

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE ECONOMÍA Y PLANIFICACIÓN



“IMPACTO ECONÓMICO DEL HUANGLONGBING (*Candidatus liberibacter*) EN LA CADENA PRODUCTIVA DIRECTA DEL LIMÓN EN LA REGIÓN PIURA, PROSPECTIVA AL 2040”

**TESIS PARA OPTAR TÍTULO DE
ECONOMISTA**

KARLA MILAGROS VEGA ALEGRE

LIMA-PERÚ

2024

**La UNALM es titular de los derechos patrimoniales de la presente investigación
(Art. 24 – Reglamento de Propiedad Intelectual)**

15%

INDICE DE SIMILITUD

15%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

6%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	revistas.unitru.edu.pe Fuente de Internet	1%
2	seminarioprocitrus.org Fuente de Internet	1%
3	docplayer.es Fuente de Internet	1%
4	repositorio.unp.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	www.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	<1%
6	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1%
7	www.scielo.org.co Fuente de Internet	<1%
8	archive.org Fuente de Internet	<1%
9	cienciadigital.org Fuente de Internet	<1%

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE ECONOMÍA Y PLANIFICACIÓN

**“IMPACTO ECONÓMICO DEL HUANGLONGBING (*Candidatus
liberibacter*) EN LA CADENA PRODUCTIVA DIRECTA DEL LIMÓN
EN LA REGIÓN PIURA, PROSPECTIVA AL 2040”**

**PRESENTADO POR
KARLA MILAGROS VEGA ALEGRE**

TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE ECONOMISTA

SUSTENTADA Y APROBADA ANTE EL SIGUIENTE JURADO

Mg. Sc. Miguel Ángel Alcántara Santillán
PRESIDENTE

Dr. Waldemar Fernando Mercado Curi
ASESOR

Mg. Sc. Raquel Margot Gómez Ocorima
MIEMBRO

Mg. Sc. Juan Carlos Rojas Cubas
MIEMBRO

Lima – Perú
2024

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de tesis a mi padre,
cuyo amor incondicional, apoyo
constante y sacrificios incansables han
allanado cada paso en este camino
académico.

A Gustavo, por sus palabras de aliento
y su presencia constante que han sido
un faro en los momentos más difíciles.

A mis amigos y seres queridos por su
comprensión en los momentos más
desafiantes.

Quiero dedicar especialmente este
logro a la memoria de mi madre, quien
desde el cielo sigue siendo mi
inspiración cada día.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mi asesor el Dr. Waldemar Mercado, cuya orientación experta, apoyo constante y paciencia fueron pilares fundamentales en el desarrollo de esta tesis. Su sabiduría no solo enriqueció este trabajo, sino que dejó una huella indeleble en mi formación académica. También deseo agradecer sinceramente a los profesores Juan Carlos Rojas y Jaime Porras por su contribución y guía durante este proceso.

Agradezco enormemente a mis compañeros Katherine Guadalupe y Rafael Cano por su colaboración constante, la cual fue fundamental en todas las etapas de esta investigación. Mi profunda gratitud se extiende a todos aquellos que, de diversas maneras, aportaron con su tiempo, conocimientos y motivación.

Extiendo un agradecimiento especial a la Asociación de Productores de Cítricos del Perú – PROCITRUS, cuyo impulso fue vital para este trabajo, con el fin de preservar la producción cítrica nacional y velar por el futuro de los productores agrícolas del país.

Finalmente, a mi alma mater, la UNALM, agradezco profundamente por brindarme el entorno propicio para el crecimiento profesional, por el apoyo constante de su cuerpo docente y por el acceso a recursos que han enriquecido el proceso de aprendizaje durante mi trayectoria académica. Espero retribuir a esta institución parte de lo que generosamente me ha brindado en el futuro.

ÍNDICE GENERAL

I	INTRODUCCIÓN	1
1.1.	Justificación.....	3
1.2.	Objetivos.....	4
II	REVISIÓN DE LITERATURA	5
2.1.	Marco teórico.....	5
2.2.	Antecedentes.....	8
III	METODOLOGÍA	11
3.1.	Hipótesis.....	11
3.2.	Zona de estudio.....	12
3.3.	Fuente de información.....	13
3.3.1.	Información primaria.....	13
3.3.2.	Información secundaria.....	13
3.4.	Variables de análisis.....	13
3.5.	Métodos y tratamientos de la información.....	15
3.5.1.	Población y muestra.....	15
3.5.2.	Tratamiento de los datos.....	17
IV	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36
4.1.	Resultados de las encuestas.....	36
4.1.1.	Caracterización del productor.....	36
4.1.2.	Características agrarias.....	39
4.1.3.	Destino y comercialización.....	46
4.1.4.	Análisis clúster.....	46
4.2.	Escenarios proyectados.....	49
4.2.1.	Escenario tendencial.....	49
4.2.2.	Escenarios con HLB.....	54
4.3.	Análisis beneficio/costo (ABC).....	70
4.3.2.	Costos de producción en el tiempo.....	70
4.3.3.	Coefficientes de costos y jornales.....	72
4.3.4.	Análisis Beneficio/Costo de la cadena productiva del limón.....	78
V	CONCLUSIONES	81
VI	RECOMENDACIONES	82
VII	BIBLIOGRAFÍA	84
VIII	ANEXOS	92

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Número de Unidades Agropecuarias (UA) a nivel provincial	15
Tabla 2: Número de encuestas a nivel distrital.....	16
Tabla 3: Escenarios alternativos del Análisis Beneficio/Costo para evaluación del PNF...	17
Tabla 4: Tasa de severidad y progresión para diferentes rangos de edad de los árboles.....	20
Tabla 5: Número de árboles en una hectárea por categoría de edades a través del tiempo.	23
Tabla 6: Participación de la superficie cosechada en una hectárea por categoría de edades a través del tiempo.....	24
Tabla 7: Producción total, superficie cosechada total y superficie cosechada por categoría de edades a través del tiempo	25
Tabla 8: Rendimiento y producción por categoría de edades a través del tiempo	26
Tabla 9: Número de árboles en una hectárea por categoría de edades a través del tiempo, con una eliminación del 2 por ciento de árboles anualmente	29
Tabla 10: Número de árboles en una hectárea por categoría de edades a través del tiempo, con una eliminación del 3 por ciento de árboles anualmente	33
Tabla 11: Características del hogar del productor de limón.....	37
Tabla 12: Porcentaje del destino de la producción según la caracterización del productor por provincia.....	41
Tabla 14: Características de clústeres por atributos de riesgo ante el ingreso del HLB.....	47
Tabla 13: Estimación de la producción en toneladas al 2040	52
Tabla 15: Producción tendencial, escenario epidemiológico y pérdida de producción con HLB en toneladas, 2024-2040	59
Tabla 16: Producción tendencial (escenario constante), escenario epidemiológico y pérdida de producción con HLB en toneladas, 2024-2040	60
Tabla 17: Producción tendencial, HLB tendencial, producción con PNF estricto y pérdida de producción con HLB en toneladas, 2024-2040	62
Tabla 18: Producción tendencial, HLB tendencial (constante), producción con PNF estricto y pérdida de producción con HLB en toneladas, 2024-2040	64
Tabla 19: Producción tendencial, producción con HLB tendencial, producción con PNF estricto y producción de los escenarios con adopción parcial de los productores del PNF, 2024-2040.....	66
Tabla 20: Producción constante, producción con HLB tendencial, producción con PNF estricto y producción de los escenarios con adopción parcial de los productores del PNF, 2024-2040.....	68
Tabla 21: Costos de producción total, costos de instalación y costos de mantenimiento para el escenario tendencial y epidemiológico por una hectárea (en soles)	71
Tabla 22: Pérdida de producción de escenario de adopción parcial y adopción total con HLB	73
Tabla 23: Estimación de ingresos de las pérdidas evitadas de producción de escenario de adopción parcial y adopción total con HLB (en soles 2023).....	75
Tabla 24: Costos incrementales de producción de limón en Piura (en soles), debido al implemento de actividades de los productores para manejar el HLB	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Principales provincias productoras de limón de la región Piura.....	13
Figura 2: Representación gráfica del modelo epidemiológico para la obtención de producción con HLB en los distintos escenarios planteados.....	19
Figura 3: Distribución del productor de limón por género.....	36
Figura 4: Ocupación principal del productor de limón.....	37
Figura 5: Estructura del nivel educativo del productor de limón.....	38
Figura 6: Estructura del nivel de ingreso mensual del productor de limón.....	38
Figura 7: Fuente de ingreso del productor de limón.....	39
Figura 8: Clasificación de productores de limón a nivel provincial.....	39
Figura 9: Porcentaje de árboles de limón por edades por hectárea a nivel productor.....	40
Figura 10: Porcentaje de productores de limón que poseen algún tipo de certificación.....	41
Figura 11: Porcentaje de productores de limón según unidad agropecuaria.....	42
Figura 12: Porcentaje de productores según adquisición de plántones.....	43
Figura 13: Porcentaje de productores de limón según la frecuencia de poda en el año.....	43
Figura 14: Porcentaje de principales enfermedades que afectan a las plantaciones de limón	44
Figura 15: Porcentaje de principales plagas que afectan a las plantaciones de limón.....	44
Figura 16: Porcentaje de productores de limón según el tipo de control de enfermedades.....	45
Figura 17: Porcentaje de destino de venta de la producción.....	46
Figura 18: Resumen del modelo lineal.....	49
Figura 19: Prueba de normalidad de los residuales.....	50
Figura 20: Residuales vs Valores ajustados.....	50
Figura 21: Scale - Location.....	51
Figura 22: Residuals vs Leverage.....	51
Figura 23: Producción tendencial de limón en la región de Piura, 1980-2040 (toneladas).....	53
Figura 24: Producción tendencial (constante) de limón en la región de Piura, 1980-2040 (toneladas).....	54
Figura 25: Curvas de progreso de severidad del HLB (proporción de copa afectada del árbol) en función de la edad de los árboles cuando aparece el primer síntoma.....	55
Figura 26: Curvas de progreso de incidencia del HLB, proporción de árboles con síntomas por hectárea (la enfermedad es detectada por primera vez).....	55
Figura 27: Curvas de severidad total en una hectárea, que es la producción relativa (producción de árboles enfermos y relación árboles sanos) y la severidad del HLB.....	57
Figura 28: Rendimientos de producción con HLB en función de la edad de los árboles cuando aparece el primer síntoma.....	58
Figura 29: Producción tendencial y escenario epidemiológico en toneladas, 1980-2040... ..	60
Figura 30: Producción tendencial (constante) y escenario epidemiológico en toneladas, 1980-2040.....	61
Figura 31: Producción tendencial, escenario epidemiológico y escenario de adopción total en toneladas, 1980-2040.....	63
Figura 32: Producción tendencial, escenario epidemiológico (constante) y escenario de adopción total en toneladas, 1980-2040.....	65
Figura 33: Producción tendencial, escenario epidemiológico, escenario de adopción total y escenarios de adopción parcial en toneladas, 1980-2040.....	67

Figura 34: Producción constante, escenario epidemiológico, escenario de adopción total y escenarios de adopción parcial en toneladas, 1980-2040	69
Figura 35: Flujos de limón de Piura en la cadena productiva directa	76

