

Análisis del comportamiento del contrato de distribución de ingresos en una cadena de abastecimiento frutícola

Diego León Peña Orozco¹², Stiven Viedman Agudelo, Leonardo Rivera

1 Corporación Universitaria Minuto de Dios UNIMINUTO

2 Universidad del Valle Cali

Abstract

Supply chains are systems characterized by inter-organizational and inter-functional relationships where the markets dynamics and lack of will towards collaborative relationships, lead to each member attempting to maximize their individual performance, generating inefficient global results. To address this problem, it is necessary to adopt appropriate coordination mechanisms to improve the global performance of the decentralized supply chain [10]. Among the coordination mechanisms are information technologies, information exchange and data, joint decision-making and supply contracts [2]. Among the types of contracts, the shared revenue is highlighted, which in addition to promoting coordination in the chain, is concerned with better distribution of income between its echelons [6] by modifying two values to be defined, the wholesale price and income distribution coefficient. In this paper, a mathematical model that represents the revenue sharing contract that attempt to maximize the performance of the supply chain is developed. Finally, a case study in a fruit supply chain composed by three echelons is formulated and the comparative economic results between the current scenario and the scenario using the revenue sharing contract as a coordination mechanism are shown.

OPEN ACCESS

Published: 12/06/2019

Accepted: 05/06/2019

Submitted: 11/09/2018

DOI:
10.23967/j.rimni.2019.06.001

Keywords:

revenue sharing contract
fruit supply chain
centralized and decentralized
chains
Supply chain coordination

Resumen

Las cadenas de abastecimiento son sistemas caracterizados por relaciones inter organizacionales e inter-funcionales donde las dinámicas de los mercados e inexistencia de voluntad hacia las relaciones colaborativas, conllevan a que cada integrante busque la maximización de su desempeño individual, lo que deriva en resultados globalmente ineficientes. Para abordar este problema, es necesario adoptar mecanismos de coordinación apropiados que permitan mejorar el desempeño global de la cadena de abastecimiento descentralizada [10]. Entre los mecanismos de coordinación se encuentran las tecnologías de información, intercambio de información y datos, toma de decisiones conjunta y los contratos de suministro [2]. Entre los tipos de contrato se destaca el de ingresos compartidos, que además de propender por la coordinación en la cadena, se preocupa por la mejor distribución de los ingresos entre sus eslabones [6], mediante la modificación de dos valores a definir, el precio al por mayor y el coeficiente de distribución de ingresos. En este artículo, se desarrolla un modelo matemático que representa el contrato de ingresos compartidos que busca maximizar el rendimiento de la cadena. Finalmente, se formula un caso de estudio en una cadena de abastecimiento frutícola compuesta por tres eslabones y se muestran los resultados económicos comparativos entre el escenario actual y el escenario con el uso del contrato de ingresos compartidos como mecanismo de coordinación.

Palabras clave: Coordinación de la cadena de suministro, contrato de ingresos compartidos, cadena de suministro frutícola, cadenas centralizadas y descentralizadas

1. Introducción

Una cadena de suministro está formada por todas aquellas partes involucradas de manera directa o indirecta en la satisfacción de una solicitud de un cliente [8], son dinámicas e implican un flujo constante de información, productos y fondos entre las diferentes etapas o eslabones. Para [8] el éxito debe medirse en términos de la rentabilidad global y no en función de la ganancia de cada etapa. Esto refleja la necesidad de adoptar mecanismos de coordinación apropiados, los cuales modifican los incentivos recibidos por los diferentes agentes involucrados, del mismo modo que los induce a maximizar la utilidad total de la cadena de abastecimiento [10].

Los contratos de abastecimiento logran coordinar la cadena con el ajuste y definición de parámetros de intercambio comercial entre las partes, que ofrezcan incentivos para mantenerse coordinados [33]. Uno de los retos importantes mencionado en [27] es la eliminación de las barreras para la coordinación, donde se identifica la desconfianza como una de las restricciones más importantes. El contrato de ingresos compartidos que se presenta en este documento, parte de la propuesta definida por [33] que formula un contrato de abarcamiento, que permita la coordinación entre más de dos eslabones en la cadena.

Se presenta en este capítulo el diseño de un contrato de ingresos compartidos como mecanismo de coordinación para el caso de estudio de una cadena de suministro frutícola en la región centro del Valle del Cauca, Colombia. La cadena objeto de estudio está conformada por tres eslabones, ellos son: pequeños productores de frutas, el intermediario y el detallista. Se abordan los elementos conceptuales propios de la cadena de

suministros; también algunos conceptos importantes sobre la coordinación y toma de decisiones en cadenas centralizadas y descentralizadas. Se definen los elementos clave que se incluyen en el modelo de contrato propuesto, se presenta el modelo matemático, seguido por su aplicación en el caso de estudio, para finalmente presentar resultados, alcances y limitaciones.

2. Planteamiento del problema

En la literatura se encuentran descritos los problemas más frecuentes en las cadenas de abastecimiento, la mayoría de ellos relacionados con la inadecuada gestión de la cadena. En este sentido [3] hace referencia a las cadenas agrícolas enfatizando en la necesidad de estudiar los problemas de sostenibilidad y su vinculación con la seguridad alimentaria, lo que involucra aspectos muy relacionados con los procesos de planeación de la cadena. Por otro lado, los mismos autores plantean la importancia y el impacto que la coordinación entre los eslabones puede tener en el desempeño exitoso de la cadena de abastecimiento. Los problemas de planeación en las cadenas agrícolas se identifican a nivel estratégico, táctico y operativo, debido al poco interés de algunos de los actores en realizar actividades de integración pues consideran de mayor importancia lograr resultados óptimos individuales sin considerar alcanzar los mejores resultados globales en la cadena.

Otro problema frecuente en las cadenas agrícolas se relaciona con la eficiencia de acuerdo con [1], que además hace parte de los 4 elementos que definen el desempeño de cadenas agroalimentarias que son: la flexibilidad, la capacidad de respuesta, la calidad de los alimentos y la eficiencia. Esta última está relacionada con aspectos como: la distribución de ingresos, inventarios, costos de producción y distribución de productos que son problemas frecuentemente tratados en la literatura y que están relacionados con la planificación de la cadena.

Se ha evidenciado en algunas fuentes el fenómeno de la inadecuada distribución de los ingresos entre los eslabones de las cadenas agrícolas de pequeños productores especialmente en las frutas. Como referencia se cita a [24] donde se señala que los consumidores argentinos pagaron hasta 49 veces más de lo que recibió el productor en el campo. En Argentina, el ingreso de los productores equivale al 9% del precio al consumidor final, lo anterior debido a los niveles de intermediación. En la actualidad la competencia debe ser entre cadenas de suministro y no entre empresas, tal como lo menciona [16], debido a la importancia de alcanzar de manera eficiente el mercado. Sin embargo, el reto en las cadenas de suministro es el de superar las relaciones de dominancia que se pueden presentar entre sus eslabones, que al final atentan contra su nivel de competitividad. De acuerdo con [2] han identificado la fuerte relación entre la utilidad y los niveles de coordinación en la cadena y han propuesto estrategias que permiten definir mecanismos de coordinación en cadenas de abastecimiento descentralizadas para lograr mejor desempeño en términos de utilidad, servicio al cliente y tiempos de respuesta. Por su parte [36] plantea que la coordinación en la cadena se logra cuando las decisiones tomadas por todos los agentes se traducen en la maximización de la utilidad total.

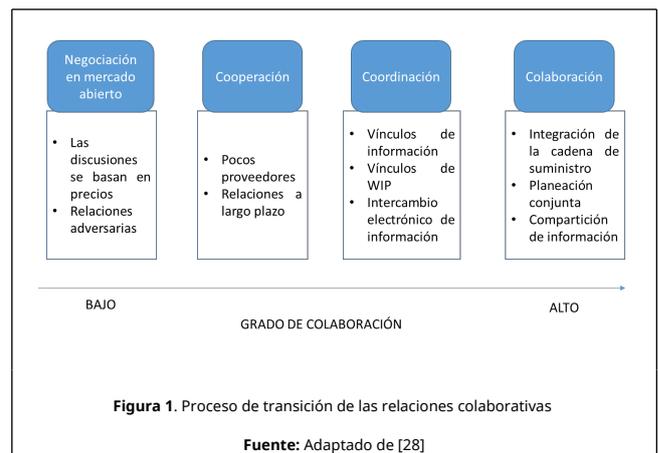
Estos antecedentes dejan claridad sobre la necesidad de coordinar la cadena de abastecimiento como mecanismo para lograr el mejor desempeño a nivel global y para cada uno de sus eslabones. La coordinación implica abordar aspectos como la planificación entre los eslabones de la cadena que además requiere compartir información que apoye la mejor toma de decisiones y mitigue las relaciones de dominancia entre los eslabones. Todos estos aspectos plantean un problema mayor,

que en este documento se aborda desde la propuesta de un mecanismo de coordinación como el contrato de distribución de ingresos, que permita mejorar los ingresos en los eslabones y que supone la necesidad de alcanzar acuerdos de negociación y operación entre los miembros de la cadena.

