Revista de Invest. Agropecuaria Science and Biotechnology
ISSN: 2788-6913
Vol. 06, No. 04, octubre - diciembre 2026, 21-37

Gestión de restricciones en la cadena de suministro de asociaciones agrarias productoras de semilla de papa en Tarma: un enfoque TOC

Constraint Management in the Supply Chain of Potato Seed-Producing Agricultural Associations in Tarma: A TOC Approach

Erick Abel Barzola-Ollero[1,a,*], Hidania Luz Ladera-Colquechagua[1,b], Zulema Terrel-Arzapalo[1,c], Kevin Valverde-Martinez[1,d], Alexis Achahuanco-Manchego[1,e], Kenny Ruben Montalvo-Morales[1,f]

[1] Universidad Nacional Autónoma Altoandina de Tarma, Tarma, Perú.

[a] Est., 76851324@unaat.edu.pe, https://orcid.org/0000-0002-5458-5871
[b] Est., 76841776@unaat.edu.pe, https://orcid.org/0000-0001-6491-7414
[c] Est., 71975192@unaat.edu.pe, https://orcid.org/0000-0003-1203-2301
[d] Est., 70085254@unaat.edu.pe, https://orcid.org/0000-0002-1287-8561
[e] Est., 77021174@unaat.edu.pe, https://orcid.org/0000-0003-4976-6624
[f] Est., kmontalvo@unaat.edu.pe, https://orcid.org/0000-0003-4403-4360

* Autor de Correspondencia: *Tel. +51 992930455*

http://doi.org/10.25127/riagrop.20264.1403

Resumen

La producción de semilla de papa representa una actividad importante para el desarrollo agrícola de la provincia de Tarma. Sin embargo, las asociaciones agrarias Vícora y Unión Leticia enfrentan distintas dificultades que afectan el funcionamiento de sus cadenas de suministro y su competitividad. Por ello, la investigación tuvo como objetivo gestionar las principales restricciones mediante la aplicación de la Teoría de Restricciones (TOC). El estudio tuvo un enfoque cuantitativo, con diseño no experimental, alcance descriptivo-propositivo y corte transversal. Para obtener la información, se emplearon la observación directa, las entrevistas semiestructuradas y la revisión documental. Los resultados mostraron que Vícora produce 38 500 tuberculillos y utiliza el 78,6 % de su capacidad instalada, mientras que Unión Leticia produce 46 200 y alcanza una utilización del 66,7 %. Asimismo, ambas asociaciones comercializan la semilla a S/ 1,00 por

http://revistas.untrm.edu.pe/index.php/RIAGROP
revista.riagrop@untrm.edu.pe

Recepción: 28 de junio 2026
Aprobación: 15 de septiembre 2026

Este trabajo tiene licencia de Creative Commons. Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International Public License – CC-BY-NC-SA 4.0

unidad, pese a que el precio de referencia es de S/ 3,50. Entre las principales restricciones se identificaron la capacidad limitada de los invernaderos, el bajo valor comercial, los problemas de almacenamiento, las condiciones climáticas adversas, las dificultades logísticas, el escaso financiamiento y la limitada incorporación de tecnología. A partir de los cinco pasos de la TOC se plantearon acciones de mejora. El escenario propuesto permitió aumentar la producción a 105 000 unidades, elevar la utilización de la capacidad al 95 %, reducir las pérdidas de almacenamiento al 4 % e incrementar los ingresos a S/ 367 500. Se concluye que la TOC contribuye a mejorar la eficiencia, la rentabilidad y la competitividad de las asociaciones productoras de semilla de papa en Tarma.

Palabras claves: Teoría de restricciones; cadena de suministro; semilla de papa; asociaciones agrarias; productividad; Tarma.

Abstract

Potato seed production is an important activity for agricultural development in the province of Tarma. However, the Vícora and Unión Leticia agricultural associations face several difficulties that affect the performance of their supply chain and competitiveness. Therefore, this research aimed to manage the main constraints through the application of the Theory of Constraints (TOC). The study followed a quantitative approach, with a non-experimental design, descriptive-propositive scope, and cross-sectional study. Information was collected through direct observation, semi-structured interviews, and documentary review. The results showed that Vícora produces 38,500 plantlets and uses 78.6% of its installed capacity, while Unión Leticia produces 46,200 plantlets and reaches a capacity utilization of 66.7%. Likewise, both associations sell the seed at S/ 1.00 per unit, despite the reference price being S/ 3.50. The main constraints identified were limited greenhouse capacity, low commercial value, storage problems, adverse climatic conditions, logistical difficulties, limited financing, and low technology adoption. Based on the five steps of TOC, improvement actions were proposed. The proposed scenario increased production to 105,000 units, raised capacity utilization to 95%, reduced storage losses to 4%, and increased income to S/ 367,500. It is concluded that TOC contributes to improving the operational efficiency, profitability, and competitiveness of potato seed-producing associations in Tarma.

Keywords: Theory of constraints; supply chain; potato seed; agricultural associations; operational efficiency; profitability.

1. INTRODUCCIÓN

La gestión eficiente de la cadena de suministro constituye un factor fundamental para incrementar la productividad, competitividad y sostenibilidad de los sistemas agroalimentarios, ya que integra las actividades de abastecimiento, producción, almacenamiento, distribución y comercialización necesarias para garantizar la disponibilidad oportuna de productos agrícolas de calidad y valor comercial (Christopher, 2016). En este contexto, la papa (*Solanum tuberosum* L.) representa uno de los cultivos de mayor importancia económica, social y alimentaria en el Perú, debido a su contribución a la seguridad alimentaria y a la generación de ingresos para miles de pequeños productores de las zonas altoandinas (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego [MIDAGRI], 2024). Por ello, el

fortalecimiento de los procesos asociados a su producción constituye un aspecto relevante para mejorar las condiciones económicas y productivas de las familias dedicadas a esta actividad.

Dentro de la cadena productiva de la papa, la disponibilidad de semilla de alta calidad fitosanitaria constituye un factor determinante para garantizar el rendimiento, la sanidad y la productividad del cultivo. La utilización de material vegetal de calidad permite reducir la propagación y acumulación de virus y otros patógenos que pueden afectar progresivamente el rendimiento de las plantas, especialmente cuando se emplea semilla vegetativa durante varios ciclos de producción (FAO, 2023). En este contexto, el desarrollo de tecnologías orientadas a la producción de semilla de alta calidad ha adquirido especial importancia. El Centro Internacional de la Papa (CIP), con sede en Lima, Perú, desarrolla actividades relacionadas con la conservación de recursos genéticos y la generación de tecnologías destinadas a mejorar la productividad y sostenibilidad del cultivo de papa (Centro Internacional de la Papa [CIP], 2024).