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Número de árboles estimados en una hectárea por categoría de edades a través del tiempo	92
Anexo 2: Participación estimada de la superficie cosechada en una hectárea por categoría de edades a través del tiempo	93
Anexo 3: Producción total, superficie cosechada total y superficie cosechada estimados por categoría de edades a través del tiempo.....	94
Anexo 4: Producción total (constante), superficie cosechada total y superficie cosechada estimados por categoría de edades a través del tiempo	95
Anexo 5: Rendimiento y producción estimados por categoría de edades a través del tiempo	96
Anexo 6: Número de árboles estimados en una hectárea por categoría de edades a través del tiempo, con una eliminación del 2 por ciento de árboles anualmente	97
Anexo 7: Número de árboles estimados en una hectárea por categoría de edades a través del tiempo, con una eliminación del 3 por ciento de árboles anualmente	98
Anexo 8: Costos totales de producción con control medio del HLB para escenarios de adopción parcial y total por una hectárea (soles)	99
Anexo 9: Costos totales de producción con control alto del HLB para escenarios de adopción parcial y total, 2024-2040 (soles).....	100
Anexo 10: Indicadores técnicos de costos para 10 TM de producción de limón, generación de valores y jornales directos en la cadena productiva directa (valores en soles actualizados en 2023).....	101
Anexo 11: Pérdida por jornales en la cadena productiva directa de la limón en el Piura y ganancias no realizadas por los actores de la cadena directa, escenario de adopción parcial del PNF por 25 por ciento.	104
Anexo 12. Pérdida por jornales en la cadena productiva directa de limón en Piura y ganancias no realizadas por los actores de la cadena directa, escenario de adopción parcial del PNF por 30 por ciento.	106
Anexo 13. Pérdida por jornales en la cadena productiva directa del limón en Piura y ganancias no realizadas por los actores de la cadena directa, escenario de adopción parcial del PNF por 40 por ciento.	108
Anexo 14. Pérdida por jornales en la cadena productiva directa del limón en Piura y ganancias no realizadas por los actores de la cadena directa, escenario de adopción parcial del PNF por 50 por ciento.	110
Anexo 15. Pérdida por jornales en la cadena productiva directa del limón en Piura y ganancias no realizadas por los actores de la cadena directa, escenario de adopción parcial del PNF por 75 por ciento	112
Anexo 16. Pérdida por jornales en la cadena productiva directa del limón en Piura y ganancias no realizadas por los actores de la cadena directa, escenario de adopción parcial del PNF por 100 por ciento.	114

Anexo 17. Costos incrementales por Prevención y Manejo del HLB por el Gobierno (SENASA) y PROCITRUS (Soles), a valor nominal (2024-2040) y VAN al año 0 (2023)	116
Anexo 18. Análisis Beneficio Costo de la cadena productiva directa de limón en Piura, en el escenario de adopción parcial, con adopción del 25 por ciento de los productores y con costos de un control medio de HLB	117
Anexo 19. Análisis Beneficio Costo de la cadena productiva directa de limón en Piura, en el escenario de adopción parcial, con adopción del 25 por ciento de los productores y con costos de un control alto de HLB	119
Anexo 20: Análisis Beneficio Costo de la cadena productiva directa de limón en Piura, en el escenario de adopción parcial, con adopción del 30 por ciento de los productores y con costos de un control medio de HLB	121
Anexo 21. Análisis Beneficio Costo de la cadena productiva directa de limón en Piura, en el escenario de adopción parcial, con adopción del 30 por ciento de los productores y con costos de un control alto de HLB	123
Anexo 22. Análisis Beneficio Costo de la cadena productiva directa de limón en Piura, en el escenario de adopción parcial, con adopción del 40 por ciento de los productores y con costos de un control medio de HLB	125
Anexo 23. Análisis Beneficio Costo de la cadena productiva directa de limón en Piura, en el escenario de adopción parcial, con adopción del 40 por ciento de los productores y con costos de un control alto de HLB	127
Anexo 24: Análisis Beneficio Costo de la cadena productiva directa de limón en Piura, en el escenario de adopción parcial, con adopción del 50 por ciento de los productores y con costos de un control medio de HLB	129
Anexo 25: Análisis Beneficio Costo de la cadena productiva directa de limón en Piura, en el escenario de adopción parcial, con adopción del 50 por ciento de los productores y con costos de un control alto de HLB	131
Anexo 26: Análisis Beneficio Costo de la cadena productiva directa de limón en Piura, en el escenario de adopción parcial, con adopción del 75 por ciento de los productores y con costos de un control medio de HLB	133
Anexo 27: Análisis Beneficio Costo de la cadena productiva directa de limón en Piura, en el escenario de adopción parcial, con adopción del 75 por ciento de los productores y con costos de un control alto de HLB	135
Anexo 28: Análisis Beneficio Costo de la cadena productiva directa de limón en Piura, en el escenario de adopción parcial, con adopción del 100 por ciento de los productores y con costos de un control medio de HLB	137
Anexo 29: Análisis Beneficio Costo de la cadena productiva directa de limón en Piura, en el escenario de adopción parcial, con adopción del 100 por ciento de los productores y con costos de un control alto de HLB	139
Anexo 30: Análisis Beneficio Costo de la cadena productiva directa de limón en Piura, en el escenario de producción constante y con costos de un control medio de HLB.....	141
Anexo 31: Análisis Beneficio Costo de la cadena productiva directa de limón en Piura, en el escenario de producción constante y con costos de un control alto de HLB.....	143

RESUMEN

El Huanglongbing (HLB), enfermedad perjudicial para los cítricos, amenaza con afectar la producción en el Perú. Este estudio se centró en evaluar las posibles pérdidas económicas en la cadena de producción de limón en la región Piura. Se simularon tres escenarios prospectivos de propagación del HLB desde 2024 hasta 2040 para estimar el costo-beneficio de prevenir estas pérdidas mediante un Programa Fitosanitario Nacional (PNF). Se emplearon cuestionarios a productores locales para estimar pérdidas en tres escenarios: i) sin HLB, ii) con HLB sin PNF, y iii) con HLB con distintos niveles de adopción del PNF.

Los resultados señalan riesgos que contribuyen a la propagación del HLB, mostrando que la enfermedad afecta rápidamente a los árboles jóvenes. Las pérdidas económicas acumulativas podrían alcanzar 1,104,076,110 soles entre 2024 y 2040 sin intervención. No obstante, al adoptar el PNF al 100 por ciento, estas pérdidas podrían reducirse a 150,869,300 soles, evitando no solo la disminución de la producción, sino también generando beneficios sociales. Estos hallazgos subrayan la importancia crítica de implementar el PNF para prevenir pérdidas, preservar empleos y proteger la economía local. Sin intervención oportuna, las pérdidas económicas podrían poner en riesgo la sostenibilidad del sector cítrico nacional.

Palabras clave: Huanglongbing, prospectiva, limón, Piura, modelo epidemiológico, pérdidas económicas, beneficio – costo.

ABSTRACT

Huanglongbing (HLB), a harmful disease of citrus, threatens to affect production in Peru. This study focused on evaluating the potential economic losses in the lemon production chain in the Piura region. Three prospective scenarios of HLB spread from 2024 to 2040 were simulated to estimate the cost-benefit of preventing these losses through a National Phytosanitary Program (NPP). Questionnaires to local producers were used to estimate losses in three scenarios: i) without HLB, ii) with HLB without NFP, and iii) with HLB with different levels of adoption of the NFP.

The results point to risks that contribute to the spread of HLB, showing that the disease rapidly affects young trees. Cumulative economic losses could reach 1,104,076,110 soles between 2024 and 2040 without intervention. However, by adopting the NFP at 100por ciento, these losses could be reduced to 150,869,300 soles, avoiding not only production decline, but also generating social benefits. These findings underscore the critical importance of implementing the NFP to prevent losses, preserve jobs and protect the local economy. Without timely intervention, economic losses could jeopardize the sustainability of the national citrus sector.

Key words: Huanglongbing, prospective, lemon, Piura, epidemiological model, economic losses, benefit-cost.

I INTRODUCCIÓN

El Huanglongbing (HLB), conocido también como dragón amarillo, representa una amenaza crítica para la cadena de producción de cítricos debido a su rápida y extensa propagación entre el patógeno, el vector, los hospederos y el entorno (R. Bassanezi *et al.*, 2020; Bové, 2006; Salcedo *et al.*, 2011). La ausencia de un tratamiento efectivo para esta enfermedad resalta la necesidad de una detección temprana para eliminar los árboles infectados y así contener su expansión (Bouvet *et al.*, 2014).

Los primeros indicios visibles del HLB se manifiestan a través del amarillamiento de las nervaduras foliares y la presencia de manchas irregulares (Manzanilla-Ramírez *et al.*, 2019). Esta enfermedad desencadena cambios metabólicos en los cítricos al interrumpir el transporte de nutrientes, lo que conduce a una reducción significativa en la producción, especialmente en las principales zonas cítricas a nivel mundial (Manzanilla-Ramírez *et al.*, 2019; Spreen *et al.*, 2014). Además, provoca una caída prematura de la fruta y una disminución en su tamaño, lo que se traduce directamente en pérdidas de rendimiento (Spreen *et al.*, 2014).

Originado en Asia, el HLB se ha extendido globalmente a través del comercio, emergiendo como una preocupación económica importante para la mayoría de las regiones productoras de cítricos a nivel mundial (Djeddour *et al.*, 2021). Los principales vectores de transmisión de esta enfermedad son la *Diaphorina citri* (psílido asiático) y *Trioza erythrae* (psila africana), insectos que se alimentan de la savia de plantas infectadas y transmiten el HLB a otras plantas sanas (Manjunath *et al.*, 2008). Además, la enfermedad puede propagarse de planta en planta mediante injertos (Lopes *et al.*, 2009).

La primera confirmación de esta enfermedad en Brasil se registró en 2004 (Texeira *et al.*, 2005). Desde entonces se ha detectado en otros países productores de cítricos en América, entre ellos Florida, en los Estados Unidos en 2005 (Hodges & Spreen, 2012a), Cuba en 2007 (Martínez *et al.*, 2009), México, Jamaica y Belice en 2009 (Lopez *et al.*, 2011; K. L. Manjunath *et al.*, 2010; Robles-González *et al.*, 2013) y Colombia en el 2015 (Olvera-Vargas *et al.*, 2020). Esta propagación ha levantado preocupaciones sobre la posible llegada del

HLB a Perú, especialmente desde la detección del vector *Diaphorina Citri* en Tumbes en 2018, cerca de la frontera con Ecuador, debido al comercio de plantas ornamentales, principalmente de la especie *Murraya paniculata* (SENASA, 2018).

Durante 2023, un notable aumento en el precio del limón en Perú, derivado de los efectos del fenómeno del Niño, ha impulsado un flujo descontrolado, a veces ilegal, de cítricos desde Colombia, generando inquietud entre los agricultores de limón en la región de Piura. Estos agricultores han reportado la presencia de limones contaminados con HLB entre las importaciones (Agraria.pe, 2023).

En 2019, Perú se posicionó como el quinto productor de cítricos y el sexto productor de limón en América (MIDAGRI, 2020). La producción de limón es una actividad económica crucial en el sector cítrícola nacional, con destino principal al mercado interno para consumo fresco, obteniendo sus precios en centrales de abastos donde se comercializa (SIEA, 2021). Además, alrededor del 6 por ciento de la producción total de limón se destina a la exportación de aceites esenciales, jugos y cáscara seca, siendo un 51.8 por ciento procedente de la región de Piura (ADEX DATA TRADE, 2022).

Piura destaca como la principal región productora de limón (variedades Sutil y Tahití) en el país, registrando un crecimiento del 10 por ciento entre 2010 y 2020 (SIEA, 2021). Asimismo, se consolida como líder agroexportador de limón, con 12,088 toneladas en 2019, un incremento del 19.5 por ciento (MIDAGRI, 2020).

Los actores fundamentales en la cadena de producción de limón son los pequeños productores, empresas agrícolas, acopiadores, transportistas, empaquetadoras, procesadoras, empresas exportadoras, mayoristas y minoristas (MIDAGRI, 2020). En Piura, alrededor de 2,500 agricultores trabajan en 13,500 hectáreas, principalmente en Tambo Grande, Sullana y Chulucanas, sin aplicar una gestión agronómica adecuada. Estas deficiencias en prácticas de preparación del suelo, sistemas de riego, control de plagas y enfermedades representan un riesgo significativo ante la posible llegada del HLB (López Aita, 2018).

