximadamente constante y conocida por el cliente en los procedimientos operativos normales (sin VMI), y conocida tanto por el proveedor como por el

cliente en operaciones con VMI. La tasa de reposición es infinita o, igualmente, el tiempo de reposición es cero, es decir, que una vez que una orden de reaprovisionamiento es colocada por el proveedor o el cliente, el pedido es recibido instantáneamente [12, 15].

Como lo menciona Yao, *et al.*[1], la mayor diferencia entre no utilizar y utilizar VMI radica en que la cantidad ordenada por el cliente es determinada por el proveedor en un sistema VMI.

**Formulación de los costos de inventarios en el escenario sin VMI**

Antes de la implementación de VMI, el modelo es el mismo que el modelo clásico de lote económico de pedido (EOQ). Los parámetros y las variables del modelo EOQ se mencionan en la tabla 3.

**Tabla 3** Parámetros y variables del modelo EOQ

		<i>Descripción</i>
<b>Parámetros</b>	R	Demanda anual de plátano deshidratado del proveedor (Toneladas/año)
	r	Demanda anual de plátano deshidratado del cliente (Toneladas/año)
	c	Costo para el cliente por realizar un pedido de plátano deshidratado sin VMI (\$/pedido)
	h	Costo para el cliente por mantener en inventario una tonelada de plátano deshidratado durante un año (\$/tonelada/año)
	q	Tamaño del pedido del cliente (Toneladas)
	C	Costo para el proveedor por procesar un pedido de plátano deshidratado (\$/pedido)
	H	Costo para el proveedor por mantener en inventario una tonelada de plátano deshidratado durante un año (\$/tonelada/año)
<b>Variables</b>	Q	Tamaño del pedido del proveedor (Toneladas)
	Tc	Costo total anual de inventario del cliente (\$/año)
	TC	Costo total anual de inventario del proveedor (\$/año)
	Tc <sub>novmi</sub>	Costo total anual de inventarios para la cadena de suministro sin VMI (\$/año)

El costo total de inventario para el cliente se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$tc = \frac{rc}{q} + \frac{1}{2}hq \tag{1}$$

Así, el tamaño del pedido y el costo total de inventario óptimos para el cliente son:

$$q^* = \sqrt{\frac{2cr}{h}} \tag{2}$$

$$tc^* = \sqrt{2crh} \quad (3);$$

De manera similar para el proveedor, el costo total del manejo de inventarios se calcula así:

$$TC = \frac{RC}{Q} + \frac{1}{2}HQ \quad (4)$$

El tamaño de pedido y el costo total de inventario óptimos para el proveedor se determinan de la siguiente forma:

$$Q^* = \sqrt{\frac{2CR}{H}} \quad (5)$$

$$TC^* = \sqrt{2CRH} \quad (6)$$

Se asume que todos los productos enviados del proveedor al cliente son finalmente vendidos a los consumidores, por lo que la demanda del proveedor y el cliente para un período de tiempo dado es la misma ( $R=r$ ). Por lo tanto, de las ecuaciones (3) y (6) se obtiene el costo total de inventario óptimo para la cadena de suministro sin VMI:

$$TC_{noVMI}^* = TC^* + tc^* = \sqrt{2R}(\sqrt{CH} + \sqrt{ch}) \quad (7)$$

### Formulación de los costos de inventarios en el escenario con VMI

Se considera el caso en el que el proveedor y el cliente están dispuestos a operar mediante la estrategia VMI, siendo el proveedor el responsable de la gestión del inventario de ambas partes, para lo cual se supone que el proveedor dispone de un sistema de información que le permite conocer con certeza y en todo momento la demanda y el nivel de inventarios del cliente. Se asume que el lote de producción del proveedor para cada período de tiempo es un múltiplo entero del tamaño de reaprovisionamiento del cliente.

El modelo se estructura mediante la definición de los siguientes parámetros y variables, complementarias a lo planteado en la formulación de los costos de inventario en el escenario sin VMI, como se muestra en la tabla 4.