En la provincia de Tarma, departamento de Junín, la producción de semilla prebásica de variedades comerciales como Yungay y Única constituye una alternativa tecnológica para proporcionar material vegetal de calidad a las organizaciones agrarias. Sin embargo, las asociaciones productoras enfrentan diversas limitaciones que afectan el desempeño de su cadena de suministro, entre ellas la limitada capacidad de los invernaderos, el uso ineficiente del espacio disponible, dificultades en la programación de las siembras, restricciones de almacenamiento y problemas asociados con la comercialización del producto. Estas condiciones generan desarticulación entre la capacidad productiva y las necesidades del mercado, reduciendo el aprovechamiento de los recursos disponibles y limitando la competitividad de las organizaciones.

A esta problemática se suman factores económicos, logísticos y ambientales que condicionan el funcionamiento de las asociaciones agrarias. La comercialización de la semilla a precios inferiores a su valor referencial disminuye los ingresos y afecta la rentabilidad de los productores, mientras que la limitada disponibilidad de infraestructura especializada dificulta el almacenamiento y conservación del material producido. Asimismo, las condiciones climáticas características de la sierra central, particularmente la presencia de heladas y neblinas, pueden afectar las actividades productivas y generar dificultades para cumplir oportunamente con los requerimientos del mercado (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú [SENAMHI], 2024). A ello se agregan las limitaciones de financiamiento, la baja incorporación de tecnología y las deficiencias en los procesos logísticos, que en conjunto restringen el desempeño de las asociaciones productoras de semilla de papa.

Ante esta situación, resulta necesario aplicar herramientas de gestión que permitan identificar las restricciones que condicionan el desempeño global de la cadena de suministro y establecer acciones orientadas a su mejora. En este sentido, la Teoría de Restricciones (Theory of Constraints, TOC), desarrollada por Goldratt y Cox (2005), proporciona un enfoque sistémico para identificar las restricciones o cuellos de botella que limitan el desempeño de un sistema y establecer acciones para aprovechar mejor los recursos disponibles. Su aplicación se desarrolla mediante cinco pasos de enfoque: identificar la

restricción, explotarla, subordinar los demás procesos a ella, elevar su capacidad y, una vez superada, reiniciar el proceso de mejora continua. Este enfoque ha sido utilizado para mejorar la productividad, reducir pérdidas y optimizar el desempeño de diferentes sistemas productivos y cadenas de suministro (Dettmer, 1997; Goldratt & Cox, 2005).

En los últimos años, diversas investigaciones han aplicado herramientas de gestión para analizar y mejorar el desempeño de las cadenas de suministro; sin embargo, gran parte de estos estudios se han desarrollado en empresas manufactureras, industriales y organizaciones de mayor escala. En contraste, existe una limitada evidencia sobre la aplicación de la Teoría de Restricciones en asociaciones agrarias dedicadas a la producción de semilla de papa en contextos rurales altoandinos. Esta situación representa una brecha de conocimiento, debido a que las características productivas, económicas, climáticas y organizativas de estas asociaciones requieren enfoques de gestión adaptados a su realidad.

En este sentido, el análisis de las restricciones presentes en las asociaciones agrarias Vícora y Unión Leticia permite abordar la cadena de suministro desde una perspectiva integral, considerando aspectos relacionados con la capacidad instalada, producción, almacenamiento, comercialización, logística y utilización de los recursos disponibles. La aplicación de la TOC puede contribuir a determinar cuáles son las restricciones que generan mayores pérdidas o limitan el flujo del sistema, así como establecer acciones de mejora orientadas a incrementar la producción, reducir pérdidas, mejorar el aprovechamiento de la infraestructura y fortalecer la rentabilidad de las asociaciones.

Por lo tanto, el objetivo de la presente investigación fue gestionar las restricciones de la cadena de suministro en las asociaciones agrarias Vícora y Unión Leticia mediante la aplicación de la Teoría de Restricciones (TOC), con el propósito de optimizar el uso de la capacidad instalada, mejorar la eficiencia de los procesos productivos y logísticos, incrementar la rentabilidad y fortalecer la competitividad de las asociaciones productoras de semilla de papa en la provincia de Tarma, departamento de Junín.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Lugar y material de estudio

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, con un diseño no experimental, alcance descriptivo-propositivo y corte transversal, orientado a diagnosticar y gestionar las restricciones que afectan el desempeño de la cadena de suministro asociada a la producción de semilla prebásica de papa. Este enfoque permitió recopilar y analizar información relacionada con la capacidad productiva, producción anual, almacenamiento, comercialización, rentabilidad y tiempos de respuesta del sistema productivo.

La investigación se realizó en las asociaciones agrarias Vícora y Unión Leticia, ubicadas en la provincia de Tarma, departamento de Junín, Perú, donde se desarrolla la producción de semilla prebásica de papa bajo sistemas protegidos. El área de estudio se encuentra aproximadamente entre los 3200 y 3846 m s. n. m., en una zona representativa de la producción de semilla de papa de la sierra central peruana.

La unidad de análisis estuvo constituida por la cadena de suministro de las asociaciones agrarias Vícora y Unión Leticia, considerando los procesos de abastecimiento, producción, almacenamiento, comercialización y distribución de la semilla. Para el diagnóstico se analizaron las condiciones de infraestructura, capacidad instalada, utilización de los espacios productivos, producción anual, pérdidas durante el almacenamiento, precios de comercialización, ingresos, rentabilidad y tiempo de respuesta al mercado.

El material biológico estuvo constituido por plántulas micropropagadas de las variedades comerciales Única y Yungay, utilizadas para la producción de semilla prebásica de papa. Asimismo, se consideraron los principales insumos empleados durante el proceso productivo, entre ellos fertilizantes, materia orgánica, enmiendas agrícolas y productos fitosanitarios. La información fue recopilada mediante observación directa de las actividades productivas, entrevistas semiestructuradas a los responsables de las asociaciones y revisión de registros históricos de producción, comercialización y rendimiento correspondientes a campañas anteriores.

2.2. Metodología de evaluación

La metodología se estructuró con base en los principios de la Teoría de Restricciones (TOC), desarrollada por Goldratt y Cox (2005), y adaptada a las condiciones productivas y logísticas de las asociaciones agrarias productoras de semilla de papa. El procedimiento metodológico se desarrolló en tres fases secuenciales: diagnóstico y caracterización de la cadena de suministro, identificación y gestión de las restricciones mediante los cinco pasos de la TOC y evaluación del escenario de mejora propuesto descritos también en la Figura 1 como un resumen grafico de las actividades.