El peligro de mayores pérdidas económicas se incrementa por la falta de implementación de un Programa Nacional Fitosanitario (PNF) para prevenir, controlar y monitorear la enfermedad. Los efectos del HLB en la cadena productiva directa del limón serían devastadores para todos los eslabones, especialmente para los pequeños productores, generando bajos rendimientos y costos adicionales por la erradicación de la enfermedad (eliminación de plantaciones infectadas) (SENASA, 2018).

Este estudio analizó las implicancias que el ingreso del HLB tendría en las principales áreas productoras de limón en Piura. Realizó un diagnóstico situacional del cultivo de limón y una simulación prospectiva que contempló la detección del HLB en 2024, proyectando tres escenarios de producción hasta 2040 (sin presencia del HLB, con presencia del HLB y sin implementación de un PNF, con presencia del HLB e implementación de un PNF, considerando su adopción total o parcial por los productores). Esto permitió evaluar las potenciales pérdidas económicas del ingreso del HLB, llevando a cabo un análisis beneficio – costo (ABC) de un plan de contingencia para evitar la propagación de la enfermedad, fundamentando la necesidad de políticas públicas. Esta investigación formuló la pregunta: ¿Cuál sería el impacto económico del posible ingreso del HLB al Perú en la cadena productiva directa del limón en la región Piura, en caso de que el gobierno no implementara un PNF para mitigar la enfermedad, o si lo hiciera?

1.1. Justificación

El HLB, actualmente extendido en varios países del continente, se ha convertido en una seria alerta fitosanitaria. Por consiguiente, este estudio adquiere una importancia crucial, ya que proporcionará información crucial a los responsables de la formulación de políticas públicas, en aras de beneficiar a los actores involucrados en la cadena productiva directa del limón. La región de Piura, que representa el 54.0por ciento de la producción nacional de limón, destaca como la principal zona productora, con el Valle de San Lorenzo (Tambo Grande) liderando con 9,738 hectáreas, seguido por Sullana con 4,108 hectáreas y Chulucanas con 1,445 hectáreas (SIEA, 2021).

La producción de limón está mayoritariamente a cargo de pequeños y medianos productores, quienes se caracterizan por operar sistemas de producción precarios y carecer de un adecuado control fitosanitario (MIDAGRI, 2020). El eventual ingreso del HLB tendría un impacto directo en el empleo de los participantes en la cadena productiva, incluyendo empresas agrícolas (principales procesadoras de aceite esencial de limón y cáscara), exportadoras, procesadoras, empaquetadoras, mayoristas y minoristas (Salcedo *et al.*, 2011).

El propósito de esta investigación ha sido proyectar las posibles pérdidas económicas asociadas al ingreso del HLB. Esto representa una evidencia esencial para respaldar la implementación de un Programa Nacional Fitosanitario (PNF), cuyo objetivo primordial

sería resguardar la producción citrícola nacional y mitigar los daños económicos que pudiera ocasionar a los principales actores involucrados en la cadena productiva directa del limón.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Estimar el impacto económico que causaría el ingreso del Huanglongbing (HLB) al Perú, sobre la cadena productiva directa del limón en la región Piura, con el fin de aportar evidencia que sustente la implementación de un Programa Nacional Fitosanitario (PNF), con prospectiva al año 2040.

1.2.2. Objetivos específicos

O.E.1. Identificar los principales actores en la cadena productiva directa en la región Piura y las zonas con mayores riesgos por pérdidas económicas por ingreso del HLB.

O.E.2. Proyectar hasta el año 2040 la producción de limón en tres escenarios alternativos, un primer escenario tendencial (Business As Usual, BAU) sin la introducción del HLB; el segundo con introducción del HLB y sin la aplicación de un PNF (modelo epidemiológico); y el tercero con HLB y la implementación de un PNF que considera diferentes grados de adopción de los productores.

O.E.3. Analizar el beneficio/costo de los escenarios proyectados con el ingreso del HLB en la región Piura, considerando las pérdidas económicas evitadas en la cadena productiva directa del limón debido a la implementación de un PNF.

II REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Marco teórico

2.1.1. Economía del bienestar

La economía del bienestar es la rama de la economía que presenta criterios para responder cuestiones normativas. Gran parte de la economía normativa se centra en cómo debe gestionarse una economía: qué debe producirse, para quién, y quién debe tomar estas decisiones (Stiglitz, 2003; Trillas, 2007).

Según Stiglitz (2003), la asignación de recursos que no es posible mejorar el bienestar de ninguna persona sin empeorar el de alguna otra, son óptimas en el sentido de Pareto. También cita dos teoremas fundamentales de la economía del bienestar. El primero señala que cualquier equilibrio competitivo corresponde a un óptimo de Pareto. El segundo teorema establece que cualquier asignación de recursos óptima de Pareto se puede lograr a través de mercados competitivos.

Asimismo, Feldman & Serrano (2006) señalan que, a excepción del problema de las externalidades y los bienes públicos, una economía competitiva garantiza un resultado económico óptimo de Pareto. Sin embargo, esta noción es débil, ya que no significa que realmente sea lo mejor.

2.1.2. Excedente del productor

El excedente del productor mide el área situada encima de la curva de oferta del productor y debajo del precio de mercado. El excedente que obtiene el productor por la venta de cada unidad es la diferencia entre el precio y el costo marginal de producir esa unidad. Por lo tanto, es la suma de los excedentes unitarios correspondientes a todas las unidades que produce la empresa (Perloff, 2011; Pindyck & Rubinfeld, 2009).

Por otro lado, Varian (2015) señala que, el área situada encima de la curva de oferta definida como excedente del productor es un término algo erróneo, ya que, en realidad, no importa quién consume y quién produce. La expresión más adecuada sería “excedente del oferente”.

2.1.3. Economía agraria

La economía agraria es una rama de la economía de carácter integrador de conocimientos económicos y agronómicos, por lo tanto, estudia aspectos micro y macroeconómicos relacionados con el sector agropecuario, agroindustrial y afines (Vivas Viachica, 1997).

Los pensadores modernos afirman que la economía agraria surge como disciplina independiente en la mitad del siglo XIX, especialmente desde el estudio del proceso agrícola (Carvajalino & Prada, 2016). Otros economistas estudiaron la agricultura de forma más general, al interesarse en la tenencia del suelo, las relaciones de producción, los términos de intercambio y el desarrollo rural, que dieron curso a la economía agraria.

2.1.4. Oferta, demanda y precios agrarios

La oferta de productos agrarios en Perú depende casi en un 100 por ciento de la producción nacional, pues no hay importaciones significativas. Los factores determinantes de oferta son principalmente el clima, plagas y enfermedades, manejo del cultivo y planeación de siembras, precios de insumos y estructura de consumo (Arias & Vargas, 2010).

Por otra parte, la superficie de siembra de los cultivos, que determina la cantidad de inversión, depende, entre otros, del último precio que recibió el productor; si fue bueno, siembra más, y si fue malo, siembra menos. Esto determina el volumen de oferta y el nivel de precios en el mercado (Caballero, 2015).

De acuerdo con la teoría económica, los precios dependen de la interacción de oferta y demanda. Según Barrientos (2018), el precio real recibido por los productores agrarios tiene alta volatilidad; los factores responsables para ella serían la estacionalidad de la producción, la alta perecibilidad de los cultivos, la inelasticidad del precio/demanda y la reducida capacidad de almacenamiento de la producción. Asimismo, la oferta nacional es consecuencia de la superficie sembrada basada en el último precio recibido por el productor.

2.1.5. Externalidades en la producción agraria

Las externalidades en la producción se definen como decisiones de consumo, producción e inversión que toman individuos, los hogares y las empresas y que afectan a terceros que no participan directamente en esas transacciones. Cuando hay externalidades se desencadenan efectos indirectos que repercuten en las oportunidades de consumo y producción de terceros (Varian, 2015).

Según Pindyck & Rubinfeld (2009), cuando hay externalidades negativas, el costo social marginal (CSM) es mayor que el costo marginal (CM). La diferencia es el costo externo marginal (CEM), que mide el costo adicional de la externalidad generada por cada unidad adicional de producción.

En los últimos tiempos ha crecido el interés en incorporar indicadores ambientales al análisis de los sistemas de producción agropecuaria. Estos indicadores miden los impactos de la actividad productiva sobre los recursos naturales, cumpliendo con los requisitos de ser fáciles de calcular e interpretar por los tomadores de decisiones (Cabrini *et al.*, 2013).

2.1.6. La cadena productiva agraria

Van der Heyden *et al.* (2004) señalaron que “una cadena productiva es un sistema constituido por actores interrelacionados y por una sucesión de operaciones de producción, transformación y comercialización de un producto o grupo de productos en un entorno determinado” (p. 11). Asimismo, argumentan que el análisis de cadenas de producción es solo una herramienta que permite identificar los principales puntos críticos que frenan la competitividad de un producto, para luego definir e impulsar estrategias concertadas entre los principales actores involucrados.

Por otro lado, Isaza Castro (2009) señala que, los actores directos son las personas involucradas en los diferentes eslabones y que actúan e interactúan dentro de la cadena productiva. Los actores indirectos son aquellos que brindan un servicio de apoyo a los actores directos: proveedores de insumos o servicios.

Las cadenas productivas permiten brindar información completa sobre los actores, sus puntos críticos, así como, las alianzas entre actores con intereses comunes, distinguiendo vínculos entre proveedores de insumos y servicio, distribuidores comerciales, empresas y clientes (Mercado, 2018).

2.1.7. Prospectiva como estudio del futuro

Según Godet *et al.* (2000), la prospectiva es un trabajo futurista que considera diferentes alternativas para plantear los escenarios. Un escenario es el simulacro en el tiempo de los mecanismos y de los procesos inherentes a un sistema.

Agregando a lo anterior, la prospectiva se entiende como una actitud de análisis que viene desde el futuro hasta el presente. Este análisis permite construir planes adaptados a la realidad que permitan construir acciones para alcanzar ese futuro deseado (Cuervo, 2012). El principal supuesto de la proyección es la creencia de que el futuro no está totalmente determinado, sino que siempre está abierto a múltiples desenlaces. Con estos se tienen dos opciones: el adaptarse o el influir en el futuro para cambiar algunos de sus impactos (Pintor *et al.*, 2003; Rodríguez & Rojas, 2006).

2.1.8. Análisis beneficio – costo como evaluación de políticas públicas

La idea económica del concepto de costo de oportunidad refleja la constante preocupación de los economistas por analizar las elecciones con base en el costo de la mejor alternativa no realizada. Este sacrificio implícito en cada elección que realiza el individuo también lo enfrentan las familias, las sociedades y los países en general al momento de elegir como satisfacer sus necesidades de educación, salud, etc. El costo de elegir un tipo de acción o programa para un funcionario público se mide en términos de no llevar a cabo otra alternativa (Sour, 2008).

Una derivación natural del concepto de costo de oportunidad en el análisis beneficio - costo. Este análisis compara en términos monetarios el beneficio de la intervención gubernamental en relación con su costo monetario. Este instrumento permite el análisis sistemático de los problemas del sector público en términos tanto de los costos como de los beneficios esperados de las posibles soluciones o alternativas (Lara & Franco, 2017).

2.2. Antecedentes

El HLB ha representado históricamente un desafío para la industria cítrica en diversas regiones del sudeste asiático y africano, así como en la península arábiga, y ha emergido como una amenaza significativa para la sostenibilidad de la producción de cítricos en América en las últimas décadas (R. B. Bassanezi *et al.*, 2013). Su detección inicial en Brasil ocurrió en el Estado de São Paulo a principios de 2004 (Texeira *et al.*, 2005),

seguida por su aparición en Estados Unidos en 2005, específicamente en el Estado de Florida. Además, se han registrado casos en México, Belice, Colombia y otros países del continente (Salcedo *et al.*, 2011).