**Tabla 4** Parámetros y variables del modelo VMI

		<i>Descripción</i>
<b>Parámetros</b>	$c'$	Costo para el cliente por realizar un pedido de plátano deshidratado con VMI (\$/pedido)
	$I_s$	Inventario promedio del proveedor con VMI (Toneladas)
	$k_{vmi}$	Entero positivo, puede ser visto como la frecuencia de reaprovisionamiento entre el proveedor y el cliente
<b>Variabes</b>	$TC_{vmi}$	Costo total anual de inventarios para el sistema integrado de la cadena de suministro con VMI (\$/año)

El propósito del modelo de coordinación de inventarios es encontrar el tamaño de pedido óptimo ( $Q, q$ ) y la frecuencia de reaprovisionamiento ( $k_{vmi}$ ) que minimicen los costos del sistema integrado.

Como el tamaño del pedido es  $q$ , entonces el nivel de inventario promedio para el cliente es  $\frac{q}{2}$ . El nivel de inventario promedio del proveedor es determinado por las variables  $q, Q$  y  $k_{vmi}$ .

Durante cada ciclo de inventario se presentan  $k_{vmi}$  reaprovisionamientos de tamaño  $q$ . Cada vez que un envío al cliente de  $q$  unidades reduce el inventario del proveedor a cero, el proveedor instantáneamente recibe un reaprovisionamiento que eleva su nivel de inventario a  $Q$  unidades. El nivel de inventario del proveedor permanece en un nivel  $Q$  hasta el próximo envío de  $q$  unidades al cliente, reduciendo el inventario del proveedor a  $(Q - q)$ . De la misma manera, el nivel de inventario del proveedor después del segundo envío es

$(Q - 2q)$ , y el nivel de inventario del proveedor después del  $(k_{VMI} - 1)$  envío de  $q$  unidades es  $(Q - (k_{VMI} - 1)q)$ . El  $(k_{VMI} - 1)$  envío al cliente es el último durante el ciclo de inventario del proveedor. Por lo tanto, el nivel de inventario promedio del proveedor es

$$I_s = \frac{1}{k_{VMI}} \sum_{i=1}^{k_{VMI}} [Q - (i-1)q].$$

Aplicando las propiedades de la sumatoria, teniendo en cuenta que  $k_{VMI}$  es un entero, y que  $Q$  y  $q$  son constantes, tenemos:

$$I_s = \frac{1}{k_{VMI}} \left[ Q \sum_{i=1}^{k_{VMI}} 1 - q \sum_{i=1}^{k_{VMI}} i + q \sum_{i=1}^{k_{VMI}} 1 \right]$$

Como  $\sum_{i=1}^{k_{VMI}} 1 = k_{VMI}$  y  $\sum_{i=1}^{k_{VMI}} i = \frac{k_{VMI}(k_{VMI} + 1)}{2}$  tenemos que:

$$I_s = \frac{1}{k_{VMI}} \left[ Qk_{VMI} - q \frac{k_{VMI}(k_{VMI} + 1)}{2} + qk_{VMI} \right]$$

$$= Q - q \frac{(k_{VMI} + 1)}{2} + q$$

$$I_s = Q - \left( \frac{k_{VMI} + 1}{2} - 1 \right) q = Q - \frac{k_{VMI} - 1}{2} q$$

Por lo tanto, considerando  $q = \frac{Q}{k_{VMI}}$ , se obtiene la expresión para el costo total de inventario para el sistema integrado de la cadena de suministro con VMI:

$$TC_{VMI} = \frac{CR}{Q} + HI_s + \frac{c'R}{q} + \frac{1}{2}hq$$

$$TC_{VMI} = \frac{CR}{Q} + H \left( Q - \frac{k_{VMI} - 1}{2} q \right) + \frac{c'Rk_{VMI}}{Q} + \frac{hQ}{2k_{VMI}} \quad (8)$$

Dado que  $Q$  y  $k_{VMI}$  son independientes, reemplazando  $q$  por  $\frac{Q}{k_{VMI}}$  y tomando la primera

derivada parcial de la expresión (8) con respecto a  $Q$  y  $k_{VMI}$ , respectivamente, se obtiene el tamaño de pedido óptimo y la frecuencia de reaprovisionamiento óptima.