2.1 Relaciones colaborativas en la cadena de suministro

Las relaciones entre eslabones permiten capturar las sinergias de la colaboración y consecuentemente, tomar decisiones más acertadas en la cadena de suministro [20]. En este sentido, las relaciones colaborativas presentan una oportunidad para alcanzar mayores resultados y aumentar la eficiencia de las operaciones de las empresas que conforman la cadena de suministro, como indica [12] al definir la colaboración en la cadena de suministro como “una relación entre los socios”, haciendo énfasis en el trabajo conjunto que debe realizarse entre ellos.

La colaboración se puede presentar entre áreas funcionales específicas de la organización o en diferentes grados de integración entre las organizaciones que conforman la cadena de abastecimiento. En [28] se hace referencia a la transición en los procesos de integración que van desde la negociación en mercado abierto, cooperación, coordinación y colaboración como se presenta en la Figura 1.



Cada una de estas etapas define las características de vinculación entre las empresas que conforman la cadena de suministros y se identifican los elementos diferenciadores, siendo la etapa de negociación en mercado abierto donde se presenta el menor grado de colaboración y la etapa de colaboración donde se logra el máximo grado. Las negociaciones a mercado abierto son todas aquellas donde las relaciones entre el comprador y el vendedor se rigen netamente por las condiciones del mercado y no existe un trato diferenciado por ninguna de las partes. La etapa de colaboración, supone relaciones inter organizacionales sólidas, compartir información sobre planes estratégicos, diseño de productos e investigación y desarrollo, entre otros. Las relaciones se basan en la honestidad de las organizaciones involucradas en los planes de colaboración.

2.2 Coordinación en las cadenas de suministro

Las dinámicas globales del mercado en la actualidad sugieren que las empresas deben establecer sus planes estratégicos más allá de las barreras internas, y en lugar de planear como entidades aisladas, estos planes deben tener en cuenta las demás organizaciones involucradas en su cadena. La coordinación de la cadena de suministro se plantea no sólo

como una estrategia para alcanzar resultados globalmente más eficientes, sino como una necesidad actual de las empresas para garantizar su continuidad. En [23] se comenta que la falta de coordinación puede resultar en un desempeño inadecuado de la cadena de suministro, generando consecuencias como: pronósticos inexactos, baja utilización de la capacidad, inventario excesivo, servicio al cliente inadecuado, baja rotación de inventario, entre otros. Por otro lado, la coordinación en las cadenas de suministro mejora el desempeño y alivia tensiones que resultan en los ambientes no cooperativos [4].

La coordinación de cadenas de abastecimiento puede ser descrita como la sincronización de la ejecución de actividades de la cadena de manera conjunta entre los eslabones con el fin de mejorar su desempeño global, tema de trascendencia mayor en la planeación de la cadena. Se comenta en [35] que la gestión de la cadena de suministro (GCS) se define comúnmente sobre la base de la coordinación.

La CCS parte de la necesidad de los miembros de la cadena de comportarse como un sistema unificado y coordinarse entre sí con el fin de mejorar el desempeño global [2].

2.2.1 Mecanismos de coordinación

La Figura 2 señala que el estudio de la CCS es un tema amplio y puede ser alcanzada por distintos mecanismo que, aunque parten de diferentes enfoques, comparten el interés mutuo por el mejoramiento de los resultados conjuntos. En la Tabla 1 se presenta una breve descripción de los mecanismos de coordinación mencionados.

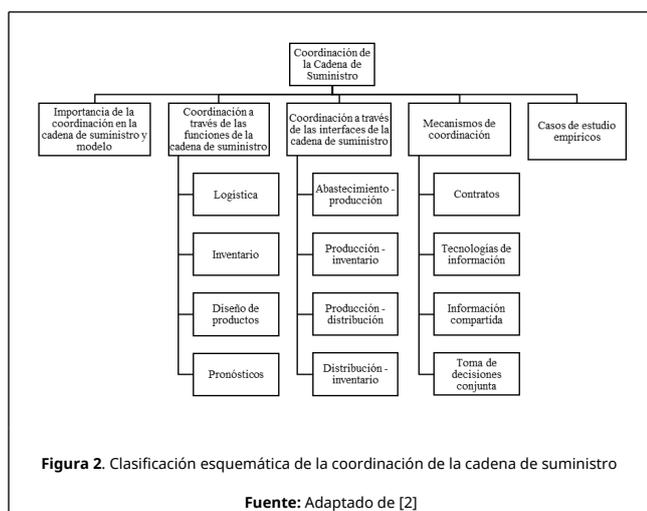


Tabla 1. Mecanismo de coordinación

MECANISMO	DESCRIPCIÓN
Tecnologías de información (TI)	Se basan en sistemas tecnológicos instaurados en algunos puntos clave de las actividades de la cadena.
Intercambio de información y datos	Permite la coordinación de las actividades de reposición y producción generando mayor eficiencia y mejor nivel de servicio al cliente.
Toma de decisiones conjunta	Implica una mayor adhesión de carácter estratégico, se puede decir que este mecanismo es el que se aproxima más al direccionamiento de una cadena de suministro integrada por sus características de planeación.
Contratos de suministro	Se basan en el riesgo compartido e incentivos económicos [26].

Fuente: Los autores

A continuación se describen los tipos de contratos mencionados en la tabla 1, dada su importancia en el desarrollo de ese documento.

Contrato de ingresos compartidos: supóngase una cadena de suministro conformada por dos eslabones en la cual el eslabón 2 es el productor y el eslabón 1 es el minorista; bajo este contrato, el productor ofrece un precio preferencial al minorista y este último, retribuye un porcentaje de sus ingresos al productor, de esta manera, el riesgo es distribuido entre los dos eslabones y se genera un incentivo para realizar tal contrato. El precio al por mayor y el coeficiente de distribución de ingresos son las variables del problema.

Contrato de precio mayorista: en un contrato de precio mayorista (WPC, del inglés wholesale price contract), el fabricante establece un precio de venta de acuerdo a la cantidad de pedido del minorista. Aunque el WPC se utiliza en muchas cadenas de suministro debido a su simplicidad, no puede coordinar la cadena de suministro ya que resulta en un problema de doble marginación [26]. En este contrato, [7] afirma que todo el riesgo es asumido por el minorista, por lo tanto, resulta poco atractivo para este.

Contrato de descuento por cantidad: el contrato de descuentos por cantidad específica la disminución del precio al por mayor a medida que la cantidad de pedido aumenta. Se ha demostrado que los descuentos por cantidad pueden conciliar los conflictos de beneficios dentro de la cadena de suministro en la toma de decisiones sobre el nivel de inventario [14]. Es un contrato muy utilizado en la práctica y ha demostrado ser capaz de coordinar la cadena de suministro de diferentes características.

Contrato de cantidad flexible: combina el compromiso del minorista de comprar no menos de un cierto porcentaje por debajo del pronóstico (un acuerdo de compra mínimo) con la garantía del productor para entregar hasta un cierto porcentaje por encima. También hay un único precio de adquisición o "transferencia" que se cobrará por unidad de producto entregado [31]. A medida que transcurre el tiempo, el comprador puede aumentar las cantidades de pedido para períodos futuros basándose en la información actualizada de la previsión de la demanda y el estado del inventario [19].

Contrato de recompra: el "vendedor" comprará el producto del "comprador" a un precio de salvamento (que puede ser parcial o total). Esta recompra puede ocurrir durante el final de la temporada (por sobras) o en cualquier momento (por ejemplo, el consumidor regresa bajo el esquema de garantía de devolución de dinero) [13].

Contrato de reembolso de ventas: un reembolso es un pago de un fabricante a un minorista basado en las ventas minoristas a los consumidores finales [30]. El contrato de reembolso de ventas es un contrato de la familia de contratos de recompra y retornos, sin embargo, este contrato es más eficiente que un descuento por cantidad de pedidos ya que proporciona un incentivo directo para que los minoristas aumenten las ventas [34].