Fase 1. Diagnóstico y caracterización de la cadena de suministro

La primera fase comprendió el levantamiento de información y la caracterización de los procesos que conforman la cadena de suministro de las asociaciones estudiadas. Se identificaron los principales flujos de entrada, transformación, almacenamiento y salida del sistema productivo.

Las entradas estuvieron constituidas por plántulas micropropagadas, fertilizantes, materia orgánica, insumos fitosanitarios, agua y demás recursos requeridos para el proceso productivo. Los procesos internos comprendieron la aclimatación de las plántulas, lavado de agar, trasplante a camas de cultivo, manejo agronómico, riego, fertilización, aporque, control fitosanitario y cosecha de tuberculillos. Las salidas estuvieron representadas por la producción de semilla prebásica destinada a las asociaciones agrarias y productores de la zona.

En esta fase también se determinaron los principales indicadores de desempeño del sistema, considerando la producción anual, utilización de la capacidad instalada, pérdidas durante el almacenamiento, ingresos, rentabilidad y tiempo de respuesta al mercado. El diagnóstico permitió establecer las condiciones iniciales de la cadena de suministro y reconocer los puntos críticos que afectan el flujo continuo de los procesos.

Fase 2. Identificación y gestión de restricciones mediante la Teoría de Restricciones

En la segunda fase se identificaron y analizaron las restricciones que limitan el desempeño global de la cadena de suministro. Para ello, se aplicaron los cinco pasos de enfoque de la Teoría de Restricciones.

Paso 1. Identificar la restricción: se determinaron los principales cuellos de botella que limitaban el desempeño de las asociaciones, considerando las restricciones relacionadas con la capacidad de los invernaderos, comercialización, almacenamiento, condiciones ambientales, logística, financiamiento y tecnología.

Paso 2. Explotar la restricción: se plantearon acciones destinadas a aprovechar al máximo los recursos disponibles sin requerir inicialmente inversiones significativas. Entre estas acciones se consideró la optimización del espacio productivo, una mejor programación de las campañas y el aprovechamiento de la capacidad instalada existente.

Paso 3. Subordinar el sistema a la restricción: se propuso adecuar las actividades de abastecimiento, producción, almacenamiento y distribución a la capacidad determinada por la principal restricción, evitando generar acumulaciones, pérdidas o tiempos improductivos dentro del sistema.

Paso 4. Elevar la restricción: se plantearon alternativas destinadas a incrementar la capacidad de las restricciones identificadas. Entre ellas se consideró la implementación de un almacén de luz difusa, la mejora de la infraestructura disponible, el fortalecimiento de la planificación logística y la incorporación progresiva de tecnologías que permitan mejorar el desempeño productivo.

Paso 5. Repetir el proceso: finalmente, se evaluó el escenario de mejora propuesto para determinar si las restricciones iniciales habían sido superadas y establecer nuevas oportunidades de mejora continua dentro de la cadena de suministro.

Fase 3. Evaluación del escenario de mejora propuesto

En la tercera fase se realizó la comparación entre la situación inicial y el escenario propuesto mediante indicadores cuantitativos de desempeño. Se evaluaron los cambios proyectados en la producción anual, utilización de la capacidad instalada, pérdidas durante el almacenamiento, ingresos, rentabilidad y tiempo de respuesta al mercado.

La evaluación permitió determinar el efecto potencial de las estrategias planteadas mediante la Teoría de Restricciones y establecer si las acciones propuestas contribuían a mejorar el desempeño global de las asociaciones agrarias Vícora y Unión Leticia. De esta manera, el escenario propuesto constituyó la base para determinar la viabilidad de las estrategias de mejora y su contribución al fortalecimiento de la eficiencia, rentabilidad y competitividad de la cadena de suministro de semilla de papa en Tarma.