Esta problemática ha motivado diversas investigaciones enfocadas en medir el impacto económico del HLB en la industria cítrica. Por ejemplo, Bassanezi *et al.* (2011), se propusieron caracterizar y estimar las pérdidas de rendimiento en distintas variedades de naranja en São Paulo, Brasil, evidenciando que las tasas de disminución del rendimiento fueron similares para todos los cultivos evaluados en función de la severidad de la enfermedad. De manera similar, Miranda *et al.* (2012), estimaron los impactos potenciales del HLB en los huertos de cítricos en Sao Paulo y discutieron la importancia de implementar programas fitosanitarios para controlar su propagación. Para ello, aplicaron el enfoque Análisis Beneficio – Costo, donde se utilizó un modelo para proyectar el tamaño del huerto y la producción a lo largo de 20 años. Además, se planteó dos escenarios: uno que considera la presencia de un programa fitosanitario para controlar el HLB, y el segundo sin el programa. Esto evidenció que la implementación de una política fitosanitaria evitaría pérdidas que ascienden a R\$ 57.3, lo que indica que esta inversión es recomendable.

Por su parte, Oliveira *et al.* (2013), realizaron un estudio prospectivo sobre el impacto económico resultante de un eventual ingreso del HLB al Estado de Bahía, Brasil. Se utilizaron los modelos Gompertz y logístico para estimar el progreso de la enfermedad bajo tres escenarios. Para el escenario (A) los esfuerzos de la institución fitosanitaria evitarían la invasión del HLB. En el escenario B, se asumió la introducción de la enfermedad en los huertos de cítricos y la ausencia de medidas de control, lo que llevó a la propagación del HLB en los años siguientes. En el escenario C, tras la detección de la enfermedad, los productores adoptarían medidas de control. Los resultados mostraron que, de introducirse el HLB en Bahía, las pérdidas serían muy importantes en los 20 años siguientes. Además, si no se implementan procedimientos de control y erradicación, podrían producirse pérdidas superiores a los 890 millones de dólares.

Por otro lado, en Estados Unidos, Hodges & Spreen (2012) estimaron el impacto económico del HLB en el Estado de Florida. El estudio concluyó que el HLB tiene un gran impacto en la producción de los cítricos y en el empleo del sector agricultura. Asimismo, evidencia grandes pérdidas económicas en el Producto Bruto Interno (PIB), en los ingresos y empleo de otras industrias afines. Resultados similares encontraron

Neupane *et al.* (2016), demostrando una importante pérdida de producción de cítricos en los principales condados de Florida. El resultado revela además que la mayor probabilidad de pérdida de producción indica la ineficacia en el control del impacto de la enfermedad.

En Belice, Wallace (2016) evaluó el impacto económico de las políticas de control del HLB en el comercio de concentrado de jugo de naranja . Para ello, estimó una función de suministro, pronosticó los precios internacionales, evaluó la cantidad y los efectos económicos financieros y realizó un ABC para evaluar la idoneidad económica de las políticas de control. El estudio encontró que, si el HLB persiste, la industria de cítricos incurriría en pérdidas de ingresos de US 55,431,605 durante el período 2013 - 2015. Sin embargo, las políticas de control podrían dar lugar a pérdidas evitadas de US 20,208,821 o beneficios netos de hasta US 64,358,425 en el mismo período.

En cuanto a México, Salcedo *et al.* (2011) evaluaron el impacto económico que tendría el HLB en la cadena productiva de cítricos, y compararon las medidas de prevención y control que han adoptado diferentes países. Los resultados evidenciaron que el volumen y el valor de la producción de cítricos y sus subproductos se verían afectados, así como el empleo y las divisas obtenidas por las exportaciones de cítricos frescos y procesados.

A su vez, González *et al.* (2018), evidenciaron los daños ocasionados por el HLB a plantaciones comerciales de limón mexicano en Colima. Encontraron que, para el año 2013, el 100 por ciento de los árboles de todas las plantaciones con una edad mayor a dos años estaban infectados. Asimismo, los árboles jóvenes se infectaron rápidamente y en menos de un año todos presentaron los síntomas.

III METODOLOGÍA

3.1. Hipótesis

3.1.1. Hipótesis general

Ante el posible ingreso del Huanglongbing (HLB) al Perú, las pérdidas económicas en toda la cadena productiva directa del limón en la región en Piura proyectados hasta el año 2040, serían mayores respecto a los costos de implementación de un Programa Nacional Fitosanitario (PNF) que considere la prevención, monitoreo y control de la enfermedad.

3.1.2. Hipótesis específicas

- H.E.1. Los principales actores de la cadena productiva directa de limón en Piura recaen principalmente en pequeños productores que se caracterizan por presentar baja tecnología y deficiente control fitosanitario, por lo tanto, las zonas con mayor riesgo por pérdidas económicas por ingreso del HLB serán aquellas que tienen mayor producción y comercio.
- H.E.2. Los escenarios prospectivos al 2040 con ingreso del HLB presentarán diferentes resultados de pérdidas productivas y económicas, siendo que el segundo escenario (con HLB y sin PNF) mostraría pérdidas en la producción de más del 50 por ciento en el año 2040, en comparación al tercer escenario (con HLB y con PNF), con pérdidas menores al 15 por ciento si la adopción es generalizada por parte de los productores.
- H.E.3. El ratio beneficio – costo por implementar un PNF tendría un valor positivo y sería mayor a la tasa social de descuento para proyectos públicos, lo que sustentaría su implementación como política a fin de evitar pérdidas económicas en la cadena productiva directa del limón en la región de Piura.

3.2. Zona de estudio

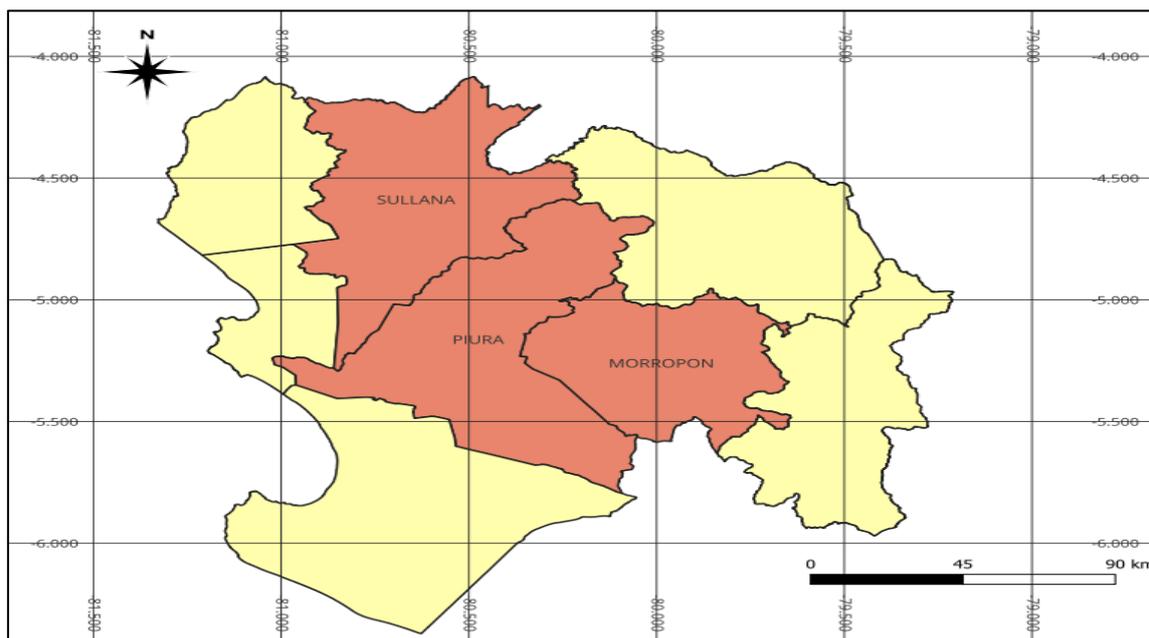
La región de Piura se encuentra ubicada al noroeste del país con una superficie de 35,892 km². Limita al norte con Tumbes y Ecuador, al este con Cajamarca, al sur con Lambayeque y al oeste con el océano Pacífico. Cuenta con 1,858,617 habitantes siendo el segundo departamento más poblado del Perú y con una densidad demográfica 46.7 hab/km² (INEI, 2017).

El limón es uno de los cultivos permanentes de mayor importancia en la región de Piura, su producción se centra especialmente en el Valle San Lorenzo y para lo cual los productores de esta región se han agrupado, conformando "La Asociación de Productores de Limón", que rige la actividad productora de este cultivo pues genera un importante ingreso económico para la zona (MIDAGRI, 2020). Se sabe que la estacionalidad de estas zonas provocó la entrada de limón Sutil en el mercado interno, posicionando al Valle de San Lorenzo (Tambo grande) con el mejor rendimiento en cuanto a calidad y cantidad, seguido por Sullana y Chulucanas; abasteciendo de esta manera a todo el mercado nacional en todo el país (SENASA, 2021).

Asimismo, Piura cuenta con una superficie agrícola de 386 777 hectáreas (CENAGRO, 2012) y la producción de limón en el 2021 fue de 183 081 TM con un rendimiento de 11.81 toneladas por hectárea, y es la principal región productora de limón con el 54.6 por ciento del total nacional (SIEA, 2022) . Esta investigación se centrará en las zonas de mayor producción de limón como Valle de San Lorenzo, Sullana y Chulucanas (Ver Figura 1), las cuales representan 87.9 por ciento de la producción de limón en la región de Piura (SIEA, 2022).

Figura 1

Principales provincias productoras de limón de la región Piura



Nota: Elaborado en base a INEI (2023).

3.3. Fuente de información

3.3.1. Información primaria

Las fuentes de información primaria fueron obtenidas mediante entrevistas y encuestas a los principales actores de la cadena productiva directa del limón en Piura, entre ellos, productores para determinar las actividades culturales en la producción de limón y para la obtención de los costos en pequeños, medianos y grandes productores, transportadores, empacadores, entre otros.

3.3.2. Información secundaria

Las fuentes de información secundarias fueron obtenidas de los portales oficiales de estadísticas del Banco Central de Reserva del Perú (BCRP), Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MINAGRI), Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y IV Censo Nacional Agrario (CENAGRO), artículos de investigación y tesis de grado.

3.4. Variables de análisis

3.4.1. Primer objetivo

Producción: Producción de limón, superficie cosechada en Piura, rendimiento de producción por hectárea en Piura.

Actores: Productores, transportadores, acopiadores, transformadores, estibadores, empaquetadoras, exportadores, mayoristas.

Factores de riesgo: Lugar de adquisición de plántones, desconocimiento de síntomas del HLB, número de veces que realiza control de plagas al año, distancia entre la unidad agropecuaria y el centro poblado, distancia entre la unidad agropecuaria y la carretera principal, pertenecer a una asociación de cítricos, participación de alguna charla sobre HLB, movimiento de frutas en la unidad agropecuaria y disposición de eliminar un árbol si presenta HLB.

3.4.2. Segundo objetivo

Producción: Proporción de plantas con síntomas del HLB, proporción de plantas con síntomas de HLB en el año cero, tasa anual de progreso de incidencia. Proporción de área de la copa del árbol con HLB, tasa anual del progreso de la severidad, tasa anual de progreso de incidencia y proporción de área de la copa del árbol con HLB en el año cero.

3.4.3. Tercer objetivo

Beneficio: Valor de producción, pérdida de producción, reducción de empleo y pérdidas evitadas.

Costo: Gobierno, Prociurus¹ y productores. Provisores de insumos: viveros y otros. Productores primarios. Acopiadores: acopiador y transportista. Transformadores: procesadores, acopiadores, empacadores y mermas. Transportadores: transportistas, estibador y desestibador. Comercio: exportadores, mayoristas de Lima y Mercado regional. Consumo: consumidor interno, consumido externo y consumidor regional. Implementación del PNF.

