



# **Un modelo estocástico en cadenas de suministro agroalimentarias resilientes con alcance de exportación. Caso de estudio aguacate Hass.**

**Yohana Marcela López Rivera**

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Minas, Departamento Ingeniería de la Organización  
Medellín, Colombia  
2024



# **Un modelo estocástico en cadenas de suministro agroalimentarias resilientes con alcance de exportación. Caso de estudio aguacate Hass.**

**Yohana Marcela López Rivera**

Tesis o trabajo de investigación presentada(o) como requisito parcial para optar al título de:  
**Magister en Ingeniería Industrial**

Director (a):

Ph.D. Eva Cristina Manotas Rodríguez.

Línea de Investigación:

Cadena productiva resiliente

Grupo de Investigación:

Grupo de Economía y Medio Ambiente - GEYMA

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Minas, Departamento de Ingeniería de la Organización

Medellín, Colombia

2024



*A Dios y María, que son el pilar para alcanzar mis sueños.*

*A mis padres, María Hercilia Rivera  
y Jesús Darío López, fuente de ejemplo y amor.*

*A mi esposo e hijas, por el apoyo incondicional  
que me brindaron para cumplir este sueño.*

*A mis hermanos, que en todo momento  
me acompañaron y respaldaron en este proceso.*

*“Nunca consideres el estudio como una obligación,  
sino como la oportunidad para penetrar en el bello  
y maravilloso mundo del saber”.*

**Albert Einstein**

## **Agradecimientos**

Quiero agradecer a mi directora, Ph.D. Eva Cristina Manotas Rodríguez, por acompañarme y guiarme en este proceso académico. Por propiciar espacios de discusión y aprendizaje que me permitieron crecer en conocimientos y como persona. Quiero resaltar el don y carisma con el que desempeña la docencia, sus palabras sabias, sinceras, alentadoras y llenas de amor.

A Lisandro Marín, Ingeniero Agrónomo de la Alcaldía de San Vicente de Ferrer, por su valioso conocimiento y ser guía en el trabajo de campo.

A los productores de la zona, que enriquecieron este trabajo desde su experiencia y conocimiento.

Agradezco a mis compañeros del grupo de investigación: Isabel Álzate, Antonio Boada y Camilo Burbano, por sus discusiones académicas que enriquecieron mi trabajo durante esta experiencia investigativa.

A Daniel Zapata Valencia, un amigo incondicional, que durante este proceso investigativo me acompañó desde sus conocimientos y debates académicos, que enriquecieron y fortalecieron esta investigación.

## Resumen

### **Un modelo estocástico en cadenas de suministro agroalimentaria resiliente con alcance de exportación. Caso de estudio aguacate Hass**

La capacidad de resiliencia le permite a la cadena productiva prepararse, responder y recuperarse ante la ocurrencia de eventos disruptivos inesperados, manteniendo continuidad en las operaciones a niveles deseados y reducir las probabilidades de interrupción. Actualmente, se reconoce que la resiliencia integra un conjunto de capacidades como: flexibilidad, agilidad, colaboración, adaptabilidad, visibilidad, ingenio y velocidad que la hacen una capacidad dinámica. Estudiar qué tan resiliente puede ser una cadena de suministro agroalimentaria se torna complejo dado a las características intrínsecas de la misma: clima, carácter perecedero, estacionalidad, picos de suministro y largos plazos de suministro. Estas características generan la necesidad de hacer un análisis probabilístico de ocurrencia de las posibles interrupciones, que se ha suplido en este trabajo investigativo con la elaboración de un modelo de optimización lineal estocástica de dos etapas. El modelo propuesto fue validado en la cadena productiva del aguacate Hass, en el oriente antioqueño en el municipio de San Vicente de Ferrer: permitiendo recrear escenarios de interrupción. Mediante la simulación realizada puede concluirse que las estrategias logísticas que optimizan el costo de la cadena productiva del aguacate Hass frente a la materialización de los riesgos posibles son suministro de respaldo, moderación de la probabilidad de interrupción y cambio de comercializadora y estas están asociadas a las subcapacidades de la resiliencia: ingenio, agilidad y velocidad, es decir, la cadena de aguacate Hass debe poseer estas subcapacidades (ingenio, agilidad y velocidad) para ser resiliente y afrontar las perturbaciones de forma ágil y eficiente, minimizando los costos operacionales de esta. Por otro lado, una compañía dedicada a la industria agrícola podría emplear estos datos para detectar estrategias anticipadas de mitigación frente a posibles perturbaciones. Además, las empresas podrían implementar

estrategias de planificación basadas en escenarios para evaluar el impacto de diversos riesgos relacionados con diferentes eventos.

**Palabras Clave:** Cadena de suministro agroalimentaria, cadena de suministro resiliente, capacidad de resiliencia, capacidades dinámicas, programación estocástica, cadena productiva de aguacate Hass.



## **Abstract**

### **A stochastic model in resilient agri-food supply chains with export scope. Case study Hass avocado**

Resilience enables the production chain to prepare for, respond to and recover from unexpected disruptive events, maintaining continuity of operations at desired levels and reducing the likelihood of disruption. It is now recognized that resilience integrates a set of capabilities such as: flexibility, collaboration, adaptability, visibility, resourcefulness, and speed that make it a dynamic super capability. However, studying how resilient an agri-food supply chain can be becoming complex due to its intrinsic characteristics: climate, perishability, seasonality, supply peaks and long supply lead times. These characteristics generate the need for a probabilistic analysis of the occurrence of possible interruptions, which has been supplied in this research work with the development of a two-stage stochastic linear optimization model. The proposed model was validated in the Hass avocado production chain in the municipality of San Vicente de Ferrer in eastern Antioquia, allowing the recreation of interruption scenarios. Through the simulation it can be concluded that the logistic strategies that optimize the cost of the Hass avocado production chain in the face of the materialization of possible risks are backup supply, moderation of the probability of interruption and change of marketer, which are associated with the sub-capabilities of resilience: resourcefulness, agility and speed, i.e., the avocado has chain must possess these sub-capabilities (resourcefulness, agility and speed) to be resilient and face disruptions in an agile and efficient way, minimizing its operational costs. On the other hand, a company dedicated to the agricultural industry could use this data to detect early mitigation strategies in the face of potential disturbances. In addition, companies could implement scenario-based planning strategies to assess the impact of various risks related to different events.

**Keywords:** Agri-food supply chain, resilient supply chain, resilience capacity, dynamic capabilities, stochastic programming, Hass avocado production chain.

# Contenido

	Pág.
<b>Resumen</b> .....	<b>V</b>
<b>Lista de figuras</b> .....	<b>XI</b>
<b>Lista de tablas</b> .....	<b>XIII</b>
<b>Introducción</b> .....	<b>1</b>
<b>1. Elementos teóricos para estudiar la cadena productiva resiliente agroalimentaria y justificación de la investigación</b> .....	<b>4</b>
1.1 Dirección estratégica.....	4
1.2 Teoría de recursos y capacidades.....	5
1.2.1 Recursos y capacidades.....	6
1.2.2 Teoría de las capacidades dinámicas .....	8
1.3 Concepto de resiliencia .....	11
1.3.1 Resiliencia como capacidad dinámica .....	12
1.3.2 Resiliencia en el contexto organizacional .....	13
1.4 Concepto de cadena productiva.....	14
1.4.1 Estructura de cadena productiva .....	15
1.4.2 Enfoques de la cadena productiva.....	16
1.5 Concepto de resiliencia en la cadena productiva.....	18
1.6 Estado de arte de los esfuerzos por explicar la resiliencia de la cadena de suministro .....	19
1.6.1 Estudio de la capacidad de resiliencia en cadenas productivas industriales ..	20
1.6.2 Estudios de la capacidad de resiliencia en la cadena productiva agrícola.....	23
1.7 Problema y pregunta de investigación.....	25
1.8 Justificación de la temática.....	28
1.9 Objetivos .....	29
1.9.1 Objetivo general.....	29
1.9.2 Objetivos específicos.....	29
1.10 Propuesta metodológica .....	29
<b>2. Conceptualización del sistema para la construcción del modelo</b> .....	<b>30</b>
2.1 Preguntas iniciales .....	31
2.2 Soporte teórico para la validación conceptual .....	33

---

2.2.1	Capacidades que integran la resiliencia en la cadena productiva agroalimentaria .....	33
2.2.2	Estrategias resilientes en el marco de las capacidades dinámicas en la cadena productiva agrícola .....	36
2.2.3	Conceptualización de la cadena productiva agrícola .....	37
2.3	Modelo conceptual propuesto .....	39
<b>3.</b>	<b>Formulación del modelo de optimización lineal estocástica de dos etapas .....</b>	<b>40</b>
3.1	Optimización lineal estocástica de dos etapas .....	40
3.2	Descripción general .....	41
3.2.1	Propósito del modelo.....	41
3.2.2	Formulación matemática .....	41
<b>4.</b>	<b>Análisis de las estrategias derivadas de las subcapacidades dinámicas de la resiliencia en la cadena productiva agrícola.....</b>	<b>45</b>
4.1	Caracterización de la cadena productiva del aguacate Hass .....	45
4.2	Análisis de datos.....	49
4.3	Resultados.....	56
<b>5.</b>	<b>Conclusiones y recomendaciones. ....</b>	<b>62</b>
5.1	Conclusiones .....	62
5.2	Recomendaciones .....	65
<b>6.</b>	<b>Bibliografía .....</b>	<b>67</b>

## Lista de figuras

	Pág.
<b>Figura 1:</b> Identificación de capacidades.....	8
<b>Figura 2:</b> Modelo de capacidades dinámicas.....	9
<b>Figura 3:</b> Desafíos que permiten llegar a la resiliencia.....	14
<b>Figura 4:</b> Metodología del modelo conceptual .....	31
<b>Figura 5:</b> Capacidades de la resiliencia en la cadena de suministros .....	33
<b>Figura 6:</b> Cadena de suministro agroalimentaria: un modelo conceptual .....	38
<b>Figura 7:</b> Modelo conceptual de resiliencia a partir de capacidades dinámicas .....	39
<b>Figura 8:</b> Cadena productiva del aguacate .....	45
<b>Figura 9:</b> Proceso productivo del aguacate.....	47
<b>Figura 10:</b> Frecuencia de la ocurrencia de los eventos disruptivos.....	57
<b>Figura 11:</b> suministro de respaldo vs probabilidad de escasez de insumo.....	58
<b>Figura 12:</b> Moderación de la probabilidad de interrupción vs interrupción del rendimiento .....	59
<b>Figura 13:</b> Cambio de comercializadora vs sobre oferta .....	59
<b>Figura 14:</b> Promedio del costo óptimo de suministros de respaldo vs escasez de insumo .....	60
<b>Figura 15:</b> Promedio del costo óptimo de la moderación de la probabilidad de interrupción vs interrupción del rendimiento .....	61
<b>Figura 16:</b> Promedio del costo óptimo del cambio de comercializadora vs sobre oferta .....	62



## Lista de tablas

	Pág.
<b>Tabla 1:</b> Enfoques de la cadena de suministro.....	16
<b>Tabla 2:</b> Elaboración propia .....	36
<b>Tabla 3:</b> Eventos disruptivos del proceso productivo del aguacate .....	48
<b>Tabla 4:</b> Relación entre Subcapacidades, estrategias y riesgos .....	50
<b>Tabla 5:</b> Eventos disruptivos en la cadena productiva del aguacate .....	51
<b>Tabla 6:</b> Instrumento teórico conceptual .....	51
<b>Tabla 7:</b> Distribución estadística que sigue los datos de riesgos.....	55
<b>Tabla 8:</b> Costo de riesgo.....	56
<b>Tabla 9:</b> Costos de las estrategias .....	56





## Introducción

Las cadenas productivas resilientes han emergido como un componente crítico en el entorno empresarial global, especialmente en un mundo donde la volatilidad, la incertidumbre y la complejidad están presentes. La creciente interconexión de mercados, avances tecnológicos y eventos inesperados como pandemias o desastres naturales ha creado la necesidad de diseñar y gestionar cadenas de suministro que no solo sean eficientes, sino también resilientes capaces de afrontar a los desafíos inesperados (Fahimnia et al., 2015).

La resiliencia en la cadena productiva hace énfasis en la capacidad que esta tiene para anticipar, prepararse y responder de manera efectiva a eventos disruptivos, desarrollando estrategias desde los niveles estratégicos tácticos y operativos que permitan una rápida recuperación, permitiendo a la cadena aprender y mejorar continuamente a partir de las experiencias.

Para el caso de las cadenas productivas agrícolas, la gestión de los eventos disruptivos se torna más compleja que la gestión del riesgo de una cadena industrial, dado atributos intrínsecos de ésta, como la estacionalidad, caducidad y plazos de entrega (Behzadi et al., 2017). Los productos agrícolas enfrentan más incertidumbre inherente a la producción biológica, como el clima, enfermedades y plagas que pueden afectar significativamente el rendimiento y calidad de la cosecha, además de otros eventos dado las operaciones logísticas de la misma, por ejemplo, el desabastecimiento de insumo, la sobre oferta, volatilidad en los precios del producto final y la poca capacidad de compra de las comercializadoras. Es así, como la cadena tiene la necesidad de generar estrategias logísticas resilientes que permitan la mitigación del riesgo.

Autores como Ivanov y Sokolov (2013) sugieren que la resiliencia y la solidez son capacidades esenciales en la gestión de los eventos disruptivos, pues, permiten generar estrategias sólidas y robustas para la mitigación de los eventos.

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, la presente tesis tiene por objetivo desarrollar un modelo estocástico para explicar la resiliencia de una cadena de suministro agroalimentaria, orientado a minimizar el costo total de la cadena, permitiendo avanzar en la conceptualización de los sistemas agrícolas desde la resiliencia como capacidad dinámica que permite generar estrategias logísticas para la tecnificación y crecimiento de las cadenas productivas agrícolas. Para ello se propone un modelo conceptual que articula subcapacidades dinámicas de la resiliencia, estrategias logísticas, eventos disruptivos que se presentan en la cadena productiva, para luego proponer un modelo de optimización lineal estocástico de dos etapas que permita entender el fenómeno abordado y revisar los posibles escenarios que se pueden dar en la cadena, el modelo integra datos recolectados en las diferentes visitas que se realizan a fincas productoras exportadoras del municipio San Vicente de Ferrer, oriente antioqueño.

El documento está conformado por cinco capítulos los cuales se estructura de la siguiente manera: en el capítulo uno, se presentan las corrientes teóricas estudiadas, seguidamente se introduce los antecedentes encontrados en la literatura luego se presentan el problema y pregunta de investigación abordado, después la justificación de la temática, seguido de los objetivos y finalmente la metodología abordada para el desarrollo del trabajo.

En el capítulo dos, se presenta la conceptualización teórica del modelo de resiliencia desde las subcapacidades dinámicas. Inicialmente se presenta el soporte teórico para la validación conceptual, luego las capacidades que integran la resiliencia en la cadena productiva agroalimentaria, después las estrategias logísticas resilientes en el marco de las capacidades dinámicas, y a continuación, la conceptualización de la cadena productiva agrícola y finalmente el modelo conceptual propuesto.

En el capítulo tres se presenta la formulación del modelo de optimización estocástica de dos etapas, se introduce el capítulo con una descripción sobre este modelo de optimización, seguido de la descripción general del modelo, propósito y la formulación matemática.

En el capítulo cuatro, se presenta la aplicación del modelo propuesto en la cadena productiva del aguacate Hass: inicialmente se caracteriza la cadena productiva, seguidamente se muestran los datos que se recolectan en campo y cargados al modelo, luego las gráficas obtenidas por el modelo y finalmente los resultados.

En el capítulo cinco se presentan las conclusiones y recomendaciones de la tesis, destacando los hallazgos más importantes desde el modelo de optimización partiendo de los diferentes escenarios planteados para el caso de la cadena productiva de aguacate Hass.

# 1. Elementos teóricos para estudiar la cadena productiva resiliente agroalimentaria y justificación de la investigación

## 1.1 Dirección estratégica

Las organizaciones cada vez más se deben enfrentar a nuevos retos generados por el entorno: interno y externo, los cuales están direccionados a asimilar los cambios continuos del mercado, generando en las empresas la necesidad de diseñar y crear planes organizacionales desde lo estratégico, táctico y operacional para adaptarse a los cambios. A este proceso de adaptación se le denomina dirección estratégica, el cual busca mantener la posición de la empresa en el mercado, siendo capaz de reaccionar eficientemente a las oportunidades favorables, afrontar retos y amenazas del mercado (Guerra y Navas, 2015). De la dirección estratégica se desarrollan dos perspectivas: producto-mercado y la teoría basada en recursos y capacidades (Álvarez, 2003). La primera enfatiza en los determinantes contextuales de la competitividad, es decir, en las técnicas de análisis de los sectores industriales: posicionamiento estratégico, ventaja competitiva como pilar fundamental de la cadena de valor y ventaja competitiva de las naciones (Nélida y Bañuelos, 2017). Mientras la segunda perspectiva enfatiza en el desarrollo de habilidades para influir en el mercado con el desarrollo de nuevos productos, innovación y difusión de nuevo conocimiento a partir de la configuración y manejo eficiente de los recursos disponibles, en esta corriente teórica se propone “localizar los determinantes de la competitividad en las características internas de la organización” (Álvarez, 2003. P4).

Se enfatiza en la teoría de recursos y capacidades dado que permite estudiar la organización desde los enfoques de construcción de ventajas competitivas sostenibles, activos internos, adaptarse a cambios en el entorno empresarial, fomentar la innovación y el aprendizaje continuo, y concentrarse en el desarrollo de competencias clave para lograr el éxito a largo plazo, además, permite una mayor flexibilidad y capacidad de adaptabilidad.

## 1.2 Teoría de recursos y capacidades

La teoría de recursos y capacidades (TRC) está fundamentada en trabajos de autores clásicos del pensamiento económico, como Ricardo (1966), Chamberlin (1933) Stinchcombe (1965) y Penrose (1959) y en la gestión estratégica, como Andrews (1971).

Su objetivo es identificar el potencial de una empresa para establecer ventajas competitivas a través de sus recursos y capacidades, centrándose en sus diferencias y su impacto en los resultados. Este enfoque se orienta más internamente que externamente en la formulación de la estrategia empresarial (Navas y Guerras, 2002).

Esta corriente teórica parte de dos supuestos fundamentales: el primero hace énfasis en la heterogeneidad de las empresas de acuerdo con sus recursos, el segundo supuesto hace referencia a la persistencia en la heterogeneidad de las dotaciones de recursos de la empresa dada su movilidad imperfecta (Barney, 1991). Según Barney (1986) los recursos se convierten en fuente de ventaja competitiva al momento de cumplir con características como: escasos, valiosos, difícil de imitar y sustituir. Las organizaciones son heterogéneas en cuanto a la dotación de sus recursos, trayectoria, experiencia y estrategias empleadas para la obtención de recursos específicos ya que se desarrollan a partir de estas capacidades (Reynoso, 2018).

Cuando las organizaciones son heterogéneas en recursos y capacidades, el comportamiento competitivo y la rentabilidad también serán heterogéneos, las empresas que dispongan de recursos superiores y capacidades especiales pueden lograr beneficios mayores, los cuales, les permitirán diferenciarse de otras empresas ya que cuentan con ventaja competitiva (Barney, 1991; Grant, 1991 y Mahoney y Pandian, 1992)

Es así como Grant (1991) argumenta que, las empresas al estructurar y consolidar sus estrategias a partir de sus recursos y capacidades tienen mayor posibilidad de éxito en su nicho de mercado, que aquellas organizaciones que se basan en la búsqueda de un mercado objetivo. La búsqueda de recursos y capacidades para ello es compleja debido a los factores y restricciones que existen en el mercado, lo que aumenta los riesgos de pérdida ante un entorno cambiante. Cuando se poseen recursos y capacidades generadoras de ventajas competitivas, se pueden visualizar y entender las necesidades de diversos mercados, sin colapsar cuando algún entorno de mercado no sea propicio (Reynoso, 2018).

Como herramienta para obtener ventajas competitivas a partir de los recursos y capacidades, Grant (1991) formula una estrategia de cinco etapas:

- Identificación y clasificación de los recursos.
- Identificar las capacidades de la empresa de acuerdo con el manejo de los recursos y cómo estos trabajan de forma conjunta para crear capacidades.
- Evaluar las ventajas competitivas sostenibles dado la rentabilidad de los recursos y capacidades.
- Seleccionar la estrategia en la que se explote mejor las capacidades, relacionadas a las oportunidades externas e identificación de recursos para la generación de ventaja competitiva.
- Identificar las carencias de los recursos que se necesitan cubrir.

### 1.2.1 Recursos y capacidades

Los recursos y capacidades son la base sólida para la construcción de identidad empresarial, definir la estrategia organizacional en términos de capacidades, se convierte en un soporte competitivo y diferenciador, en contraste a las organizaciones que definen la estrategia organizacional en las necesidades que puede satisfacer, es decir, la identidad se construye a partir de la definición clara de los recursos y capacidades internas, en vez de hacerlo sobre el mercado (Ibarra y Suárez, 2002).

Los recursos individuales son la unidad básica de análisis de la empresa, para examinar cómo la empresa obtiene ventaja competitiva a partir de estos, se debe analizar cómo los recursos trabajan de forma integrada generando capacidades (Ibarra y Suárez, 2002).

Wernerfelt (1984, p.172) define los recursos como *“Aquellos activos (tangibles e intangibles) que se vinculan a la empresa de forma semipermanente como las marcas, el conocimiento tecnológico propio, el empleo de habilidades personales, los contactos comerciales, los procedimientos eficientes, el capital”*.

Los recursos pueden ser tangibles e intangibles. Los recursos tangibles se dividen en dos categorías, recursos físicos y financieros; la primera categoría está integrada por: terrenos, edificios, máquinas-herramientas, equipos informáticos, materia prima, inventario en proceso y producto terminado; en la segunda categoría se tienen recurso como: capital,

reservas, derechos de cobro y acciones, estos recursos se hacen más fácil de identificar y valorar a partir de los estados contables (Grant, 1996).