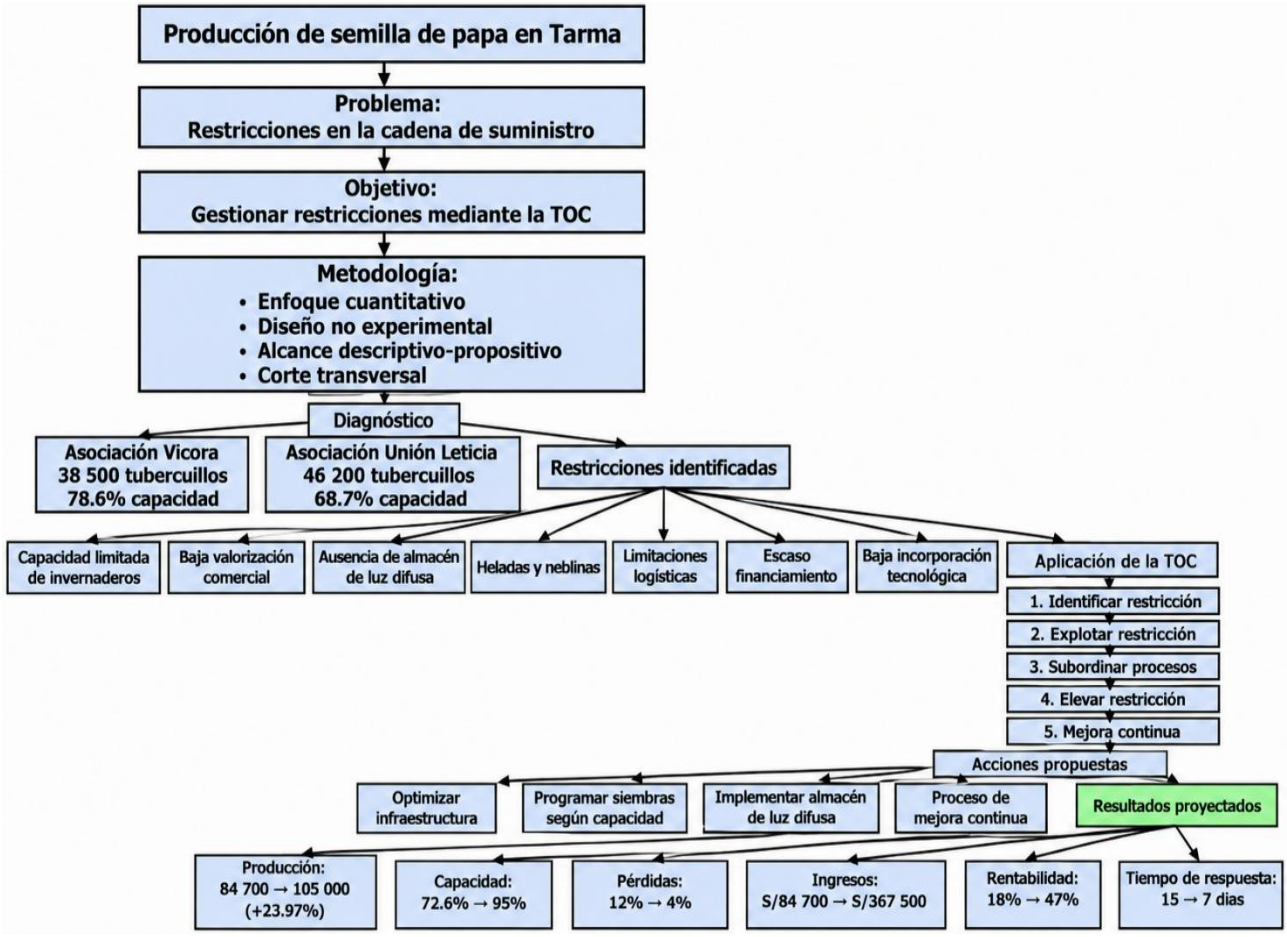


Figura 1. Cuadro de resumen de todo el procedimiento.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Caracteristicas de las asociaciones productoras de semilla de papa

La Tabla 1 presenta la caracterización productiva de las asociaciones agrarias Vícora y Unión Leticia, dedicadas a la producción de semilla de papa en la provincia de Tarma. Se comparan indicadores relacionados con la infraestructura disponible, capacidad productiva, eficiencia de utilización, rendimiento, pérdidas y comercialización. Estos resultados permiten identificar las principales restricciones que afectan el desempeño de la cadena de suministro y constituyen la base para el análisis mediante el enfoque de la Teoría de Restricciones (TOC).

Los resultados muestran que la Asociación Vícora presenta un mayor porcentaje de utilización de su capacidad instalada (78,6 %) respecto a la Asociación Unión Leticia (66,7 %), a pesar de disponer de menor infraestructura. Esto evidencia que el desempeño de una cadena de suministro no depende únicamente de la disponibilidad de recursos físicos, sino de la eficiencia con la que estos son gestionados. En este sentido, Pacheco et al. (2021) sostienen que la Teoría de Restricciones permite identificar los procesos que limitan el flujo operativo, favoreciendo una mejor utilización de los recursos disponibles y una mayor competitividad organizacional.

Tabla 1. Caracterización productiva de las asociaciones agrarias productoras de semilla de papa

DATOS	Asociación Vícora	Asociación Unión Leticia
Número de socios productores	18	24
Área total destinada a semilla (m²)	320	450
Número de invernaderos	2	3
Capacidad instalada (plántula por campaña)	1400	2100
Capacidad utilizada (%)	78.6	66.7
Variedad predominante	Única	Yungay
Ciclo promedio (días)	90	150
Campañas por año	3	2
Producción anual de tuberculillos (unidades)	38500	46200
Rendimiento promedio (tuberculillos)	35	33
Pérdidas por mortalidad (%)	8.5	11.2
Precio de venta local (S/. por unidad)	1.00	1.00
Precio referencial INIA (S/. por unidad)	3.50	3.50

La mayor producción anual obtenida por la Asociación Unión Leticia (46 200 tuberculillos) demuestra el potencial productivo derivado de una mayor capacidad instalada. Sin embargo, el porcentaje de utilización y las pérdidas por mortalidad indican la existencia de restricciones operativas que afectan el rendimiento global. Estos resultados son consistentes con lo señalado por Gupta y Andersen (2018), quienes indican que la gestión de restricciones mediante indicadores de desempeño basados en TOC contribuye a mejorar la coordinación entre los eslabones de la cadena de suministro y optimiza el flujo de producción, el mayor ciclo productivo observado en la Asociación Unión Leticia (150 días) reduce el número de campañas desarrolladas durante el año, limitando la capacidad de respuesta frente a la demanda de semilla certificada.

Esta situación coincide con lo reportado por Devaux et al. (2021), quienes señalan que la sostenibilidad de los sistemas productivos de papa depende de la optimización de los procesos, la reducción de los tiempos de producción y la eficiencia en el uso de los recursos para fortalecer la seguridad alimentaria y la competitividad del sector, las pérdidas por mortalidad registradas en ambas asociaciones (8,5 % y 11,2 %) representan una restricción técnica que disminuye el rendimiento de tuberculillos por plántula y afecta la eficiencia de la cadena de suministro. En concordancia con estos resultados, Tripura y Ghosh (2022) concluyen que las principales limitaciones de las cadenas de suministro de papa corresponden a restricciones técnicas, logísticas y de manejo, las cuales incrementan las pérdidas productivas y reducen la rentabilidad de los agricultores.

3.2. Identificación de las restricciones en la cadena de suministro de las asociaciones productoras de semilla de papa

La Tabla 2 presenta las principales restricciones identificadas en la cadena de suministro de las asociaciones agrarias Vícora y Unión Leticia dedicadas a la producción de semilla de papa en la provincia de Tarma. Las restricciones fueron clasificadas según su naturaleza y nivel de impacto, considerando aspectos físicos, comerciales, logísticos, financieros, tecnológicos

y de planificación. Este análisis constituye la base para la aplicación de la Teoría de Restricciones (TOC), ya que permite identificar los factores que limitan el desempeño global del sistema productivo y priorizar las acciones de mejora orientadas a incrementar la eficiencia de la cadena de suministro.