¹ Asociación civil sin fines de lucro, conformada por personas naturales y jurídicas productoras de cítricos del Perú. En la actualidad, reúne el 90 por ciento de las exportaciones del país y representan a los principales valles productores de cítricos del Perú con más de 7,000 has sembradas.

3.5. Métodos y tratamientos de la información

3.5.1. Población y muestra

a. Unidades Agropecuarias

La población está conformada por productores de limón de las provincias de Piura, Sullana y Morropón en la región Piura (Ver Tabla 1).

Tabla 1

Número de Unidades Agropecuarias (UA) a nivel provincial

Departamento	Provincia	Tamaño	Número de Unidades Agropecuarias (UA)
Piura	Piura	Grande	927
		Pequeño	4,081
	Sullana	Grande	183
		Pequeño	1,322
	Morropón	Grande	42
		Pequeño	1,237
Total			7,792

Nota: Elaborado en base a CENAGRO (2012).

El tamaño de la muestra se calculó mediante el método de muestreo estratificado cuya fórmula se presenta a continuación:

$$n = \frac{\sum_{h=1}^L W_h p_h q_h}{\frac{e^2}{Z^2 (1-\frac{\alpha}{2})} + \frac{1}{N} \sum_{h=1}^L W_h p_h q_h}$$

Donde:

N : Tamaño de la población

n : Tamaño de muestra

W_h : Peso del estrato en la población

Z : Cuantil de la distribución normal obtenido según el nivel de confianza deseado

e : Error muestral deseado

p_h : proporción de éxitos de la categoría de interés en el estrato h

q_h : Complemento de la proporción de éxitos en el estrato h

Luego de la aplicación de la fórmula se obtuvo una muestra de 366 UA, a un nivel de confianza del 95 por ciento y un error muestral del 5 por ciento. El número de encuestas que se obtuvo a nivel distrital fue (ver Tabla 2):

Tabla 2
Número de encuestas a nivel distrital

Provincia	Distrito	Número de productores
Piura	Tambo Grande	192
	Piura	32
	Las Lomas	12
	Catacaos	1
	Curamori	1
	Castilla	1
Sullana	Sullana	65
	Miguel Checa	2
	Marcavelica	1
	Chulucanas	51
Morropón	Buenos Aires	3
	La Matanza	3
	Salitral	3
Total		366

Nota: Adaptado en base a estadísticas del CENAGRO (2012) y SIEA-MIDAGRI (2022)².

b. Productores

Se utilizó una muestra pequeña no probabilística representativa y seleccionada por conveniencia de los productores con producción promedio, obtenidos de las encuestas muestrales, debido a consideraciones de accesibilidad, tiempo e interés en obtener datos cuantitativos sobre los costos, siendo tres en pequeños productores y uno en mediano productor.

² Sistema Integrado de Estadísticas Agrarias.

3.5.2. Tratamiento de los datos

Para digitalizar los datos recolectados mediante la encuesta a productores de limón, se utilizó el programa Microsoft Excel y el software estadístico R - studio.

3.5.2.1. Escenarios

Con el fin de demostrar la justificación de implementar una política pública ante la posible aparición del HLB, se desarrollaron diversos escenarios para el análisis de costo-beneficio. Cada escenario se distingue por el grado de adopción de los productores al Programa Nacional de Fitosanitario (PNF) y por la propagación de la enfermedad (Ver Tabla 3).

Tabla 3

Escenarios alternativos del Análisis Beneficio/Costo para evaluación del PNF

Nº	TIPO DE ESCENARIO	CARACTERISTICAS
1	Tendencial (sin HLB)	Producción sin ingreso del HLB
2	Epidemiológico (con HLB)	Producción con HLB y sin PNF
3	Adopción Parcial 25 % (con HLB)	25 % de productores adoptan el PNF
4	Adopción Parcial 30 % (con HLB)	30 % de productores adoptan el PNF
5	Adopción Parcial 40 % (con HLB)	40 % de productores adoptan el PNF
6	Adopción Parcial 50 % (con HLB)	50 % de productores adoptan el PNF
7	Adopción Parcial 75 % (con HLB)	75 % de productores adoptan el PNF
8	Adopción Total (con HLB)	100 % de los productores adoptan el PNF

Nota: Elaborado en base a Bassanezi & Bassanezi (2008).

3.5.2.1.1. Escenario tendencial (sin HLB)

En el primer escenario, se utilizó un modelo de regresión lineal para analizar la relación entre la variable dependiente Y_i , que representa la producción de limón, y las variables independientes agronómicas y económicas, que incluyen la superficie y el rendimiento. Se llevó a cabo un análisis que abarcó el periodo comprendido entre 1980 y 2022. Esto permitió examinar la influencia de dichas variables en la producción de limón a lo largo de ese período.

Forma funcional del modelo:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2$$

Donde:

Y_i : Producción de limón en Piura

β_0 : Intercepto

X_1 : Superficie cosechada de limón en Piura

X_2 : Rendimiento de producción de limón por hectárea Piura

A través de un análisis de series temporales, se realizó una estimación de la producción de limón hasta el año 2040 en el escenario tendencial, considerando la ausencia del HLB, utilizando el modelo ARIMA (0,1,1). Además, se aplicó el algoritmo K-Means junto con el método de Elbow³ para clasificar a los productores de limón en clústeres. Este análisis de clústeres se llevó a cabo teniendo en cuenta los factores de riesgo asociados a la propagación del HLB, tales como el lugar de adquisición de los plántones, el conocimiento sobre los síntomas del HLB, la frecuencia de control de plagas, la distancia entre la unidad agropecuaria y el centro poblado, la distancia entre la unidad agropecuaria y la carretera principal, la pertenencia a una asociación de cítricos, la participación en charlas sobre el HLB, el movimiento de frutas en la unidad agropecuaria y la disposición a eliminar un árbol en caso de presentar HLB.

³ El método consiste en calcular la distorsión promedia de los clústers, que es la distancia promedia del centroide a todos los puntos del clúster y se obtiene con el algoritmo K-Means en función del número de clústers.

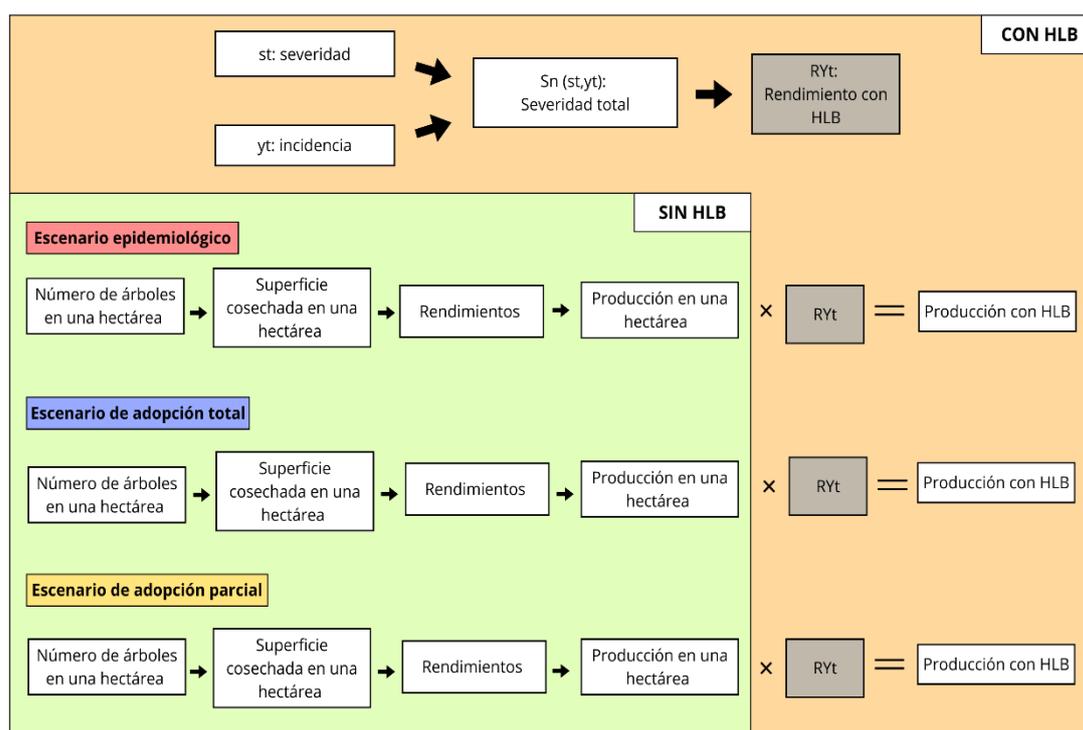
3.5.2.1.2. Modelo epidemiológico

En esta sección se describe la aplicación del modelo epidemiológico para estimar la producción de limón. En un escenario con HLB, la Severidad total (S_n) está en función de las variables de severidad (s_t) e incidencia (y_t). Luego, se obtiene el Rendimiento con HLB (RY_t) que se encuentra en función a la Severidad total (S_n).

Para la estimación de la producción con la presencia del HLB, cada escenario se distingue por el cálculo del número de árboles por hectárea, la superficie cosechada y la producción según los rangos de edad de los árboles. Únicamente los rendimientos se mantienen constantes en todos los escenarios. Estos rendimientos se multiplican por la "Producción en una hectárea" (sin presencia de HLB) para obtener la producción estimada con la presencia del HLB (Ver Figura 2).

Figura 2

Representación gráfica del modelo epidemiológico para la obtención de producción con HLB en los distintos escenarios planteados



Nota: Adaptado en base a Bassanezi & Bassanezi (2008).

Se contemplaron diferentes escenarios con la presencia del HLB. Estos escenarios incluyen: el escenario epidemiológico (con presencia de la enfermedad del HLB y sin la implementación del PNF), adopción parcial por parte del 25 por ciento de los productores,

adopción parcial por parte del 30 por ciento, adopción parcial por parte del 40 por ciento, adopción parcial por parte del 50 por ciento, adopción parcial por parte del 75 por ciento y adopción total por parte del 100 por ciento de los productores.

Se realizó una adaptación del modelo epidemiológico desarrollado por R. Bassanezi & Bassanezi (2008) al contexto peruano. En este sentido, se estimaron las curvas de severidad utilizando el modelo logístico, el cual representa la proporción del área de la copa del árbol afectada por el HLB. Se calculó la severidad para diferentes rangos de edad de los árboles, que se dividen en las siguientes categorías: 0 a 2 años, 3 a 5 años, 6 a 10 años y más de 10 años. Para llevar a cabo estos cálculos, fue necesario obtener la tasa anual de progresión de la severidad por cada rango de edad de los árboles (r_L) y la proporción del área de la copa del árbol afectada por el HLB en el año inicial (S_0) para cada rango de edad. Asimismo, se utilizó el dato de Chávez (2011) de la r_L del limón mexicano, en el cual se utilizó la misma proporción del modelo de R. B. Bassanezi & Bassanezi, (2008) para cada rango de edad (Ver Tabla 4).

Tabla 4

Tasa de severidad y progresión para diferentes rangos de edad de los árboles

Edad de los arboles	0 a 2 años	3 a 5 años	5 a 10 años	10 años a más
Tasa anual progreso de la severidad (r_L) (Bassanezi & Bassanezi, 2008)	3.68	1.84	0.92	0.69
Tasa anual progreso de la severidad (r_L) (Chávez, 2011)	4.88	2.44	1.22	0.91
Proporción de área de la copa del árbol con HLB en el año cero (S_0)	0.2	0.1	0.05	0.025

Nota: Adaptado en base a Bassanezi & Bassanezi (2008) y Chávez (2011).