2.3 Contrato de ingresos compartidos (CIC)

El presente numeral expone la dinámica del funcionamiento del CIC, el modelo subyacente y algunas consideraciones que se deben tener en cuenta durante el diseño de este tipo de contratos.

El contrato de ingresos compartidos es el contrato que ha recibido más atención en la familia de estos mecanismos de coordinación [22], es especialmente útil ya que puede aliviar los problemas de exceso y escasez de inventario y problemas de doble marginalización. El contrato se basa en la existencia de una relación contractual en la cual el minorista paga al productor un porcentaje de sus ingresos a cambio de un precio

al por mayor generalmente más bajo que aquel que se obtendría sin el contrato, el porcentaje de ingresos compartidos que de ahora en adelante se denominará coeficiente de ingresos compartidos y el precio al por mayor son las principales variables involucradas en el modelo.

2.3.1 Problema del vendedor de periódicos en el contrato de ingresos compartidos

Antes de explicar el funcionamiento del contrato de ingresos compartidos es necesario plantear el problema del vendedor de periódicos ya que este es el modelo subyacente en la mayoría de este tipo de contratos.

El problema de un vendedor de periódicos es un modelo de inventarios que plantea la necesidad de determinar la cantidad a producir o comprar antes del momento de hacerse efectiva la venta, supone que no puede realizar reabastecimiento una vez seleccionada la cantidad a ordenar Q , además cada unidad faltante es penalizada con un costo de oportunidad y cada unidad excedente puede ser vendida a un valor de salvamento. Por último, se considera la demanda aleatoria.

Notación:

p_o = precio de compra

p_s = precio de venta

p_g = costo de oportunidad de venta perdida

p_r = valor de salvamento

D = ariable continua aleatoria de la demanda

$f(x)$ = función de densidad de probabilidad

$F(x)$ = función de probabilidad acumulada

Q^* = cantidad óptima de pedido

La utilidad esperada para el vendedor de periódicos está dada por:

$$P(Q) = p_s * E(\min \{D, Q\}) - p_o Q + p_r E[(Q - D)_+] - p_g E[(D - Q)_+] \quad (1)$$

Bajo el supuesto de variable aleatoria continua, los anteriores términos pueden ser calculados de la siguiente manera:

$$E(\min \{D, Q\}) = \int_0^Q xf(x)dx + \int_Q^\infty Qf(x)dx \quad (2)$$

$$E[(Q - D)_+] = \int_0^Q (Q - x)f(x)dx \quad (3)$$

$$E[(D - Q)_+] = \int_Q^\infty (x - Q)f(x)dx \quad (4)$$

Se establece el límite inferior como 0 ya que la demanda no puede tomar un valor inferior a este. Sustituyendo los valores anteriores en la ecuación de utilidad, se obtiene:

$$P(Q) = p_s * \left(\int_0^Q xf(x)dx + \int_Q^\infty Qf(x)dx \right) - p_o Q + p_r \int_0^Q (Q - x)f(x)dx - p_g \int_Q^\infty (x - Q)f(x)dx \quad (5)$$

La anterior ecuación es general para los contratos de ingresos compartidos, diversas variantes surgen a partir de él, por motivos de interés de la aplicación de este problema en el contrato de ingresos compartidos y por simplicidad, no se asume el costo de venta pérdida [5]. Otra variación frecuente en la determinación del costo de compra como $p_s - p_r$. [15], menciona la siguiente variante del problema para efectos de coordinación:

$$P(Q) = (p_s - p_r) * \left(\int_0^Q xf(x)dx + \int_Q^\infty Qf(x)dx \right) + p_r \int_0^Q (Q - x)f(x)dx \quad (6)$$

Mediante manipulación algebraica y sabiendo que:

$$\int_0^Q xf(x)dx = G(Q) \quad (7)$$

$$\int_0^Q f(x)dx = F(Q) \quad (8)$$

$$\int_Q^\infty f(x)dx = 1 - F(Q) \quad (9)$$

Se obtiene que la utilidad para el caso de los contratos, viene dada por:

$$P(Q) = p_s(G(Q) - QF(Q)) + Q(p_s - p_r) - p_o Q \quad (10)$$

La ecuación anterior es ampliamente utilizada en la modelación de contratos de suministro y debe ser tenida en cuenta para la modelación de este tipo de mecanismos.

De la ecuación (5) se dice que es convexa en Q para cualquier función de densidad y función acumulada de probabilidad. Para determinar el valor óptimo de Q es necesario determinar la segunda derivada de $P(Q)$ respecto a Q [25]. Esta ecuación es independiente del tipo de distribución de probabilidad.

$$Q^* = F^{-1} \left(\frac{p_s + p_g - p_o}{p_s + p_g - p_r} \right) \quad (11)$$

Una generalización de la ecuación, determinada a partir de análisis marginal para hallar la cantidad óptima Q es descrita por [25].

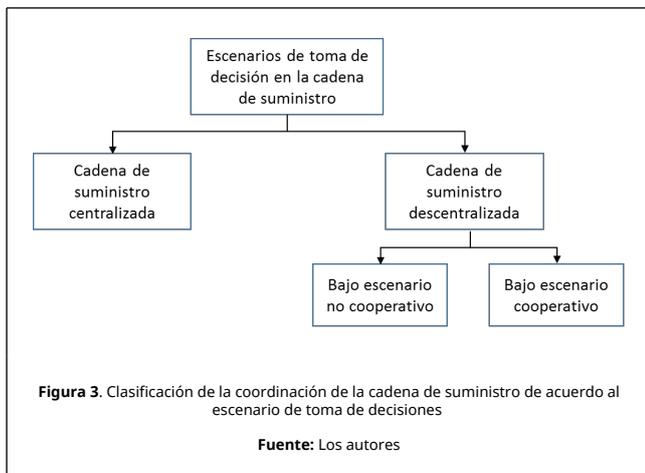
$$Q^* = F^{-1} \left(\frac{c_u}{c_u + c_o} \right) \quad (12)$$

donde c_u implica todos aquellos costos asociados por una unidad de demanda no servida, c_o lo hace de manera análoga para las unidades sobrantes.

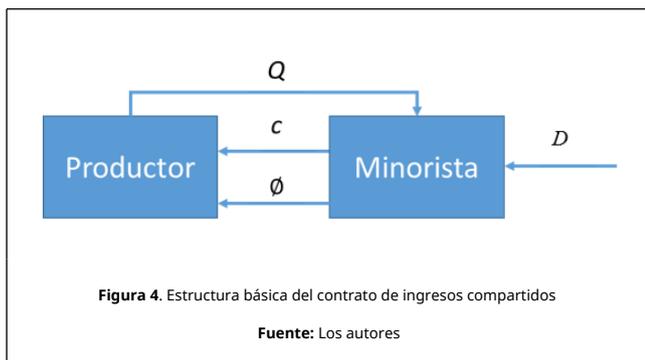
2.3.2 Coordinación de la cadena de suministro con el contrato de ingresos compartidos

Primero, es necesario precisar qué significa que una cadena de suministro esté coordinada. Las cadenas de suministro se dividen en dos grupos de acuerdo al patrón de toma de

decisiones: cadenas centralizadas y cadenas descentralizadas. La cadena centralizada es aquella donde un solo ente coordina todas las operaciones y busca la maximización del desempeño global de esta. Por definición, una cadena centralizada alcanza el nivel óptimo de utilidad bajo condiciones normales, en este tipo de cadena no existen problemas por conflicto de intereses ni de doble marginalización ya que todos los actores se dirigen hacia un mismo objetivo. Por otro lado, la cadena descentralizada opera bajo un escenario de mercado con entidades que persiguen objetivos individuales y por ende, maximizan indicadores de desempeño locales aunque esto genere resultados contraproducentes en el desempeño global. En este escenario, a su vez, con base en la literatura de contratos de suministro, es posible argumentar que las cadenas de suministro descentralizadas se dividen en dos tipos: cooperativas y no cooperativas (Figura 3).



Supóngase una cadena de suministro similar a aquella de la Figura 4, defínase el término $R(q, p) = p * \min(D, Q)$, donde D es el valor de la demanda y Q la cantidad de orden. El productor vende cada unidad a un valor w , el productor y el minorista enfrentan costos de producción y procesamiento por cada unidad comprada c_p y c_m , respectivamente. El superíndice c denota el escenario centralizado.