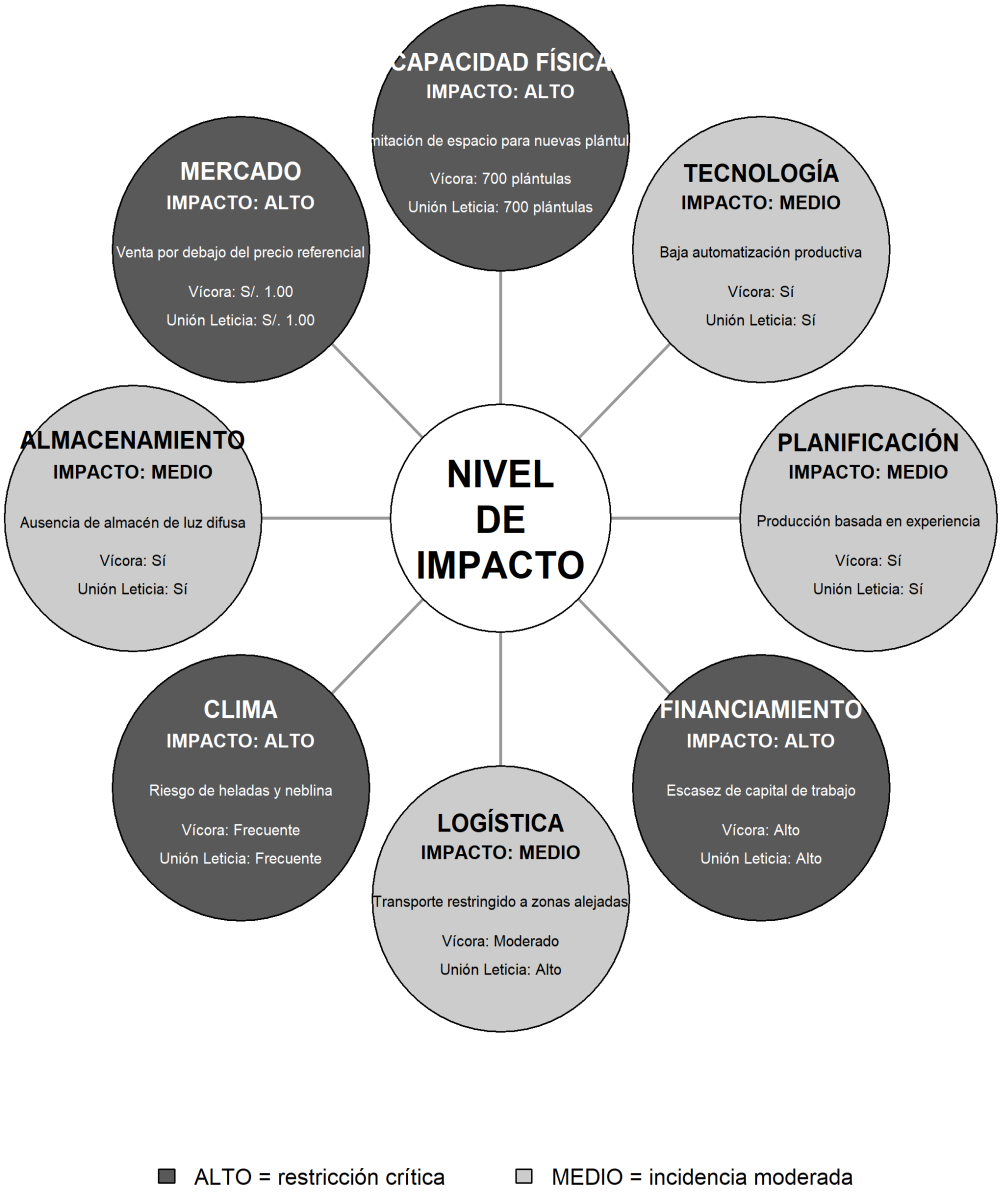


Figura 2. Restricciones identificadas en la cadena de suministro de las asociaciones agrarias productoras de semilla de papa.

La limitación del espacio disponible para incorporar nuevas plántulas es una de las principales restricciones identificadas en ambas asociaciones. Esta condición limita el crecimiento de la producción y afecta el desempeño de la cadena de suministro. Según Pacheco et al. (2021), la identificación oportuna de las restricciones permite enfocar los esfuerzos de mejora en los procesos que generan mayor impacto en el sistema. La comercialización de los tuberculillos a un precio inferior al precio de referencia representa una

restricción económica que disminuye la rentabilidad de los productores y reduce las posibilidades de invertir en infraestructura y tecnología. En este contexto, Devaux et al. (2021) señalan que fortalecer la articulación comercial es un factor clave para mejorar la sostenibilidad de los sistemas productivos de papa. Las condiciones climáticas, especialmente las heladas y la neblina, afectan el desarrollo del cultivo y generan incertidumbre durante las campañas agrícolas. De acuerdo con Kromann et al. (2017), la implementación de estrategias de adaptación y un manejo adecuado del cultivo contribuyen a reducir el impacto de estos factores sobre la producción de semilla, la ausencia de infraestructura de almacenamiento, la baja automatización y la planificación basada principalmente en la experiencia limitan la eficiencia operativa de las asociaciones. En ese sentido, Ahumada y Villalobos (2011) señalan que la incorporación de herramientas de planificación y tecnologías de apoyo mejora la coordinación y el rendimiento de las cadenas agroalimentarias, las dificultades de financiamiento y transporte restringen el acceso a insumos, mercados y oportunidades de crecimiento para ambas asociaciones. Según Ahumada et al. (2020), el fortalecimiento de la gestión logística y financiera favorece una cadena de suministro más eficiente y competitiva.

3.3. Análisis del impacto económico de las restricciones comerciales

La Tabla 2 presenta el análisis del impacto económico derivado de la comercialización de los tuberculillos de semilla de papa en las asociaciones Vícora y Unión Leticia. Se comparan los ingresos obtenidos con el precio real de venta y los ingresos potenciales calculados con base en el precio referencial establecido por el INIA. Esta comparación permite cuantificar las pérdidas económicas ocasionadas por las restricciones comerciales e identificar el potencial de mejora en la rentabilidad de ambas asociaciones.

Tabla 2. Impacto económico de las restricciones comerciales

Concepto	Vícora	Unión Leticia
Producción anual (unidades)	38500	46200
Precio real de venta (S/.)	1.00	1.00
Ingreso actual (S/.)	38500	46200
Precio potencial INIA (S/.)	3.50	3.50
Ingreso potencial (S/.)	134750	161700
Pérdida económica anual (S/.)	96250	115500
Incremento potencial (%)	250	250

Los resultados muestran que la principal restricción económica de ambas asociaciones se encuentra en la comercialización de los tuberculillos a un precio inferior al valor referencial. Esta situación limita la generación de ingresos y reduce la capacidad de inversión para mejorar la producción. En este sentido, Devaux et al. (2021) indican que una comercialización eficiente es fundamental para fortalecer la sostenibilidad económica de los productores de papa. La diferencia entre el ingreso actual y el ingreso potencial evidencia

que existe un amplio margen para incrementar la rentabilidad sin necesidad de aumentar el volumen de producción. Según Ahumada y Villalobos (2011), mejorar la gestión de la cadena de suministro permite generar mayor valor económico mediante una mejor coordinación entre producción y comercialización, las pérdidas económicas estimadas reflejan que las restricciones comerciales afectan directamente la competitividad de las asociaciones. De acuerdo con García-Cáceres et al. (2018), una deficiente articulación entre los actores de la cadena agroalimentaria reduce el valor captado por los productores y limita su crecimiento, la comercialización constituye un cuello de botella que condiciona el desempeño económico del sistema. Pacheco et al. (2021) señalan que identificar y gestionar la principal restricción permite incrementar el rendimiento global de la organización y orientar las decisiones hacia la generación de mayor valor, el incremento potencial del 250 % demuestra que fortalecer las estrategias de comercialización y negociación podría mejorar significativamente los ingresos de ambas asociaciones. En este contexto, Christopher (2016) sostiene que una cadena de suministro integrada favorece una mayor competitividad al optimizar el flujo de productos e información entre sus participantes.