Los valores de r_L y S_0 utilizados en este estudio fueron obtenidos de la investigación realizada por R. Bassanezi & Bassanezi en 2008. Estos datos se basan en la literatura existente y observaciones de campo realizadas en San Pablo, Brasil (Ver Ecuación 1).

$$S_t = 1 / \left(1 + \left(\frac{1}{S_0} - 1 \right) * \exp(-r_L * t) \right) \quad (1)$$

Donde,

S_t : Proporción de área de la copa del árbol con HLB

r_L : Tasa anual del progreso de la severidad por la edad de los árboles

S_0 : Proporción de área de la copa del árbol con HLB en el año cero

t : tiempo en años, inicia en cero

A continuación, se procedió a estimar las curvas de progreso de la incidencia de la enfermedad, que se refiere a la proporción de árboles en el huerto con síntomas de HLB (y_t). De manera similar, se calculó la incidencia para los diferentes rangos de edad de los árboles, que abarcan las categorías de 0 a 2 años, 3 a 5 años, 6 a 10 años y más de 10 años. Para este propósito, se utilizó el modelo Gompertz propuesto por R. Bassanezi y Bassanezi en 2008. Los valores utilizados para la tasa anual de progreso de la incidencia por rango de edad de los árboles (r_G) fueron 1.3, 0.65, 0.33 y 0.24 respectivamente. Estos valores se basan en las investigaciones realizadas por los autores mencionados.

Se utilizó el método propuesto por Oliveira *et al.* (2013) para adaptarlo al contexto peruano, considerando que hasta el año 2023 el país no había sido afectado por la enfermedad. Los valores iniciales (y_0) corresponden a la proporción de árboles con síntomas en el año inicial para cada categoría de edad, y se obtuvieron mediante el cálculo del inverso del número de árboles de cada categoría por hectárea. Es decir, el inverso se calculó como $1/n$, donde n representa el número de árboles por hectárea en cada categoría de edad. Los valores de n utilizados fueron 30, 60, 120 y 90^4 respectivamente para las categorías de 0 a 2 años, 3 a 5 años, 6 a 10 años y más de 10 años. Estos valores se consideran para el año 2024, ya que es el año en el que se estima que la enfermedad ingresará en el Perú (Ver ecuación 2).

$$y_t = \exp(-(-\ln(y_0)) * \exp(-r_G * t)) \quad (2)$$

⁴ Promedio simple de los datos de trabajo de campo

Donde:

y_t : Proporción de árboles con síntomas de HLB en el huerto (se detecta por primera vez la enfermedad)

y_0 : Proporción de árboles con síntomas en el año cero en el huerto (1/n)

r_G : Tasa anual de progreso de incidencia por la edad de los árboles

t : tiempo en años, inicia en cero

Utilizando los valores obtenidos de las ecuaciones (1) y (2), se procede a calcular la severidad total del HLB en el huerto a lo largo del tiempo para cada rango de edad (R. Bassanezi y Bassanezi, 2008). (Ver ecuación 3).

$$S_n = \sum_{j=0}^{j=n} (y_j - y_{j-1}) S_{n-j} \quad (3)$$

Finalmente, se obtienen los rendimientos de producción con HLB en el tiempo t (RY_t), en relación con la producción de árboles sanos y árboles enfermos, y la severidad de los síntomas del HLB (S_n) para cada rango de edad (R. Bassanezi & Bassanezi, 2008). (Ver ecuación 4)

$$RY_t = \exp(-1.8 * S_n) \quad (4)$$

3.5.2.1.3. Escenario epidemiológico (con HLB y sin PNF)

Se consideraron los siguientes supuestos⁵ para la construcción del primer escenario:

- Los árboles se renuevan cada 20 años.
- Anualmente se remueven 10 árboles y se siembran 10 plántones nuevos en una hectárea.
- En una hectárea siempre se mantendrán 300 árboles.
- Los árboles de la categoría de 0-2 años no producen frutos.
- En el año 2024 ingresa la enfermedad al Perú.

Dado que este estudio es prospectivo, las variables fueron evaluadas a lo largo del tiempo y según la categoría de edad de los árboles. Para analizar la superficie cosechada a lo largo del

⁵ Datos obtenidos en campo y validado por expertos.

tiempo, se consideraron tanto los cambios en la cantidad de árboles en cada categoría como la transición hacia la siguiente categoría. Esto permitió tener en cuenta cómo la superficie cosechada varía a medida que los árboles pasan de una categoría de edad a otra (ver Tabla 5).

Por lo que, la cantidad de árboles por categoría toman los valores de w_0 para 0 a 2 años, x_0 para 3 a 5 años, y_0 para 6 a 10 años y z_0 para más de 10 años, en el tiempo cero los valores son 30, 60, 120 y 90 árboles respectivamente.

Tabla 5
Número de árboles en una hectárea por categoría de edades a través del tiempo

t	wt (0-2 años)	xt (3-5 años)	yt (6-10 años)	zt (+ 10 años)
0	w_0	x_0	y_0	z_0
1	w_0+10	x_0	y_0	z_0-10
2	$w_1+10-x_1/4$	$x_1+w_1/4$	y_1	z_1-10
3	$w_2+10-x_2/4$	$x_2+w_2/4-x_2/4$	$y_2+x_2/4$	z_2-10
4	$w_3+10-x_3/4$	$x_3+w_3/4-x_3/4$	$y_3+x_3/4-y_3/4$	$z_3-10+y_3/4$
5	$w_4+10-x_4/4$	$x_4+w_4/4-x_4/4$	$y_4+x_4/4-y_4/4$	$z_4-10+y_4/4$
6	$w_5+10-x_5/4$	$x_5+w_5/4-x_5/4$	$y_5+x_5/4-y_5/4$	$z_5-10+y_5/4$
7	$w_6+10-x_6/4$	$x_6+w_6/4-x_6/4$	$y_6+x_6/4-y_6/4$	$z_6-10+y_6/4$
8	$w_7+10-x_7/4$	$x_7+w_7/4-x_7/4$	$y_7+x_7/4-y_7/4$	$z_7-10+y_7/4$
9	$w_8+10-x_8/4$	$x_8+w_8/4-x_8/4$	$y_8+x_8/4-y_8/4$	$z_8-10+y_8/4$
10	$w_9+10-x_9/4$	$x_9+w_9/4-x_9/4$	$y_9+x_9/4-y_9/4$	$z_9-10+y_9/4$
11	$w_{10}+10-x_{10}/4$	$x_{10}+w_{10}/4-x_{10}/4$	$y_{10}+x_{10}/4-y_{10}/4$	$z_{10}-10+y_{10}/4$
12	$w_{11}+10-x_{11}/4$	$x_{11}+w_{11}/4-x_{11}/4$	$y_{11}+x_{11}/4-y_{11}/4$	$z_{11}-10+y_{11}/4$
13	$w_{12}+10-x_{12}/4$	$x_{12}+w_{12}/4-x_{12}/4$	$y_{12}+x_{12}/4-y_{12}/4$	$z_{12}-10+y_{12}/4$
14	$w_{13}+10-x_{13}/4+z_{13}/4$	$x_{13}+w_{13}/4-x_{13}/4$	$y_{13}+x_{13}/4-y_{13}/4$	$z_{13}-10+y_{13}/4$
15	$w_{14}+10-x_{14}/4+z_{14}/4$	$x_{14}+w_{14}/4-x_{14}/4$	$y_{14}+x_{14}/4-y_{14}/4$	$z_{14}-10+y_{14}/4$
16	$w_{15}+10-x_{15}/4+z_{15}/4$	$x_{15}+w_{15}/4-x_{15}/4$	$y_{15}+x_{15}/4-y_{15}/4$	$z_{15}-10+y_{15}/4$

Nota: Adaptado en base a Bassanezi & Bassanezi (2008)

En consecuencia, al calcular la proporción de la superficie cosechada según las diferentes categorías de edad, se consideraron únicamente las tres últimas categorías. La suma de los árboles en las categorías de 3 a 5 años, 6 a 10 años y más de 10 años se denotó como k_t en

el tiempo t (Ver Tabla 6). Además, se utilizaron los valores a_t , b_t y c_t para representar la participación de la superficie cosechada en cada una de estas categorías, respectivamente (ver Ecuación 5).

$$x_t + y_t + z_t = k_t \quad (5)$$

Tabla 6

Participación de la superficie cosechada en una hectárea por categoría de edades a través del tiempo

t	at (3-5 años)	bt (6-10 años)	ct (+ 10 años)	kt (xt+yt+zt)
0	x0/k0	y0/k0	z0/k0	k0
1	x1/k1	y1/k1	z1/k1	k1
2	x2/k2	y2/k2	z2/k2	k2
3	x3/k3	y3/k3	z3/k3	k3
4	x4/k4	y4/k4	z4/k4	k4
5	x5/k5	y5/k5	z5/k5	k5
6	x6/k6	y6/k6	z6/k6	k6
7	x7/k7	y7/k7	z7/k7	k7
8	x8/k8	y8/k8	z8/k8	k8
9	x9/k9	y9/k9	z9/k9	k9
10	x10/k10	y10/k10	z10/k10	k10
11	x11/k11	y11/k11	z11/k11	k11
12	x12/k12	y12/k12	z12/k12	k12
13	x13/k13	y13/k13	z13/k13	k13
14	x14/k14	y14/k14	z14/k14	k14
15	x15/k15	y15/k15	z15/k15	k15
16	x16/k16	y16/k16	z16/k16	k16

Nota: Adaptado en base a Bassanezi & Bassanezi (2008)

Es así como para calcular la superficie cosechada por hectárea de cada categoría se toma como supuesto que el rendimiento por hectárea es 12 toneladas⁶. Por lo cual se dividió la producción total en el año t (P_t) entre las 12 toneladas se obtiene la superficie cosechada total en el tiempo (SPC_t). Finalmente, la superficie cosechada total (SPC_t) se multiplica con

⁶ Calculado del promedio histórico de los últimos cinco años de los datos del SIEA-MIDAGRI.

a_t , b_t y c_t para obtener superficie cosechada de cada categoría de edades en el tiempo. Donde d_t , e_t y f_t representan la superficie cosechada de las categorías de 3 a 5 años, 6 a 10 años y más de 10 años, respectivamente (ver Tabla 7).

$$SPC_t = P_t/12 \quad (6)$$

- Superficie cosechada de la categoría de 3 a 5 años (d_t)

$$d_t = SPC_t \times a_t \quad (7)$$

- Superficie cosechada de la categoría de 6 a 10 años (e_t)

$$e_t = SPC_t \times b_t \quad (8)$$

- Superficie cosechada de la categoría más de 10 años (f_t)

$$f_t = SPC_t \times c_t \quad (9)$$

Tabla 7

Producción total, superficie cosechada total y superficie cosechada por categoría de edades a través del tiempo

t	Pt (producción)	SPC_t (superficie cosechada)	dt (3-5 años)	et (6-10 años)	ft (+ 10 años)
0	P0	P0/12	(Spc0)(a0)	(Spc0)(b0)	(Spc0)(c0)
1	P1	P1/12	(Spc1)(a1)	(Spc1)(b1)	(Spc1)(c1)
2	P2	P2/12	(Spc2)(a2)	(Spc2)(b2)	(Spc2)(c2)
3	P3	P3/12	(Spc3)(a3)	(Spc3)(b3)	(Spc3)(c3)
4	P4	P4/12	(Spc4)(a4)	(Spc4)(b4)	(Spc4)(c4)
5	P5	P5/12	(Spc5)(a5)	(Spc5)(b5)	(Spc5)(c5)
6	P6	P6/12	(Spc6)(a6)	(Spc6)(b6)	(Spc6)(c6)
7	P7	P7/12	(Spc7)(a7)	(Spc7)(b7)	(Spc7)(c7)
8	P8	P8/12	(Spc8)(a8)	(Spc8)(b8)	(Spc8)(c8)
9	P9	P9/22	(Spc9)(a9)	(Spc9)(b9)	(Spc9)(c9)
10	P10	P10/12	(Spc10)(a10)	(Spc10)(b10)	(Spc10)(c10)
11	P11	P11/12	(Spc11)(a11)	(Spc11)(b11)	(Spc11)(c11)
12	P12	P12/12	(Spc12)(a12)	(Spc12)(b12)	(Spc12)(c12)
13	P13	P13/12	(Spc13)(a13)	(Spc13)(b13)	(Spc13)(c13)