En cuanto a los recursos intangibles, se tienen los recursos humanos y no humanos, los primeros hacen referencia al talento humano, centrándose en el conocimiento, entrenamiento, experiencia, lealtad hacia la organización, habilidad de razonamiento entre otras. Los segundos se refieren a las herramientas tecnológicas, al conocimiento que la empresa posee para la fabricación de los productos, base de datos, patentes, el valor comercial de la marca, reputación, trayectoria, clientes, imagen corporativa, derechos de fabricación, cultura empresarial y relación con clientes internos (Jacobson, 1987; Hansen y Wernerfelt, 1989; Hall, 1992; Grant 1996; Huerta et al., 2004 ; Cardona, 2011; Teece, 2014). Este tipo de recursos está logrando cada vez mayor relevancia y efectividad en la generación de valor para la empresa. Estos activos intangibles surgen de la integración del conocimiento y el intelecto en las diversas actividades productivas de la organización. (Bueno,1998)

De otro lado, las capacidades o competencias son un conjunto de conocimientos y habilidades, que se obtienen del aprendizaje colectivo de la organización, consecuencia de un manejo estructural de los recursos, de establecer rutinas organizativas, que se llevan a cabo por intercambio de información y la interacción del capital humano de la organización (Cuervo, 1993). En línea similar, para Nelson y Winter (1982) las capacidades se definen como “rutinas organizativas” de la empresa, que se generan a partir de un patrón de coordinación entre los recursos, al perfeccionar dicha coordinación se adquiere un proceso de aprendizaje mediante la repetición, lo que se expresa como la memoria organizacional. Para Grant (1996) las capacidades son actividades regulares que están constituidas por una secuencia de acciones independientes que actúan de forma coordinada para llevar a cabo una actividad concreta.

Prahalad y Hamel (1990) definen las capacidades a partir del concepto de “competencias esenciales”, estas surgen del aprendizaje colectivo de la organización, son fundamentales para la obtención de resultados de la empresa. Para Morcillo (1997) deben cumplir condiciones como: 1) Valor percibido por el cliente y agregar valor, 2) generar diferenciación entre competidores y 3) que sea extensible, es decir, que se pueda replicar a varias líneas de producción.

Las capacidades tienen por tanto un carácter colectivo y son por su naturaleza intangibles, de aquí, la dificultad en identificarlas y clasificarlas (Huerta et al., 2004). Hall (1993 p.610) analiza la naturaleza de las capacidades e identifica las fuentes de ventaja competitiva sostenibles, como se observa en la figura 1.

**Figura 1:** Identificación de capacidades



Fuente: Elaboración propia basada en Hall (1993)

## 1.2.2 Teoría de las capacidades dinámicas

Esta corriente teórica permite analizar cómo se desarrollan las capacidades específicas dentro de la organización, de tal forma que se generen, renueven y dinamicen al ritmo en el que cambia el entorno competitivo (Bueno, 2007). Es decir, enfatiza en la capacidad que tiene la organización en adaptarse y evolucionar de forma continua para sostener su ventaja competitiva en un entorno empresarial cambiante.

Teece et al., (1997) Teece, (2007) y Lessard et al., (2016) definen las capacidades dinámicas como la habilidad de la empresa para integrar, construir, reconfigurar sus competencias internas y externas con el fin de adecuarse rápidamente a las condiciones cambiantes del mercado. Asimismo, Garzón (2015) las define como aquellas habilidades de una organización para generar nuevos conocimientos mediante la constante creación, expansión, mejora, protección, integración, reconfiguración, renovación, recreación, aumento y reconstrucción de sus competencias centrales. Permitiendo a la organización adaptarse a los cambios del mercado y configurar su entorno operativo, innovando en nuevos productos, procesos y modelos de negocio para mantener y ampliar sus ventajas competitivas.



Garzón (2015), propone un modelo de capacidades dinámicas, a partir de cuatro enfoques: Capacidad de Absorción, Capacidad de Innovación, Capacidad de Aprendizaje y Capacidad de Adaptación, como se muestra en la figura 2.

**Figura 2:** Modelo de capacidades dinámicas



Fuente: tomado de Garzón (2015)

En la búsqueda de generar un impacto estratégico se hace necesario que la organización establezca procesos de creación de valor a partir de las capacidades dinámicas identificadas, logrando valor y competitividad en un mercado cambiante.

- **Capacidad de Absorción:** es la habilidad que tiene la empresa para reconocer, identificar, asimilar y explotar la información originada del exterior con fines comerciales (Zahra y George, 2002), desagrega esta capacidad en cuatro dimensiones 1) Adquisición de conocimiento, 2) Asimilación del conocimiento, 3) explotación del conocimiento, 4) transformación del conocimiento.
- **Capacidad de Innovación:** es la habilidad que tiene la organización para crear métodos de producción y productos, identificación de mercados, creación o adquisición de fuentes de suministro, además de la creación de nuevas formas organizativas (Wang y Ahmed, 2004). Esta capacidad se vuelve un vínculo entre recursos y capacidades al momento de crear productos conforme cambia el mercado. Según Nonaka y Takeuchi (1999), busca la explotación y creación activa de nuevos y únicos conocimientos, además de facilitar su comunicación, difusión y

transferencia dentro de la organización. Para la capacidad de innovación se han propuesto dimensiones como: innovación gradual, innovación arquitectural, innovación radical e innovación conceptual (Garzón Castrillón, 2015)

- Capacidad de Aprendizaje, es definida por Mertens y Palomares (2006), como la suma del aprendizaje individual y colectivo, resultado de la exploración y reflexión de los procesos internos y externos de la empresa busca que el esfuerzo de aprendizaje de la organización se transforme en competitividad. Según Prieto (2003) es el potencial dinámico para crear, asimilar, difundir y aplicar conocimiento a través de múltiples flujos de información, este proceso permite la formación y desarrollo continuo de reservas de conocimiento que capacitan a las organizaciones y a sus agentes para adaptarse intencionadamente en entornos que cambian constantemente. Para Garzón, et al., (2012) es el potencial que tiene la organización para crea nuevo conocimiento individual, de equipo, organizacional e interorganizacional basados en su cultura, permitiendo mejorar: los procesos, desarrollar nuevas potencialidades, productos y servicios orientados a la sostenibilidad, dicho potencial dependerá de la habilidad de la organización para conocer, asimilar y valorar el conocimiento interno y externo con fines productivos. Así mismo se ha planteado las dimensiones; adquisición de capacidades de conocimiento, capacidad de generación de conocimiento y capacidad de combinación del conocimiento.
- Capacidad de adaptación y contraataque, es la habilidad de supervivencia y la obtención de rentabilidad que desarrolla la organización ante un mercado dinámico y supone elementos novedosos en la estrategia organizacional. Esta capacidad está direccionada al ajuste estratégico y estructural de la organización para adecuarse a las circunstancias cambiantes del mercado. Los estados para esta capacidad radican en: 1) estado inestable, cuando las empresas disminuyen sus reacciones ante el mercado, 2) estado estable, desarrollan capacidad de adaptación imitando acciones de su competencia a nivel comercial, 3) estado neutral, las organizaciones tienen una alta capacidad de adaptación siendo precursoras en la búsqueda de oportunidades de mercado, invirtiendo recursos que les permita tener una respuesta rápida ante las oportunidades encontradas McKee et al., (1989).

### 1.3 Concepto de resiliencia

El estudio de la resiliencia tiene origen en la Psicología, desde la teoría del desarrollo, y es una teoría emergente por derecho propio (Ponomarov y Holcomb, 2009). En esta área del conocimiento se concibe “como un concepto relativo a la capacidad de las personas para generar propuestas adaptativas ante la adversidad”, la persona está en condición de hacer algo si tiene la oportunidad a las circunstancias (López, 2015). Así mismo, las ciencias humanas han adoptado el término para referirse a las pautas o acciones de las personas para superar las situaciones adversas, una persona resiliente es aquella que logra sobresalir de una dificultad (Sánchez, 2003). García del Castillo et al., (2016), enmarcan el surgimiento del concepto resiliencia a la física, en relación con la resistencia que tienen los materiales, y la capacidad de recobrar su estado inicial, después de ser sometido a altas presiones y fuerzas.

Desde una perspectiva ecológica, Holling (1973), fue uno de los primeros investigadores en notar que, en un sistema se deben identificar dos tipos de comportamiento, estabilidad y resiliencia. La primera hace referencia a la “capacidad de un sistema para regresar a un estado de equilibrio después de una perturbación temporal” en cuanto más rápido se recupere el sistema de la perturbación más estable es, en cuanto a la resiliencia la define como “medida de persistencia del sistema y de su capacidad para absorber cambios y llegar o mantener las condiciones o variables iniciales”.

En la misma corriente teórica Holling y Gunderson (2002) definen la resiliencia “como la capacidad del sistema para afrontar perturbaciones y mantener sus funciones y controles”, percepción que autores como, Carpenter et al., (2002) le agregaron el concepto de ciclo adaptativo, concluyendo que la resiliencia tiene tres estados principales: 1) la cantidad de cambios que sufre el sistema durante la perturbación manteniendo su estructura, 2) el sistema es capaz de mantenerse sin reorganizar factores externos, y 3) el grado de dinamismo que genera el sistema para aprender y adaptarse ante el evento adverso.

Para Melnyk, (2014) la resiliencia consta de dos componentes críticos que son fundamentales para un sistema: resistencia y recuperación. El primer componente hace alusión a la capacidad del sistema para minimizar el impacto de una interrupción, el segundo componente se refiere a la capacidad que tiene el sistema para regresar a su funcionamiento normal una vez que se ha producido una interrupción.

### 1.3.1 Resiliencia como capacidad dinámica

La resiliencia se ha definido como una capacidad de recuperación rápida y eficaz ante un evento adverso (Gupta et al., 2015; Fahimnia et al., 2015; Pettit et al., 2010). Cumple con aspectos sobresalientes de la teoría de capacidades dinámicas como: adaptación, renovación, integración, construcción y reconfiguración de las competencias externas e internas en patrones aprendidos de acuerdo con los recursos existentes, para generar ventajas competitivas en entornos rápidamente cambiantes, siendo atractiva para las organizaciones.

Toma aspectos relevantes de las capacidades dinámicas, por ejemplo:

- De la capacidad de absorción, es capaz de leer el contexto e identificar eventos adversos, propicia las herramientas para explotar el conocimiento del recurso humano, es capaz de transformar el conocimiento en estrategias robustas y resistentes.
- De la capacidad de innovación, puede adoptar estrategias como crear nuevos procesos y productos, generar nuevos mercados de acuerdo con las necesidades del entorno, innovación conceptual, innovación frente al manejo o integración de los recursos existentes, además que busca explotar los recursos al máximo y de forma eficiente ante una dificultad.
- De la capacidad de aprendizaje, toma la habilidad de creación de conocimiento individual, de equipo y organizacional, a partir de estos aspectos la resiliencia genera estrategias de supervivencia al configurar los recursos de tal forma que se supere la adversidad, además, la empresa construye un aprendizaje difícil de replicar e imitar por sus rivales. De igual modo, la resiliencia se nutre del aprendizaje continuo y la mejora constante, las experiencias adversas no solo son superadas, sino que también se transforman en oportunidades para aprender lecciones valiosas, desarrollar nuevas habilidades y fortalecer la capacidad de respuesta futura. Este ciclo de aprendizaje y ajuste asegura que la resiliencia no sea estática, sino que evolucione con el tiempo y se enriquezca con cada experiencia vivida.
- Toma elementos fundamentales de la capacidad de adaptación y contraataque, ya que permite la reestructuración de estrategias organizacionales.

### 1.3.2 Resiliencia en el contexto organizacional

Desde el contexto organizacional, la resiliencia se ha definido en términos de capacidades o habilidades (Ponomarov y Holcomb, 2009). Weick et al., (1999) la ha definido como la capacidad de ajustar y mantener funciones deseables en condiciones difíciles o tensas. Para Wildavsky (1988), es una capacidad dinámica de adaptabilidad organizacional que crece y se desarrolla en el tiempo. Vogus y Sutcliffe (2007) la conciben como la capacidad de recuperación ante eventos disruptivos o difíciles. Hamel y Välikangas (2003) describen la resiliencia como una capacidad, que permite a la organización desarrollar planes estratégicos sostenibles. Para Gallopín (2006) es la habilidad que tiene la organización para adaptarse y recuperarse rápidamente ante una eventualidad.

Asimismo Mitroff et al., (2004) afirman que las organizaciones son resilientes cuando logran desarrollar flexibilidad, adaptabilidad, mantenimiento y recuperación. Para Minolli (2005) la organización es resiliente cuando es capaz de absorber cambios y rupturas tanto internas como externas sin que su rentabilidad se vea comprometida, inclusive son capaz de desarrollar estrategias de rápida adaptación que le permite flexibilizar sus procesos.

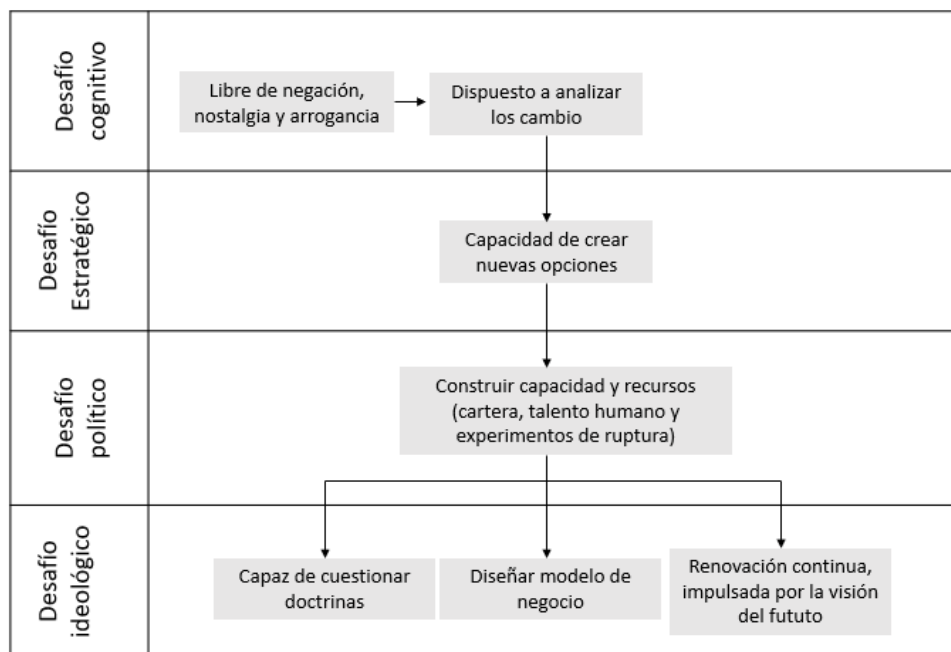
Hamel y Valikangas, (2003), enfatizan que para la organización la resiliencia no solo se enmarca en la flexibilidad, recuperación o preparación para la crisis, al mismo tiempo, es un diferenciador de ventaja competitiva sostenible, al generar eficiencias operacionales y capacidades para una respuesta oportuna ante los cambios del mercado, dichos autores resaltan la resiliencia como la capacidad de construcción continua.

Para abordar el concepto de ventaja competitiva es necesario mencionar que se tiene dos vertientes principales: la primera define la ventaja competitiva sostenible como generadora de ganancias por encima del promedio sobre los costos totales, es decir, la rentabilidad (Chakraborty, 1997). La segunda vertiente parte de la teoría de recursos y capacidades (Prahalad y Hamel, 1990; Barney 1991) donde el éxito de la empresa está en sí misma, según los recursos y capacidades que esta posee para competir (De y Hernández, 2008). Según esta corriente, la ventaja competitiva sostenible se consigue cuando la organización tiene un desempeño superior, además, su estrategia y capacidades son inimitables (Weerawardena, 2003).

Es pertinente precisar que ser resiliente es un objetivo que las organizaciones deben comprometerse a alcanzar. Una de las metodologías que puede ser aplicada para la

consecución de esta es la de “cero traumas” o “cero complejos” (Hamel y Välikangas, 2003). La cual consiste en estructurar y poner en práctica estrategias que permitan la flexibilidad y adaptabilidad frente a nuevos retos, es decir, poder anticipar los escenarios de las actividades actuales de la empresa, visionar el futuro más que defender su pasado, buscar siempre una estructuración táctica que le permita constante transformación conforme a las oportunidades emergentes y tendencias nacientes, esto apoyado en los desafíos: cognitivo, estratégico, político e ideológico, como se expone en la figura 3.

**Figura 3:** Desafíos que permiten llegar a la resiliencia



Fuente: Elaboración propia con base en Hamel y Valikangas, (2003).

## 1.4 Concepto de cadena productiva

El concepto de cadena productiva se ha definido como una red de organizaciones relacionadas entre sí hacia adelante o hacia atrás, en actividades y procesos para la transformación de la materia prima en producto y/o servicios demandados por el consumidor final, y a su vez coordina el flujo de información y finanzas que apoyan las necesidades de las empresas (Asgari, et al., 2016).

Ballou, (2004) y Chopra y Meindl, (2010) definen la cadena de suministro como la integración de un conjunto de actividades involucradas directa o indirectamente para satisfacer al cliente final, haciendo alusión al engranaje de actividades clave como: gestión de proveedores y clientes, compras, transporte, inventarios, almacenes, minoristas y mayoristas, para la transformación de materia prima en productos terminados. Flores (2021) afirma que la cadena también está conformada por los transportistas, almacenistas, vendedores al detalle y los clientes. Su objetivo principal es optimizar la eficiencia, reducir costos, mejorar la calidad, el servicio al cliente y obtener el máximo valor agregado (Fontalvo et al., 2019). Para lograr una cadena de suministro eficiente y competitiva se debe desarrollar estrategias colaborativas entre sus eslabones, mediante el intercambio en tiempo real de información sobre planes de producción, costos operacionales y niveles de inventario, a su vez los eslabones deben estar interconectados y gestionarse como un todo (Flores Carvajal, 2021) .

### **1.4.1 Estructura de cadena productiva**

El análisis de la estructura de la cadena de suministro requiere un enfoque secuencial que va desde la simplicidad cuando se maneja un producto el cual se mueve a través de una serie de organizaciones que le agregan valor. Si se toma como referencia a la organización y sus actividades, se puede decir que cuando los materiales se mueven hacia adentro, se llama aguas arriba, pero cuando la organización mueve los materiales hacia afuera se llama aguas abajo (Chopra y Meindl, 2010). De igual forma, en la cadena hay tres grandes flujos: financieros, de materias primas y de información.

Los actores de la cadena se dividen en niveles, por ejemplo, un proveedor de primer nivel es aquel que abastece directamente a la organización, un proveedor de segundo nivel es entonces aquel que abastece, al proveedor de primer nivel, esto mismo sucede con los clientes, un cliente que reciba los productos directamente de la organización será un cliente de primer nivel, entonces un cliente de segundo nivel es aquel que reciba productos del cliente de primer nivel. Los mayoristas pueden ser de primer nivel, los minoristas de segundo nivel y el usuario final como clientes de tercer nivel. Gran parte de las empresas se abastecen de proveedores diferentes, es así como las cadenas de suministro tienden a converger en la organización focal, a medida que los insumos o materias primas se mueven a través de la cadena de valor para satisfacer la demanda. Una compañía podría

tener muchas cadenas a través de la fabricación de sus productos y muchas otras cadenas a través de sus procesos de información.

Es de anotar que la cadena de suministro puede llegar a ser tan compleja como así se requiera, dado el conjunto de interacciones entre las diferentes organizaciones que generan valor al producto, y es por ello por lo que para muchos autores el término de cadena de suministro se queda corto y proponen entonces hablar de redes de suministro oferta / demanda (Waters, 2007).

### 1.4.2 Enfoques de la cadena productiva

Los enfoques o perspectivas que se han construido sobre la cadena de suministro han ido cambiando a medida que su complejidad aumenta, con el fin de buscar estrategias para mejorar el rendimiento de la cadena de valor. Tabla No. 1

**Tabla 1:** Enfoques de la cadena de suministro

Referencias	Perspectiva	Discusión conceptual
(Sodhi y Tang 2012). (Rha, 2020)	Gestión de la cadena de suministro	Es la coordinación y gestión integral de los flujos financieros, de materiales y de la información a lo largo de la cadena de suministro. Además, de la coordinación integral de las actividades de los eslabones de marketing, ventas, producción, diseño de productos y logística dentro de la cadena de valor.
(Stindt y Sahamie, 2014)	Gestión de la cadena de suministros de circuito cerrado	Es la gestión inversa de la cadena de suministro para productos recuperados que se reprocesan y eventualmente se recuperan en la cadena de suministro hacia adelante. Permite a la empresa reducir los impactos ambientales negativos, minimización de recursos primarios, ayuda al crecimiento económico que se logra a través del ahorro de costos, logrando ventajas de vanguardia y reputación.



(Seuring y Müller, 2008) (Mardani et al., 2020)	Gestión sostenible de la cadena de suministro	Es la gestión de material, información y flujo de capital, así como la operación entre compañías, desde una dimensión de desarrollo sostenible, es decir, económico, social, ambiental que parte de la necesidades y requerimientos del cliente.
(Pires y Barbosa 2018) (Sodhi y Tang 2012) (Fahimnia et al., 2015b)	Gestión del riesgo de la cadena de suministro	Desde esta perspectiva se busca idear estrategias que permitan identificar, evaluar, proponer y mitigar el riesgo a lo largo de la cadena, partiendo del estudio de la gestión de la cadena de suministro, la gestión del riesgo empresarial y la gestión de crisis.
(Guzmán et al., 2020)	Gestión de la cadena de suministro verde	Es la integración del pensamiento ambiental en la gestión de la cadena de suministro, incluyendo diseño del producto, la selección y abastecimiento de insumos, los procesos de fabricación, la entrega del producto al cliente final y la gestión al final de la vida útil del producto.
(Bruneau et al., 2003)	Cadena de suministro agroalimentaria	Señalan que una cadena de suministro agroalimentaria es el conjunto interdependiente de instituciones, empresas y mercados que contribuyen a la producción, procesamiento y distribución de productos agrícolas para satisfacer las necesidades nutricionales de una sociedad
(Datta et al., 2007)	Cadena de suministro resiliente	Una cadena productiva resiliente es capaz de reducir los riesgos, las probabilidades de interrupción, y el tiempo de recuperación de su estado original.
(Ivanov y Dolgui, 2020)	Cadena de suministro de supervivencia o de viabilidad	Capacidad del sistema para satisfacer las demandas y de sobrevivir en un entorno cambiante.

**Fuente:** Elaboración propia con base en Guzmán et al., (2020)

## 1.5 Concepto de resiliencia en la cadena productiva

En la cadena productiva, la resiliencia es definida como la capacidad que le permite prepararse, responder y recuperarse ante la ocurrencia de eventos disruptivos inesperados, manteniendo continuidad en las operaciones a niveles deseados, con la mínima pérdida económica y aumentando la competitividad (Christopher y Peck, 2004; Romero et al., 2017; Barac et al., 2011).