3.4. Evaluación del aprovechamiento de la capacidad instalada en los invernaderos

La Tabla 3 presenta la evaluación del nivel de utilización de la capacidad instalada de los invernaderos en las asociaciones Vícora y Unión Leticia. Se comparan la capacidad máxima de producción, el número de plántulas instaladas por campaña y el potencial de producción adicional. Este análisis permite identificar el grado de aprovechamiento de la infraestructura disponible y determinar la existencia de restricciones que limitan la eficiencia productiva dentro de la cadena de suministro.

Tabla 3. Aprovechamiento de la capacidad instalada de los invernaderos

Indicador	Vícora	Unión Leticia
Capacidad máxima del invernadero (plántulas)	700	700
Plántulas instaladas por campaña	550	467
Utilización de capacidad (%)	78.6	66.7
Espacio no utilizado (%)	21.4	33.3
Producción potencial adicional (plántulas)	150	233
Producción potencial adicional anual	450	466
Incremento potencial (%)	21.4	33.3

Los resultados evidencian que ambas asociaciones cuentan con capacidad disponible que aún no se aprovecha, especialmente la Asociación Unión Leticia. Esta situación indica la presencia de restricciones que impiden utilizar de manera eficiente la infraestructura existente. En este sentido, Pacheco et al. (2021) señalan que la identificación de los cuellos de botella permite mejorar el desempeño del sistema sin requerir grandes inversiones en capacidad física. El espacio no utilizado en los invernaderos representa una oportunidad para aumentar la producción de plántulas y mejorar la oferta de semilla certificada. Según Rahman y

Karmaker (2022), optimizar el uso de los recursos disponibles contribuye a elevar la productividad y la eficiencia de las cadenas de suministro agrícolas, el potencial de producción adicional demuestra que las asociaciones podrían incrementar su volumen anual mediante una mejor planificación de las campañas y una gestión más eficiente de los recursos. De acuerdo con Devaux et al. (2021), la planificación técnica y el uso eficiente de la infraestructura son factores determinantes para fortalecer la producción sostenible de semilla de papa, la baja utilización de la capacidad instalada refleja que existen limitaciones operativas que restringen el flujo del proceso productivo. Gupta y Andersen (2018) indican que la gestión de estas restricciones favorece una mayor utilización de los recursos y mejora el desempeño de la cadena de suministro, el incremento potencial identificado en ambas asociaciones evidencia que es posible aumentar la producción sin ampliar la infraestructura existente. En este contexto, Ahumada y Villalobos (2011) sostienen que una adecuada planificación de las operaciones permite maximizar el aprovechamiento de la capacidad instalada y mejorar la competitividad de los sistemas agroalimentarios.

3.5. Impacto de las condiciones climáticas en la cadena de suministro

La Tabla 4 muestra el impacto de las condiciones climáticas sobre la producción de semilla de papa en las asociaciones Vícora y Unión Leticia. Se evaluaron variables relacionadas con la ocurrencia de heladas, días con neblina intensa, porcentaje de campañas afectadas, pérdidas estimadas de producción, retrasos logísticos e impacto económico anual. Estos indicadores permiten identificar cómo los factores climáticos influyen en el desempeño de la cadena de suministro y constituyen una restricción que afecta la continuidad del proceso productivo.

Tabla 4. Impacto de las condiciones climáticas en la cadena de suministro

Variable	Vícora	Unión Leticia
Heladas/año	8	10
Días con neblina intensa/año	42	48
Campañas afectadas (%)	25	30
Pérdida estimada de producción (%)	12	15
Retrasos logísticos promedio (días)	4	6
Impacto económico anual (S/.)	4620	6930

Los resultados muestran que las heladas y la neblina afectan el desempeño de ambas asociaciones, provocando pérdidas en la producción y retrasos en las actividades de la cadena de suministro. De acuerdo con Devaux et al. (2021), las condiciones climáticas constituyen uno de los principales desafíos para la producción sostenible de papa, especialmente en las zonas altoandinas. La Asociación Unión Leticia registra un mayor porcentaje de campañas afectadas y mayores pérdidas de producción, lo que evidencia una mayor vulnerabilidad ante los eventos climáticos. En este sentido, Kromann et al. (2017) señalan que la variabilidad climática influye directamente en la disponibilidad y calidad de la semilla de papa, afectando el rendimiento de los productores, los retrasos logísticos ocasionados

por las condiciones climáticas limitan el flujo oportuno de los productos hacia los mercados y reducen la eficiencia de la cadena de suministro. Según Ahumada y Villalobos (2011), una adecuada planificación logística permite disminuir el impacto de las interrupciones y mejorar la continuidad de las operaciones, los factores climáticos pueden convertirse en una restricción externa que condiciona el desempeño global del sistema productivo. Pacheco et al. (2021) indican que identificar este tipo de restricciones facilita la implementación de estrategias orientadas a reducir sus efectos sobre la cadena de suministro, el mayor impacto económico registrado en ambas asociaciones demuestra la necesidad de fortalecer medidas de prevención y gestión del riesgo climático. De acuerdo con FAO (2022), la adopción de prácticas resilientes y una mejor planificación agrícola contribuyen a reducir las pérdidas económicas ocasionadas por eventos climáticos extremos.

3.6. Aplicación de la Teoría de Restricciones (TOC) en la gestión de la cadena de suministro

La Tabla 5 presenta la aplicación de los cinco pasos de la Teoría de Restricciones (TOC) en las asociaciones agrarias productoras de semilla de papa. La metodología permitió identificar las principales limitaciones que afectan el desempeño de la cadena de suministro y plantear acciones orientadas a optimizar el flujo productivo, mejorar el aprovechamiento de los recursos y fortalecer la competitividad de las asociaciones.