14	P14	P14/12	(Spc14)(a14)	(Spc14)(b14)	(Spc14)(c14)
15	P15	P15/12	(Spc15)(a15)	(Spc15)(b15)	(Spc15)(c15)
16	P16	P16/12	(Spc16)(a16)	(Spc16)(b16)	(Spc16)(c16)

Nota: Adaptado en base a Bassanezi & Bassanezi (2008)

Para determinar los rendimientos de cada categoría a lo largo del tiempo, se utilizó la función Solver de Excel. El objetivo fue encontrar el valor de α que igualara cero. Se utilizaron las variables P_t para representar la producción total, PA_t para la producción de la categoría de 3 a 5 años, PB_t para la producción de la categoría de 6 a 10 años y PC_t para la producción de la categoría de más de 10 años. Mediante el Solver, se buscó ajustar los rendimientos de cada categoría para lograr un equilibrio donde la producción total alcanzara un valor igual a cero.

$$\alpha = \sum_{t=0}^{16} (P_t - PA_t - PB_t - PC_t) \quad (10)$$

Para el cambio de las celdas variables se toman a RA_t , RB_t y RC_t que representan los rendimientos para cada categoría a través del tiempo (Ver Tabla 8). Además, se aplicaron las siguientes restricciones para limitar los rendimientos de cada categoría. Para la categoría de 2 a 5 años, se estableció que el rendimiento (RA_t) debía ser mayor o igual a 2 toneladas y menor o igual a 4 toneladas. Para la categoría de 6 a 10 años, se estableció que el rendimiento (RB_t) debía ser mayor o igual a 8 toneladas y menor o igual a 10 toneladas. Para la categoría de más de 10 años, se estableció que el rendimiento (RC_t) debía ser mayor o igual a 15 toneladas y menor o igual a 29 toneladas. Además de estas restricciones, se impuso la condición adicional de que α debía ser igual a cero.

- $2 \leq RA_t \leq 4$
- $8 \leq RB_t \leq 10$
- $15 \leq RC_t \leq 29$
- $\alpha = 0$, solo se añade cuando sea necesario

Tabla 8

Rendimiento y producción por categoría de edades a través del tiempo

	RA _t	RB _t	RC _t	PA _t	PB _t	PC _t
t	(3-5 años)	(6-10 años)	(+ 10 años)	(3-5 años)	(6-10 años)	(+ 10 años)

0	RA0	RB0	RC0	(Spc0)(RA0)	(Spc0)(RB0)	(Spc0)(RC0)
1	RA1	RB1	RC1	(Spc1)(RA1)	(Spc1)(RB1)	(Spc1)(RC1)
2	RA2	RB2	RC2	(Spc2)(RA2)	(Spc2)(RB2)	(Spc2)(RC2)
3	RA3	RB3	RC3	(Spc3)(RA3)	(Spc3)(RB3)	(Spc3)(RC3)
4	RA4	RB4	RC4	(Spc4)(RA4)	(Spc4)(RB4)	(Spc4)(RC4)
5	RA5	RB5	RC5	(Spc5)(RA5)	(Spc5)(RB5)	(Spc5)(RC5)
6	RA6	RB6	RC6	(Spc6)(RA6)	(Spc6)(RB6)	(Spc6)(RC6)
7	RA7	RB7	RC7	(Spc7)(RA7)	(Spc7)(RB7)	(Spc7)(RC7)
8	RA8	RB8	RC8	(Spc8)(RA8)	(Spc8)(RB8)	(Spc8)(RC8)
9	RA9	RB9	RC9	(Spc9)(RA9)	(Spc9)(RB9)	(Spc9)(RC9)
10	RA10	RB10	RC10	(Spc10)(RA10)	(Spc10)(RB10)	(Spc10)(RC10)
11	RA11	RB11	RC11	(Spc11)(RA11)	(Spc11)(RB11)	(Spc11)(RC11)
12	RA12	RB12	RC12	(Spc12)(RA12)	(Spc12)(RB12)	(Spc12)(RC12)
13	RA13	RB13	RC13	(Spc13)(RA13)	(Spc13)(RB13)	(Spc13)(RC13)
14	RA14	RB14	RC14	(Spc14)(RA14)	(Spc14)(RB14)	(Spc14)(RC14)
15	RA15	RB15	RC15	(Spc15)(RA15)	(Spc15)(RB15)	(Spc15)(RC15)
16	RA16	RB16	RC16	(Spc16)(RA16)	(Spc16)(RB16)	(Spc16)(RC16)

Nota: Adaptado en base a Bassanezi & Bassanezi (2008)

Finalmente, para calcular la producción total con HLB y sin PNF, se multiplicó PA_t , PB_t y PC_t que son producción por rango de edades sin HLB por RY_t que serían los rendimientos con HLB según la categoría que corresponda. Por lo que la suma total de los resultados ($\delta t + \epsilon t + \theta t$) a través del tiempo será la producción total (P_t) con HLB y sin PNF.

- Producción con HLB y sin PNF de la categoría de 3 a 5 años (δt)

$$\delta t = PA_t \times RY_t \text{ (3 a 5 años)} \quad (11)$$

- Producción con HLB y sin PNF de la categoría de 6 a 10 años (ϵt)

$$\epsilon t = PA_t \times RY_t \text{ (6 a 10 años)} \quad (12)$$

- Producción con HLB y sin PNF de la categoría de más de 10 años (θt)

$$\theta t = PA_t \times RY_t \text{ (más de 10 años)} \quad (13)$$

- Producción total con HLB y sin PNF en el tiempo t (P_t)

$$P_t = \delta t + \varepsilon t + \theta t \quad (14)$$

3.5.2.1.4. Escenario de adopción total (con HLB y el 100 por ciento todos los productores aplican el PNF)

El escenario de adopción total se construyó siguiendo la metodología utilizada por Bassanezi Beozzo *et al.* (s. f.). En este escenario, la adopción total del Programa Nacional Fitosanitario (PNF) implicaría que todos los productores de limón adoptarían el programa. Esto implicaría la remoción anual del 2 por ciento de los árboles como medida preventiva. Como resultado, se espera que la propagación de la enfermedad sea rápidamente controlada por los productores.

Para obtener la producción tendencial sin la presencia del HLB y considerando un PNF estricto, se han considerado los siguientes supuestos⁷:

- Los árboles se renuevan cada 20 años.
- Anualmente se remueven 10 árboles y se siembran 10 plantones nuevos en una hectárea.
- En una hectárea siempre se mantendrán 300 árboles.
- Los árboles de la categoría de 0-2 años no producen frutos.
- Se elimina el 2 por ciento de árboles anualmente por hectárea.

En el escenario de adopción total, además del aspecto epidemiológico, se considera la eliminación del 2 por ciento de los árboles anualmente. Esto tiene un impacto en la superficie cosechada, lo que implica que la secuencia presentada en la Tabla 5 experimenta cambios. No obstante, las variables se mantienen constantes, lo que significa que la cantidad de árboles en cada categoría sigue siendo representada por w_0 para la categoría de 0 a 2 años, x_0 para la categoría de 3 a 5 años, y_0 para la categoría de 6 a 10 años, y z_0 para la categoría de más de 10 años. En el tiempo cero, los valores respectivos son 45, 59, 119 y 79 árboles, y se mantiene una densidad (μ) de 300 árboles por hectárea, como se muestra en la Tabla 9.

⁷ Realizado por juicio de expertos en la producción de limón y los resultados de las encuestas.

Tabla 9

Número de árboles en una hectárea por categoría de edades a través del tiempo, con una eliminación del 2 por ciento de árboles anualmente

t	Wt (0-2 años)	Xt (3-5 años)	Yt (6-10 años)	Zt (+ 10 años)
0	$w_0 - \mu(2\%) / 4 + \mu(2\%)$	$x_0 - \mu(2\%) / 4$	$y_0 - \mu(2\%) / 4$	$z_0 - \mu(2\%) / 4$
1	$w_0 + 10 - \mu(2\%) / 4 + \mu(2\%)$	$x_0 - \mu(2\%) / 4$	$y_0 - \mu(2\%) / 4$	$z_0 - 10 - \mu(2\%) / 4$
2	$w_1 + 10 - x_1 / 4 - \mu(2\%) / 4 + \mu(2\%)$	$x_1 + w_1 / 4 - \mu(2\%) / 4$	$y_1 - \mu(2\%) / 4$	$z_1 - 10 - \mu(2\%) / 4$
3	$w_2 + 10 - x_2 / 4 - \mu(2\%) / 4 + \mu(2\%)$	$x_2 + w_2 / 4 - x_2 / 4 - \mu(2\%) / 4$	$y_2 + x_2 / 4 - \mu(2\%) / 4$	$z_2 - 10 - \mu(2\%) / 4$
4	$w_3 + 10 - x_3 / 4 - \mu(2\%) / 4 + \mu(2\%)$	$x_3 + w_3 / 4 - x_3 / 4 - \mu(2\%) / 4$	$y_3 + x_3 / 4 - y_3 / 4 - \mu(2\%) / 4$	$z_3 - 10 + y_3 / 4 - \mu(2\%) / 4$
5	$w_4 + 10 - x_4 / 4 - \mu(2\%) / 4 + \mu(2\%)$	$x_4 + w_4 / 4 - x_4 / 4 - \mu(2\%) / 4$	$y_4 + x_4 / 4 - y_4 / 4 - \mu(2\%) / 4$	$z_4 - 10 + y_4 / 4 - \mu(2\%) / 4$
6	$w_5 + 10 - x_5 / 4 - \mu(2\%) / 4 + \mu(2\%)$	$x_5 + w_5 / 4 - x_5 / 4 - \mu(2\%) / 4$	$y_5 + x_5 / 4 - y_5 / 4 - \mu(2\%) / 4$	$z_5 - 10 + y_5 / 4 - \mu(2\%) / 4$
7	$w_6 + 10 - x_6 / 4 - \mu(2\%) / 4 + \mu(2\%)$	$x_6 + w_6 / 4 - x_6 / 4 - \mu(2\%) / 4$	$y_6 + x_6 / 4 - y_6 / 4 - \mu(2\%) / 4$	$z_6 - 10 + y_6 / 4 - \mu(2\%) / 4$
8	$w_7 + 10 - x_7 / 4 - \mu(2\%) / 4 + \mu(2\%)$	$x_7 + w_7 / 4 - x_7 / 4 - \mu(2\%) / 4$	$y_7 + x_7 / 4 - y_7 / 4 - \mu(2\%) / 4$	$z_7 - 10 + y_7 / 4 - \mu(2\%) / 4$
9	$w_8 + 10 - x_8 / 4 - \mu(2\%) / 4 + \mu(2\%)$	$x_8 + w_8 / 4 - x_8 / 4 - \mu(2\%) / 4$	$y_8 + x_8 / 4 - y_8 / 4 - \mu(2\%) / 4$	$z_8 - 10 + y_8 / 4 - \mu(2\%) / 4$
10	$w_9 + 10 - x_9 / 4 - \mu(2\%) / 4 + \mu(2\%)$	$x_9 + w_9 / 4 - x_9 / 4 - \mu(2\%) / 4$	$y_9 + x_9 / 4 - y_9 / 4 - \mu(2\%) / 4$	$z_9 - 10 + y_9 / 4 - \mu(2\%) / 4$
11	$w_{10} + 10 - x_{10} / 4 - \mu(2\%) / 4 + \mu(2\%)$	$x_{10} + w_{10} / 4 - x_{10} / 4 - \mu(2\%) / 4$	$y_{10} + x_{10} / 4 - y_{10} / 4 - \mu(2\%) / 4$	$z_{10} - 10 + y_{10} / 4 - \mu(2\%) / 4$
12	$w_{11} + 10 - x_{11} / 4 - \mu(2\%) / 4 + \mu(2\%)$	$x_{11} + w_{11} / 4 - x_{11} / 4 - \mu(2\%) / 4$	$y_{11} + x_{11} / 4 - y_{11} / 4 - \mu(2\%) / 4$	$z_{11} - 10 + y_{11} / 4 - \mu(2\%) / 4$
13	$w_{12} + 10 - x_{12} / 4 - \mu(2\%) / 4 + \mu(2\%)$	$x_{12} + w_{12} / 4 - x_{12} / 4 - \mu(2\%) / 4$	$y_{12} + x_{12} / 4 - y_{12} / 4 - \mu(2\%) / 4$	$z_{12} - 10 + y_{12} / 4 - \mu(2\%) / 4$
14	$w_{13} + 10 - x_{13} / 4 + z_{13} / 4 - \mu(2\%) / 4 + \mu(2\%)$	$x_{13} + w_{13} / 4 - x_{13} / 4 - \mu(2\%) / 4$	$y_{13} + x_{13} / 4 - y_{13} / 4 - \mu(2\%) / 4$	$z_{13} - 10 + y_{13} / 4 - \mu(2\%) / 4$
15	$w_{14} + 10 - x_{14} / 4 + z_{14} / 4 - \mu(2\%) / 4 + \mu(2\%)$	$x_{14} + w_{14} / 4 - x_{14} / 4 - \mu(2\%) / 4$	$y_{14} + x_{14} / 4 - y_{14} / 4 - \mu(2\%) / 4$	$z_{14} - 10 + y_{14} / 4 - \mu(2\%) / 4$
16	$w_{15} + 10 - x_{15} / 4 + z_{15} / 4 - \mu(2\%) / 4 + \mu(2\%)$	$x_{15} + w_{15} / 4 - x_{15} / 4 - \mu(2\%) / 4$	$y_{15} + x_{15} / 4 - y_{15} / 4 - \mu(2\%) / 4$	$z_{15} - 10 + y_{15} / 4 - \mu(2\%) / 4$