Según Aboah et al., (2019) se ha definido la resiliencia en términos de reactiva y proactiva para gestionar y mitigar riesgos. La resiliencia reactiva implica responder a las interrupciones y desafíos una vez que han ocurrido, enfocándose en la capacidad de recuperación y la implementación de soluciones rápidas para minimizar el impacto negativo. Por otro lado, la resiliencia proactiva se centra en anticipar posibles riesgos y problemas antes de que se materialicen, implementando estrategias y medidas preventivas para fortalecer la cadena de suministro y reducir la probabilidad de interrupciones. Es así como el enfoque reactivo es crucial para manejar crisis inmediatas, el enfoque proactivo es fundamental para crear una cadena de suministro más robusta y sostenible a largo plazo. Para Pettit et al., (2010) la resiliencia se centra en las interrupciones imprevisibles, y la incertidumbre sobre la probabilidad de que ocurra un evento disruptivo, situando la resiliencia fuera del dominio de la gestión del riesgo, y resaltando la definición proactiva de resiliencia.

Una cadena productiva resiliente es capaz de reducir las probabilidades de interrupción, y el tiempo de recuperación de su estado original (Datta et al., 2007). La recuperación no necesariamente implica retornar a un estado original, sino más bien al logro de un nuevo estado (Christopher y Peck, 2004). Se puede evaluar en cuatro aspectos: preparación para afrontar un acontecimiento inesperado, respuesta al evento, recuperación del evento y crecimiento o ventaja competitiva frente a la interrupción (Sheffi y Rice, 2005; Ponomarov y Holcomb, 2009). Las capacidades y estrategias de resiliencia permitirán minimizar riesgos de manera oportuna y con un costo mínimo.

En los sistemas sociotécnicos, interacción hombre-máquina, el estudio de la resiliencia se ha enfocado particularmente en las actividades de las etapas de procesamiento, fabricación y distribución. En los sistemas socio ecológicos, interacción hombre-

naturaleza, la resiliencia en la cadena de valor es multidimensional, implica la relación entre personas, sistemas técnicos, el entorno natural y dimensiones económicas que se centran aguas arriba (Folke et al., 2010). La resiliencia en la cadena de valor agrícola toma especial importancia dado a que las actividades que se planifican y ejecutan aguas arriba son cruciales, esto se debe a que el resultado de dichas actividades impacta en la continuidad de la cadena de suministro (Aboah et al., 2019). Asimismo, tienen impacto en cascada en los actores intermediarios y minoristas (Pereira et al., 2014).

Para Carvalho y Cruz (2011) un aspecto importante para el análisis de resiliencia es la identificación del estado de un sistema. Para la cadena de suministro agroalimentaria el estado de resiliencia es definido por Cumming et al., (2005) como la identidad que necesita ser mantenida frente a la disrupción, es decir, los servicios ecosistémicos actúan como el estado de resiliencia que deben mantenerse frente a las interrupciones. Dichos servicios son el resultado de la relación entre habilidad humana, tecnología y naturaleza (ecología), según Biggs et al., (2015) se categorizan en: aprovisionamiento, regulación y culturales.

Según (Aboah et al., 2019) para la conceptualización de la resiliencia en los sistemas agroalimentarios, se deben considerar tres aspectos: 1) analizar el contexto y determinar si el enfoque estará en la resiliencia sociológica o sociotécnica, 2) determinar el estado de resiliencia del sistema, ya que es la base para determinar los niveles de resiliencia y 3) definir el nivel de investigación: a nivel nacional o de los sistemas alimentarios, a nivel de la cadena de valor alimentaria discreta y a nivel de cada actor.

Desde otra perspectiva Clavijo et al., (2022) definen la resiliencia para la cadena de suministro agroalimentario, como la capacidad para gestionar y mitigar las interrupciones debidas al calentamiento global y fenómenos naturales como deslizamientos de tierra e inundaciones de cultivos, entre otros causados por humanos.

## **1.6 Estado de arte de los esfuerzos por explicar la resiliencia de la cadena de suministro**

La necesidad de evaluar la resiliencia de la cadena productiva y la creación de estrategias que le permita prepararse, responder y recuperarse ante la ocurrencia de eventos disruptivos inesperados, se han abordado en la literatura desde diferentes enfoques. A

continuación, se abordan varias de estas perspectivas, métodos y estrategias que permitirán entender el problema de investigación, y la propuesta metodológica.

### **1.6.1 Estudio de la capacidad de resiliencia en cadenas productivas industriales**

En la investigación realizada por Torabi et al., (2015) se propone un modelo de programación estocástica multiobjetivo mixto de dos etapas, basado en escenarios discretos con recurso para formular el problema SS&OA bajo riesgos operacionales y de interrupción, cada escenario está asociado con una probabilidad de ocurrencia del evento disruptivo, y consiste en proveedores no interrumpidos e interrumpidos en los que cada proveedor interrumpido se enfrenta a un evento disruptivo específico, se asume que los proveedores están dispersos espacialmente, de modo que un evento disruptivo no afectaría a todos simultáneamente. El modelo construido permite calcular el nivel de resiliencia de la base de suministro seleccionada considerando varias estrategias, como los planes de continuidad del negocio de los proveedores, el fortalecimiento de los proveedores y el contrato con proveedores de respaldo para mejorar el nivel de resiliencia de la red de suministro.

Para la formulación del problema se tuvo en cuenta la conformación de dos grupos de proveedores, el primer grupo posee un desempeño aceptable en los criterios tradicionales (Medidas QCD), pero no tiene planes definidos de continuidad ni planes de interrupción. El segundo grupo incluye los proveedores que han adoptado un cierto nivel de sistemas de gestión de continuidad del negocio y de recuperación ante desastres para hacer frente a las interrupciones importantes. Para los proveedores que conforman el segundo grupo se les hace un perfil de interrupciones con elementos como: diferentes tipos de eventos disruptivos, la probabilidad de estos eventos de interrupción y su impacto en los procesos, capacidad de producción posterior, y tiempos de recuperación estimados para diferentes niveles de acciones basado en el plan de desarrollo de continuidad o recuperación del negocio.

Ni et al., (2018), estudian la resiliencia de una cadena de suministro industrial desde el impacto de la demanda no satisfecha, los pedidos pendientes y las multas por pérdidas de clientes. Los autores proponen un modelo de programación estocástica de dos etapas que integran las estrategias previas a la ocurrencia del evento disruptivo y las estrategias de

recuperación, con el objetivo de minimizar los costos de resiliencia esperados, que incluyen costos de mitigación, costos de restauración y multas por pérdida de clientes, aquellos que la empresa no pudo abastecer después del evento disruptivo. Para la primera etapa se modelan las estrategias de mitigación: reserva de capacidad ociosa, mantenimiento de existencias de seguridad y contratos anuales con proveedores de reserva, los costos que se generan de estas estrategias son llamados costos de mitigación, en la segunda etapa se tiene las estrategias de mitigación como: restauración de la capacidad del proveedor interrumpido, mantener inventarios en las instalaciones para ajustar los envíos a los clientes y realizar contratos con proveedores de respaldo. En el modelo se tiene presente que, en el tiempo en que el proveedor afectado se recupera se puede generar una demanda insatisfecha de los clientes lo cual puede contribuir a la pérdida de un cliente, a los costos de esta segunda etapa son llamados costos de restauración. Se analiza el modelo mediante escenarios, a cada uno se le aplica una perturbación potencial única.

Asimismo, Hosseini et al. (2019) proponen un método que integra la selección de proveedores resilientes y el problema de la asignación óptima de pedidos bajo diferentes escenarios con situaciones de disrupción. Inicialmente se presenta un modelo para calcular la probabilidad de los escenarios de interrupción para el problema de selección de proveedores utilizando un modelo gráfico probabilístico basado en la teoría de redes bayesianas. Se tiene en cuenta un gran número de eventos disruptivos, las dependencias entre eventos y el impacto en el rendimiento del proveedor, es decir, el efecto dominó. Mediante el uso de la técnica Noisy-OR se hace una reducción significativa de la carga computacional de las probabilidades. Luego se diseña un modelo estocástico de programación de enteros mixtos multiobjetivo, que apoya la toma de decisiones sobre cómo y cuándo utilizar estrategias proactivas y reactivas incluida la segregación de proveedores, los contratos de proveedores de respaldo, la confiabilidad del proveedor, el inventario excedente y la capacidad de restauración del proveedor.

Otra mirada se evidencia en Sabouhi et al., (2020) presentan un modelo de optimización estocástica de dos etapas. Este modelo propone el diseño de una cadena de suministro resiliente operando bajo interrupciones aleatorias. Permite determinar las decisiones de abastecimiento y diseño de red que minimizan el costo total esperado y garantizan el nivel mínimo de servicio al cliente. Se tiene en cuenta estrategias de resiliencia como: múltiples rutas de transporte, proveedores de respaldo, capacidad de producción adicional,

transbordo lateral y envío directo. A medida que los escenarios crecen en números, el tamaño del problema crece de forma exponencial, para ellos los autores usan una extensión del algoritmo de descomposición de Benders, con enfoque de solución multicorte en forma de L, que tiene por objeto acelerar el proceso de convergencia del algoritmo.

En el trabajo de Sawik (2022), se presenta un modelo estocástico SMIP (programación entera mixta) basada en escenarios con el objetivo de maximizar el rendimiento de costo y el nivel de servicio de una cadena de suministro multirregional sujeta al riesgo de interrupción regional pandémico. El trabajo busca validar si las medidas de resiliencia adoptadas típicamente, como el posicionamiento previo de inventario de mitigación de riesgo, contrato de proveedores de respaldo y los suministros de recuperación, son estrategias efectivas para que la cadena de suministro sobreviva y se recupere durante la pandemia del Covid-19, donde la interrupción simultánea de la oferta y la demanda se propagan a través de las cadenas de suministro multirregionales e impactan sucesivamente a los proveedores y fabricantes en diferentes regiones. En este modelo se considera simultáneamente la probabilidad y la duración de las perturbaciones regionales, la velocidad de propagación del efecto dominó, calendario de confinamientos regionales y fluctuaciones de la demanda del mercado.

Otro aporte en esta dirección es el presentado por Kamalahmadi y Parast, (2017) donde desarrollan un modelo de programación entera mixta de dos etapas (SMIP) mediante escenarios, para abordar el problema de selección de proveedores, proveedores de respaldo, stock de inventarios y la asignación de pedidos bajo un evento de riesgo disruptivo. Mediante el análisis de árbol de decisión, se determina la probabilidad de interrupción para cada uno de los escenarios que pueden ocurrir como resultado de las fallas de los proveedores (interrupción del proveedor) o una falla regional (interrupción ambiental), seguidamente se hace la construcción del modelo de programación de enteros mixtos de dos etapas, donde se determina la selección óptima de proveedores y la asignación de recursos, así como, la selección y asignación de recursos e mitigación de interrupciones. El modelo proporciona información para la selección de proveedores, las decisiones de asignación y el desarrollo de planes de contingencia de la empresa, con el fin de satisfacer la demanda de los clientes tanto en condiciones normales como de interrupción. En el modelo se evalúa el costo de administración de proveedores, es el costo en el que incurre el fabricante para administrar y mantener relaciones con los proveedores,

además, para cada escenario se evalúan los costos de pedir, el costo de transporte, el costo de pérdida, costos de los artículos no satisfechos.

### **1.6.2 Estudios de la capacidad de resiliencia en la cadena productiva agrícola**

Así mismo, se ha estudiado la capacidad de resiliencia de las cadenas de suministro agrícolas, dado que la gestión del riesgo y las interrupciones es aún más importante debido a los objetivos de seguridad alimentaria y los desafíos asociados con la estacionalidad, picos de suministro, largos plazos de suministro, clima, y el carácter perecedero, lo que implica más fuentes de incertidumbre (Balezantis et al., 2023; Behzadi et al., 2018). Los estudios que se presentan a continuación se han abordado desde la programación estocástica de dos etapas, esta metodología considera la incertidumbre en la toma de decisiones. En el contexto de dos etapas, se abordan problemas de toma de decisiones en dos momentos diferentes en el tiempo. En la primera etapa, se toman decisiones sin conocer los resultados futuros inciertos. En la segunda etapa, después de que se revela la información incierta, se ajustan las decisiones tomadas en la primera etapa para optimizar el resultado final.

Con el objetivo de analizar la capacidad de resiliencia de la cadena de suministro agroalimentaria de Kiwis y administrar el tiempo de cosecha bajo interrupciones, los autores Behzadi et al. (2017) desarrollan un modelo de programación estocástica de dos etapas, en la primera etapa el modelo de optimización selecciona estrategias de gestión de riesgos de un conjunto de estrategias robustas/resilientes, en la segunda etapa el modelo toma decisiones de abastecimiento, inventarios, distribución y ventas basadas en la realización real de escenarios de interrupción. El modelo maximiza la ganancia esperada mientras satisfacen las restricciones de la oferta, demanda y las capacidades de transporte. Así mismo, integran la función de perecedero exponencial con barreras de calidad. El trabajo se centra en el estudio de dos interrupciones importantes del lado de la oferta: la interrupción del tiempo de cosecha y la interrupción del rendimiento. Se modelan estrategias de resiliencia como suministro de copia de seguridad, múltiples proveedores y moderación de la probabilidad de la interrupción. Los autores sustentan que el carácter perecedero es un factor importante de las cadenas de suministro alimentarias y que ha sido poco estudiado en trabajos cuantitativos.

En el trabajo realizado por Behzadi et al. (2020), se desarrolla un modelo de programación estocástica de dos etapas mediante escenarios, para evaluar la resiliencia de una cadena productiva cuando se materializa un riesgo en el nodo de oferta y en el nodo de demanda, para un bien perecedero en un horizonte de varios períodos con un posible cierre de puerto. Cada escenario tiene una capacidad de envío única y considera los siguientes objetivos: maximización del beneficio esperado (P), maximización del nivel de recuperación (RL), minimización del beneficio perdido durante la recuperación (LPR) y el valor presente neto de la minimización del beneficio perdido (NPV-LP). Es así como este estudio revisa las métricas de resiliencia: el tiempo de recuperación (TTR), el nivel de recuperación (RL), el rendimiento perdido de la cadena de suministro durante los períodos de recuperación (LPR) y valor presente neto de lucro cesante (NPV-LP). Para mitigar el riesgo de interrupción del cierre del puerto, se considera la estrategia capacidad de puerto de respaldo o estrategia de copia de seguridad con capacidad variable, bajo esta estrategia, se pueden restaurar diferentes proporciones de capacidad de envío en diferentes períodos de interrupción.

Con el objetivo de diseñar una cadena de suministro agroalimentaria resiliente bajo incertidumbre de la demanda y las interrupciones pandémicas, los autores Gholami et al., (2021) proponen un modelo estocástico de dos etapas, y usando el método Monte Carlo generan los escenarios. Así mismo, se basan en la técnica de descomposición de Benders para la reducción de escenarios de interrupción. Se tiene en cuenta las características intrínsecas de la cadena como la vida perecedera de los productos y los precios de descuento por antigüedad del producto. Se consideran las estrategias de resiliencia: abastecimiento múltiple, fortalecimiento y protección de las instalaciones contra las posibles interrupciones, proveedor de respaldo y expansión de capacidad. En este estudio los autores evidenciaron que, en la búsqueda de resiliencia, las estrategias de fortalecimiento y respaldo de proveedores proporcionaron soluciones más resistentes en comparación con el abastecimiento múltiple y la expansión de la capacidad; el impacto de un evento extremo en la cadena de suministro de alimentos no solo depende de la tasa de llegada, sino también de la magnitud de la intensidad, la escala de propagación y el nivel de preparación para afrontar la interrupción.

De la revisión de literatura anterior, se identificaron estrategias y metodologías cuantitativas que explican la resiliencia en la cadena de suministro industrial, a partir de la gestión del riesgo e interrupción. Así mismo, se encontraron trabajos cuyo propósito es



medir la capacidad de resiliencia en cadenas industriales y agroalimentarias, usando estrategias robustas y flexibles. De otra parte, si bien el concepto de resiliencia se ha trabajado desde las dos últimas décadas, es un concepto que no se ha profundizado de forma cuantitativa en cadenas agroalimentarias, se identificaron sesgos con respecto a la incidencia de factores como: clima, percedero y estacionalidad.

## **1.7 Problema y pregunta de investigación**

La gestión del riesgo en la cadena productiva ha sido un tema que ha cobrado importancia y se ha estudiado durante las dos últimas décadas, debido al nivel de impacto que este genera en la cadena, los eventos inesperados son factores que ponen en riesgo la operatividad de la cadena productiva y la hacen más vulnerable al entorno, de acuerdo con lo anterior, las organizaciones idean estrategias que le permitan visualizar y hacer frente a diversos eventos disruptivos (Vaez et al., 2019).

Para contrarrestar el impacto de los riesgos inesperados y reducir la probabilidad de interrupción de la cadena, se ha adoptado el concepto de resiliencia, el cual se ha convertido en uno de los temas más debatidos por académicos e industriales (Papadopoulos et al., 2017). Se ha considerado que una cadena de suministro resiliente es aquella que es capaz de mantener o restaurar la funcionalidad y la eficiencia tras superar una interrupción, expresado de otra manera, una cadena de suministro resiliente es aquella capaz de sobrevivir y mantener su rendimiento normal hasta que la perturbación haya terminado (Ivanov y Dolgui, 2020). Se considera la interrupción de la cadena de suministro como un evento imprevisto que interrumpe el flujo normal de bienes y materiales en una red de suministro (Hosseini y Ivanov, 2019)

Diferentes eventos naturales y de intervención humana, han evidenciado la vulnerabilidad a la que está expuesta la cadena de suministro al igual que los efectos negativos que esta puede sufrir, dejando en riesgo la sostenibilidad de la organización. Por ejemplo: la crisis del COVID-19, que ha causado importantes interrupciones en las cadenas de suministro. En la encuesta publicada por Chartered Institute of Procurement and Supply el 28 de marzo del 2020 se reveló que el 86% de las cadenas de suministro mundiales se vieron afectadas. El instituto de Supply Management evidencio que en el mes de marzo de este mismo año hubo un aumento del 80% al 95% las empresas que experimentaron un impacto en la cadena de suministro debido a la emergencia sanitaria (Remko, 2020).

Ha sido una situación sin precedente y extraordinaria que ha afectado todas las áreas de la economía global y la sociedad, ha puesto a prueba la resiliencia de las cadenas de suministro y el desarrollo de estrategias de resiliencia adoptadas, por ejemplo: la implementación de inventarios de mitigación del riesgo, capacidad de subcontratación, infraestructura de transporte, las tecnologías de producción flexible, sistemas de visibilidad y monitoreo en tiempo real, entre otras. Para unas cadenas de suministro la demanda aumentó drásticamente y la oferta no pudo hacer frente a esta situación. Para otras cadenas de suministro la demanda y la oferta disminuyó drásticamente provocando paros en la producción y el eminente riesgo de quiebra y necesidad de apoyo de los entes gubernamentales. Estos eventos deben ser motivo para que las cadenas productivas implementen estrategias que les permita sobrevivir a una eventualidad y ser capaz de minimizar el costo total.

Las empresas manufactureras colombianas han adoptado en su cadena productiva, estrategias de resiliencia que les permiten prepararse para afrontar eventos disruptivos y salir abantes de estos. Se han diseñado pilotos en cadenas de abastecimiento, para cuantificar el nivel de resiliencia. Estos pilotos se estructuraron mediante metodologías cualitativas con el fin de clasificar los diferentes riesgos que afrontan las cadenas de suministro y su relación con la resiliencia (Gómez y Miguel, 2019)

En comparación con los artículos manufacturados, los productos agrícolas tienen atributos especiales, largos plazos de suministro, estacionalidad, perecedero y cambios climáticos, lo que implica que sus cadenas productivas tengan más fuentes de incertidumbre, por lo tanto, es más crítico, pero también más desafiante, gestionar los riesgos en dicha cadena.

Las empresas del subsector agrícola colombiano exigen un esfuerzo urgente por estudiar las deficiencias actuales del sector, detectar las tendencias que afectarán el desempeño y proponer metas futuras. Las estrategias que deberán implementar van encaminadas a: aumentar la competitividad de producción nacional, responder ante las necesidades sociales de la población rural, y adoptar métodos más amigables con el ambiente (ICA, 2019). Es en esta primera estrategia donde se evidencia la necesidad de potencializar la cadena productiva agrícola, ya que han mostrado ser sistemas complejos que enfrentan múltiples fuentes de incertidumbre que pueden causar un desequilibrio significativo entre la oferta y la demanda. La mala gestión de estas fuentes de incertidumbre puede tener un impacto negativo en la calidad, seguridad, sostenibilidad y eficiencia logística de los

productos y procesos, además de ser indispensable el apoyo del entorno investigativo, aportando estrategias y herramientas que le permitan al sector ser competitivo, dado a que la demanda de alimentos está incrementando debido a factores como el crecimiento de la población, el aumento de la urbanización y los cambios en los hábitos alimentarios.

La cadena de suministro agroalimentaria afronta el reto de desarrollar estrategias para adaptarse a las necesidades del entorno moderno incierto, con las limitaciones locales y transregionales con respecto a la logística, recursos hídricos, acceso a tierras, entorno normativo y tecno económico, además de los rápidos cambios de las características del sector alimentario y los factores de riesgo internos y externo que afecta la operabilidad.

Una herramienta que impacta desde los niveles estratégicos, tácticos y operativos a la cadena productiva agrícola en cuanto a competitividad de producción nacional, es la construcción de estrategias dinámicas que se deriven de capacidades resilientes que le permita prepararse, responder y recuperarse ante eventos disruptivos inesperados.

Es pertinente pensar en el diseño de un modelo cuantitativo que determine el nivel de resiliencia de la cadena productiva agrícola, a partir de estrategias y capacidades dinámicas. Esto contribuye al seguimiento de la eficiencia de la cadena, la determinación del riesgo, soportar perturbaciones y explorar la capacidad del sistema para lograr resultados de rendimiento previstos mediante una recuperación efectiva. Dado que, hay pocos estudios sobre cadenas de suministro resilientes en el sector agroalimentario, para un contexto colombiano, es necesario revisar las estrategias de resiliencia que se han propuesto para las cadenas de suministro industriales y tomarlo como referencia metodológica para estudiar dicho sector.

En este sentido, la pregunta de investigación en el marco del presente proyecto es:

¿Cuáles son las estrategias resilientes desde las capacidades dinámicas que resultan efectivas para la gestión de interrupciones en el rendimiento de la cadena de suministro agrícola?