Bajo el escenario descentralizado, las utilidades del minorista, productor y total, respectivamente son:

$$\prod_m^c = p \text{Min}(D, Q) + (Q - D)_+ v - Q(w + c_m) \tag{13}$$

$$\prod_p^c = Q(w - c_p) \tag{14}$$

$$\prod_{sc}^c = p \text{Min}(D, Q) + v(Q - D)_+ v - (c_p + c_m)Q \tag{15}$$

Claramente, una empresa centralizada actuará de tal manera que la utilidad a optimizar será la de la ecuación (18) ya que esta estructura de la cadena hace que los esfuerzos se dirijan a un conjunto de objetivos en común y no genera problemas de doble marginalización, los niveles óptimos de la cadena están asociados a este escenario.

Supóngase que se establece un contrato de ingresos compartidos con coeficiente de distribución de ingresos \varnothing , donde los ingresos por venta y recuperación son compartidos, el escenario descentralizado bajo el contrato corresponde a las siguientes funciones de utilidad para el minorista, productor y total de la cadena respectivamente.

$$\prod_m^c = (1 - \varnothing)p \text{Min}(D, Q) + (1 - \varnothing)(Q - D)_+ v - (w + c_m)Q \tag{16}$$

$$\prod_p^c = \varnothing p \text{Min}(D, Q) + \varnothing(Q - D)_+ v + (w - c_p)Q \tag{17}$$

$$\prod_{sc}^c = \varnothing \text{Min}(D, Q) + (Q - D)_+ v - (c_p + c_m)Q \tag{18}$$

La coordinación de la cadena de suministro se habrá logrado si el nivel de utilidad de la cadena descentralizada es igual al del escenario centralizado, es decir, si alcanza los niveles óptimos. Para alcanzar este escenario es necesario variar los valores de \varnothing y w bajo algunas consideraciones lógicas como $0 \leq \varnothing \leq 1$, $w > c_m$ y cumplir una restricción gana-gana que indica que los integrantes sólo aceptarán el contrato si la utilidad de cada uno es mayor a la obtenida sin el contrato.

2.4 Teoría de juegos

La teoría de juegos puede ser definida como el área de las matemáticas encargada de estudiar los conflictos y la cooperación entre agentes. El estudio de la teoría de juegos provee técnicas matemáticas para analizar situaciones en las cuales, el comportamiento de uno o más de los agentes, repercute en el estado de otros agentes, estos agentes pueden ser individuos, grupos o corporaciones [32, 21].

La teoría de juegos ha sido estudiada principalmente en las ciencias sociales, sin embargo, como lo menciona [18], el interés de la aplicabilidad de esta área se ha expandido a disciplinas como las ciencias políticas, biología, psicología, economía, lingüística, sociología y ciencias computacionales, entre otros. Las cadenas de suministro, como un sistema donde diferentes agentes interactúan, en muchas ocasiones involucrando decisiones donde existe un explícito conflicto de intereses, no es ajena a la injerencia de la teoría de juegos, la modelación del comportamiento de los escenarios descentralizados requiere de las técnicas de la teoría de juegos y por esta razón, es necesario incluir una breve descripción de los temas específicos de la teoría de juegos que son aplicados en el modelo de contrato.

2.4.1 Juegos simultáneos y secuenciales

Los juegos simultáneos y secuenciales son representaciones de la forma en que los agentes interactúan en el juego, estos casos también son conocidos como estáticos y dinámicos. El tipo de juego seleccionado debe ser complementado con la variable estratégica a analizar. Esto representa la existencia de cuatro estrategias fundamentales que según [17], pueden ser clasificadas como:

- **Juego simultáneo de fijación de cantidades** (Modelo de Cournot): los agentes establecen las cantidades de manera simultánea.
- **Juego simultáneo de fijación de precios** (Modelo de Bertrand): los agentes establecen los precios de manera simultánea.
- **Juego secuencial de fijación de cantidades** (liderazgo de cantidades o modelo de Stackelberg): en este juego de variable estratégica cantidad, una compañía selecciona una cantidad y con base en esta información, la otra compañía determina su cantidad a comprar. El primer y segundo tomador de decisión son denominados, líder y seguidor, respectivamente.
- **Juego secuencial de fijación de precios** (liderazgo de precios): este juego es similar al anterior, las decisiones se dan en una secuencia de líder – seguidor, excepto que, en este caso, la variable estratégica es el precio.

2.4.1.1 Modelo de Stackelberg

El modelo de contrato propuesto emplea principalmente los conceptos y teorías expuestas por [29], quien propone un modelo secuencial de duopolio en el cual intervienen un líder y un seguidor. Por esta razón, se considera pertinente presentar el modelo matemático de Stackelberg, el cual comparte las mismas características del modelo de Cournot, excepto que se presenta en un escenario dinámico (o secuencial) y no en uno simultáneo como ocurre con el de Cournot o Bertrand. Las variables estratégicas son las cantidades.

Como lo describe [11], la secuencia de tiempo en la cual ocurre el juego es la siguiente: (1) la empresa 1 elige la cantidad $q_1 \geq 0$, (2) la empresa 2 observa el movimiento anterior y determina la cantidad $q_2 \geq 0$.

La función de utilidad está dada por:

$$\prod_i (q_i, q_j) = q_i [P(Q) - c] \quad (19)$$

donde $P(Q) = a - bQ$ es la función del precio dependiente de la cantidad, $Q = q_1 + q_2$ corresponde a la demanda agregada y c es el costo marginal de cada una de las empresas.

A diferencia de los juegos simultáneos, los juegos secuenciales son resueltos mediante inducción hacia atrás, esta técnica consiste en determinar las decisiones óptimas de adelante hacia atrás con base en la secuencia de toma de decisiones.

Para resolver este modelo mediante inducción hacia atrás, primero se calcula la reacción de la empresa 2 a una cantidad arbitraria de la empresa 1.

$$\prod_2 (q_2, q_1) = q_2 [a - bq_2 - bq_1 - c] \quad (20)$$

$$R_2(q_1) = q_2 = \frac{a - bq_1 - c}{2b} \quad \text{para } q_1 < \frac{(a - c)}{b} \quad (21)$$

Con esta cantidad, la empresa 1, determina la cantidad óptima q_1 maximizando la función de utilidad.

$$\prod_1 (q_1, R_2(q_1)) = q_1 [a - bq_1 - bR_2(q_1) - c] \quad (22)$$

$$q_1^* = \frac{a - c}{2b} \quad (23)$$

$$R_2(q_1^*) = \frac{a - c}{4b} \quad (24)$$

Estos valores corresponden al equilibrio de Nash en el modelo de duopolio de Stackelberg.

2.4.1.2 Liderazgo de precios

El modelo de liderazgo de precios se plantea en un duopolio bajo un escenario dinámico donde intervienen un líder y un seguidor, los precios son las variables estratégicas. Comparte características con el modelo de Bertrand ya que ambos tratan los precios como variable estratégica, y al de Stackelberg ya que se da en una secuencia de líder seguidor.

Si se adopta el supuesto de homogeneidad de productos como en el modelo de Stackelberg y se considera el mismo costo marginal c para ambas empresas, se tiene que la empresa 1 elige un precio $p_1 > c$, para la empresa 2 siempre sería óptimo establecer un precio $p_2 < p_1$ y por lo tanto, obtener la totalidad del mercado. Debido a esta reacción de la empresa 2, la única decisión óptima de la empresa 1 es establecer $p_1 = c$, y de este modo, la empresa 2 establecería este mismo precio. Esto genera una ventaja de último decisor. Generalmente, analizar fijaciones de precio secuenciales con productos homogéneos no conlleva a conclusiones satisfactorias debido a la intensidad de la competencia. Sin embargo, productos diferenciados y sustitutos conllevarán a análisis con conclusiones diferentes [17].