Tabla 5. Aplicación de los cinco pasos de la Teoría de Restricciones (TOC)

Paso TOC	Resultado obtenido
Identificar la restricción	Capacidad limitada del invernadero y baja valorización comercial
Explotar la restricción	Optimización del uso de camas de cultivo
Subordinar el sistema	Programación de siembras según capacidad disponible
Elevar la restricción	Implementación de almacén de luz difusa de 4 toneladas
Reiniciar el ciclo	Evaluación continua de nuevas restricciones

Los resultados demuestran que la aplicación de la Teoría de Restricciones permitió identificar los factores que limitan el desempeño de la cadena de suministro y establecer acciones específicas para su mejora. En este sentido, Pacheco et al. (2021) señalan que TOC facilita la identificación de los cuellos de botella y orienta los esfuerzos hacia las restricciones que generan mayor impacto en el sistema.

La optimización del uso de las camas de cultivo constituye una estrategia para aprovechar mejor la infraestructura existente sin realizar inversiones inmediatas. Según Gupta y Andersen (2018), la gestión eficiente de los recursos disponibles contribuye a incrementar el flujo de producción y mejorar el rendimiento de las operaciones, la programación de las siembras de acuerdo con la capacidad instalada favorece una mejor organización del proceso productivo y evita la sobrecarga de los recursos. De acuerdo con Ahumada y Villalobos (2011), una adecuada planificación de las actividades permite optimizar el desempeño de las cadenas de suministro agroalimentarias. La implementación de un almacén de luz difusa

representa una alternativa para reducir pérdidas poscosecha y conservar la calidad de la semilla durante el almacenamiento. En este contexto, Devaux et al. (2021) destacan que la incorporación de mejoras tecnológicas fortalece la eficiencia y sostenibilidad de los sistemas de producción de papa, la evaluación continua de nuevas restricciones responde al principio de mejora permanente promovido por la Teoría de Restricciones. Mabin y Balderstone (2014) indican que, una vez superada una restricción, es necesario identificar la siguiente para mantener el proceso de mejora continua y aumentar progresivamente el desempeño del sistema.

3.7. Evaluación de la mejora propuesta mediante la Teoría de Restricciones (TOC)

La Tabla 6 presenta la comparación entre la situación actual y el escenario de mejora propuesto tras la aplicación de la Teoría de Restricciones (TOC) en la cadena de suministro de las asociaciones agrarias productoras de semilla de papa. Se evaluaron indicadores relacionados con la producción, utilización de la capacidad instalada, pérdidas por almacenamiento, ingresos, rentabilidad y tiempo de respuesta al mercado. Estos indicadores permiten estimar el impacto potencial de las acciones de mejora planteadas para optimizar el desempeño de la cadena de suministro.

Tabla 6. Comparación entre la situación actual y el escenario de mejora

Indicador	Situación actual	Situación mejorada	Variación (%)
Producción anual (unidades)	84700	105000	23.97
Capacidad utilizada (%)	72.6	95.0	30.9
Pérdidas por almacenamiento (%)	12	4	-66.7
Ingreso total (S/.)	84700	367500	333.9
Rentabilidad (%)	18	47	161.1
Tiempo de respuesta al mercado (días)	15	7	-53.3

Los resultados muestran que la aplicación del enfoque TOC permite mejorar el aprovechamiento de los recursos disponibles y aumentar la producción sin requerir un crecimiento proporcional de la infraestructura. En este sentido, Pacheco et al. (2021) señalan que la gestión de las restricciones favorece un mejor desempeño operativo y un incremento sostenido de la productividad. La reducción de las pérdidas por almacenamiento evidencia la importancia de fortalecer la gestión poscosecha dentro de la cadena de suministro. Según Devaux et al. (2021), la incorporación de mejoras en el manejo y conservación de la semilla contribuye a incrementar la eficiencia del sistema y reducir las pérdidas económicas, el incremento proyectado de los ingresos y de la rentabilidad demuestra que la eliminación de las principales restricciones genera beneficios económicos para las asociaciones. De acuerdo con Christopher (2016), una cadena de suministro eficiente crea mayor valor para todos los actores mediante una mejor coordinación de los procesos logísticos y comerciales.

La disminución del tiempo de respuesta al mercado refleja una mejora en la capacidad de

atender la demanda de manera oportuna. En este contexto, Ahumada y Villalobos (2011) sostienen que una adecuada planificación de las operaciones permite optimizar los tiempos de entrega y mejorar el desempeño de los sistemas agroalimentarios, los resultados obtenidos confirman que la mejora continua propuesta por la Teoría de Restricciones constituye una herramienta eficaz para fortalecer la competitividad de las asociaciones productoras de semilla de papa. En concordancia con ello, Gupta y Andersen (2018) indican que la gestión sistemática de las restricciones contribuye a mejorar el flujo de la cadena de suministro y el rendimiento organizacional.

4. CONCLUSIONES

La presente investigación permitió identificar que la cadena de suministro de las asociaciones agrarias productoras de semilla de papa Vícora y Unión Leticia presenta diversas restricciones que limitan su desempeño operativo y económico. Entre las principales se identificaron la limitada capacidad de los invernaderos, la baja valorización comercial de la semilla, las deficiencias en almacenamiento, las condiciones climáticas adversas, las limitaciones logísticas, el escaso financiamiento y la baja incorporación de tecnología. Asimismo, se evidenció que las asociaciones no aprovechan completamente su capacidad instalada, registrándose una utilización promedio de 72,6 %, lo que representa una oportunidad para incrementar la producción mediante una adecuada planificación y gestión de los recursos disponibles.

El análisis económico mostró que la comercialización de los tuberculillos a S/ 1,00 por unidad, frente al precio referencial de S/ 3,50, genera pérdidas económicas estimadas en S/ 96 250 para la Asociación Vícora y S/ 115 500 para la Asociación Unión Leticia, afectando la rentabilidad y sostenibilidad de la actividad productiva. Frente a esta problemática, la aplicación de la Teoría de Restricciones (TOC) permitió identificar los principales cuellos de botella y establecer acciones orientadas a optimizar el uso de la infraestructura existente, programar las siembras de acuerdo con la capacidad disponible, mejorar las condiciones de almacenamiento mediante la implementación de un almacén de luz difusa y establecer un proceso de mejora continua. Como resultado del escenario propuesto, se estimó un incremento de la producción anual de 84 700 a 105 000 unidades (23,97 %), una mejora de la utilización promedio de la capacidad instalada de 72,6 % a 95,0 %, una reducción de las pérdidas por almacenamiento de 12 % a 4 %, un incremento de los ingresos de S/ 84 700 a S/ 367 500 (333,9 %), una mejora de la rentabilidad de 18 % a 47 % y una reducción del tiempo de respuesta al mercado de 15 a 7 días.