## 1.8 Justificación de la temática

La cadena de suministro agrícola es un sistema complejo que se enfrenta a diversas interrupciones: fluctuación de la demanda y suministros, volatilidad de los precios, cambios en la regulación de las políticas gubernamentales, condiciones climáticas, carácter perecedero de los productos, estacionalidad, picos de suministro, largos plazos de suministro (Balezantis et al., 2023 ; Behzadi et al., 2018). Para enfrentar estos desafíos, se hace necesario estudiar el nivel de resiliencia de la cadena productiva y crear estrategias resilientes que le permitan identificar, adaptarse y recuperarse rápidamente ante eventos disruptivos.

El uso de modelos de optimización estocástica se ha convertido en una herramienta valiosa para mejorar la comprensión de las complejas interacciones que se dan en la cadena de suministro agroalimentaria y para la toma de decisiones estratégicas.

Hasta el momento son pocos los trabajos investigativos que se han realizado para estudiar la probabilidad de ocurrencia de los eventos disruptivos de la cadena de suministro agroalimentaria, desde la teoría de capacidad de dinámicas con el fin de plantear estrategias resilientes que permitan minimizar los costos operacionales de la cadena. La presente tesis busca contribuir al conocimiento existente en este campo de la literatura, al desarrollar un modelo estocástico que describe el nivel de resiliencia de la cadena de suministro agroalimentaria, partiendo de la identificación de los posibles eventos disruptivos, su probabilidad de ocurrencia y estrategias derivadas de las subcapacidades dinámicas de la resiliencia para la mitigación del riesgo. Este modelo permitirá identificar los eventos disruptivos que afectan la cadena productiva agroalimentaria, las subcapacidades y estrategias logísticas resilientes que se pueden generar para la mitigación del impacto de los riesgos. Este trabajo se convertirá en un herramienta que permitirá a los tomadores de decisión de la cadena agroalimentaria comprender mejor los eventos adversos que puede afectar la resiliencia y cómo se puede tomar medidas para minimizar los efectos negativos además el modelo estocástico desarrollado permitirá a los actores de la cadena de suministro agroalimentaria y evaluar el impacto desde diferentes escenarios y estrategias de resiliencia lo que contribuirá a un mejor gestión de suministro en términos de eficiencia rentabilidad y sostenibilidad.

## 1.9 Objetivos

### 1.9.1 Objetivo general

Desarrollar un modelo estocástico para explicar la resiliencia de una cadena de suministro agroalimentaria con alcance de exportación, orientado a minimizar el costo total de la cadena.

### 1.9.2 Objetivos específicos

- Caracterizar la cadena de suministro agrícola, identificando parámetro, variables y estrategias resilientes a partir de las capacidades dinámicas.
- Diseñar un modelo estocástico que permita representar el comportamiento resiliente de la cadena de suministro agrícola a partir de las estrategias de capacidades dinámicas.
- Evaluar la capacidad del modelo para describir un caso real. Caso de estudio: cadena de suministro del aguacate Hass, en el municipio San Vicente de Ferrer.

## 1.10 Propuesta metodológica

**Etapas 1.** Caracterizar la cadena de suministro agroalimentaria, estableciendo parámetros y variables de resiliencia desde el marco de capacidades dinámicas.

Se realizará una caracterización conceptual del sistema en estudio, identificando: parámetros, variables, estados del sistema y estrategias de resiliencia, además de los posibles eventos de interrupción. Estrategias: visitas a diferentes fincas productoras conociendo el proceso productivo; entrevistas semiestructuradas a los productores, identificando los eventos disruptivos a los que la cadena está expuesta y estrategias de resiliencia que se tienen establecidas; revisión y análisis de la literatura.

**Etapas 2.** Diseñar un modelo estocástico que permita representar el comportamiento resiliente de la cadena de suministro agroalimentaria a partir de las estrategias de capacidades dinámicas. Tomando como insumo los resultados de la etapa anterior, parámetros y valores, se trabajará bajo un modelo estocástico de dos etapas por

escenario. Las variables tomadas contribuyen a la reducción del costo total de la cadena. Después de tener el modelo diseñado y de acuerdo con su robustez, se determinará la herramienta computacional de solución.

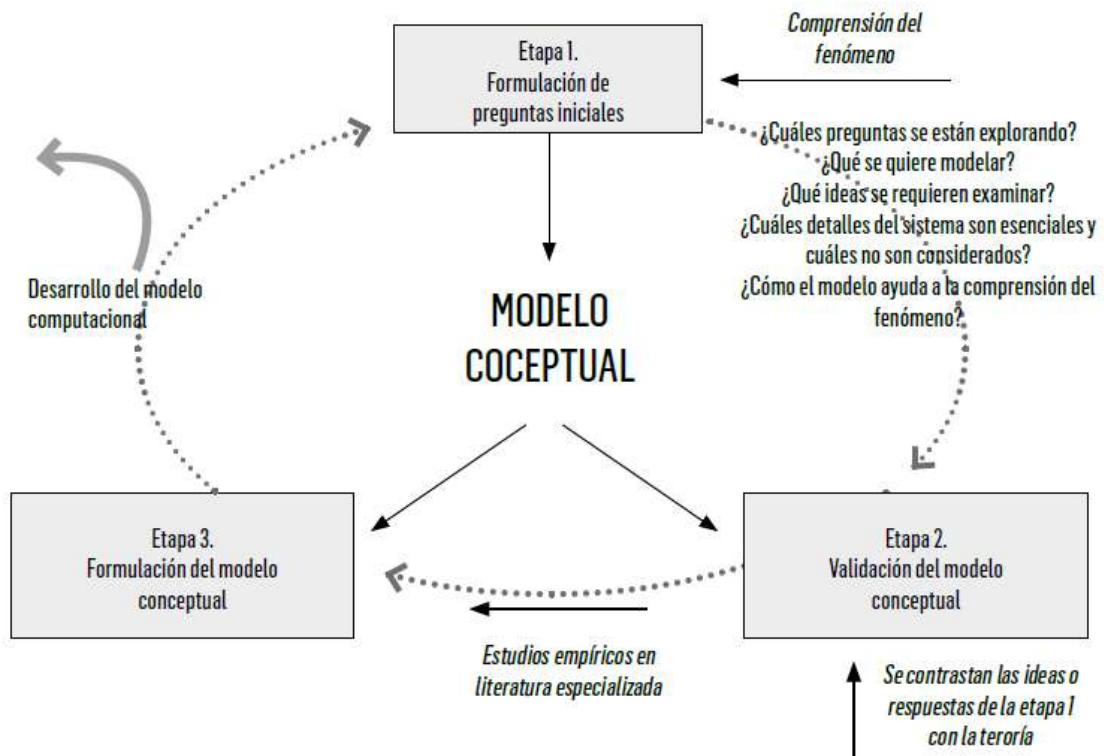
**Etapa 3.** Evaluar la capacidad del modelo para describir un caso de estudio real. Esta etapa busca realizar un análisis de capacidad funcional del modelo siendo capaz de representar el sistema estudiado. En este momento, se abordará una red de suministro de aguacate Hass, cuyo centro de operación se encuentra ubicado en el municipio de San Vicente, Oriente Antioqueño.

## **2. Conceptualización del sistema para la construcción del modelo**

En este capítulo se aborda la construcción del modelo conceptual que permite determinar el nivel de resiliencia de la cadena productiva agrícola, estableciendo los posibles eventos disruptivos y estrategias resilientes derivadas de las capacidades dinámicas que permiten la mitigación del evento. Encontrando la mejor solución que minimice el costo y el tiempo de respuesta de la cadena. Posteriormente se lleva a una herramienta computacional para entender el comportamiento resiliente de la cadena y así resolver la pregunta de investigación planteada en esta tesis.

Se adopta la metodología propuesta por Wilensky (1999), la cual hace énfasis en tres etapas: 1) formulación de preguntas iniciales para entender el fenómeno en estudio, 2) validación del modelo conceptual, se contrastan las preguntas o respuestas de la etapa anterior con la teoría, y 3) formulación del modelo conceptual, el cual será verificado mediante la computación, como se muestra en la figura número 4.

**Figura 4:** Metodología del modelo conceptual



Fuente: Tomado Quintero et al, (2019) adaptado de Wilensky (1999).

## 2.1 Preguntas iniciales

### ¿Cuál es la pregunta que se está explorando?

¿Cuáles son las estrategias resilientes desde las capacidades dinámicas que resultan efectivas para la gestión de interrupciones en el rendimiento de la cadena de suministro agroalimentaria?

### ¿Qué se quiere modelar?

Un sistema orientado a medir el nivel de resiliencia de la cadena productiva agroalimentaria a partir de las capacidades dinámicas y sus estrategias, en torno a la reducción del tiempo de interrupción y la minimización de costos.

**¿Qué ideas se requieren examinar?**

La probabilidad de ocurrencia del riesgo.

Las capacidades dinámicas que se deberían tener en cuenta para modelar resiliencia.

Las estrategias propuestas desde las capacidades dinámicas identificadas.

Indicadores para la medición de la resiliencia.

Jerarquización por el impacto de las capacidades dinámicas.

Escenarios bajo los cuales es aceptable el riesgo.

**¿Cuáles detalles del sistema son esenciales?**

La incertidumbre de la probabilidad de ocurrencia de los eventos disruptivos

Las estrategias

VARIABLES Y PARÁMETROS DE LAS ESTRATEGIAS.

Jerarquización de las capacidades.

Costo de la estrategia

Tiempo de recuperación según la estrategia

Costo de aceptación.

**¿Cuáles detalles no serán considerados?**

Eventos naturales no controlables (climáticos)

Eventos sociales no controlables.

Relaciones verticales, horizontales y mixtas de la cadena.

Indicador de rendimiento perdido de la cadena de suministro durante los períodos de recuperación.

Indicador de valor presente neto de lucro cesante.

**¿Cómo el modelo ayuda a la comprensión del fenómeno?**

Ayuda a prepararse ante la probabilidad de ocurrencia de eventos disruptivos.

Analizar el nivel de resiliencia de la cadena productiva.

Entender cómo las capacidades dinámicas aportan a la resiliencia de la cadena agroalimentaria.

Posibilita la evaluación de los costos a partir de estrategias resilientes.



## 2.2 Soporte teórico para la validación conceptual

### 2.2.1 Capacidades que integran la resiliencia en la cadena productiva agroalimentaria

En la literatura de la cadena de suministro resiliente, se sustentan elementos de la resiliencia que han sido considerados para el análisis de la cadena bajo contextos específicos de análisis, con el fin de establecer estrategias, que le permitan aprender de los eventos disruptivos, dar respuestas eficientes y desarrollar capacidades que la hagan menos vulnerable frente a las amenazas (Christopher y Peck, 2004). Ponomarov y Holcomb (2009), Briano et al. (2009) y Jüttner y Maklan, (2011) sugieren tomar los elementos de la resiliencia y llevarlos al nivel de capacidades, dado que “las capacidades de resiliencia se basan en la integración y coordinación de recursos que a menudo abarcan áreas funcionales y, por lo tanto, pueden manifestarse en los procesos de la cadena de suministro”. En la figura 5, se muestran las capacidades de la resiliencia que han tenido mayor citación en la literatura de cadenas de suministro agrícolas resilientes.

**Figura 5:** Capacidades de la resiliencia en la cadena de suministros



Fuente: Elaboración propia

Peck, (2005) describió la flexibilidad como “ser capaz de doblarse fácilmente sin romperse” y se ha tomado como elemento inherente en la resiliencia. Christopher y Peck, (2004), Rice y Caniato (2003) la definen como la creación de capacidades para afrontar y responder a las interrupciones. Para Jüttner y Maklan, (2011) la flexibilidad describe qué también responde un sistema al enfrentarse a un evento disruptivo garantizando continuidad. Esta capacidad garantiza que los cambios frente a eventos disruptivos sean absorbidos por la cadena de suministro, generando respuestas asertivas (Skipper y Hanna, 2009).

Según Charles et al., (2010) la agilidad está contenida dentro de los atributos de la flexibilidad, y se establece a través de los recursos de inversión antes de la materialización del evento, lo que permite desarrollar capacidades internas a través de estrategias de mitigación y contingencia. Para los autores Tang y Tomlin, (2008) Jüttner y Maklan, (2011) la agilidad debe ser una capacidad básica para la gestión del riesgo de la cadena y debe ser diseñada en la estructura de la cadena de suministros mediante procesos operacionales y la planificación o creación de estrategias.

La capacidad de colaboración es definida como el trabajo conjunto y mancomunado de diferentes actores de la cadena (Jüttner y Maklan, 2011) con el objeto de garantizar el funcionamiento operacional. También definida como el "pegamento que mantiene unidas a las organizaciones de la cadena de suministro en una crisis" (Richey, 2009 p. 623) Para Aboah et al., (2019) la colaboración es concebida como “la fuerza de unión que estimula el comportamiento simbiótico de los diferentes actores de la cadena y motiva a los actores de la cadena a actuar sinérgicamente para mitigar las interrupciones que ocurren en el sistema y mantener los niveles de materias primas que fluyen a través de la cadena de valor”.

La adaptabilidad también ha sido una capacidad de la resiliencia adoptada en la teoría de la cadena de suministro (Jüttner y Maklan, 2011). Es definida como la capacidad que tiene el sistema para adaptarse a la situación del entorno, mejorando o alcanzando sus objetivos (Ivanov et al., 2010). Según Fazey et al., (2007) y Cumming et al., (2005) los sistemas adaptativos son capaz de absorber los golpes y recuperarse después de haber sufrido una disrupción, además, esta capacidad le permite a la cadena aprender, alterar su comportamiento y conservar su estado de resiliencia.

Francis, (2008, pág. 182) define la visibilidad como "la identidad, ubicación y estado de las entidades que transitan por la cadena de suministro, capturada en mensajes oportunos

sobre eventos, junto con las fechas, horas planificadas y reales de estos eventos". La visibilidad está integrada a la colaboración, como medio para aumentar la conectividad entre actores y lograr beneficios mutuos (Soni et al., 2014; Ponis y Koronis, 2012). Se relaciona la visibilidad como el intercambio de la información sensible relacionada a los riesgos entre los actores de la cadena (Faisal et al., 2006) Esta capacidad garantiza la confianza en la cadena, intervenciones necesarias y toma de decisiones eficientes dada la disrupción.

La velocidad ha sido explicada como: velocidad de movimiento, acción u operación, rapidez y distancia en el tiempo (Christopher y Peck, 2004). Frente a los eventos de riesgo, determina la pérdida que ocurre por unidad de tiempo, posee mayor énfasis en la eficiencia de la respuesta y recuperación de la cadena desde el momento de perturbación hasta la recuperación de su estado; la velocidad se centra en el ritmo de las adaptaciones flexibles (Smith, 2004). Manuj y Mentzer, (2008) diferencian cuatro formas de ver la velocidad desde la perspectiva del riesgo, 1) la velocidad a la que ocurre un evento, 2) la razón a la que ocurre el evento, 3) que tan rápido es descubierto el evento de riesgo 4) velocidad a la que una cadena puede retornar a su estado inicial, después de enfrenta el evento de riesgo, esta última definición se da, desde el contexto de resiliencia. La capacidad de velocidad es apoyada desde la adaptación antes, durante y después de la interrupción de la cadena.

Mientras que la flexibilidad hace referencia a la reconfiguración como el número de estados posibles que la cadena puede tomar, la capacidad de velocidad se enfoca en el ritmo de adaptación, por lo tanto, el tiempo es considerado como un indicador clave de velocidad (Stevenson y Spring, 2007).

En la literatura de cadena de suministro resilientes, el Ingenio es definido como la capacidad de identificar problemas, establecer prioridades y destinar recursos para enfrentar las interrupciones, asegurando la integridad del sistema (Cimellaro et al., 2010) Las capacidades desarrolladas a partir de los recursos económicos deben ser optimizadas con el fin de generar residuos de funcionamiento, en otra palabra, debe existir un equilibrio entre el costo de inversión de la estrategia y la eficiencia (Scholten y Schilder, 2015). La capacidad de ingenio analiza cómo las decisiones y estrategias adoptadas durante el evento disruptivo mantienen el estado de resiliencia de la cadena.

## 2.2.2 Estrategias resilientes en el marco de las capacidades dinámicas en la cadena productiva agrícola

Desde la literatura de cadenas de suministro resilientes, se sustenta la resiliencia como una capacidad que es integrada por subcapacidades dinámicas. A partir de las subcapacidades, diversos autores han propuesto estrategias que permiten afrontar los eventos disruptivos que puede enfrentar la cadena agrícola.

**Tabla 2:** Elaboración propia

Estrategias	Capacidad dinámica	Autor
Proveedores de respaldo o múltiples proveedores	<b>Flexibilidad</b>	(Gholami, et al., 2021) (Kamalahmadi y Parast, 2017)(Sabouhi et al., 2020a)(Ni et al., 2018) (Torabi et al., 2015) (Behzadi et al., 2017)
Múltiples rutas de transporte		(Sabouhi et al., 2020b)
Múltiples fuentes de abastecimiento		(Sabouhi et al., 2020a)
Inventario de posicionamiento previo		(Kamalahmadi y Parast, 2017)
Capacidad de puerto de respaldo		(Behzadi, et al., 2020) (Cordova y Pahl, 2019)
Modos de transporte flexibles		(Sheffi y Rice, 2005)
Enrutamiento de transporte alternativo		(Chowdhury y Quaddus, 2015)
Proveedores de respaldo, ubicados en diferentes regiones		(Sawik, 2022) (Hosseini, et al., 2019)
Asignación de pedidos		(Hosseini et al., 2019)
Restauración de la capacidad del proveedor interrumpido	<b>Colaboración</b>	(Ni et al., 2018)
Transparencia de la información		(Christopher y Peck, 2004)
Comunicación continua entre empleados informados		(Sheffi y Rice, 2005)
Comunicación entre productores		(Chowdhury y Quaddus, 2015)
Cooperación entre proveedores		(Chowdhury y Quaddus, 2015)
Integración de la información		(Chowdhury y Quaddus, 2015)
Colaboración entre socios de la cadena de suministro		(Gholami, et al., 2021)
Capacidad de producción adicional		(Sabouhi et al., 2020)
Reserva de capacidad ociosa		(Ni et al., 2018)
Transbordo lateral	(Sabouhi et al., 2020)	
Condicionamiento para interrupciones	<b>Adaptabilidad</b>	(Sheffi y Rice, 2005)
Baja utilización de la capacidad		(Sheffi y Rice, 2005)
Aumento de la capacidad de almacén		(Sawik, 2022)
Moderación de la probabilidad de interrupción		(Behzadi et al., 2017)
Digitalización y automatización		(Sawik, 2022)

Comunicación continua entre empleados informados.	<b>Visibilidad</b>	(Sheffi y Rice, 2005)
Envío directo	<b>Velocidad</b>	(Christopher y Peck, 2004)
Decisiones sobre el abastecimiento		(Christopher y Peck, 2004)
Respuesta rápida		(Chowdhury y Quaddus, 2015)
Decisiones de abastecimiento		(Christopher y Peck, 2004)
Cambio de comercializadora		(Chowdhury y Quaddus, 2015)
Suministro de respaldo	<b>Ingenio</b>	(Behzadi et al. 2017)(Sheffi y Rice, 2005) (Chowdhury y Quaddus, 2015)
Stock de inventarios		(Ni et al., 2018)
Fortalecimiento proveedores		(Gholami et al., 2021) (Torabi et al., 2015)
Contratos anuales con proveedores de reserva		(Ni et al., 2018)
Inversiones en infraestructura y recursos antes de que sean necesarios		(Gholami et al., 2021)
Proveedores protegidos		(Kamalahmadi y Parast, 2017)
Selección de proveedores,		(Hosseini, et al., 2019)
Compras al contado		(Sawik, 2022)
Confiabilidad de proveedores		(Hosseini, et al., 2019)

### 2.2.3 Conceptualización de la cadena productiva agrícola

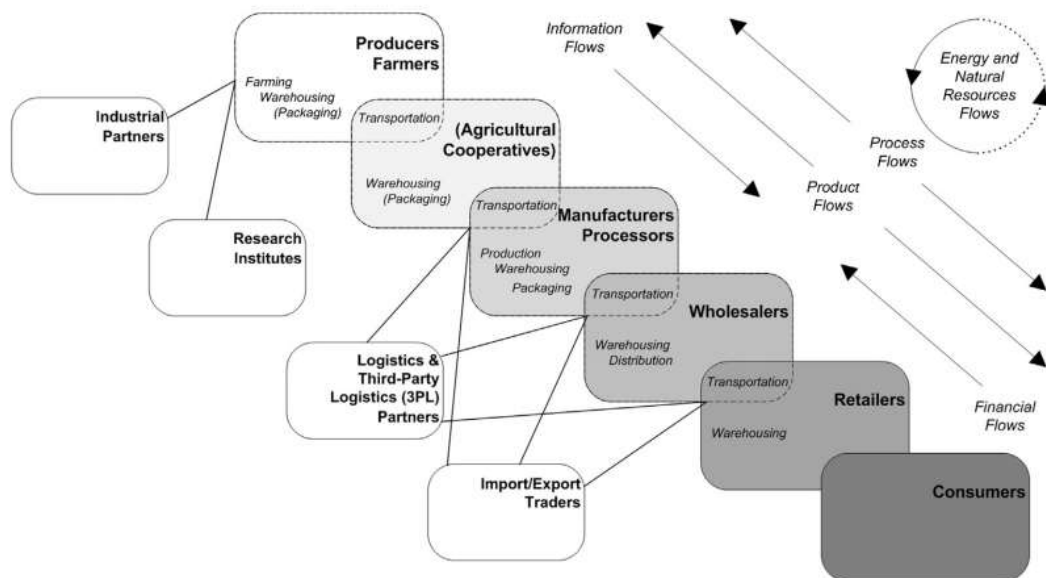
La cadena productiva agrícola es un sistema que involucra a diversos eslabones, actores y actividades necesarias para llevar los productos agrícolas desde el campo hasta el consumidor final, como cereales, frutas, verduras, legumbres y cultivos de especialidad. Pasando por los procesos de producción, cosecha, control de calidad, envasado, almacenamiento, transporte, procesamiento, distribución y comercialización de los productos, su eficiencia y efectividad son fundamentales para garantizar la seguridad alimentaria y la sostenibilidad de una población (Iakovou et al., 2015) De forma transversal se tienen los flujos: material físico o productos, financieros, de información, procesos, recursos naturales y energía (Iakovou et al., 2015).

Estas actividades y flujos están integrados en un clúster dinámico de producción-suministro-consumo, los cuales están asociados con instituciones de investigación, productores/agricultores, cooperativas agrícolas, intermediarios, mayoristas, minoristas consumidores, comerciantes (exportadores/importadores) y transportistas, como se muestra en la Figura 6.