3. Modelo Propuesto

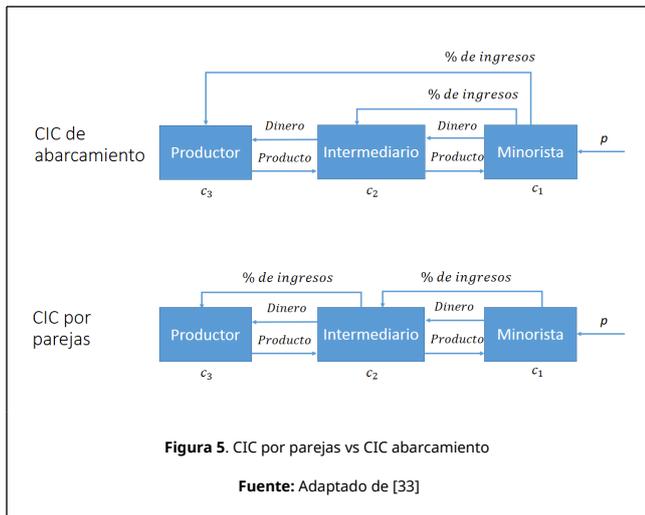
La construcción del modelo propuesto parte de unos antecedentes que comparten características con el problema descrito, para este caso, se ha seleccionado el artículo de Van der Rhee, Van der Veen, Venugopal y Nalla. "A new revenue sharing mechanism for coordinating multi-echelon supply chains". En el cual se plantea un modelo de contrato de ingresos compartidos para una cadena de suministro de varios eslabones. Entre los supuestos considerados en este trabajo, se encuentran:

- Cadena de suministro de varios eslabones
- Demanda estocástica
- Control del contrato de manera centralizada

Los contratos de ingresos compartidos generalmente han sido modelados bajo una estructura "por parejas" (pairwise), en [33] se comenta que este presenta algunos inconvenientes desde el punto de vista de implementación, tales como, el supuesto implícito de que todos los contratos se instalan simultáneamente. Esta suposición es necesaria para asegurar la

correcta instalación del contrato completo porque los ajustes de parámetros en los diversos contratos dependen entre sí, es decir, un contrato no puede ser configurado sin el conocimiento de los otros contratos. Por esta razón, la implementación de un contrato por parejas a través de toda la cadena de suministro tiene poca probabilidad de ocurrencia en la vida real.

A diferencia del contrato 'pairwise' donde los términos de la relación contractual son establecidos por cada pareja de entidades, el nuevo modelo de contrato presentado por [33], llamado 'spanning' o de abarcamiento, tiene por principio, la toma de liderazgo en la negociación del contrato por una sola entidad, esta determina los valores de las variables implícitas en el modelo. "La idea fundamental en este nuevo mecanismo es que, si cada entidad disminuye su precio al por mayor, sus respectivos compradores tienen un incentivo para también disminuir sus precios. Como consecuencia, la entidad más aguas abajo decide incrementar su tamaño de pedido, de modo que se incrementa la disponibilidad del producto para el consumidor final, así como los ingresos totales de la cadena de suministro."



3.1 Modelo de cadena de suministro multi-eslabón

Considérese una cadena de suministro de n eslabones, donde $n \geq 2$, 1 es la entidad más río abajo y n más río arriba en la cadena.

w_{i+1} Precio de venta del eslabón i , $w_1 = 0$

c_i Costo operativo del eslabón i

p Precio de venta determinado por el mercado

Q Cantidad de orden

$p > \bar{c} := \sum_{i=1}^n c_i$, debe cumplirse que el precio de mercado sea mayor que el costo de toda la cadena de suministro.

Supuestos

- Producto de ciclo de vida corto, por lo tanto, hay un periodo único de orden.
- La cantidad ordenada Q pasa a través de todos los eslabones de la cadena de suministro.
- Todos los eslabones tienen capacidad suficiente para

cualquier tamaño de orden Q realístico.

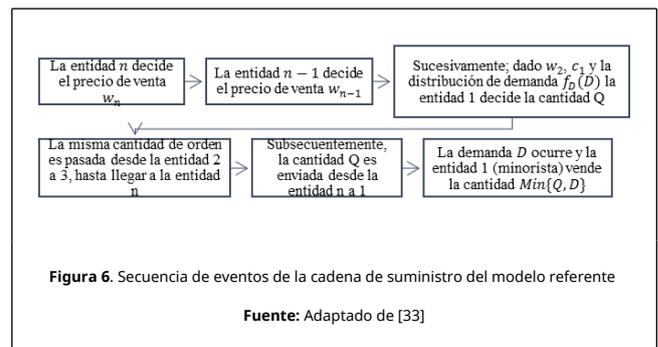
- Toda cantidad de demanda no suplida es venta perdida.
- No hay inventario de periodos finales.
- El inventario final no puede ser utilizado para periodos posteriores.

La demanda final del consumidor está representada por una variable aleatoria D con distribución $f_D(D)$ cantidad de orden,

$$F_D(Q) = \int_0^Q f_D(D) dD \text{ Distribución de probabilidad acumulada de la variable aleatoria } D, \text{ definida en el intervalo } [0, Q]$$

$$G_D(Q) = \int_0^Q D f_D(D) dD \text{ Valor esperado truncado de la distribución de probabilidad en el intervalo } [0, Q]$$

La secuencia de eventos que toma lugar en la cadena de suministro puede verse en la Figura 6.



La utilidad de la entidad 1 está dada por:

$$\prod_1 = p * E_D(\text{Min}\{Q, D\}) - (c_1 + w_2)Q \tag{25}$$

$$\prod_1 = (p - c_1 - w_2)Q - pQF_D(Q) + pG_D(Q) \tag{26}$$

Las utilidades para las entidades 2, ..., n están dadas por:

$$\prod_i = (w_i - c_i - w_{i+1})Q \tag{27}$$

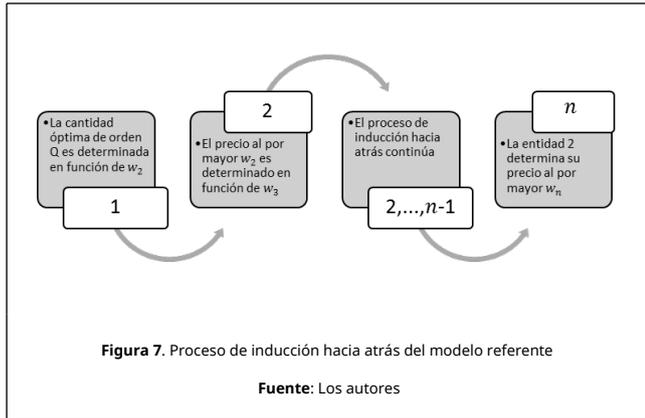
Así, la utilidad total esperada de la cadena de suministro está dada por:

$$\prod_{SC} = \sum_{i=1}^n \prod_i = (p - \bar{c})Q - pQF_D(Q) + pG_D(Q) \tag{28}$$

Bajo el escenario centralizado, todas las decisiones son tomadas por una sola entidad, en este caso, la cadena de suministro enfrenta un problema de vendedor de periódicos con costo de excedente $c_e = \bar{c}$ y costo de faltante $c_s = p - \bar{c}$. De esta manera, la cantidad óptima de pedido es:

$$Q^c = (F_D)^{-1}\left(\frac{p - \bar{c}}{p}\right) \tag{29}$$

Considérese un escenario descentralizado, en este, cada entidad toma decisiones individualmente, procurando por la optimización de su propia utilidad, y se genera una cadena de suministro no coordinada. Existen diferentes maneras de modelar esta situación, sin embargo, en [33] se asume que la optimización ocurre en una secuencia de Stackelberg, donde, en una línea de tiempo, la entidad n es la primera tomadora de decisiones y el modelo es resultado por inducción hacia atrás a partir de la entidad más río abajo (Figura 7).



Bajo este escenario, el minorista enfrenta un problema de vendedor de periódicos con costo de excedente $c_e = c_1 + w_2^d$ y costo de faltante $c_s = p - c_1 - w_2^d$. De esta manera, la cantidad óptima de pedido es:

$$Q^d = (F_D)^{-1} \left(\frac{p - c_1 - w_2^d}{p} \right) \quad (30)$$

La utilidad esperada para la entidad 1 es:

$$\prod_{SC}^c = p G_D(Q^d) \quad (31)$$

Para las entidades 2, ..., n:

$$\prod_i^d = (w_i^d - c_i - w_{i+1}^d) Q^d \quad (32)$$

De esta manera, la utilidad total esperada de la cadena de suministro es:

$$\prod_i^d = (w_i^d - c_i - w_{i+1}^d) Q^d + p G_D(Q^d) \quad (33)$$

En [33] se demuestra que $\Delta = \prod_{SC}^c - \prod_{SC}^d > 0$, por lo tanto, el escenario descentralizado no logra coordinar la cadena de suministro sin la existencia de mecanismo de coordinación.