$$Q^* = \sqrt{2k_{VMI} \frac{(CR + c'Rk_{VMI})}{(k_{VMI} + 1)H + h}} \quad (9)$$

$$k_{VMI}^* = \sqrt{\frac{(H + h)Q^2}{2c'R}} \quad (10)$$

Tomando la segunda derivada de la expresión (8) con respecto al tamaño de pedido y a la frecuencia de reaprovisionamiento, respectivamente, se obtiene:  $\frac{\partial^2 TC_{VMI}}{\partial Q^2} = \left( \frac{2CR}{Q^3} + \frac{2k_{VMI}c'R}{Q^3} \right) > 0$  y  $\frac{\partial^2 TC_{VMI}}{\partial k_{VMI}^2} = \left( \frac{HQ + hQ}{k_{VMI}^3} \right) > 0$ . Así, el costo total de inventario es minimizado en  $Q^*$  y  $k_{VMI}^*$ .

De las ecuaciones (9) y (10) se obtiene:

$$k_{VMI}^* = \sqrt{\frac{C(H + h)}{c'H}} \quad (11)$$

$$Q^* = \sqrt{\frac{2CR}{H}} \quad (12)$$

$$q^* = \sqrt{\frac{2c'R}{H + h}} \quad (13)$$

Reemplazando (11), (12) y (13) en (8), se obtiene el costo total de inventario con el tamaño de pedido y la frecuencia de reaprovisionamiento óptimos, así:

$$TC_{VMI}^* = \sqrt{2R} \left( \sqrt{CH} + \sqrt{c'(H + h)} \right) \quad (14)$$

Nótese que el tamaño del lote de producción del proveedor es el mismo tanto en el escenario con VMI, como en el escenario sin VMI, debido a que el costo de pedir, el costo de mantener y la demanda del cliente permanecen constantes.

**Formulación del costo de transporte**

Se asume que este costo es responsabilidad del proveedor, quien dispone de medios de transporte propios para realizar la entrega del producto al cliente. De igual forma, se considera que la estructura de costos de operación vehicular para transporte de carga definida por el Ministerio de Transporte de Colombia y mencionada en la tabla 5, es apropiada para ser utilizada en el cálculo de los costos de transporte del plátano deshidratado.

Los parámetros y variables utilizados para la modelación matemática del costo de transporte se mencionan en la tabla 6.

El costo de transporte asociado a la entrega de una tonelada de plátano deshidratado se expresa como:

$$C_{UT} = \frac{AD}{TC_v} + \frac{2BX}{C_v} \quad (15)$$

**Tabla 5** Clasificación de los costos de transporte

<i>Tipo de costo</i>	<i>Componente de costo</i>
<b>Costos fijos</b>	Seguros
	Salarios y prestaciones básicas
	Parqueadero
	Impuesto de rodamiento
	Recuperación de capital
	Consumo de combustibles
<b>Costos variables</b>	Consumo de llantas
	Consumo de lubricantes
	Consumo de filtros
	Mantenimiento y reparaciones
	Lavado y engrase
	Imprevistos

**Tabla 6** Parámetros y variables del costo de transporte

<i>Descripción</i>	
<b>Parámetros</b>	A Costos anuales fijos de transporte (seguros, salarios y prestaciones básicas, parqueadero, impuesto de rodamiento, recuperación de capital) (\$/año)
	B Costos variables por kilómetro recorrido (consumo de combustibles, consumo de llantas, consumo de lubricantes, consumo de filtros, mantenimiento y reparaciones, lavado y engrase, imprevistos) (\$/Km)
	r Demanda anual de plátano deshidratado del cliente (Toneladas/año)
	T Número de días del año (# días/año)
	D Tiempo empleado para la entrega de un pedido de plátano deshidratado (Días)
	X Distancia entre el proveedor y el cliente (Km)
	q Tamaño del pedido de plátano deshidratado del cliente (Toneladas)
	C <sub>v</sub> Capacidad de carga del vehículo (Toneladas), con q ≤ C <sub>v</sub>
	C <sub>UT</sub> Costo de transporte de una tonelada de plátano deshidratado (\$/tonelada)
	<b>Variables</b>

El costo anual total de transporte del producto se define como:

$$T = rC_{UT} = r \left( \frac{AD}{TC_v} + \frac{2BX}{C_v} \right) \quad (16)$$

## Resultados y discusión

Los parámetros del manejo de inventarios del proveedor (planta deshidratadora) y el cliente (granja porcina) se resumen en la tabla 7.