La cadena de suministro agrícola presenta un conjunto de características particulares que la diferencian de las cadenas de suministro industriales, además de contar con capacidad de gestión especiales (Vander, 2006):

- Producto de ciclo de vida corto.
- Alta diferenciación del producto.
- Estacionalidad en las actividades de cosecha y postcosecha.
- Variabilidad en la calidad y cantidad de los insumos agrícolas y los rendimientos de transformación.
- Requerimientos especiales en: transporte, almacenamiento, calidad y reciclaje de materiales.
- Necesidad de cumplir con la legislación nacional e internacional, reglamentos y directivas nacionales e internacionales en materia de seguridad alimentaria y salud pública, así como cuestiones medioambientales.
- Necesidad de atributos especializados, tales como la trazabilidad y visibilidad
- Necesidad de alta eficiencia y productividad de equipos y tecnologías costosas, a pesar de largos tiempos de producción.
- Aumento de la complejidad en las operaciones.
- Limitaciones de capacidad.

**Figura 6:** Cadena de suministro agroalimentaria: un modelo conceptual

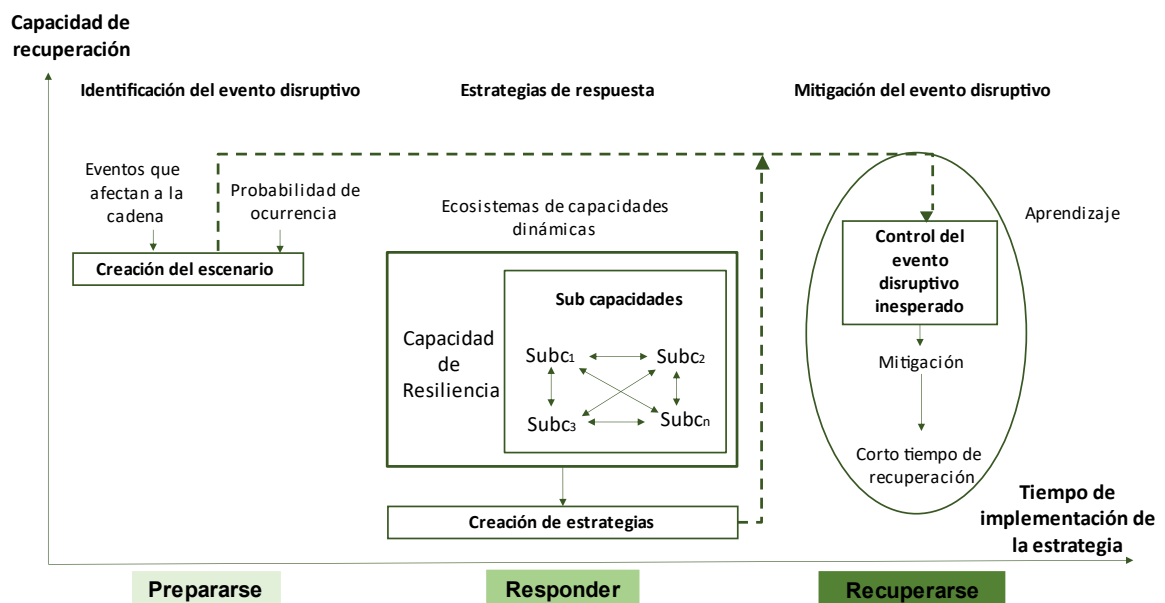


Fuente: Tomado de Tsolakis et al., (2014)

## 2.3 Modelo conceptual propuesto

A partir de los soportes teóricos presentados anteriormente, se propone un modelo conceptual para explicar la resiliencia de la cadena productiva agrícola desde el enfoque de capacidades dinámicas, como se observa en la figura 7. El modelo se basa en la afectación de los costos y el tiempo de recuperación de la cadena desde la ocurrencia de un evento disruptivo hasta retomar su estado inicial.

**Figura 7:** Modelo conceptual de resiliencia a partir de capacidades dinámicas



**Fuente:** Elaboración propia 2023

El modelo articula tres fases: identificación del evento disruptivo, estrategias de respuesta y mitigación del evento disruptivo, cada una se enmarca en los pasos que suscita la resiliencia: prepararse, responder y recuperarse.

En la primera fase, se identifican los posibles eventos disruptivos de acuerdo con la naturaleza de la cadena y la probabilidad de ocurrencia de cada uno, con el fin de crear los escenarios de interrupción; estos eventos se pueden materializar en cualquier eslabón de la cadena y pueden interrumpir las operaciones aguas arriba o aguas abajo.

La fase denominada estrategias de respuesta, considera que hay un ecosistema de capacidades dinámicas en el cual, la resiliencia es una super capacidad que engloba a

otras capacidades, a partir de este ecosistema se crean las estrategias resilientes que permiten a la cadena responder al evento disruptivo, proporcionando la base para la supervivencia y el éxito a largo plazo de la cadena productiva. En este paso se jerarquizan las capacidades dinámicas, dado el nivel de impacto, permitiendo que la cadena responda ante la materialización del evento disruptivo.

La última fase propuesta hace énfasis en la recuperación de la cadena, es denominada mitigación del evento disruptivo, se establecen las acciones para el control de los eventos de acuerdo con los escenarios y estrategias obtenidas en las fases anteriores, permitiendo la toma de decisiones que llevarán a la mitigación de los eventos en un corto tiempo. En la última fase, se debe generar un aprendizaje frente al evento disruptivo dado a una eventual repetición o como experiencia para un nuevo evento.

## **3. Formulación del modelo de optimización lineal estocástica de dos etapas**

### **3.1 Optimización lineal estocástica de dos etapas**

Es una técnica utilizada para tomar decisiones óptimas bajo incertidumbre, especialmente en problemas de planificación y operación donde las decisiones deben ser tomadas en presencia de información incompleta sobre el futuro

En una optimización lineal estocástica de dos etapas, la función objetivo es una expresión matemática que se utiliza para maximizar o minimizar el valor de una variable de interés. En este tipo de modelo, la función objetivo está compuesta por la función objetivo de la primera y segunda etapa. La función objetivo de la primera etapa se utiliza para tomar decisiones tácticas que son independientes de los valores de las variables estocásticas, esta función objetivo se compone de términos deterministas que representan los costos y beneficios asociados con las decisiones tácticas, en la segunda etapa la función objetivo se utiliza para tomar decisiones estratégicas que dependen de los valores de las variables estocásticas. Esta función objetivo se compone de términos estocásticos que representan los costos y beneficios asociados con las decisiones estratégicas en diferentes escenarios estocásticos.



## 3.2 Descripción general

### 3.2.1 Propósito del modelo

El propósito del modelo es desarrollar una optimización que apoye la toma de decisiones frente a la selección de estrategias derivadas de las subcapacidades de la resiliencia, permitiendo gestionar la cadena productiva agrícola ante la materialización de eventos adversos.

El modelo de programación lineal estocástica de dos etapas propuesto tiene en cuenta la probabilidad de ocurrencia de los posibles eventos disruptivos que se pueden presentar y el límite de perecibilidad del producto. Minimizando el costo de la cadena al seleccionar la estrategia óptima, de acuerdo con los riesgos que se presentan y el tiempo que tarda la implementación de las estrategias.

### 3.2.2 Formulación matemática

El modelo propuesto se compone de dos etapas conectadas para la toma de decisiones estratégicas en la gestión de riesgos de la cadena productiva agrícola.

En la primera etapa, el modelo busca determinar la mejor estrategia a implementar la cual minimiza los costos totales, incluye el costo de la estrategia seleccionada y un término de penalización basado en el tiempo de implementación. La función objetivo tiene en cuenta el factor de compensación  $1 - \alpha$  para equilibrar el peso de  $\alpha$ . Siendo  $\alpha$  un factor de ponderación con valores en un intervalo entre cero y uno, cuando alfa tiende a cero se da relevancia al costo de la estrategia y cuando alfa tiende a uno se da peso al costo del tiempo de implementación de la estrategia.

En la segunda etapa, el modelo se centra en mitigar los riesgos asociados con la cadena productiva agrícola, realizando nuevamente una optimización donde se evalúan cada uno de los riesgos. Función Objetivo: Minimizar el riesgo, que está relacionado con la probabilidad de ocurrencia de eventos adversos. Se incorpora el tiempo de recuperación de cada estrategia seleccionada.

Teniendo en cuenta la estrategia óptima seleccionada en la primera etapa bajo los criterios de costo de implementación de la estrategia y el costo del tiempo de implementación, se

evalúan en la segunda etapa escenarios que contemplan la probabilidad de ocurrencia para los riesgos específicos asociados a dichas estrategias.

### **Función objetivo primera etapa**

Minimizar: costo de la estrategia y el costo del tiempo de implementación de la estrategia

$$\text{Min } Z = (1 - \alpha) \sum_{i=1}^n (c_i x_i) + \alpha \sum_{i=1}^n (t_i x_i) \quad (3.1)$$

#### **Donde:**

$c_i$  es el costo de implementación de la estrategia  $i$

$x_i$  es la variable de decisión binaria que representa si se implementa o no la estrategia  $i$

$t_i$  costo asociado al tiempo requerido para implementar la estrategia  $i$

$\alpha$  es un factor de ponderación que determina la importancia relativa entre el costo de la estrategia y el costo del tiempo de implementación de la estrategia.

#### **Restricciones:**

##### **Disponibilidad de recursos:**

Asegura la existencia de los recursos para cada estrategia.

$$\sum_{i=1}^n (R_i x_i) \leq R_{total} \quad (3.2)$$

#### **Donde:**

$R_i$  representa la cantidad de recursos requeridos para implementar la estrategia  $i$

$R_{total}$  es la cantidad total de recursos disponibles

$x_i$  es la variable de decisión binaria que representa si se implementa o no la estrategia  $i$

##### **Implementación máxima:**

Esta restricción define la cantidad de estrategias a implementar.

$$\sum_{i=1}^n x_i \leq K \quad (3.3)$$

#### **Donde:**

$K$  es el número máximo de estrategias que se pueden implementar.

$x_i$  es la variable de decisión binaria que representa si se implementa o no la estrategia  $i$

#### **Complementariedad:**

Esta restricción asegura que exactamente una de las estrategias debe ser implementada.

$$\sum_{i=1}^n X_i = 1 \quad (3.4)$$

#### **Donde:**

$x_i$  es la variable de decisión binaria que representa si se implementa o no la estrategia  $i$

#### **Restricciones de no negatividad:**

Asegura que todas las variables de decisión binarias no sean negativas

$$X_i \geq 0 \quad \forall i \quad (3.5)$$

#### **Función objetivo segunda etapa**

La función objetivo busca minimizar el costo total esperado para el escenario  $s$

$$\text{Min } Z_s = \sum_{i=1}^n (p_s ((1 - \alpha) c_i x_{i,s} + \alpha t_i x_{i,s})) + r_s x_{i,0} \quad (3.6)$$

#### **Donde:**

$p_s$  es la probabilidad de ocurrencia del escenario  $s$

$c_i$  es el costo de implementación de la estrategia  $i$

$x_{i,s}$  es la variable de decisión binaria que representa si se implementa o no la estrategia  $i$  en el escenario  $s$

$\alpha$  es un factor de ponderación que determina la importancia relativa entre los costos y el tiempo

$t_i$  costo asociado al tiempo requerido para implementar la estrategia  $i$

$r_s$  es el tiempo de recuperación requerido después de la ocurrencia del riesgo asociado al escenario  $s$

$x_{i,0}$  es una variable de decisión binaria que representa si se acepta el riesgo o no en el escenario  $s$

**Implementación máxima:**

$$\sum_{i=1}^n X_{i,s} \leq K \quad (3.7)$$

**Donde:**

$K$  es el número máximo de estrategias que se pueden implementar

$x_{i,s}$  es la variable de decisión binaria que representa si se implementa o no la estrategia  $i$  en el escenario  $s$

**Tiempo máximo para afrontar los riesgos:**

$$t_i + r_s x_{i,s} \leq T_s \quad \forall i \quad (3.8)$$

**Donde:**

$T_s$  es el tiempo límite para afrontar el riesgo en el escenario  $s$

$r_s$  es el tiempo de recuperación requerido después de la ocurrencia del riesgo asociado al escenario  $s$

**Aceptación del riesgo**

Estas restricciones aseguran que, si el costo de una estrategia es menor o igual al costo del riesgo asociado, entonces se implementa la estrategia. En caso contrario, se acepta el riesgo y no se implementa ninguna estrategia asociada a ese riesgo.

$$c_i x_{i,s} \leq c_{riesgoj} x_{riesgoj,s} \quad (3.9)$$

**Donde:**

$c_i$  es el costo asociado a la estrategia  $i$  en el escenario  $s$

$x_{i,s}$  es la variable de decisión binaria que representa si se implementa o no la estrategia  $i$  en el escenario  $s$

$c_{riesgoj}$  es el costo del riesgo  $j$

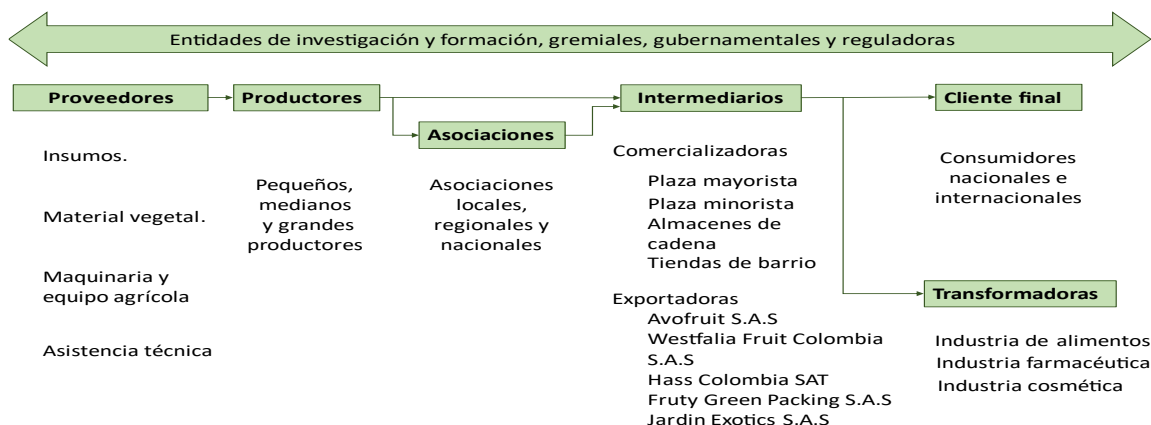
$x_{riesgoj,s}$  es la variable de decisión binaria que representa si se acepta el riesgo  $j$  en el escenario  $s$

## 4. Análisis de las estrategias derivadas de las subcapacidades dinámicas de la resiliencia en la cadena productiva agrícola

### 4.1 Caracterización de la cadena productiva del aguacate Hass

Para explicar la resiliencia de la cadena productiva agrícola desde las capacidades dinámicas, se aplica el modelo propuesto en la sesión anterior en la cadena productiva del aguacate Hass a partir de datos recolectados en campo. Se realizaron visitas a 13 fincas productoras y exportadoras, ubicadas en el Municipio de San Vicente de Ferrer, Oriente de Antioquia. Cuentan con certificación zona Buffer (proyecto de la región, para potencializar el crecimiento de las exportaciones), registro ICA y norma Global G.A.P (norma mundial de buenas prácticas agrícolas). Así mismo, se cumplieron jornadas de trabajo con el Ingeniero Agrónomo de la región Lisandro Adolfo Marín Morales, encargado desde la administración del municipio de prestar apoyo técnico a las fincas productoras de aguacate de dicho lugar, además de apoyar y coordinar el proyecto zona Buffer. A continuación, en la figura 8 se presenta la cadena productiva del aguacate construida desde la información recolectada en el trabajo de campo.

**Figura 8:** Cadena productiva del aguacate



Fuente: Elaboración propia 2023

**Proveedores:** involucra a los integrantes de la cadena que proporcionan suministro como fertilizantes, herbicidas y fungicidas, semillas, maquinaria agrícola, sistema de riego, asistencia técnica y otros insumos esenciales para el cultivo.

**Productores:** encargados del proceso productivo el cual incluye la selección meticulosa de terrenos con condiciones óptimas, desde la preparación del suelo hasta la plantación y cuidado de árboles. Se aplican prácticas agrícolas avanzadas, como sistemas de riego y monitoreo, para maximizar la producción y la calidad del fruto.

**Asociaciones:** Es la unión de productores de forma cooperativa para fortalecer su poder de negociación, compartir y adquirir recursos, compartir conocimiento tácito y explícito de la cadena, participar en programas de sostenibilidad, facilitar el acceso a mercados, mejorar la eficiencia operativa y brindar beneficios colectivos a los agricultores.

**Intermediarios:** agentes exportadores y comercializadoras que se agrupan en los diferentes canales de distribución para llevar el producto desde su origen hasta el consumidor nacional o internacional

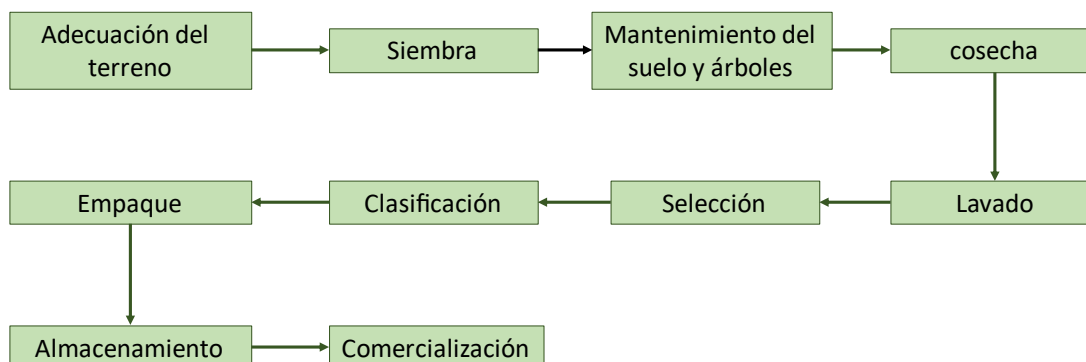
**Cliente final:** representa la última etapa de la cadena, donde los individuos compran y consumen el producto.

**Transformadoras:** Son aquellas industrias especializadas en transformar el aguacate Hass en productos derivados, por ejemplo, las industrias farmacéuticas, cosméticas y de alimentos. Su función es agregar valor al producto y diversificar las opciones disponibles para los consumidores.

De forma transversal se tienen las instituciones u organismos que se vinculan con la cadena desde diferentes actividades, normatividad y control, asesorías técnicas, investigación, gremios, entre otros.

De igual manera se presenta el proceso productivo del aguacate Hass, en la figura 9.

**Figura 9:** Proceso productivo del aguacate



Fuente: Elaboración propia 2023

**Adecuación del terreno:** Comienza con la elección cuidadosa del terreno, considerando condiciones climáticas, tipo de suelo y drenaje adecuado.

**Siembra:** Seleccionadas las semillas o plántulas, se realiza la siembra en pozos preparados. El cuidado inicial es crítico para el desarrollo saludable de los árboles.

**Mantenimiento del suelo y árboles:** Incluye prácticas como riego regular, poda para dar forma y controlar el tamaño del árbol, así como la aplicación de fertilizantes y pesticidas de manera sostenible. El crecimiento del árbol hasta ser productivo puede llevar varios meses, durante los cuales se monitorea la salud del árbol y se aplican prácticas de gestión integrada de plagas.

**Cosecha:** La cosecha se realiza cuando el aguacate alcanza la madurez o porcentaje de materia seca. Se evalúa la madurez mediante pruebas de firmeza y el color de la piel. La cosecha se realiza cuidadosamente para evitar daños mecánicos del fruto.

**Lavado:** Se hace una primera inmersión del fruto para el tratamiento de plagas.

**Selección:** El fruto cosechado se revisa uno a uno para descartar los que poseen daños físicos y mecánicos.

**Clasificación:** Los aguacates se clasifican según su tamaño y calidad. Los aguacates destinados a la exportación pasan por tratamientos de control de plagas y enfermedades.

**Empaque:** se utilizan materiales de empaque especializado y sistemas de almacenamiento controlado para preservar la calidad del fruto.

**Almacenamiento:** Los aguacates se almacenan en instalaciones con control de temperatura y humedad para mantener su calidad. Esto puede incluir el uso de cámaras frigoríficas.

**Comercialización:** Implica el transporte desde las zonas de producción hasta los centros de distribución y mercados nacionales e internacionales.

En el trabajo de campo, los agricultores lograron identificar eventos disruptivos que amenazan la productividad de la cadena y el proceso productivo del aguacate Hass, esto se muestran en la tabla

**Tabla 3:** Eventos disruptivos del proceso productivo del aguacate

Eslabón	Riesgo
Proveedor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incumplimiento en los tiempos de entrega.</li> <li>• Semillas de mala calidad.</li> <li>• Escasez de insumo.</li> </ul>
Productor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Daños mecánicos.</li> <li>• Daños físicos.</li> <li>• Precipitaciones altas.</li> <li>• Granizadas.</li> <li>• Sequías.</li> <li>• Escasez mano de obra.</li> <li>• Falta de insumos: fertilizantes, pesticidas y plaguicidas.</li> <li>• Contaminación cruzada.</li> <li>• Plagas o daños biológicos (insecto pasador de fruto, insecto barrenador de la semilla, <i>Monalonion vlezangieli</i> - <i>Monalonion dissimulatum</i>, Cucarron marceño, Barrenador de tallo,</li> </ul>



	<p>Polyphagotarsonemus latus– Olygonichus yothersii – Tetranychus urticae, Frankiniella occidentalis, Heliothrips haemorrhoidalis).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Enfermedad, muerte descendente del árbol.</li> <li>• Pérdida de producción por residualidad</li> <li>• Cosechas masivas en la región (sobre oferta)</li> <li>• Volatilidad en el costo de los insumos.</li> <li>• Volatilidad del precio de negociación de la fruta.</li> <li>• Fluctuación de la demanda.</li> <li>• Precios del transporte.</li> <li>• Capacidad de compra de la comercializadora.</li> <li>• Clasificación inadecuada del calibre de la fruta por parte de la comercializadora.</li> <li>• Fijación del precio final por parte de la comercializadora.</li> </ul>
Intermediario	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incapacidad de compra de la comercializadora.</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia 2023

## 4.2 Análisis de datos

A partir de los datos recopilados en campo se realiza la programación del modelo de optimización lineal estocástica de dos etapas, en la herramienta computacional Python 3.11.4 usando la librería numpy, para la creación de valores aleatorios, scipy para el uso

de distribuciones estadísticas y ortools linear solver, para la optimización del modelo estocástico. El modelo de optimización planteado permite elegir entre de un conjunto de estrategias resilientes, la estrategia que optimiza el costo de la cadena dada la probabilidad ocurrencia de los eventos disruptivos.