3.2 Contrato de ingresos compartidos de abarcamiento

Denotado por el superíndice s , el contrato de ingresos compartidos de abarcamiento está constituido por los precios de venta al por mayor w_i^s y los coeficientes de distribución de

ingresos φ_i , se debe cumplir que $0 \leq \bar{\varphi} = \sum_{i=2}^n \varphi_i^s \leq 1$

Bajo el contrato de ingresos compartidos de abarcamiento, las utilidades esperadas están dadas por:

$$\prod_1^s = ((1 - \bar{\varphi})p - c_1 - w_2^s)Q - (1 - \bar{\varphi})pQF_D(Q) + (1 - \bar{\varphi})pG_D(Q) \quad (34)$$

$$\prod_i^s = (\bar{\varphi}p + w_i^s - c_i - w_{i+1}^s)Q - \bar{\varphi}pQF_D(Q) + \bar{\varphi}pG_D(Q) \quad \forall i = 2, \dots, n \quad (35)$$

Teorema 1

El contrato de ingresos de abarcamiento $\{w_2^s, \dots, w_n^s; \varphi_2^s, \dots, \varphi_n^s\}$ con la condición (1) $w_2^s = (1 - \bar{\varphi})\bar{c} - c_1$, coordina la cadena de suministro.

La entidad 1 enfrenta un problema de vendedor de periódicos con costo de excedente $c_e = c_1 + w_2^d$ y costo de faltante $c_s = (1 - \bar{c})p - c_1 - w_2^d$. De esta manera, la cantidad óptima de pedido es:

$$Q^s = (F_D)^{-1} \left(\frac{(1 - \bar{c})p - c_1 - w_2^d}{p} \right) \quad (36)$$

Con la condición (1) es posible verificar que $Q^s = Q^c$,

Utilizando esta cantidad óptima de pedido, se tiene que:

$$\prod_1^s = (1 - \bar{\varphi})p G_D(Q^s) = (1 - \bar{\varphi}) \prod_{SC}^c \quad (37)$$

$$\prod_i^s = (\varphi_i^s \bar{c} + w_i^s - c_i - w_{i+1}^s) Q^s + \varphi_i^s \prod_{SC}^c \quad (38)$$

de esta manera

$$\prod_{SC}^s = \sum_i^n \prod_i^s = \prod_{SC}^c \quad (39)$$

La condición (1) puede representar un valor muy bajo o incluso negativo, sin embargo, [33] señala que a través del contrato de ingresos compartidos, esta característica puede ser compensada.

3.3 Solución Gana-Gana

Desde un punto de vista práctico, el alcance de una solución gana-gana es esencial para el convencimiento de los demás miembros de la cadena de aceptar el contrato, puesto que, los miembros de la cadena sólo aceptaran si las utilidades individuales son mayores que aquellas obtenidas en el escenario descentralizado. En este sentido, las condiciones necesarias para alcanzar una solución ganan son:

$$\prod_2^s = ((\varphi_2^s + 1 - \bar{\varphi}) \bar{c} - c_1 - c_2 - w_3^s) Q^c + \varphi_2^s \cdot \prod_{sc}^c > \prod_2^d; \text{ para } i = 2 \quad (40)$$

$$\prod_2^s = (\varphi_i^s + w_i^s - c_i - w_{i+1}^s) Q^c + \varphi_i^s \cdot \prod_{sc}^c > \prod_2^d; \text{ para } i = 3, \dots, n \quad (41)$$

Sea Ω el conjunto de todos los contratos de ingresos compartidos $\{w_2^s, \dots, w_n^s; \varphi_2^s, \dots, \varphi_n^s\}$, todos los contratos de este conjunto alcanzan tanto la coordinación de la cadena de suministro, como el estado gana-gana. Para demostrar que el conjunto Ω no está vacío y que las condiciones anteriores son válidas, [33] presenta dos casos especiales de los elementos de Ω , en los cuales se nombra la manera de definir los valores de las variables w_i^s y los valores de φ_i^s , el cual se realiza de dos maneras: uno en el que todas las entidades reciben el mismo incremento absoluto en las ganancias; y uno en el que reciben el mismo aumento o incremento relativo en las ganancias.

Caso especial 1

Considérese el contrato $\{w_2^s, \dots, w_n^s; \varphi_2^s, \dots, \varphi_n^s\}$ y asúmase que la condición (1) es satisfecha, además, para $i = 3, \dots, n$ los precios al por mayor se definen como:

$$w_i^s = \sum_{j=1}^n (c_j - \varphi_j^s \bar{c}) \quad (42)$$

1. Si para $i = 2, \dots, n$

$$\varphi_i^s = \frac{\prod_1^d + \frac{\Delta}{n}}{\prod_{sc}^c} \text{ para } i = 2, \dots, n \quad (43)$$

Las utilidades están dadas por:

$$\prod_i^s = \prod_i^d + \frac{\Delta}{n} \text{ para } i = 1, \dots, n \quad (44)$$

De esta manera, todas las entidades obtienen la misma utilidad absoluta adicional comparada con aquella obtenida en el escenario descentralizado.

2. Si para $i = 2, \dots, n$

$$\varphi_i^s = \frac{\prod_1^d}{\prod_{sc}^c} \text{ para } i = 2, \dots, n \quad (45)$$

Las utilidades están dadas por:

$$\prod_i^s = \left(1 + \frac{\Delta}{n}\right) * \prod_i^d \text{ para } i = 1, \dots, n \quad (46)$$

De esta manera, todas las entidades obtienen el mismo porcentaje de utilidad adicional comparada con aquella obtenida en el escenario descentralizado.

Caso especial 2

Considérese el contrato $\{w_2^s, \dots, w_n^s; \varphi_2^s, \dots, \varphi_n^s\}$ y asúmase que la condición (1) es satisfecha, además, para $i = 3, \dots, n$ los precios al por mayor se definen como:

$$w_i^s = \sum_{j=1}^n c_j \quad (47)$$

1. Si para $i = 2$,

$$\varphi_2^s = \frac{\bar{c} Q^c \left((n-1) \frac{\Delta}{n} + \prod_{sc}^d - \prod_1^d \right) + \prod_{sc}^c \left(\frac{\Delta}{n} + \prod_2^d \right)}{(\bar{c} Q^c + \prod_{sc}^c) \prod_{sc}^c} \quad (48)$$

Y para $i = 3, \dots, n$,

$$\varphi_i^s = \frac{\prod_1^d + \frac{\Delta}{n}}{\bar{c} Q^c + \prod_{sc}^c} \quad (49)$$

Las utilidades están dadas por:

$$\prod_i^s = \prod_i^d + \frac{\Delta}{n} \quad (50)$$

2. Si para $i = 2$,

$$\varphi_2^s = \frac{\bar{c} Q^c \left(\prod_{sc}^d - \prod_1^d \right) + \prod_2^d \prod_{sc}^c}{(\bar{c} Q^c + \prod_{sc}^c) \prod_{sc}^c} \quad (51)$$

Y para $i = 3, \dots, n$,

$$\varphi_i^s = \left(\frac{\prod_1^d}{\prod_{sc}^c} \right) \left(\frac{\prod_1^d}{\bar{c} Q^c + \prod_{sc}^c} \right) \quad (52)$$

Las utilidades están dadas por:

$$\prod_i^s = \left(1 + \frac{\Delta}{\prod_{sc}^d}\right) * \prod_i^d \quad \text{para } i = 1, \dots, n \quad (53)$$

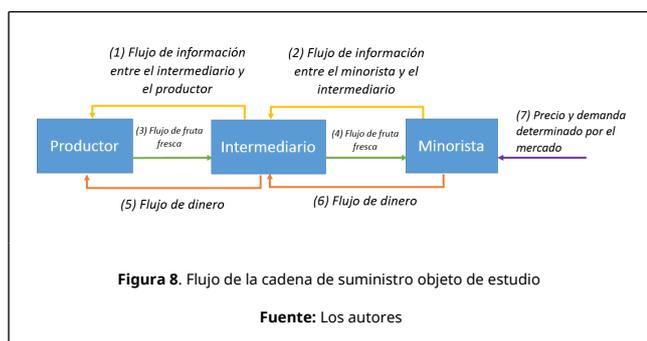
4. Caso de estudio

Representación general de la cadena de suministro

La cadena de suministro frutícola objeto de estudio se encuentra conformada por tres eslabones: productores, intermediarios y detallistas. Los productores son unidades productivas de tamaño pequeño y mediano, los intermediarios compran la producción citrícola a los productores para después comercializarla con detallistas, los detallistas son supermercados ubicados en varias zonas del departamento, especialmente, en los municipios aledaños a la zona de producción.