Con la aplicación de los modelos de inventarios se obtienen los valores de las variables óptimas detallados en la tabla 8, para los escenarios sin VMI y con VMI.

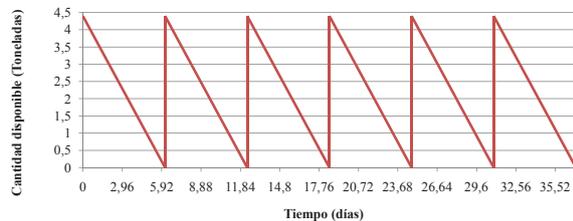
**Tabla 7** Resumen parámetros del manejo de inventarios

Agente	Demanda (Toneladas/año)	Costo de preparar/pedir (\$/pedido)	Costo de almacenar (\$/Toneladas/año)
Proveedor	260	7.222,62	194.408,94
Cliente	260	2.327,51 (sin VMI) 383,51 (con VMI)	270.802,87

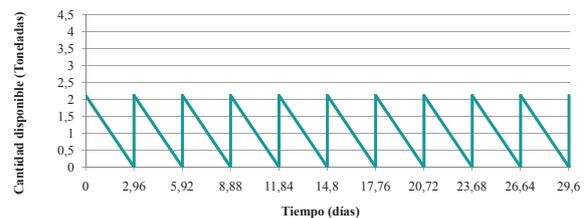
**Tabla 8** Variables óptimas – escenarios sin VMI y con VMI

Escenario	Agente	Parámetro		
		Tamaño del pedido (Toneladas)	Costo inventarios (\$/año)	Costo total inventarios (\$/año)
Sin VMI	Proveedor	4,40	854.490,38	1.426.988,51
	Cliente	2,11	572.498,13	
Con VMI	Proveedor	4,40	854.490,38	1.089.926,03
	Cliente	0,73	235.435,65	

El patrón de inventarios para el proveedor y el cliente, bajo las condiciones del modelo EOQ se ilustra en las figuras 3 y 4. Los tiempos de almacenamiento máximos del proveedor y del cliente son 6,18 días y 2,96 días, respectivamente. El costo total relevante para la cadena bajo las condiciones de este modelo es de \$1.426.988,51/año, el cual es menor al costo total en las condiciones actuales de operatividad de la cadena de suministro (\$1.659.635,94/año).



**Figura 3** Patrón de inventarios del proveedor y del cliente. Modelo EOQ



**Figura 4** Patrón de inventarios del cliente. Modelo EOQ

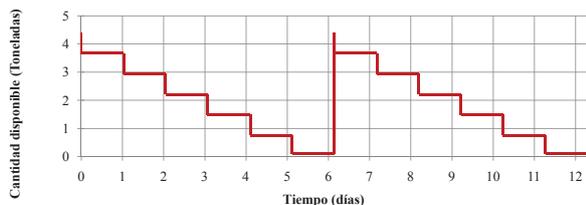
Las figuras 5 y 6 muestran el patrón de inventarios para el proveedor y el cliente, bajo las condiciones del modelo VMI.

El costo total óptimo bajo las condiciones del modelo VMI es de \$1.089.926,03/año. El tiempo de almacenamiento del proveedor y del cliente es máximo de 6,18 días y 1,02 días, respectivamente.

Para examinar las diferencias en los costos de inventario que genera la implementación de

VMI, se calcula el cambio en el costo total de inventario en términos porcentuales (B):

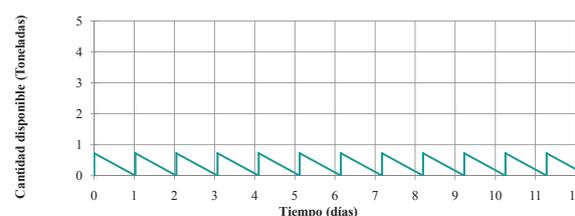
$$B = \frac{TC^*_{noVMI} - TC^*_{VMI}}{TC^*_{noVMI}} = 23,62\%$$



**Figura 5.** Patrón de inventarios del proveedor. Modelo VMI

Con la implementación de VMI, se observa una reducción del 23,62% en el costo total del manejo de inventarios para la cadena de suministro integrada.