En el análisis de literatura presentado en capítulos anteriores, se identificaron subcapacidades y estrategias adoptadas para estudiar la resiliencia de la cadena de suministro agrícola. De acuerdo con ello, para este trabajo se seleccionaron cinco subcapacidades proactivas, seis estrategias logísticas resilientes para la mitigación del riesgo y tres riesgos que agrupan los eventos disruptivos que amenazan la cadena, todos ellos identificados en el trabajo de campo, estos se asocian entre sí, como se muestra en la tabla 4 y tabla 5. Es de anotar que la estrategia de moderación de la probabilidad de interrupción se relaciona con la creación de un plan de monitoreo y centro de los cultivos apoyado por el agrónomo, además del entrenamiento y capacitación de los colaboradores que apoyan la actividad de cosecha.

**Tabla 4:** Relación entre Subcapacidades, estrategias y riesgos

<b>Sub - Capacidades</b>	<b>Estrategias logísticas resilientes</b>	<b>Riesgos</b>
Ingenio	Suministro de respaldo	Escasez de insumo
Flexibilidad	Múltiples proveedores	Escasez de insumo
Adaptabilidad	Capacidad de producción adicional	Interrupción del rendimiento
Velocidad	Cambio de comercializadora	Sobre oferta
	Planta de procesamiento.	
Agilidad	Moderación de la probabilidad de interrupción	Interrupción del rendimiento

**Tabla 5:** Eventos disruptivos en la cadena productiva del aguacate

Riesgos	Eventos que amenazan la cadena productiva del aguacate
Escasez de insumo	Cierre de puertos
	Incumplimiento por parte del proveedor
	Agotamiento del inventario
Interrupción del rendimiento	Precipitaciones altas
	Escasez de mano de obra
	Fruta no conforme para exportación
	Contaminación externa
	Bloqueo en la distribución
	Pérdida de producción por residualidad
	No hay cosecha
	Aparición de plagas
Sobre oferta	Cosecha masiva en la región
	Incapacidad de compra de la comercializadora
	Disminución de la demanda

Para la recolección de datos, se diseña un instrumento teórico conceptual, que se desarrolla con los productores visitados. Este instrumento contempla preguntas que tienen por objetivo identificar los eventos que amenazan la cadena, la frecuencia de ocurrencia de estos, conocer las acciones que toman los productores para superar estos eventos, los costos que deben enfrentar cuando los eventos se materializan, además de conocer el tiempo que tardan en reaccionar y actuar frente a los eventos. Se muestra el instrumento en la tabla 6.

**Tabla 6:** Instrumento teórico conceptual

Variable exploratoria	Riesgo	Pregunta	Variables	Literatura relacionada
Ingenio y flexibilidad	Escasez de insumos	¿Cuántos árboles tiene sembrados por hectárea?	Número de árboles	Sabouhi et al., 2020; Sabouhi et al., 2020; Hosseini et al., 2019; Behzadi et al., 2017;

		¿Cuáles eventos disruptivos se han presentado en su plantación?	Eventos	Gholamiet al., 2021; Ni et al., 2018
		¿En qué época del año se ha dado el evento?	Tiempo	
		¿Cuántas veces ha experimentado escasez de insumos en los dos últimos años?	Cantidad	
		¿Cuánta cantidad de insumo ha escaseado?	Cantidad/ Kg	
		¿Cuánto tiempo ha pasado sin el insumo?	Tiempo	
		¿Cuánto le cuestan los insumos?	costo/kg	
		¿Cuánto le cuesta el flete del transporte para los insumos?	Costo/flete	
		¿Cuánto tiempo tarda en reaccionar al riesgo escasez de insumo?	Tiempo	

Adaptabilidad y Agilidad	Interrupción del rendimiento	¿Cuánto dinero ha pagado al agrónomo por visita (consultoría)?	Costo/consultoría	Zabuí et al., 2020; Sheffi y Rice, 2005; Sawik, 2022
		¿Cuántas visitas del agrónomo recibe al año?	Cantidad visitas	
		¿Cuántas veces se ha presentado el riesgo de interrupción de la cosecha en los últimos dos años?	Cantidad de interrupciones	
		¿Cuántas toneladas ha dejado de cosechar en la travesía o cosecha debido a interrupciones?	Toneladas	
		¿Cuánto tiempo ha durado cada periodo de interrupción?	Tiempo	

		¿Cuál ha sido la cantidad de ingresos, que se ha visto comprometido por estas interrupciones?	Dinero	
		¿Cuántos trabajadores necesita para sembrar una hectárea?	Número de trabajadores	
		¿Cuántos años tarda el árbol para ser productivo?	Tiempo	
		¿Cuánto tiempo tarda en sembrar una hectárea?	Tiempo	
Velocidad	Sobre oferta	¿Cuántas veces ha dejado de comercializar dado la sobre oferta?	Tiempo	Christopher y Peck, 2004; Chowdhury y Quaddus, 2015
		¿Qué cantidad de la producción ha dejado de vender a la comercializadora, dado que esta no posee capacidad de compra?	Cantidad	

		¿Cuál es el tiempo máximo que tarda en reaccionar ante un evento de sobre oferta?	Tiempo	
		¿Cuántas toneladas espera cosechar en cada periodo de cosecha o travesía?	Toneladas	
		¿Cuánto tiempo ha dejado la cosecha en espera para la comercialización?	Tiempo	

La tabla 7 presenta las distribuciones estadísticas y los parámetros que representan el comportamiento de cada riesgo dado los eventos asociados a estos. Esto, según los datos obtenidos del instrumento de medición.

**Tabla 7:** Distribución estadística que sigue los datos de riesgos

Riesgos	Distribución	Parámetros
Escasez de insumo	Poisson	Lambda: 1,56
Interrupción del rendimiento	Poisson	Lambda: 1,27
Sobre oferta	Uniforme	Mínimo: 0
		Máximo: 4

Seguidamente en la tabla 8, se muestran los costos promedio de los riesgos por hectáreas cultivadas.

**Tabla 8:** Costo de riesgo

Riesgos	Costo del riesgo por hectárea
Escasez de insumo	\$ 150.000
Interrupción del rendimiento	\$ 6.750.000
Sobre oferta	\$ 7.650.000

Así mismo, en la tabla 9, se muestra los costos promedio para la implementación de las estrategias, además del tiempo requerido para la implementación de estas.

**Tabla 9:** Costos de las estrategias

Estrategias logísticas resilientes	Costo promedio para implementación por hectárea en pesos	Tiempo implementación de la estrategia (días)	Costo promedio del tiempo de implementación
Suministro de respaldo (inventario)	\$ 360.000	3	\$ 336.000
Múltiples proveedores	\$ 230.000	5	\$ 560.000
Capacidad de producción adicional	\$ 26.250.000	3	\$ 8.127.000
Cambio de comercializadora	\$ 3.750.000	1	\$ 100.000
Planta de procesamiento.	\$ 552.300	1	\$ 202.300
Moderación de la probabilidad de interrupción	\$ 928.000	1	\$ 578.000

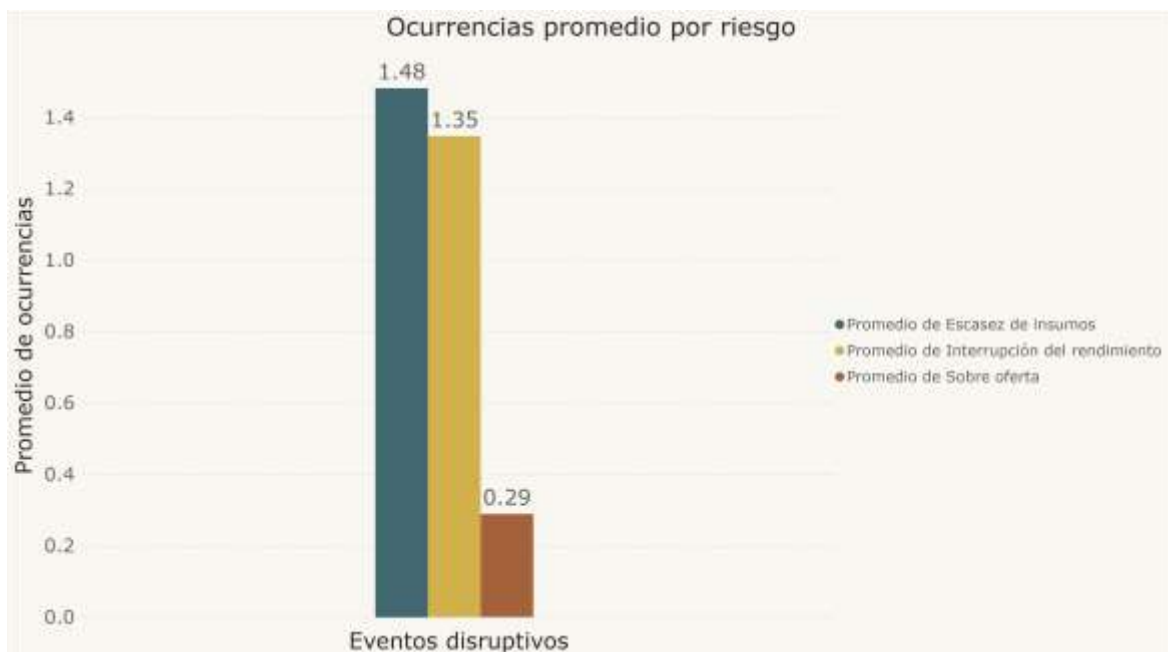
## 4.3 Resultados

En este apartado se analizan los resultados que se alcanzaron de la simulación para los valores óptimos de las estrategias resilientes que minimizan el costo de operación de la cadena productiva del aguacate Hass, de acuerdo con la probabilidad de ocurrencia de los eventos disruptivos que afronta. Se hace importante mencionar que los datos obtenidos para el modelo están contemplados en una ventana de tiempo de dos años, es decir para los años 2021 y 2022.



En la figura 10, se observa el valor promedio de la frecuencia de ocurrencia de los eventos disruptivos que se analizan en este trabajo. El evento escasez de insumo, tiene mayor frecuencia de ocurrencia, se materializó en promedio 1,48 ocasiones, seguido por interrupción del rendimiento, este se presentó en promedio 1,35 veces y por último sobre oferta que tuvo un valor promedio de ocurrencia del 0,29 veces esto durante la venta de tiempo estudiada.

**Figura 10:** Frecuencia de la ocurrencia de los eventos disruptivos



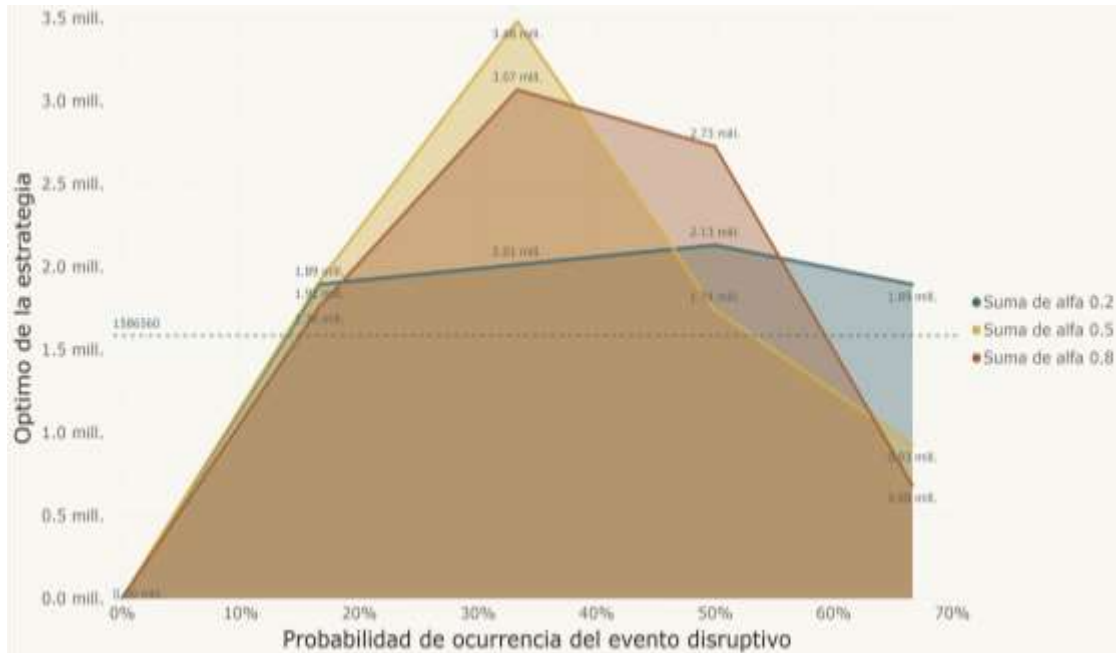
Fuente: Elaboración propia basada en los datos recopilados en campo.

En las siguientes gráficas se analiza el valor óptimo de la estrategia dado la probabilidad de ocurrencia de los eventos disruptivos, en relación con el costo de implementación y el costo del tiempo de implementación de la estrategia.

En la figura 11, se presenta el compartimento del costo óptimo de la estrategia frente a la probabilidad de ocurrencia del riesgo de escasez de insumo dado los diferentes valores de alfa. En la medida que aumenta la frecuencia de ocurrencia del riesgo, se observa que el valor de ponderación de alfa 0,2 es el que mejor optimiza la función, sin embargo, cuando la frecuencia de ocurrencia es alta la tendencia cambia a favor del costo del tiempo de implementación de la estrategia. Por encima del 45% de la probabilidad de ocurrencia, el óptimo tiende a acercarse a los valores altos de alfa cuando tiende a 1. Mientras la

probabilidad de ocurrencia del evento se mantenga por debajo del 45% los valores que optimizan la función se dan cuando alfa tiende a 0 con un valor promedio de \$1.586.560 para el óptimo de la implantación de la estrategia

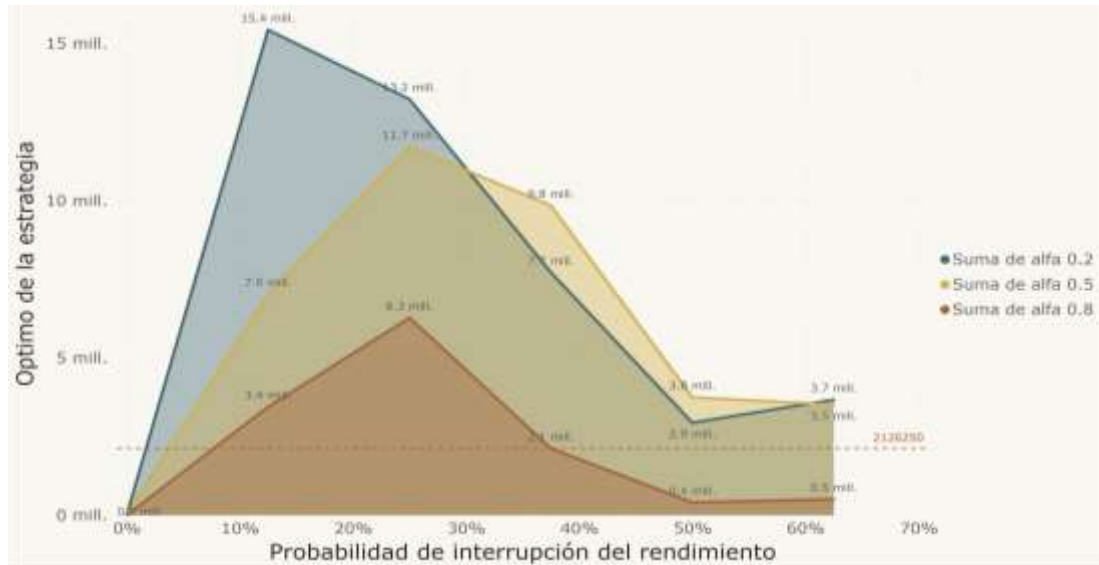
**Figura 11:** suministro de respaldo vs probabilidad de escasez de insumo



Fuente: Elaboración propia basada en las simulaciones en Python

En la figura12, para riesgo de interrupción del rendimiento, se aprecia una tendencia a que el valor óptimo de la estrategia disminuya en la medida que aumenta la probabilidad de ocurrencia del riesgo, siendo los valores de alfa más cercanos a 1 aquellos que otorgan la minimización más representativa. Cuando la probabilidad del riesgo está por debajo del 25%, el valor óptimo de la estrategia tiende a aumentar en función de la frecuencia de los eventos, por encima del 25% de la probabilidad de ocurrencia los valores óptimos decaen para todas las ponderaciones de alfa. La ponderación de alfa que optimiza el modelo a lo largo de las diferentes probabilidades de ocurrencia de los eventos es alfa cuando tiende a 1, en promedio el óptimo del costo de implementación de la estrategia con alfa de 0,8, ronda los \$2,126.250, para la mitigación del evento de interrupción del rendimiento.

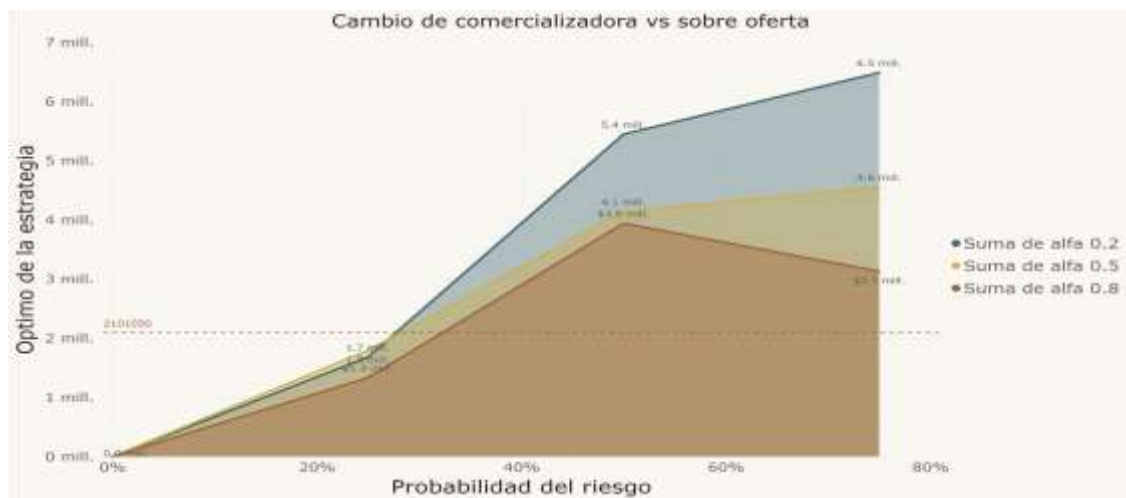
**Figura 12:** Moderación de la probabilidad de interrupción vs interrupción del rendimiento



Fuente: Elaboración propia basada en las simulaciones en Python

Se observa en la figura 13, que el óptimo de la estrategia del riesgo incrementa en función de la materialización del evento con tendencia lineal. La ponderación de alfa cuando tiende a 1 es la que minimiza la función a lo largo de las diferentes probabilidades, en promedio el óptimo del costo de implementación de la estrategia con alfa de 0,8 ronda los \$2.101.050, para la mitigación del evento de sobre oferta.

**Figura 13:** Cambio de comercializadora vs sobre oferta

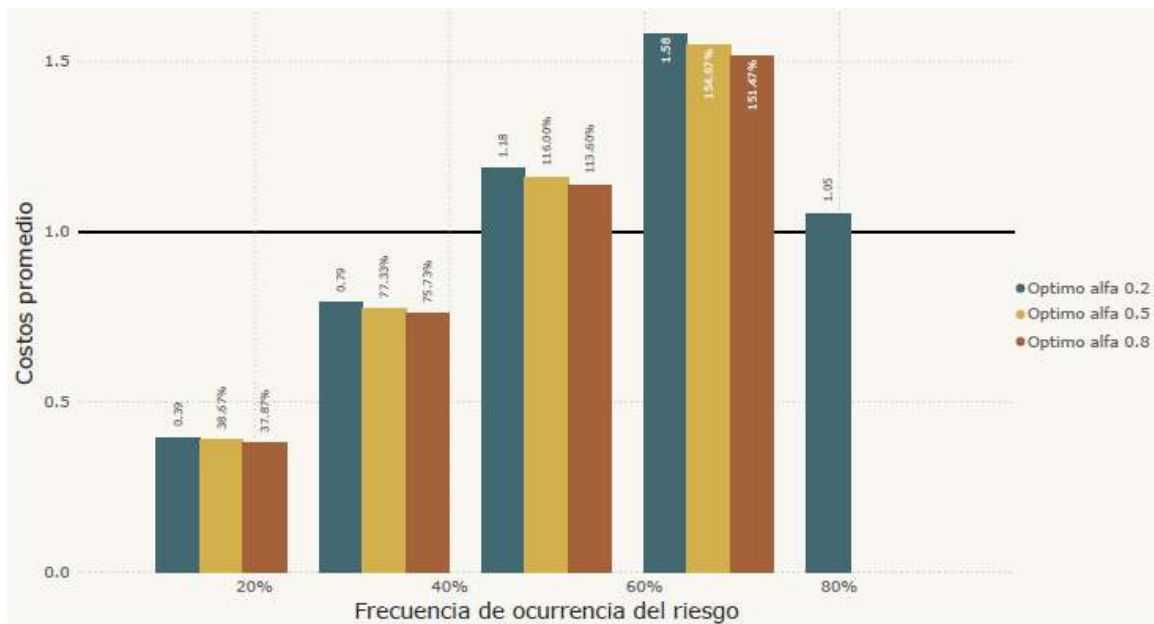


Fuente: Elaboración propia basada en las simulaciones en Python

En las siguientes figuras se compara la proporción del promedio del costo de la estrategia en relación con el costo promedio del riesgo. Con el objetivo de determinar en qué casos es mejor aceptar el riesgo por encima de implementar la estrategia.

En la figura 14, se observa que, cuando la probabilidad de ocurrencia del riesgo está entre un 40% y 80% no es viable la implementación de la estrategia debido a que los costos promedio de implementación supera al costo promedio del riesgo.