La aplicación de la Teoría de Restricciones demuestra que la identificación y gestión sistemática de los cuellos de botella puede contribuir a mejorar el desempeño global de la cadena de suministro de las asociaciones productoras de semilla de papa. El escenario propuesto evidencia que una mejor utilización de la capacidad instalada, acompañada de acciones de almacenamiento, planificación productiva y gestión logística, puede generar mejoras significativas en la producción, los ingresos, la rentabilidad y la capacidad de respuesta al mercado. No obstante, la implementación efectiva de las propuestas dependerá de factores como la disponibilidad de financiamiento, el fortalecimiento de las

capacidades técnicas de los productores, la incorporación progresiva de tecnología y la coordinación entre los actores de la cadena de suministro. Se recomienda que futuras investigaciones implementen las propuestas planteadas a escala piloto para evaluar su impacto real y validar la aplicación de la Teoría de Restricciones en otras asociaciones agrarias productoras de semilla de papa de la provincia de Tarma y de contextos altoandinos similares.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento a las asociaciones agrarias Vícora y Unión Leticia de la provincia de Tarma por la información proporcionada y la colaboración durante el desarrollo de la investigación. Asimismo, agradecen a la Universidad Nacional Autónoma Altoandina de Tarma (UNAAT) por el apoyo académico y las herramientas proporcionadas para la ejecución del estudio. Finalmente, agradecen a los docentes y profesionales que, mediante sus orientaciones y observaciones, contribuyeron al fortalecimiento del presente trabajo de investigación.

Uso de inteligencia artificial

Durante la elaboración del presente manuscrito, los autores utilizaron herramientas de inteligencia artificial como apoyo para mejorar la redacción, organización del contenido y revisión del estilo académico. Su utilización se limitó a tareas de asistencia en la escritura y edición, sin sustituir el análisis científico, la interpretación de los resultados ni la toma de decisiones relacionadas con la investigación. La selección de la información, el diseño metodológico, el análisis de los datos y la validación del contenido fueron realizados y supervisados por los autores, quienes asumen la responsabilidad total sobre la originalidad, veracidad e integridad del trabajo presentado.

Referencias

Centro Internacional de la Papa (CIP). (2024). *About CIP*. https://cipotato.org

Christopher, M. (2016). *Logistics and supply chain management* (5th ed.). Pearson Education.

Dettmer, H. W. (1997). *Goldratt's theory of constraints: A systems approach to continuous improvement*. ASQ Quality Press.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2023). *Quality declared seed system for potato production*. FAO. https://www.fao.org

Goldratt, E.M. & Cox, J. (2005). *La meta: Un proceso de mejora continua* (3.ª ed.). Díaz de Santos.

Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). (2023). *Producción y certificación de semilla de papa en el Perú*. INIA. https://www.gob.pe/inia

Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI). (2024). *Cadena productiva de la papa en el Perú*. MIDAGRI. https://www.gob.pe/midagri

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). (2024). *Caracterización climática de la región Junín*. SENAMHI. https://www.senamhi.gob.pe

Goldratt, E.M. & Cox, J. (2005). *La meta: Un proceso de mejora continua* (3.ª ed.). Díaz de Santos.

Hernández-Sampieri, R. & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill Education.

Dettmer, H.W. (1997). *Goldratt's theory of constraints: A systems approach to continuous improvement*. ASQ Quality Press.

Devaux, A., Goffart, J.P., Kromann, P., Andrade-Piedra, J., Polar, V. & Hareau, G. (2021). *The potato of the future: Opportunities and challenges in sustainable agri-food systems*. *Potato Research, 64*(4), 681–720. https://doi.org/10.1007/s11540-021-09501-4

García-Cáceres, R.G., Vergara, C.L. & Ortiz-Rodríguez, O.O. (2018). Characterization of the supply and value chains of the Colombian potato agribusiness sector. *Espacios, 39*(48), 24.

Gupta, M.C. & Andersen, S. (2018). Throughput/inventory dollar-days: TOC-based measures for supply chain collaboration. *International Journal of Production*

Research, 56(13), 4659–4675. https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1444805

Pacheco, D.A.J., Antunes Junior, J.A.V. & Matos, C.A. (2021). The constraints of theory: What is the impact of the Theory of Constraints on Operations Strategy? *International Journal of Production Economics, 235*, 107955. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107955

Tripura, B. & Ghosh, S. (2022). *Potato supply chain analysis: Mechanism and constraints*. International Journal of Agricultural Sciences

Ahumada, O. & Villalobos, J.R. (2011). Operational model for planning the harvest and distribution of perishable agricultural products. *International Journal of Production Economics, 133*(2), 677–687. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2010.04.015

Christopher, M. (2016). *Logistics & supply chain management* (5th ed.). Pearson Education.

Devaux, A., Goffart, J.P., Kromann, P., Andrade-Piedra, J., Polar, V. & Hareau, G. (2021). The potato of the future: Opportunities and challenges in sustainable agri-food systems. *Potato Research, 64*(4), 681–720. https://doi.org/10.1007/s11540-021-09501-4

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2022). *The State of Food and Agriculture 2022: Leveraging automation in agriculture for transforming agrifood systems*. FAO. https://www.fao.org/publications/sofa/2022/en

Goldratt, E.M. & Cox, J. (2005). *The goal: A process of ongoing improvement* (3rd rev. ed.). North River Press.

Gupta, M.C., & Andersen, S. (2018). Throughput/inventory dollar-days: TOC-based measures for supply chain collaboration. *International Journal of Production Research, 56*(13), 4659–4675. https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1444805

Instituto Nacional de Innovación Agraria. (2023). *Producción de semilla de papa de calidad*. INIA. https://www.gob.pe/inia

Kromann, P., Andrade-Piedra, J., Taipe, A., Forbes, G. A., & Devaux, A. (2017). Climate resilience and seed potato production systems in the Andes. *Potato Research, 60*(3–4), 205–223.

Mabin, V.J., & Balderstone, S.J. (2014). *The world of the Theory of Constraints: A review of the international literature* (Rev. ed.). CRC Press.

Pacheco, D.A.J., Antunes Junior, J.A.V., & Matos, C. A. (2021). The constraints of theory: What is the impact of the Theory of Constraints on operations strategy? *International Journal of Production Economics, 235*, 107955. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107955

Rahman, M.A. & Karmaker, C.L. (2022). Resource utilization and productivity improvement in agricultural supply chains: A review. *Journal of Agriculture and Food Research, 10*, 100382. https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100382