De la aplicación de las ecuaciones 15 y 16 se obtiene un costo de transporte por tonelada de \$22.701,53, y un costo total anual de transporte de \$5.902.396,58 para las 260 toneladas de plátano deshidratado demandadas por el cliente.



**Figura 6** Patrón de inventarios del cliente. Modelo VMI

Al incluir en los modelos de inventarios el costo de transporte del producto, se obtienen los resultados mencionados en la tabla 9.

**Tabla 9** Comportamiento de la cadena de suministro incluyendo el costo de transporte

Escenario	Costo total de transporte (\$/año)	Costos de inventario sin transporte (\$/año)	Costo total de inventarios (\$/año)
<b>Actual</b>	5.902.396,58	1.659.635,94	<b>7.562.032,52</b>
<b>Sin VMI</b>	5.902.396,58	1.426.988,51	<b>7.329.385,09</b>
<b>Con VMI</b>	5.902.396,58	1.089.925,76	<b>6.992.322,34</b>

Para esta estructura de costos, el transporte representa en la situación actual el 72,99%, en el escenario sin VMI el 80,53% y en el escenario con VMI el 84,41% de los costos totales de inventarios de la cadena de deshidratados de plátano.

### Conclusiones

Los resultados derivados de la aplicación de los modelos EOQ y VMI permiten establecer que se generan ahorros en los costos de gestión de inventarios, en relación con la situación actual de la cadena de suministro, como se menciona en la tabla 10. Los valores negativos representan incrementos en los costos correspondientes.

Se observa que la implementación de VMI genera los mayores beneficios para la cadena integrada, por cuanto se obtienen ahorros en los costos de mantener del proveedor y del cliente, los cuales son más representativos que los obtenidos con el modelo EOQ. De igual forma, se presentan incrementos en los costos de pedir del proveedor y del cliente, debido al aumento en el número de pedidos de plátano deshidratado a realizar en el año, pasando de 52 en la situación actual a 123 con el modelo EOQ, y 355 con el modelo VMI.

Igualmente en la tabla 10, se muestra como los costos logísticos de inventarios de la cadena integrada se reducen en un 7,53% con la implementación VMI y en un 3,08% con la aplicación del modelo EOQ. Estos resultados son

consistentes con trabajos previos, como el de Yao, *et al.*, donde se plantea que la adopción de este tipo de iniciativas colaborativas genera beneficios para las organizaciones por la reducción de costos, como los asociados al manejo de inventarios.

**Tabla 10** Ahorros en costos de gestión de inventarios

<b>Comparando con situación actual</b>	<b>Sin VMI</b>	<b>Con VMI</b>
Costo de mantener del proveedor	12,09%	12,09%
Costo de pedir del proveedor	-13,76%	-13,76%
Costo de mantener del cliente	57,72%	85,40%
Costo de pedir del cliente	-136,51%	-12,86%
Costo total de la cadena	3,08%	7,53%

Al incluir el costo de transporte en los modelos de inventarios se obtienen costos totales para el escenario con VMI menores a los obtenidos en la situación actual y con el modelo EOQ. El transporte resulta ser el concepto más importante en la estructura de costos logísticos de la cadena integrada, por cuanto representa la mayor proporción del costo total. Puede establecerse que la interacción entre los inventarios y el transporte se encuentra en la determinación de la política de inventario que una organización debe asumir, en torno al tamaño del pedido y al período de reaprovisionamiento, en función de las características del modo de transporte que se utilice.

La adopción de la estrategia VMI requiere que el proveedor conozca de manera permanente la demanda y el nivel de inventarios del cliente, por lo cual, debe disponer de un sistema de información dotado de una base de datos en la cual se almacene la información relevante de cada periodo: demanda (real), stock inicial/final, pedidos estimados, costes del periodo, etc., con el fin de realizar la programación de las entregas de acuerdo a las necesidades de abastecimiento del cliente.

En términos generales, es posible deducir que en el corto plazo los beneficios de la implementación

de VMI son siempre mucho más altos para el cliente que para el proveedor. En el largo plazo, los proveedores logran alcanzar mayores beneficios. Cada agente de la cadena de suministro debe evaluar el impacto de la adopción de estrategias colaborativas como VMI, no solo en el corto plazo, sino en el mediano y largo plazo, teniendo en cuenta que este tipo de iniciativas en sus inicios demandan un gran esfuerzo, pero en el largo plazo se convierten en fuente de ventaja competitiva, por cuanto contribuyen a mejorar la eficiencia y eficacia de las organizaciones.