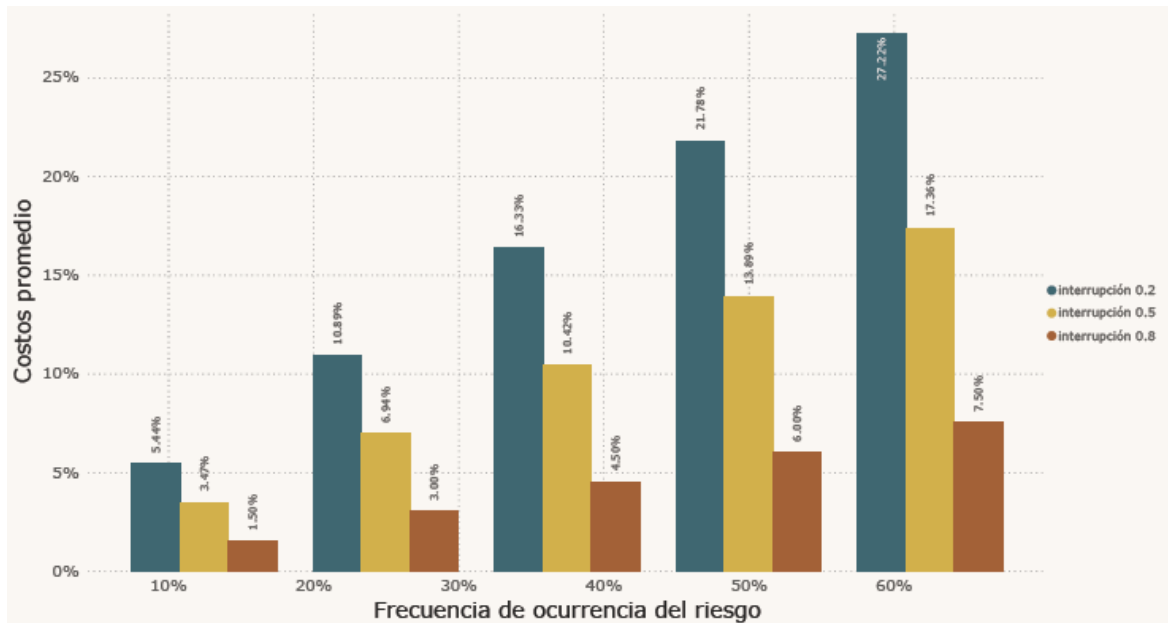
**Figura 14:** Promedio del costo óptimo de suministros de respaldo vs escasez de insumo



Fuente: Elaboración propia basada en las simulaciones en Python

En lo concerniente a la figura 15, moderación de la probabilidad de interrupción vs interrupción del rendimiento, se observa que independientemente de la ponderación de alfa el valor óptimo promedio que podría esperarse de la implementación de la estrategia no alcanza a llegar al 30% del costo promedio del riesgo. Al igual que en la figura 11, el valor de ponderación de alfa 0,8 es el que mejor optimiza la función.

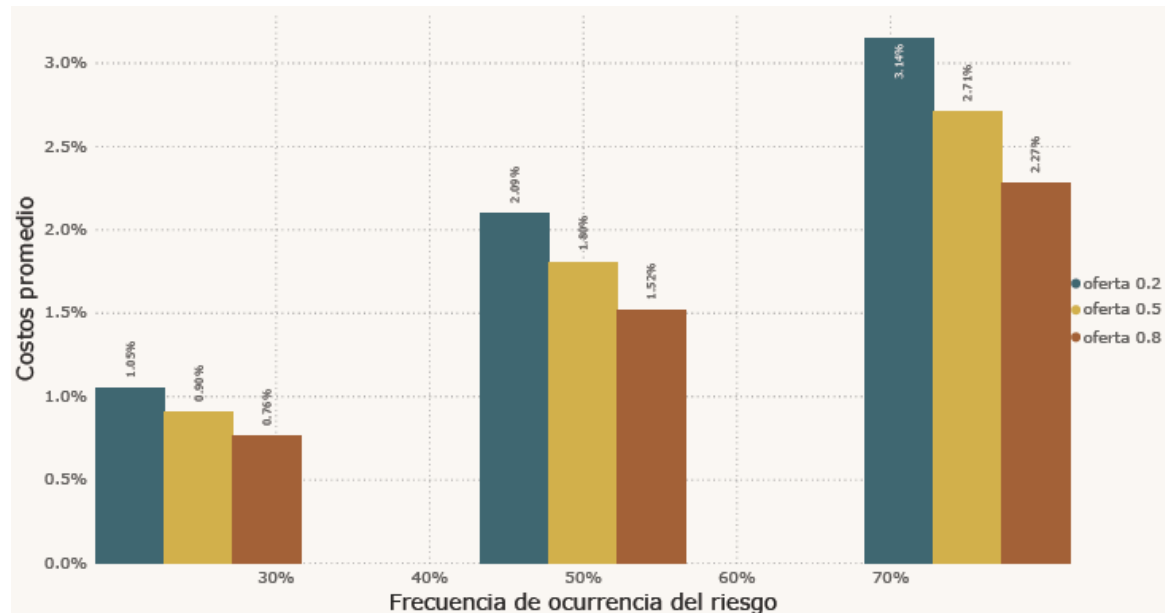
**Figura 15:** Promedio del costo óptimo de la moderación de la probabilidad de interrupción vs interrupción del rendimiento



Fuente: Elaboración propia basada en las simulaciones en Python

Respecto a la figura 16, se puede observar que independientemente de la ponderación de alfa el valor óptimo promedio del costo de la implementación de la estrategia no alcanza a llegar al 4% del costo promedio del riesgo.

**Figura 16:** Promedio del costo óptimo del cambio de comercializadora vs sobre oferta



Fuente: Elaboración propia basada en las simulaciones en Python

## 5. Conclusiones y recomendaciones.

### 5.1 Conclusiones

A partir de la revisión de literatura, se puede decir que la resiliencia de la cadena productiva del aguacate Hass está conformada por un ecosistema de capacidades dinámicas susceptibles al desempeño de las habilidades operativas de la cadena. La resiliencia es equiparable a la capacidad de reacción y recursos que posee la cadena para enfrentar los eventos disruptivos. Frente a los potenciales riesgos cada subcapacidad se encuentra asociada a unas estrategias que permiten determinar la forma óptima de afrontar el riesgo.

El Modelo de optimización estocástico lineal de dos etapas propuesto, logró explicar la resiliencia desde las capacidades dinámicas de la cadena de suministro de aguacate Hass, obteniendo las estrategias idóneas para mitigar los diferentes riesgos a los que se ve enfrentado la cadena. Proporcionando el valor óptimo de la estrategia que se debería aplicar según la probabilidad de ocurrencia de los eventos. Además, permite a los productores agrícolas generar una estrategia óptima dependiendo si desea priorizar el

costo de insumos y equipos (costos de la estrategia) o el costo del tiempo de implementación de la estrategia, este último haciendo alusión al tiempo que tarda en la implementación de la estrategia.

Para enfrentar los eventos disruptivos asociados al riesgo escasez de insumo se puede decir que la estrategia óptima es suministro de respaldo, dicha estrategia permite contrarrestar los efectos adversos del evento siempre que la probabilidad de ocurrencia de este se mantenga por debajo de un 50% alcanzando mejores resultados cuando se prioriza el costo de implementación de la estrategia por encima del costo del tiempo de implementación de la misma, es decir, se da más importancia al costo de los insumos, materiales e infraestructura que el costo del tiempo de ejecutar dicha estrategia. Para probabilidades del riesgo entre el 50% y 80% resulta más efectivo asumir el costo del riesgo que implementar la estrategia. Cuando la probabilidad aumenta por encima del 80% el comportamiento de la estrategia cambia a favor del costo del tiempo de implementación. Podría decirse, a medida que aumente la probabilidad de ocurrencia de los eventos disruptivos asociados a dicho riesgo se tendrá un stock de inventario que reducirá la inversión de inventario necesario para las posteriores implementaciones de la estrategia.

En cuanto al riesgo de interrupción del rendimiento se determina que de las dos estrategias que lo pueden mitigar, la que optimiza el modelo de acuerdo con los escenarios posibles es la moderación de la probabilidad de interrupción. Esta estrategia consiste en la construcción de un plan de mantenimiento preventivo, monitoreo y control del cultivo, donde se cuente con el apoyo del agrónomo, además, de capacitación a los colaboradores de la cosecha. En el modelo la estrategia tiende a describir un comportamiento hacia valores óptimos altos en probabilidades de ocurrencias bajas, sin embargo, este comportamiento cambia, decreciendo en la medida en que aumenta la probabilidad de la materialización de los eventos disruptivos, no obstante, a largo del rango de probabilidades es más óptimo dar peso al tiempo de la implementación de la estrategia. En función de que aumente la frecuencia de ocurrencia de los eventos, el plan de control del cultivo tiende a llevar menos tiempo en la respuesta al riesgo y por ende menor costo de la estrategia por implementación, esto puede sumarse a una curva del aprendizaje ligada al entendimiento del riesgo. Bajo las condiciones de los escenarios propuestos, la estrategia óptima no alcanza bajo ninguna probabilidad el costo de afrontar el riesgo, en este caso la aceptación del riesgo no es una opción viable.

Dado el riesgo de sobreoferta, se evidencia que de las estrategias propuestas el cambio de comercializadora resulta óptimo por su costo de implementación y costo del tiempo de implementación por encima de la estrategia planta de procesamiento, a diferencia de los demás riegos, este riesgo implica que la implementación de la estrategia siempre se implementará desde cero en cada ocurrencia. Esto se evidencia en el comportamiento creciente de los resultados, donde a medida que se incrementa la probabilidad de ocurrencia del riesgo se evidencia un aumento para el costo de la estrategia. Siendo que al priorizar el costo del tiempo de implementación de la estrategia se logra la mejor optimización. No es posible evidenciar que los valores óptimos disminuyen cuando se tiene mayor probabilidad de ocurrencia del riesgo, excepto por un leve declive en el comportamiento de los óptimos más cercanos de alfa cuando tiende a uno.

De acuerdo con el modelo de optimización lineal de dos etapas propuesto en esta tesis, y dado los datos de la cadena productiva del aguacate Hass recolectados en el trabajo de campo, se evidencia que las estrategias logísticas que optimizan el costo de la cadena frente a la materialización de los riesgos posibles son suministro de respaldo, moderación de la probabilidad de interrupción y cambio de comercializadora, estas están asociadas a las sub capacidades de la resiliencia: ingenio, agilidad y velocidad, respectivamente.

Es así como se puede afirmar que, para este tipo de cultivos la resiliencia está dado por las capacidades de 1) Ingenio, definido como la capacidad de generar un equilibrio entre el costo de inversión de la estrategia y la eficiencia, además de saber identificar problemas, establecer prioridades y destinar recursos para asegurar la integridad de la cadena, 2) agilidad, está contenida dentro de los atributos de la flexibilidad, y se establece a través de los recursos de inversión antes de la materialización del evento, 3) velocidad, determina la pérdida que ocurre por unidad de tiempo, posee mayor énfasis en la eficiencia de la respuesta y recuperación de la cadena desde el momento de perturbación hasta la recuperación de su estado; la velocidad se centra en el ritmo de las adaptaciones flexibles.

Una compañía dedicada a la industria agrícola podría emplear estos datos para detectar estrategias anticipadas de mitigación frente a posibles perturbaciones. Además, las empresas podrían implementar estrategias de planificación basadas en escenarios para evaluar el impacto de diversos riesgos relacionados con diferentes eventos.



## 5.2 Recomendaciones

Los resultados de esta tesis permiten comprender el fenómeno estudiado desde la simplificación de la realidad, teniendo en cuenta que representa una cadena de suministro agrícola que es compleja dado los cuidados que requiere el producto, así como la cantidad de eventos disruptivos a los que se ve enfrentada. Posibilita realizar recomendaciones que se pueden poner en práctica en campo, impulsando el sector agrícola del oriente antioqueño, desde el marco de la resiliencia.

El modelo planteado, puede ser más asertivo si se cuenta con una muestra fiable de datos para determinar la probabilidad de ocurrencia de los eventos disruptivos, los agricultores, en su mayoría, no recuerdan con precisión la cantidad de veces que se materializan los eventos entre periodos de tiempo. Los productores no suelen llevar un registro histórico de los datos de cultivos.

Es de resaltar el conocimiento, experiencia y manejo que tienen los productores sobre el proceso productivo del aguacate, su conocimiento empírico lo han adquirido desde el ensayo y error. Se sugiere que, para que las estrategias planteadas en el modelo generen resultados óptimos al momento de aplicarlas en la cadena, se debe fortalecer el conocimiento sobre el manejo del cultivo desde lo técnico, generar estrategias para equilibrar el costo de inversión y la eficiencia, además de saber identificar riesgos, establecer prioridades y destinar recursos para asegurar la integridad de la cadena, identificar con anterioridad los posibles eventos disruptivos y generar un plan de acción que contemple las diferentes estrategias necesarias para la mitigación del riesgo.

Algunas recomendaciones clave para mejorar la producción y la competitividad pueden incluir:

Mejoras en prácticas agrícolas: hacer buen uso del agua, para ello se puede implementar sistemas de riego eficientes. Asegurar un buen drenaje, para evitar ahogamiento de los árboles, también hay que asegurar que la semilla sea de buena calidad, además de tener una distribución eficiente de siembra. En cuanto a control biológico, adoptar métodos de control biológico de plagas y enfermedades para reducir el uso de pesticidas y promover la sostenibilidad.

Para la infraestructura y logística, poseer buena Infraestructura de almacenamiento, es decir, invertir en instalaciones de almacenamiento adecuadas para reducir las pérdidas postcosecha y mantener la calidad del aguacate.

Crear acceso a nuevos mercados, mediante la búsqueda de certificaciones de calidad y sostenibilidad para acceder a mercados internacionales y obtener mejores precios. Diversificación de mercados: Explorar y expandirse a nuevos mercados tanto nacionales como internacionales para reducir la dependencia de un solo mercado.

Generar relaciones sólidas como, por ejemplo, asociatividad y cooperativismo: Formar y/o fortalecer cooperativas y asociaciones de productores para mejorar el poder de negociación, acceder a insumos a mejores precios y compartir conocimientos y recursos. Fomentar la colaboración entre productores, instituciones académicas y entidades gubernamentales para la investigación y desarrollo en el sector.

En cuanto a la gestión del riesgo, se hace necesario e importante crear, desarrollar y mantener planes de contingencia que abordan posibles interrupciones y asegurar una respuesta rápida y eficaz ante eventos imprevistos, estos basados en las estrategias logísticas, derivadas de las subcapacidades dinámicas de la resiliencia.

Para los gobiernos locales es importante pensar en la creación de espacios que le permitan potencializar esta actividad económica como la creación de talleres de capacitación y educación, por ejemplo, Ofrecer programas de capacitación en buenas prácticas agrícolas, manejo postcosecha, y uso de tecnologías agrícolas modernas, asimismo, talleres en educación financiera y empresarial para ayudar a los agricultores a gestionar mejor sus finanzas y planificar el crecimiento a largo plazo.

También sería pertinente que los gobiernos locales revisen cómo mejorar la infraestructura vial, facilitando el transporte eficiente de productos desde las fincas hasta los mercados.

## 6. Bibliografía

- Aboah, J., Wilson, M. M. J., Rich, K. M., & Lyne, M. C. (2019). Operationalising resilience in tropical agricultural value chains. *Supply Chain Management: An International Journal*, 24(2), 271–300. <https://doi.org/10.1108/SCM-05-2018-0204>
- Álvarez, L. (2003). competencias centrales y ventaja competitiva. *Contaduría y Administración*, 209, 5–22.
- Andrews, K.R., (1971). The concept of corporate strategy. Homewood-IL: Dow Jones Irwin.ba
- Asgari, N., Nikbakhsh, E., Hill, A., & Farahani, R. Z. (2016). Supply chain management 1982-2015: A review. *IMA Journal of Management Mathematics*, 27(3), 353–379. <https://doi.org/10.1093/imaman/dpw004>
- Balezentis, T., Zickiene, A., Volkov, A., Streimikiene, D., Morkunas, M., Dabkiene, V., & Ribasauskiene, E. (2023). Measures for the viable agri-food supply chains: A multi-criteria approach. *Journal of Business Research*, 155, 113417. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2022.113417>
- Ballou, R. (2004). *Logística Administración De La Cadena De Suministro Q U I N T a E D I C I Ó N*. www.pearsoneducacion.net
- Barac, N., Milovanović, G., & Anđelković, A. (2011). Risk and the resilient supply chain. *Facta universitatis-series: Economics and Organization*, 8(2), 139-151.
- Barney, J. (1991). Firm Resources and Sustained Competitive Advantage. *Journal of Management*, 17(1), 99–120. <https://doi.org/10.1177/014920639101700108>
- Barney, J. B. (1986). Strategic Factor Markets: Expectations, Luck, and Business Strategy. *Management Science*, 32(10), 1231–1241. <https://doi.org/10.1287/mnsc.32.10.1231>
- Behzadi, G., Justin, M., Sullivan, O., & Lennon, T. (2020). *On metrics for supply chain resilience*. 287, 145–158. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2020.04.040>
- Behzadi, G., O'Sullivan, M. J., & Olsen, T. L. (2020). On metrics for supply chain resilience. *European Journal of Operational Research*, 287(1), 145–158. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2020.04.040>
- Behzadi, G., O'Sullivan, M. J., Olsen, T. L., Scrimgeour, F., & Zhang, A. (2017). Robust and resilient strategies for managing supply disruptions in an agribusiness supply chain. *International Journal of Production Economics*, 191, 207–220. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2017.06.018>

- Behzadi, G., O'Sullivan, M. J., Olsen, T. L., & Zhang, A. (2018). Agribusiness supply chain risk management: A review of quantitative decision models. *Omega (United Kingdom)*, 79, 21–42. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2017.07.005>
- Biggs, R., Robards, M. D., Brown, K., Engle, N., & Meek, C. L. (2015). Politics and the resilience of ecosystem services. In *Principles for Building Resilience: Sustaining Ecosystem Services in Social-Ecological Systems* (pp. 32–49). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781316014240.003>
- Briano, E., Caballini, C., & Revetria, R. (2009, October). Literature review about supply chain vulnerability and resiliency. In Proceedings of the 8th WSEAS international conference on System science and simulation in engineering (pp. 191-197). Genova, Italy: World Scientific and Engineering Academy and Society (WSEAS).
- Bruneau, M., Chang, S. E., Eguchi, R. T., Lee, G. C., O'Rourke, T. D., Reinhorn, A. M., Shinozuka, M., Tierney, K., Wallace, W. A., & Von Winterfeldt, D. (2003). A Framework to Quantitatively Assess and Enhance the Seismic Resilience of Communities. *Earthquake Spectra*, 19(4), 733–752. <https://doi.org/10.1193/1.1623497>
- Bueno Campo, Eduardo. (1998). *Boletín de Estudios Económicos*, 207–229. <https://www.proquest.com/openview/3ab60647cc71baa198d764bab1a0ea34/1?pq-origsite=gscholar&cbl=1818612>
- Bueno, E. (2007) Estrategia y dirección estratégica. En: Lo que se aprende en los mejores MBA, vol. 1, Gestión 2000: Barcelona.
- Cardona, R. (2011). ESTRATEGIA BASADA EN LOS RECURSOS Y CAPACIDADES. CRITERIOS DE EVALUACIÓN Y EL PROCESO DE DESARROLLO. *Revista Electrónica Fórum Doctoral*, 4, 113–147. <https://repository.eafit.edu.co/items/5874a3e8-ef06-40a3-8601-4eb94112c43e>
- Carpenter R Stephen, Brock A William, & Ludwig Donald. (2002). Collapse, learning, and renewal 2002. In *Panarchy: Understanding transformations in human and natural systems* (pp. 173–193).
- Carvalho, H., & Cruz-Machado, V. (2011). Integrating lean, agile, resilience and green paradigms in supply chain management (LARG\_SCM). *Supply chain management*, 2, 151-179.
- Chakraborty, K. (1997). *rentabilidad.pdf*.
- Chamberlin, E. (1933). Monopolistic competition and Pareto optimality. *Journal Of Business & Economics Research*, 17-28.
- Charles, A., Lauras, M., & van Wassenhove, L. (2010). A model to define and assess the agility of supply chains: Building on humanitarian experience. *International Journal of*

- Physical Distribution and Logistics Management*, 40(8), 722–741.  
<https://doi.org/10.1108/09600031011079355>
- Chopra, S., & Meindl, P. (2010). *Administracion de Cadena de Suministro*.  
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Chowdhury, M. M. H., & Quaddus, M. A. (2015). A multiple objective optimization based QFD approach for efficient resilient strategies to mitigate supply chain vulnerabilities: The case of garment industry of Bangladesh. *Omega (United Kingdom)*, 57, 5–21.  
<https://doi.org/10.1016/j.omega.2015.05.016>
- Christopher, M., & Peck, H. (2004). Building the Resilient Supply Chain. *The International Journal of Logistics Management*, 15(2), 1–14.  
<https://doi.org/10.1108/09574090410700275>
- Córdova, M., & Pahl, J. (2019). The importance of ports in the current global economy.  
<http://repositorio.pucp.edu.pe/index/handle/123456789/136919>
- Cimellaro, G. P., Reinhorn, A. M., & Bruneau, M. (2010). Framework for analytical quantification of disaster resilience. *Engineering Structures*, 32(11), 3639–3649.  
<https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2010.08.008>
- Clavijo-Buritica, N., Triana-Sanchez, L., & Escobar, J. W. (2022). A hybrid modeling approach for resilient agri-supply network design in emerging countries: Colombian coffee supply chain. *Socio-Economic Planning Sciences*, 101431.  
<https://doi.org/10.1016/j.seps.2022.101431>
- CUERVO GARCIA ALVARO. (1993). *Papel de la Empresa en la Competitividad*. Alvaro Cuervo.pdf.
- Cumming, G. S., Barnes, G., Perz, S., Schmink, M., Sieving, K. E., Southworth, J., Binford, M., Holt, R. D., Stickler, C., & Van Holt, T. (2005). An exploratory framework for the empirical measurement of resilience. *Ecosystems*, 8(8), 975–987. <https://doi.org/10.1007/s10021-005-0129-z>
- Datta, P. P., Christopher, M., & Allen, P. (2007). A Leading Journal of Supply Chain Management Agent-based modelling of complex production / distribution systems to improve resilience. *International Journal of Logistics Research: And Applications*, 10(3), 187–203.
- De, J., & Hernández, P. (2008). Ventaja competitiva sostenible en pequeñas y medianas empresas hoteleras del sur de México. *Pensamiento & Gestión*, 25, 161–177.
- Fahimnia, B., Tang, C. S., Davarzani, H., & Sarkis, J. (2015a). Quantitative models for managing supply chain risks: A review. *European Journal of Operational Research*, 247(1), 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.04.034>