Tres aspectos de la cadena de suministro son de interés para el estudio de la coordinación con contratos: En primer lugar, los flujos de material, información y financiero, en segundo lugar la asociatividad de los productores y finalmente, la secuencia de toma de decisiones.

De manera generalizada, es posible considerar que la cadena de suministro en el eslabón del productor carece de un modelo de asociatividad formal, en lugar de esto, se puede apreciar un comportamiento similar entre los productores con respecto a las decisiones de producción, las cuales están estrechamente ligadas a las condiciones climáticas; la fijación de precios es establecida por el intermediario o en algunas casos, por medio de un acuerdo mutuo; y el flujo de información entre dos eslabones se limita a actividades de intercambio comercial. Los productores, a pesar de ser la base de la cadena, son el eslabón de menor poder de negociación en el esquema; los intermediarios y el detallista presentan un mayor grado de comunicación, sin embargo, es posible apreciar que el detallista es el eslabón de mayor poder de negociación, seguido por los intermediarios.



La Figura 8 representa los flujos que se dan entre los eslabones de la cadena, así como las variables del mercado que enfrenta el detallista. A continuación, se describen cada uno de los flujos.

(1) Flujo de información entre el intermediario y el productor: es casi inexistente, la información transmitida se limita a aquella llevada a cabo en el momento de la negociación de precios, no se aprecia una colaboración conjunta sobre decisiones de producción, almacenamiento o coordinación de operaciones.

(2) Flujo de información entre el detallista y el intermediario: el intermediario está inscrito como proveedor del detallista.

Recibe los requerimientos de producto en términos de cantidad, frecuencia, precio y condiciones de empaque. Algunos deben proveerse de varias fuentes de suministro (productores) para cumplir la demanda. El nivel de desarrollo tecnológico varía en función a sistemas de comunicación para la recepción de pedidos, y nivel de agregación de valor de empaque (clasificación del producto, embalaje en sacos, mallas, etc.) y de lavado, limpieza del producto y mejoramiento de la apariencia mediante el proceso de encerado de los limones. Conocen las condiciones de pago y regularmente se acogen a las políticas de pago del detallista.

(3) Flujo de producto de fruta fresca entre el intermediario y el productor: las cantidades de producción escasamente son planificadas, el flujo entre estos dos eslabones es básicamente la cantidad mínima entre aquella requerida por el intermediario y la cantidad producida por los productores. Generando desperdicio de fruta ya que los pequeños productores no cuentan con capacidades técnicas para almacenar producto excedente, lo cual, además, evidencia la inexistencia de inventario de seguridad.

(4) Flujo de producto de fruta fresca entre el detallista y el intermediario: el intermediario regularmente cuenta con transporte propio, y recoge los productos en el punto de producción y entrega en el centro detallista. El producto es entregado al detallista cumpliendo los requerimientos de empaque y rotulado exigido si es el caso. La entrega se hace con la frecuencia exigida y cumpliendo el proceso documental exigido para la recepción.

(5) Flujo de dinero de fruta fresca entre el intermediario y el productor: Se realiza de manera inmediata en el momento de la negociación. No se evidencian programas de financiamiento por ninguna de las partes, ni relaciones complejas y formales respecto al flujo financiero entre los eslabones.

(6) Flujo de dinero de fruta fresca entre el detallista y el intermediario: el intermediario soporta los costos financieros del crédito de acuerdo con la política de pago de los centros detallistas. Es decir, ellos asumen los días de crédito establecidos como política impuesta por los detallistas y en algunos casos los descuentos por deterioro del producto. En general estos términos de pago no son transferidos a los productores a quienes les pagan de contado en la mayoría de casos.

(7) Condiciones del mercado que enfrenta el minorista: dos variables del mercado son de interés para la obtención de utilidades y disminución del riesgo inherente, los precios y la demanda. Los precios de las frutas no pueden ser establecidos por la entidad detallista, en lugar de esto, son establecidos de acuerdo a las dinámicas de la demanda y oferta del mercado nacional, información que puede ser rastreada en el sitio web de la central abastos. La demanda se caracteriza por ser elástica, los cambios en los precios suelen generar mayores actitudes de compra por parte de la población [9]. Suponer una relación entre las cantidades de compra y precios, implica asumir un comportamiento de demanda sensible al precio, esto supone que los precios pueden influir en la demanda de un producto, lo cual en el sector frutícola es un aspecto que puede ser corroborado observando los datos de elasticidad precio demanda (EPD) de las frutas en Colombia. Este valor mide el cambio porcentual en la demanda frente a los cambios porcentuales del precio, una EPD de 1 significa que la demanda aumenta un 1% cuando el precio disminuye un 1%, de manera análoga, una EPD de -2 significa que la demanda disminuye un 2% cuando el precio aumenta un 1%, para ello, en [9] se menciona que la EPD promedio de estos productos oscilaba alrededor de 1.3, para la población de bajos ingresos tenían una

EPD de 1.8 y en la población de ingresos más altos llegaba a 0.6, esto indica que el precio tiene una relación directa con la cantidad de productos vendidos y corrobora la incidencia de estas dos variables en el problema de desempeño económico de la cadena.

4.1 Aplicación del modelo propuesto al caso de estudio y resultados

Para el caso de estudio anterior, se aplica el contrato de ingresos compartidos propuesto y se desarrolla mediante el apoyo del lenguaje de programación R. Los parámetros del modelo se resumen en la Tabla 2.

Tabla 2. Resumen de parámetros

Parámetro	Valor
p	1800 \$/kg
s	500 \$/kg
$[L, U]$	[1000, 1500] Unidades
Conjunto de costos c_i	{600, 550, 500} \$

Fuente: Los autores

Los valores de la probabilidad acumulada y valor medio de la distribución truncada de la distribución uniforme continua, son calculados de la siguiente manera:

$$F_D(Q) = \int_L^Q f_D(D) dD = \frac{Q-L}{U-L}$$

$$G_D(Q) = \int_L^Q D f_D(D) dD = \frac{Q^2 - L^2}{2(U-L)}$$

La aplicación de las ecuaciones desarrolladas para los escenarios centralizados y descentralizados conduce a los siguientes resultados mostrados en la Tabla 3, donde Q^* es el tamaño óptimo de pedido, π_{CS} la utilidad y las diferencias son relativas al valor óptimo de la medida de comparación.

Tabla 3. Comparación del escenario centralizado vs descentralizado

	Escenario Centralizado	Escenario Descentralizado
Q^*	1057.7 unidades	264.42 unidades
π_{CS}	\$154,327	-\$663,732
ΔQ	0	793.3 unidades
$\Delta Q \%$	0	75%
$\Delta \pi_{CS}$	0	818,059 unidades
$\Delta \pi_{CS} \%$	0	530%

Fuente: Los autores

Estos valores corroboran la optimalidad del escenario centralizado y desempeño notoriamente inferior del escenario descentralizado. Los coeficientes de distribución de ingresos son $\phi_2 = 23.9259\%$ y $\phi_3 = 33.49627\%$, lo cual indica que el minorista, retiene cerca del 43% de los ingresos ($1 - \phi_1 - \phi_2$).

Dos conjuntos de valores son de interés para la coordinación de la cadena de suministro, la utilidad de la cadena de suministro y aquella de los eslabones de la cadena. Una vez la condición (16) es satisfecha, es posible garantizar que $Q_{ic} = Q_c$, y por lo tanto, la utilidad total de la CS con el contrato es igual a la utilidad de la CS centralizada.

Tabla 4. Comparación de resultados

	Escenario Centralizado	Escenario Descentralizado	Contrato de Ingresos Compartidos
Q^*	1057.7 unidades	264.42 unid.	1057.7 unid.
π_{CS}	\$154,327	-\$663,732	\$154,327
ΔQ	0	793.3 unid.	0

$\Delta Q \%$	0	75%	0
$\Delta \pi_{CS}$	0	818,059 unid.	0
$\Delta \pi_{CS} \%$	0	530%	0

Fuente: Los autores

Los valores de ϕ_1 y ϕ_2 conllevan a los siguientes niveles de utilidad de los eslabones mediante la adaptación del CIC. La sigla EDNC significa escenario descentralizado no cooperativo y la sigla EDC indica escenario descentralizado cooperativo (Tabla 5).