## Referencias

1. Y. Yao, P. Evers, M. Dresner. "Supply chain integration in vendor-managed inventory". *Decision Support Systems*. Vol. 43. 2007. pp. 663-674.
2. D. Lambert, M. Cooper. "Issues in supply chain management". *Industrial Marketing Management*. Vol. 29. 2000. pp. 65-83.
3. C. J. Vidal. *Fundamentos de gestión de inventarios*. 3ª ed. Ed. Universidad del Valle - Facultad de Ingeniería. Cali. 2005. pp. 10-35.
4. R. Feenstra. Integration of trade and disintegration of production in the global economy. *Journal of economic perspectives*. Vol. 12. 1998. pp. 31-50.
5. R. Baldwin, M. Philippe. *Two waves of globalization: Superficial similarities, fundamental differences*. Working paper No. 690. Cambridge (MA). Oficina Nacional de Investigaciones Económicas (NBER). 1999. pp. 15-69.
6. H. Maersman, E. Van de Voorde. International logistics: A continuous search for competitiveness. A. M. Brewer (editor). *Handbook of Logistics and Supply Chain Management*. Ed. Pergamon. Oxford. 2001. pp. 61-77.
7. R. Feenstra, H. Gordon. *Global production sharing and rising inequality: A survey of trade and wages*. Working paper No. 8372. Cambridge (MA). Oficina Nacional de Investigaciones Económicas (NBER). 2001. <http://www.nber.org/papers/w8372> Consultada el 19 de octubre de 2010.
8. A. Gallardo. "Innovación tecnológica y nuevas formas de organización". Conferencia dictada por Mariella Berra, investigadora de la Universidad de Turín Italia. Editada en Gestión y Estrategia. Edición Internet. 1996. Página web: <http://www.azc.uam.mx/>

- publicaciones/gestion/num9/doc8.htm. Consultada el 19 de octubre de 2010.
9. H. Akkermans, P. Bogerd, B. Vos. "Virtuous and Vicious Cycles on the Road Towards International Supply Chain Management". *International Journal Operations & Productions Management*. Vol. 19. 1999. pp. 565-581.
  10. Y. Dong, K. Xu, M. Dresner. "Environmental determinants of VMI adoption: An exploratory analysis". *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. Vol. 43. 2007. pp. 355-369.
  11. M. Arango, W. Adarme, J. Zapata. "Gestión cadena de abastecimiento - logística con indicadores bajo incertidumbre, caso aplicado sector panificador Palmira". *Revista Neogranadina*. Vol. 20-1. 2010. pp. 97-116.
  12. M. Arango, W. Adarme, J. Zapata. "Commodities distribution using alternative types of transport. a study in the colombian bread". *DYNA*. Vol. 163. 2010. pp. 222-233.
  13. Y. Dong, K. Xu. "A supply chain model of vendor managed inventory". *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. Vol. 38. 2002. pp. 75-95.
  14. S. Disney, D. Towill. "The effect of vendor managed inventory (VMI) dynamics on the Bullwhip Effect in supply chains". *International Journal of Production Economics*. Vol. 85. 2003. pp. 199-215.
  15. M. Waller, M. Johnson, T. Davis. "Vendor managed inventory in the retail supply chain". *Journal of business logistics*. Vol. 20. 1999. pp. 183-203.
  16. Departamento Administrativo Nacional de Estadística – DANE. Encuesta Anual Manufacturera – EAM 2005. Variables principales de la industria según escala de personal ocupado. <http://www.dane.gov.co>. Consultada el 19 de octubre de 2010.
  17. Departamento Nacional de Planeación. *Agenda Interna para la productividad y la competitividad. Resultados del proceso y propuestas iniciales*. Bogotá D. C. 2005. pp. 20-46.
  18. Observatorio de Agro cadenas de Colombia. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. *La cadena de plátano en Colombia. Una mirada global de su estructura y dinámica 1991-2005*. Documento de Trabajo N.º 102. Bogotá, D.C. 2005. pp. 1-65.