- Fahimnia, B., Tang, C. S., Davarzani, H., & Sarkis, J. (2015b). Quantitative models for managing supply chain risks: A review. In *European Journal of Operational Research* (Vol. 247, Issue 1, pp. 1–15). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.04.034>
- Faisal, M. N., Banwet, D. K., & Shankar, R. (2006). Supply chain risk mitigation: Modeling the enablers. *Business Process Management Journal*, 12(4), 535–552. <https://doi.org/10.1108/14637150610678113>
- Fazey, I., Fazey, J. A., Fischer, J., Sherren, K., Warren, J., Noss, R. F., & Dovers, S. R. (2007). Adaptive capacity and learning to learn as leverage for social-ecological resilience. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 5(7), 375–380. [https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2007\)5\[375:ACALTL\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2007)5[375:ACALTL]2.0.CO;2)
- Flores Carvajal, L. (2021). Gestión de la cadena de suministro en la comercialización de productos agrícolas en Ecuador. *SUMMA. Revista Disciplinaria En Ciencias Económicas y Sociales*, 3(2). <https://doi.org/10.47666/summa.3.2.38>
- Folke, C., Carpenter, S. R., Walker, B., Scheffer, M., Chapin, T., & Rockström, J. (2010). *Resilience Thinking: Integrating Resilience, Adaptability and Transformability*. <https://www.jstor.org/stable/26268226?seq=1&cid=pdf->
- Fontalvo-Herrera, T., De-la-Hoz-Granadillo, E., & Mendoza-Mendoza, A. (2019). Procesos Logísticos y La Administración de la Cadena de Suministro. *Saber, Ciencia y Libertad*, 14(2), 102–112. <https://doi.org/10.18041/2382-3240/saber.2019v14n2.5880>
- Francis, V. (2008). Supply chain visibility: Lost in translation? *Supply Chain Management*, 13(3), 180–184. <https://doi.org/10.1108/13598540810871226>
- Gallopín, G. C. (2006). Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity. *Global Environmental Change*, 16(3), 293–303. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.02.004>
- García del Castillo, J. A., & García del Castillo-López, A. (2016). Conceptualización teórica de la resiliencia psicosocial y su relación con la salud. *Health and Addictions/Salud y Drogas*, 16(1), 59. <https://doi.org/10.21134/haaj.v16i1.263>
- Garzón Castrillón, M. A. (2015). Modelo De Capacidades Dinámicas. *Dimensión Empresarial*, 13(1), 111–131. <https://doi.org/10.15665/rde.v13i1.341>
- Garzón, Manuel., Fischer, André., & Nakata, Lina. (2012). ORGANIZATIONAL LEARNING IN LATIN AMERICA: A DESCRIPTIVE STUDY IN BRAZIL AND COLOMBIA. *The Economic Research Guardian*, 1(1), 2247–8531. [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=2093161](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2093161)
- Gholami-Zanjani, S. M., Jabalameli, M. S., Klibi, W., & Pishvaei, M. S. (2021). A robust location-inventory model for food supply chains operating under disruptions with ripple

- effects. *International Journal of Production Research*, 59(1), 301–324.  
<https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1834159>
- Gholami-Zanjani, S. M., Klibi, W., Jabalameli, M. S., & Pishvae, M. S. (2021). The design of resilient food supply chain networks prone to epidemic disruptions. *International Journal of Production Economics*, 233. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.108001>
- Gómez, R., & Miguel, L. (2019). *Metodología para evaluar la resiliencia de cadenas de abastecimiento (Diseño y prueba piloto)*.
- Grant, R. M. (1991). The Resource-Based Theory of Competitive Advantage: Implications for Strategy Formulation. In *California Management Review* (Vol. 33, Issue 3, pp. 114–135). <https://doi.org/10.2307/41166664>
- Grant, R. M. (1996). TOWARD A KNOWLEDGE-BASED THEORY OF THE FIRM. In *Strategic Management Journal* (Vol. 17).
- Guerra, L. Navas, J. (2015). *La dirección estratégica de la empresa : teoría y aplicaciones* (5ª edición, Issue January).  
[http://encore.fama.us.es/iii/encore/record/C\\_\\_Rb2390888\\_\\_Sdireccion+estrategica+de+la+empresa\\_\\_P0,7\\_\\_Orightrresult\\_\\_U\\_\\_X6?lang=spi&suite=cobalt](http://encore.fama.us.es/iii/encore/record/C__Rb2390888__Sdireccion+estrategica+de+la+empresa__P0,7__Orightrresult__U__X6?lang=spi&suite=cobalt)
- Gupta, V., He, B., & Sethi, S. P. (2015). Contingent sourcing under supply disruption and competition. *International Journal of Production Research*, 53(10), 3006–3027.  
<https://doi.org/10.1080/00207543.2014.965351>
- Guzmán, E., Poler, R., & Andrés, B. (2020). Un análisis de revisiones de modelos y algoritmos para la optimización de planes de aprovisionamiento, producción y distribución de la cadena de suministro. *Direccion y Organizacion*, 70, 28–52.  
<https://doi.org/10.37610/DYO.V0I70.567>
- Hall, R. (1992). THE STRATEGIC ANALYSIS OF INTANGIBLE RESOURCES. In *Strategic Management Journal* (Vol. 13).  
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/smj.4250130205>
- Hall, R. (1993). A Framework Linking Intangible Resources and Capabiliites to Sustainable Competitive Advantage. *Strategic Management Journal*, 14(8), 607–618.  
<http://www.jstor.org/stable/2486860>
- Hamel, G., & Valikangas, L. (2003). The quest for resilience. *Harvard Business Review*, 81(9), 52–63.  
<http://proquest.umi.com/pqdweb?did=395498971&Fmt=7&clientId=4574&RQT=309&VName=PQD%5Cnpapers3://publication/uuid/5041D63D-7A0F-47F7-B447-EF0EE63A7D9D>

- Hansen, G. , & Wernerfelt, B. (1989). DETERMINANTS OF FIRM PERFORMANCE: THE RELATIVE IMPORTANCE OF ECONOMIC AND ORGANIZATIONAL FACTORS. In *Strategic Management Journal* (Vol. 10).  
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/smj.4250100502>
- Holling, C. S. (1973). RESILIENCE AND SUSTAINABILITY OF ECOLOGICAL SYSTEMS. *Annu.Rev.Ecol.Syst.*, 4, 1–23.
- Holling, C. S., & Gunderson, L. H. (2002). Resilience and adaptive cycles. In *Panarchy: Understanding Transformations in Human and Natural Systems*, 25-62.
- Hosseini, S., & Ivanov, D. (2019). A new resilience measure for supply networks with the ripple effect considerations: a Bayesian network approach. *Annals of Operations Research*.  
<https://doi.org/10.1007/s10479-019-03350-8>
- Hosseini, S., Ivanov, D., & Dolgui, A. (2019). Review of quantitative methods for supply chain resilience analysis. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 125(March), 285–307. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2019.03.001>
- Hosseini, S., Morshedlou, N., Ivanov, D., Sarder, M. D., Barker, K., & Khaled, A. Al. (2019). Resilient supplier selection and optimal order allocation under disruption risks. *International Journal of Production Economics*, 213, 124–137.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.03.018>
- Huerta Riveros, P., Almodóvar Martínez, P., & Navas López, J. (2004). La diversificación desde la teoría de Recursos y Capacidades. *La Diversificación Desde La Teoría de Recursos y Capacidades*, 14, 87–104. <https://doi.org/10.5209/CESE.10456>
- Iakovou, E., Vlachos, D., & Achillas, C. (2015). A methodological framework for the design of green supply chains for the agrifood sector. *2 International Conference on Supply Chains*, 14.
- Ibarra Mirón, S., & Suárez Hernández, J. (2002). La teoría de los recursos y las capacidades: un enfoque actual en la estrategia empresarial. *Anales de Estudios Económicos y Empresariales*, 15, 63–89.
- Ivanov, D., & Dolgui, A. (2020). Viability of intertwined supply networks: extending the supply chain resilience angles towards survivability. A position paper motivated by COVID-19 outbreak. *International Journal of Production Research*, 58(10), 2904–2915.  
<https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1750727>
- Ivanov, D., & Sokolov, B. (2013). Control and system-theoretic identification of the supply chain dynamics domain for planning, analysis and adaptation of performance under uncertainty. *European Journal of Operational Research*, 224(2), 313–323.  
<https://doi.org/10.1016/j.ejor.2012.08.021>



- Ivanov, D., Sokolov, B., & Kaeschel, J. (2010). A multi-structural framework for adaptive supply chain planning and operations control with structure dynamics considerations. *European Journal of Operational Research*, 200(2), 409–420.  
<https://doi.org/10.1016/j.ejor.2009.01.002>
- Jacobson, R. (1987). The Validity of ROI as a Measure of Business Performance. *The American Economic Review*, 77(3), 470–478. <http://www.jstor.org/stable/1804112>
- Jüttner, U., & Maklan, S. (2011). Supply chain resilience in the global financial crisis: An empirical study. *Supply Chain Management*, 16(4), 246–259.  
<https://doi.org/10.1108/13598541111139062>
- Kamalahmadi, M., & Parast, M. M. (2017). An assessment of supply chain disruption mitigation strategies. *International Journal of Production Economics*, 184, 210–230.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.12.011>
- Lessard, D., Teece, D. J., & Leih, S. (2016). The Dynamic Capabilities of Meta-Multinationals. *Global Strategy Journal*, 6(3), 211–224. <https://doi.org/10.1002/gsj.1126>
- López, J. A. P. (2015). A critical analysis of the concept of resilience in psychology. *Anales de Psicología*, 31(3), 751–758. <https://doi.org/10.6018/analesps.31.3.185631>
- Mahoney, J., & Pandian, R. (1992). The Resource- Based View the Conversation of Strategic Management. *Department of Business Administration University of Illinois*, 54.
- Manuj, I., & Mentzer, J. T. (2008). Global supply chain risk management strategies. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 38(3), 192–223.  
<https://doi.org/10.1108/09600030810866986>
- Mardani, A., Kannan, D., Hooker, R. E., Ozkul, S., Alrasheedi, M., & Tirkolaei, E. B. (2020). Evaluation of green and sustainable supply chain management using structural equation modelling: A systematic review of the state of the art literature and recommendations for future research. *Journal of Cleaner Production*, 249, 119383.  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119383>
- McKee, DO; Varadarajan, PR y Pride, W. M (1989) Adaptabilidad estratégica y desempeño de la empresa: una perspectiva contingente al mercado. *Journal of Marketing* , vol. 53, n.º 1, págs. 21-35.
- Melnyk. (2014). *Understanding supply chain resilience*. 18, 34–41.
- Mertens, L., & Palomares, L. (2006). Capacidades Dinámicas de Aprendizaje en las Organizaciones: gestión de la ambigüedad y dilemas, base de la economía de aprendizaje. Seminario Internacional Globalización, Comocimiento Y Desarrollo. 15-17 de marzo de 2006 UNAM, México.

- Minolli, C. B. (2005). Empresas resilientes algunas ideas para construirlas. *Temas de Management*, 3(1), 20-25.
- Mitroff, I., Alpaslan, M.C., & Green, S.E. (2004). Managing Crises in the Twenty-First Century. In *UK. International Studies Review* (Vol. 6). <https://academic.oup.com/isr/article-abstract/6/1/175/1795950>
- Morcillo, P. (1997): Dirección estratégica de la Tecnología e Innovación. Un enfoque de competencias. Civitas, Madrid.
- Navas, J. E., & Guerras, L. A. (2002). La dirección estratégica de la empresa. Teoría y aplicaciones.
- Nélida, M., & Bañuelos, S. (2017). Aportes teóricos a la gestión organizacional: la evolución en la visión de la organización. *Ciencias Administrativas*, 10, 65–74. <https://www.redalyc.org/pdf/960/96049292007.pdf>
- Nelson, R., & Winter, S. (1982). *An Evolutionary Theory of Economic Change*. Cambridge, MA: Belknap Press of Harvard University, 99.
- Ni, N., Howell, B. J., & Sharkey, T. C. (2018). Modeling the impact of unmet demand in supply chain resiliency planning. *Omega (United Kingdom)*, 81, 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2017.08.019>
- Nonaka, I., & Takeuchi, H. (1999). La organización creadora de conocimiento: cómo las compañías japonesas crean la dinámica de la innovación (pp. 61-103). México: Oxford University Press.
- Papadopoulos, T., Gunasekaran, A., Dubey, R., Altay, N., Childe, S. J., & Fosso-Wamba, S. (2017). The role of Big Data in explaining disaster resilience in supply chains for sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 142, 1108–1118. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.059>
- Peck, H. (2005). Drivers of supply chain vulnerability: An integrated framework. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 35(4), 210–232. <https://doi.org/10.1108/09600030510599904>
- Penrose, E. (1959). *The Theory of the Growth of the Firm*, Basil Blackwell and New York, Oxford.
- Pereira, C. R., Christopher, M., & Lago Da Silva, A. (2014). Achieving supply chain resilience: the role of procurement. *Supply Chain Management*, 19, 626–642. <https://doi.org/10.1108/SCM-09-2013-0346>
- Pettit, T. J., Fiksel, J., & Croxton, K. L. (2010). Ensuring Supply Chain Resilience: Development of a Conceptual Framework. *Journal of Business Logistics*, 31(1), 1–21. <https://doi.org/10.1002/j.2158-1592.2010.tb00125.x>

- Pires Ribeiro, J., & Barbosa-Povoa, A. (2018). Supply Chain Resilience: Definitions and quantitative modelling approaches – A literature review. In *Computers and Industrial Engineering* (Vol. 115, pp. 109–122). Elsevier Ltd.  
<https://doi.org/10.1016/j.cie.2017.11.006>
- Ponis, ST, & Koronis, E. (2012). ¿Resiliencia de la cadena de suministro? Definición del concepto y sus elementos formativos. *The journal of applied business research* , 28 (5), 921-935.
- Ponomarov, S. Y., & Holcomb, M. C. (2009a). Understanding the concept of supply chain resilience. In *The International Journal of Logistics Management* (Vol. 20, Issue 1).  
<https://doi.org/10.1108/09574090910954873>
- Ponomarov, S. Y., & Holcomb, M. C. (2009b). Understanding the concept of supply chain resilience. *The International Journal of Logistics Management*, 20(1), 124–143.  
<https://doi.org/10.1108/09574090910954873>
- Prahalad, C. K., & Hamel, G. (1990). *The Core Competence of the Corporation*. [www.hbr.org](http://www.hbr.org)
- Prieto Pastor, I. M. (2003). Una valorización de la gestión del conocimiento para el desarrollo de la capacidad de aprendizaje en las organizaciones: propuesta de un modelo integrador. Valladolid: Universidad de Valladolid.
- Quintero, S., Ruiz, W., Giraldo, D., Vélez, L., Marín, B., Cubillos, S., & Cárdenas, A. (2019). Modelo de transferencia de tecnología para las cadenas productivas agropecuarias: Análisis comparativo de las cadenas del café y el aguacate en Antioquia. Medellín: UPB, Colciencias, Universidad Nacional.
- Remko, van H. (2020). Research opportunities for a more resilient post-COVID-19 supply chain – closing the gap between research findings and industry practice. *International Journal of Operations and Production Management*, 40(4), 341–355.  
<https://doi.org/10.1108/IJOPM-03-2020-0165>
- Reynoso, C. F. (2018). Harvard Deusto. In *Cuadernos de Economía y Dirección de la Empresa* (Vol. 16, Issue 4, p. 84). <https://doi.org/https://doi.org/10.32870/ce.v0i61.7497>
- Rha, J. S. (2020). Trends of research on supply chain resilience: A systematic review using network analysis. *Sustainability (Switzerland)*, 12(11). <https://doi.org/10.3390/su12114343>
- Ricardo, D., (1966). *Economic essays*. New York-NY: Augustus M. Kelley. [andrews](http://andrews)
- Rice, J. B., Jr., & Caniato, F. (2003). Building a secure and resilient supply network. *Supply Chain Management Review*, 7(5), 22–30.
- Richey, R. G. (2009). The supply chain crisis and disaster pyramid, A theoretical framework for understanding preparedness and recovery. In *International Journal of Physical*

*Distribution and Logistics Management* (Vol. 39, Issue 7, pp. 619–628).  
<https://doi.org/10.1108/09600030910996288>

- Romero Rodríguez, D., Ardila Rueda, W., Cantillo Guerrero, E., Sierra Altamiranda, A., & Sánchez Sánchez, F. (2017). Modelo de aproximación lineal para la medición de resiliencia en cadenas de suministro. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 25(1), 180–189. <https://doi.org/10.4067/S0718-33052017000100180>
- Sabouhi, F., Jabalameli, M. S., Jabbarzadeh, A., & Fahimnia, B. (2020a). A multi-cut L-shaped method for resilient and responsive supply chain network design. *International Journal of Production Research*, 58(24), 7353–7381.  
<https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1779369>
- Sabouhi, F., Jabalameli, M. S., Jabbarzadeh, A., & Fahimnia, B. (2020b). A multi-cut L-shaped method for resilient and responsive supply chain network design. *International Journal of Production Research*, 0(0), 1–29. <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1779369>
- Sawik, T. (2022). Stochastic optimization of supply chain resilience under ripple effect: A COVID-19 pandemic related study. *Omega (United Kingdom)*, 109.  
<https://doi.org/10.1016/j.omega.2022.102596>
- Scholten, K., & Schilder, S. (2015). The role of collaboration in supply chain resilience. *Supply Chain Management*, 20(4), 471–484. <https://doi.org/10.1108/SCM-11-2014-0386>
- Seuring, S., & Müller, M. (2008). From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management. *Journal of Cleaner Production*, 16(15), 1699–1710. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.04.020>
- Sheffi, Y., & Rice, J. B. (2005). *A Supply Chain View of the Resilient Enterprise*.
- Skipper, J. B., & Hanna, J. B. (2009). Minimizing supply chain disruption risk through enhanced flexibility. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 39(5), 404–427. <https://doi.org/10.1108/09600030910973742>
- Smith, R. (2004). Operational capabilities for the resilient supply chain. *Supply Chain Practice*, 6, 24-35.
- Sodhi, MS y Tang, CS (2012). Gestión del riesgo en la cadena de suministro (vol. 172, págs. 3-332). Nueva York: Springer.
- Soni, U., Jain, V., & Kumar, S. (2014). Measuring supply chain resilience using a deterministic modeling approach. *Computers and Industrial Engineering*, 74(1), 11–25.  
<https://doi.org/10.1016/j.cie.2014.04.019>
- Stevenson, M., & Spring, M. (2007). Flexibility from a supply chain perspective: Definition and review. In *International Journal of Operations and Production Management* (Vol. 27, Issue 7, pp. 685–713). <https://doi.org/10.1108/01443570710756956>

- Stinchcombe, A.L., (1965). Social structure and organizations. En: J.G. MARSCH, ed. Handbook of organizations. Chicago-IL: Rand McNally, 142-193.
- Stindt, D., & Sahamie, R. (2014). Review of research on closed loop supply chain management in the process industry. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 26(1–2), 268–293. <https://doi.org/10.1007/s10696-012-9137-4>
- Tang, C., & Tomlin, B. (2008). The power of flexibility for mitigating supply chain risks. *International Journal of Production Economics*, 116(1), 12–27. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2008.07.008>
- Teece, D. J. (2007). Explicating dynamic capabilities: The nature and microfoundations of (sustainable) enterprise performance. *Strategic Management Journal*, 28(13), 1319–1350. <https://doi.org/10.1002/smj.640>
- Teece, D. J. (2014). The foundations of enterprise performance: Dynamic and ordinary capabilities in an (economic) theory of firms. *Academy of Management Perspectives*, 28(4), 328–352. <https://doi.org/10.5465/amp.2013.0116>
- Teece, D. J., Pisano, G., & Shuen, A. (1997). DYNAMIC CAPABILITIES AND STRATEGIC MANAGEMENT. In *Strategic Management Journal* (Vol. 18).
- Torabi, S. A., Baghersad, M., & Mansouri, S. A. (2015). Resilient supplier selection and order allocation under operational and disruption risks. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 79, 22–48. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2015.03.005>
- Tsolakis, N. K., Keramydas, C. A., Toka, A. K., Aidonis, D. A., & Iakovou, E. T. (2014). Agrifood supply chain management: A comprehensive hierarchical decision-making framework and a critical taxonomy. *Biosystems Engineering*, 120, 47–64. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2013.10.014>
- Vaez, P., Sabouhi, F., & Jabalameli, M. S. (2019). Sustainability in a lot-sizing and scheduling problem with delivery time window and sequence-dependent setup cost consideration. *Sustainable Cities and Society*, 51(June), 101718. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101718>
- van der VORST, J. G. A. J. (2006). Performance measurement in agri-food supply-chain networks. *Quantifying the Agri-Food Supply Chain*, 15–26. [https://doi.org/10.1007/1-4020-4693-6\\_2](https://doi.org/10.1007/1-4020-4693-6_2)
- Vogus, T., & Sutcliffe, K. (2007). Sutcliffe y Vogus. *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, 3418–3422. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/4414160>
- Wang, C. L., & Ahmed, P. K. (2004). The development and validation of the organisational innovativeness construct using confirmatory factor analysis. In *European Journal of Innovation Management* (Vol. 7, Issue 4, pp. 303–313). <https://doi.org/10.1108/14601060410565056>

- Waters, D. (2007). *SUPPLY*.
- Weerawardena, J. (2003). The role of marketing capability in innovation-based competitive strategy. *Journal of Strategic Marketing*, 11(1), 15–35.  
<https://doi.org/10.1080/0965254032000096766>
- Weick, K.E., Sutcliffe, K.M. and Obstfeld, D. (1999), “Organizing for high reliability: processes of collective mindfulness”, *Research in Organizational Behavior*, Vol. 21, pp. 13-81
- Wernerfelt, B. (1984). A Resource-based View of the Firm. In *Strategic Management Journal* (Vol. 5).
- Wildavsky, A. (1988), *Searching for Safety*, Transaction Books, New Brunswick, NJ.
- Wilensky, U. (1999). NetLogo. Retrieved from Evanstone, IL: Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University: El Laboratorio de Aprendizaje de Netlogo. Retrieved from Recursos para el Modelador con Netlogo website:  
[/online.%0Afsu.edu/jjohnson/NetlogoTranslation/proceso\\_modelado.html](http://online.%0Afsu.edu/jjohnson/NetlogoTranslation/proceso_modelado.html)
- Zahra, S. A., & George, G. (2002). Evolution of Dynamic Capabilities The Net-Enabled Business Innovation Cycle and the Evolution of Dynamic Capabilities. *Information Systems Research*, 13(January 2015), 147-150. <https://doi.org/https://doi.org/10.1287/isre.13.2.147.90>