Tabla 5. Comparación del desempeño de los eslabones en el EDNC vs EDC

	Utilidad EDNC	Utilidad EDC	$\Delta \pi$	$\Delta \pi \%$
Eslabón 1	-\$1,209,105	-\$936418.3	\$272686.3	22.55%
Eslabón 2	\$181,791	\$454477.2	\$272686.3	150%<
Eslabón 3	\$363,582	\$636268.0	\$272686.3	75%
Cadena de suministro	-\$663,732	\$154326.9	\$818058.9	123.25%

Fuente: Los autores

Existe un aumento en los niveles de utilidad de todos los eslabones y la utilidad de CS centralizada es igual aquella de la CS con el CIC. Por lo tanto, es correcto afirmar que el CIC coordina la CS.

5. Conclusiones

Los niveles de desempeño global de la cadena de suministro y el mejoramiento individual de los eslabones son objetivos que inicialmente observados van en contra vía, el modelo de contrato propuesto demuestra que, desde el punto de vista teórico es posible mejorar el nivel de las utilidades del sistema haciendo a cada eslabón mejor. Antes de la evaluación del contrato, la utilidad la CS descentralizada resultó en niveles de desempeño inferior a la CS centralizada, los cálculos reportados por el contrato de ingresos compartidos señalan que la utilidad de la cadena descentralizada bajo un escenario colaborativo, no sólo optimiza el desempeño de la cadena, sino que proporciona mejores resultados a cada uno de los eslabones. Se demuestra que el CIC-A puede coordinar la cadena de suministro.

Las relaciones inter organizacionales del escenario descentralizado pueden ser modeladas mediante la inducción hacia atrás y el diferencial resultante entre este nivel de desempeño y el óptimo, es obtenido y distribuido entre los eslabones, el modelo propuesto se ajusta de manera adecuada a las características de la CS objeto de estudio.

El CIC propuesto puede ser aplicado a cadenas de tres eslabones donde el minorista tiene mayor poder de negociación y capacidades tecnológicas adecuadas para implementarlo, en el caso de estudio discutido, interviene diferentes agentes del sector frutícola, lo cual permite abordar la problemática desde un punto de vista práctico, con consideraciones que se ajustan al panorama real, se demuestra la capacidad del contrato para lograr la coordinación.

Referencias

[1] Aramyan, L.H., Oude Lansink, A.G., Van Der Vorst, J.G., Van Kooten, O. Performance measurement in agri-food supply chains: a case study. Supply Chain Management: An International Journal, 12(4):304-315, 2007.

[2] Arshinder, Kanda, A., & Deshmukh, S.G. Supply chain coordination: perspectives, empirical studies and research directions. International journal of production Economics, 115(2):316-335, 2008.

[3] Borodin, V., Bourtembourg, J., Hnaien, F., Labadie, N. Handling uncertainty in agricultural supply chain management: a state of the art. European Journal of Operational Research, 254(2):348-359, 2016.

[4] Breiter, A., Hegmanns, T., Hellingrath, B., Spinler, S. Coordination in supply chain management-review and identification of directions for future research. Logistik

Management, 1-35, 2009.

[5] Cachon, G.P. Supply chain coordination with contracts. Handbooks in operations research and management science, 11:227-339, 2003.

[6] Cachon, G.P., Lariviere, M.A. Supply chain coordination with revenue-sharing contracts: strengths and limitations. Management science, 51(1):30-44, 2005.

[7] Chakraborty, T., Chauhan, S.S., Vidyarthi, N. Coordination and competition in a common retailer channel: Wholesale price versus revenue-sharing mechanisms. International Journal of Production Economics, 166:103-118, 2015.

[8] Chopra, S., Meindl, P. Supply chain management: Strategy, planning and operation. En Das summa summarum des management. Gabler, 265-275, 2007.

[9] Combariza, J.A. Perfil nacional consumo de frutas y verduras Colombia. Bogotá, Colombia, 2013.

[10] Giannoccaro, I., Pontrandolfo, P. Supply chain coordination by revenue sharing contracts. International journal of production economics, 89(2):131-139, 2004.

[11] Gibbons, R. Game theory for applied economists. Princeton University Press, 1992.

[12] Gunasekaran, A., Subramanian, N., Rahman, S. Green supply chain collaboration and incentives: Current trends and future directions. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 74:1-10, 2015.

[13] Guo, S., Shen, B., Choi, T.M., Jung, S. A review on supply chain contracts in reverse logistics: Supply chain structures and channel leaderships. Journal of Cleaner Production, 144:387-402, 2017.

[14] Huang, X., Choi, S.M., Ching, W.K., Siu, T.K., Huang, M. On supply chain coordination for false failure returns: A quantity discount contract approach. International Journal of Production Economics, 133(2):634-644, 2011.

[15] Koulamas, C. A newsvendor problem with revenue sharing and channel coordination. Decision Sciences, 37(1):91-100, 2006.

[16] Lambert, D.M., Cooper, M.C. Issues in supply chain management. Industrial marketing management, 29(1):65-83, 2000.

[17] Teng Wah Leo. Intermediate Microeconomics II, ECON 301 Oligopoly. Recuperado de <http://people.stfx.ca/tleo/>, 2000.

[18] Leyton-Brown, K., Shoham, Y. Essentials of game theory: A concise multidisciplinary introduction. Synthesis Lectures on Artificial Intelligence and Machine Learning, 2(1):1-88, 2008.

[19] Lian, Z., Deshmukh, A. Analysis of supply contracts with quantity flexibility. European Journal of Operational Research, 196(2):526-533; 2009.

[20] Min, H., Zhou, G. Supply chain modeling: past, present and future. Computers & industrial engineering, 43(1):231-249, 2002.

[21] Myerson, R.B. Game theory. Harvard University Press, 2013.

[22] Palsule-Desai, O.D. Supply chain coordination using revenue-dependent revenue sharing contracts. Omega, 41(4):780-796, 2013.

[23] Ramdas, K., Spekman, R.E. Chain or shackles: understanding what drives supply-chain performance. Interfaces, 30(4):3-21, 2000.

[24] CAME. Alimentos: en agosto, los consumidores pagaron hasta 49 veces más de lo que recibió el productor en el campo. Recuperado [de http://www.redcame.org.ar/contenidos/comunicado/Alimentos_-en-agosto_-los-consumidores-pagaron-hasta-49-veces-mas-de-lo-que-recibio-el-productor-en-el-campo.1235.html]. de http://www.redcame.org.ar/contenidos/comunicado/Alimentos_-en-agosto_ores-pagaron-hasta-49-veces-mas-de-lo-que-recibio-el-productor-en-el-campo.1235.html], 2015.

[25] Silver, E.A., Pyke, D.F., D.J. Thomas. Inventory and production management in supply chains. CRC Press, 2016.

[26] Sluis, S., De Giovanni, P. The selection of contracts in supply chains: An empirical analysis. Journal of Operations Management, 41:1-11, 2016.

[27] Soosay, C., Hyland, P. A decade of supply chain collaboration and directions for future research. Supply Chain Management: An International Journal, 20(6):613-630, 2015.

[28] Spekman, R.E., Kamauff Jr, J.W., Myhr, N. An empirical investigation into supply chain management: a perspective on partnerships. Supply Chain Management: An International Journal, 3(2):53-67, 1998.

[29] Von Stackelberg, H. Market structure and equilibrium. Springer Science & Business Media, 2010.

[30] Taylor, T.A. Supply chain coordination under channel rebates with sales effort effects. Management science, 48(8):992-1007, 2002.

[31] Tsay, A.A. The quantity flexibility contract and supplier-customer incentives. Management science, 45(10):1339-1358, 1999.

[32] Turocy, T.L., von Stengel, B. Game theory*: Draft prepared for the Encyclopedia of information systems. Dept. Math., London School Econ., London, UK, Tech. Rep. LSE-CDAM-2001-09, 2001.

[33] Van Der Rhee, B., Van Der Veen, J.A., Venugopal, V., Nalla, V.R. A new revenue sharing mechanism for coordinating multi-echelon supply chains. Operations research letters, 38(4):296-301, 2010.

[34] Wong, W.K., Qi, J., Leung, S.Y.S. Coordinating supply chains with sales rebate contracts and vendor-managed inventory. International Journal of Production Economics, 120(1):151-161, 2009.

[35] Xu, L., Beamon, B.M. Supply chain coordination and cooperation mechanisms: an attribute-based approach. Journal of Supply Chain Management, 42(1):4-12, 2006.

[36] Zhou, Y.W., Yang, S. Pricing coordination in supply chains through revenue sharing

contracts. Information and Management Sciences, 19(1):31-51, 2008.