Nota: Adaptado en base a Bassanezi & Bassanezi (2008)

Una vez determinado el número de árboles en cada categoría a lo largo del tiempo, se procedió a realizar el cálculo correspondiente al escenario epidemiológico. Esto incluyó el cálculo de la participación de la superficie cosechada por cada categoría de edad, como se muestra líneas arriba en la ecuación 5 y la Tabla 6. Con este cálculo, se obtuvieron las nuevas áreas cosechadas para cada categoría de edad (PA_t , PB_t y PC_t) en el escenario de adopción total.

Posteriormente, estas nuevas áreas cosechadas por categoría se multiplicaron por los rendimientos obtenidos en la Tabla 8. De esta manera, se obtuvieron las nuevas producciones por categoría en el escenario de adopción total. La suma de estas tres categorías representará la producción total a lo largo del tiempo en el escenario de adopción total.

- Producción sin HLB y con PNF estricto de la categoría de 3 a 5 años (δt)

$$\delta t = PA_t \times RA_t \quad (15)$$

- Producción sin HLB y con PNF estricto de la categoría de 6 a 10 años (ϵt)

$$\epsilon t = PB_t \times RB_t \quad (16)$$

- Producción sin HLB y con PNF estricto de la categoría de más de 10 años (θt)

$$\theta t = PC_t \times RC_t \quad (17)$$

- Producción sin HLB y con PNF estricto en el tiempo t (Pt)

$$Pt = \delta t + \epsilon t + \theta t \quad (18)$$

3.5.2.1.5. Escenarios de adopción parcial (con HLB y solo un porcentaje de productores adoptan el PNF)

Se empleó la metodología propuesta por Bassanezi Beozzo *et al.* (s. f.) para la construcción de los escenarios de adopción parcial del PNF en el estudio. En estos escenarios, no todos los productores de limón adoptan el programa, lo que implica que únicamente aquellos que lo adoptan llevan a cabo la remoción del 3 por ciento de los árboles anualmente como medida preventiva. Dado que la adopción del PNF no es total, se generan diferentes sub-escenarios que corresponden a porcentajes de productores que adoptan el programa, incluyendo el 25 por ciento, 30 por ciento, 40 por ciento, 50 por ciento y 75 por ciento.

En cada uno de estos sub-escenarios, la proporción restante de productores (es decir, el 75 por ciento, 70 por ciento, 60 por ciento, 50 por ciento y 25 por ciento respectivamente) no realiza ningún tipo de control, lo que resulta en una propagación parcial de la enfermedad. Es importante destacar que estos porcentajes representan la proporción de productores que adoptan el PNF en cada sub-escenario, mientras que los productores restantes no implementan ninguna medida de control.

Se procedió a dividir la superficie cosechada en el escenario de adopción parcial en dos grupos: aquellos productores que adoptan el PNF y aquellos que no lo adoptan. Para determinar la producción de los productores que adoptan el programa, se utilizó la metodología previamente descrita para el escenario de adopción total, con la diferencia de que se removió el 3 por ciento de los árboles anualmente.

Por otro lado, para calcular la producción de los productores que no adoptan el programa, se aplicó la metodología del escenario epidemiológico. De esta manera, se obtuvo la producción correspondiente a los no adoptantes del PNF.

Finalmente, para obtener la producción total de cada sub-escenario de adopción parcial, se sumó la producción de los productores que adoptan el PNF y la producción de los productores que no adoptan el programa. Ya que solo un porcentaje de los productores adoptará el PNF, la superficie cosechada se dividió en el porcentaje de los adoptantes del PNF y los no adoptantes. Para hallar la producción de los productores que adoptan el programa se realizó la metodología vista para el escenario de adopción total, con la diferencia que se remueve el 3 por ciento de árboles anualmente. Y para el cálculo de los no adoptantes del programa se realizó la metodología del escenario epidemiológico. Por ende, para hallar la producción total de los sub-escenarios se sumaron la producción de los adoptantes y no adoptantes del PNF.

a. Producción de limón de los productores que adoptan el PNF en sub-escenarios (25 por ciento, 30 por ciento, 40 por ciento, 50 por ciento y 75 por ciento).

Para obtener la producción tendencial de los productores adoptantes del PNF del escenario parcial se tienen los siguientes supuestos⁸:

- Los árboles se renuevan cada 20 años.

⁸ Realizado por juicio de expertos de la zona en la producción de limón y resultados de las encuestas.

- Anualmente se remueven 10 árboles y se siembran 10 plántones nuevos en una hectárea.
- En una hectárea siempre se mantendrán 300 árboles.
- Los árboles de la categoría de 0-2 años no producen frutos.
- Se elimina el 3 por ciento de árboles anualmente por hectárea solo de los productores que adoptan el PNF.

La evaluación de la superficie cosechada a lo largo del tiempo se realizó considerando la eliminación anual del 3 por ciento de los árboles. Debido a esta remoción, la tabla que muestra el número de árboles varía en cada período. Se tuvieron en cuenta los cambios en la cantidad de árboles de cada categoría, los cuales se representan por los valores de w_0 para la categoría de 0 a 2 años, x_0 para la categoría de 3 a 5 años, y_0 para la categoría de 6 a 10 años, y z_0 para la categoría de más de 10 años. En el momento inicial (tiempo cero), estos valores corresponden a 47, 58, 118 y 78 árboles respectivamente. Además, se estableció que la densidad de árboles por hectárea (μ) se mantiene constante en 300 árboles, como se muestra en la Tabla 10.

Tabla 10

Número de árboles en una hectárea por categoría de edades a través del tiempo, con una eliminación del 3 por ciento de árboles anualmente

t	Wt (0-2 años)	Xt (3-5 años)	Yt (6-10 años)	Zt (+ 10 años)
0	$w_0 - \mu(3\%) / 4 + \mu(3\%)$	$x_0 - \mu(3\%) / 4$	$y_0 - \mu(3\%) / 4$	$z_0 - \mu(3\%) / 4$
1	$w_0 + 10 - \mu(3\%) / 4 + \mu(3\%)$	$x_0 - \mu(3\%) / 4$	$y_0 - \mu(3\%) / 4$	$z_0 - 10 - \mu(3\%) / 4$
2	$w_1 + 10 - x_1 / 4 - \mu(3\%) / 4 + \mu(3\%)$	$x_1 + w_1 / 4 - \mu(3\%) / 4$	$y_1 - \mu(3\%) / 4$	$z_1 - 10 - \mu(3\%) / 4$
3	$w_2 + 10 - x_2 / 4 - \mu(3\%) / 4 + \mu(3\%)$	$x_2 + w_2 / 4 - x_2 / 4 - \mu(3\%) / 4$	$y_2 + x_2 / 4 - \mu(3\%) / 4$	$z_2 - 10 - \mu(3\%) / 4$
4	$w_3 + 10 - x_3 / 4 - \mu(3\%) / 4 + \mu(3\%)$	$x_3 + w_3 / 4 - x_3 / 4 - \mu(3\%) / 4$	$y_3 + x_3 / 4 - y_3 / 4 - \mu(3\%) / 4$	$z_3 - 10 + y_3 / 4 - \mu(3\%) / 4$
5	$w_4 + 10 - x_4 / 4 - \mu(3\%) / 4 + \mu(3\%)$	$x_4 + w_4 / 4 - x_4 / 4 - \mu(3\%) / 4$	$y_4 + x_4 / 4 - y_4 / 4 - \mu(3\%) / 4$	$z_4 - 10 + y_4 / 4 - \mu(3\%) / 4$
6	$w_5 + 10 - x_5 / 4 - \mu(3\%) / 4 + \mu(3\%)$	$x_5 + w_5 / 4 - x_5 / 4 - \mu(3\%) / 4$	$y_5 + x_5 / 4 - y_5 / 4 - \mu(3\%) / 4$	$z_5 - 10 + y_5 / 4 - \mu(3\%) / 4$
7	$w_6 + 10 - x_6 / 4 - \mu(3\%) / 4 + \mu(3\%)$	$x_6 + w_6 / 4 - x_6 / 4 - \mu(3\%) / 4$	$y_6 + x_6 / 4 - y_6 / 4 - \mu(3\%) / 4$	$z_6 - 10 + y_6 / 4 - \mu(3\%) / 4$
8	$w_7 + 10 - x_7 / 4 - \mu(3\%) / 4 + \mu(3\%)$	$x_7 + w_7 / 4 - x_7 / 4 - \mu(3\%) / 4$	$y_7 + x_7 / 4 - y_7 / 4 - \mu(3\%) / 4$	$z_7 - 10 + y_7 / 4 - \mu(3\%) / 4$
9	$w_8 + 10 - x_8 / 4 - \mu(3\%) / 4 + \mu(3\%)$	$x_8 + w_8 / 4 - x_8 / 4 - \mu(3\%) / 4$	$y_8 + x_8 / 4 - y_8 / 4 - \mu(3\%) / 4$	$z_8 - 10 + y_8 / 4 - \mu(3\%) / 4$
10	$w_9 + 10 - x_9 / 4 - \mu(3\%) / 4 + \mu(3\%)$	$x_9 + w_9 / 4 - x_9 / 4 - \mu(3\%) / 4$	$y_9 + x_9 / 4 - y_9 / 4 - \mu(3\%) / 4$	$z_9 - 10 + y_9 / 4 - \mu(3\%) / 4$
11	$w_{10} + 10 - x_{10} / 4 - \mu(3\%) / 4 + \mu(3\%)$	$x_{10} + w_{10} / 4 - x_{10} / 4 - \mu(3\%) / 4$	$y_{10} + x_{10} / 4 - y_{10} / 4 - \mu(3\%) / 4$	$z_{10} - 10 + y_{10} / 4 - \mu(3\%) / 4$
12	$w_{11} + 10 - x_{11} / 4 - \mu(3\%) / 4 + \mu(3\%)$	$x_{11} + w_{11} / 4 - x_{11} / 4 - \mu(3\%) / 4$	$y_{11} + x_{11} / 4 - y_{11} / 4 - \mu(3\%) / 4$	$z_{11} - 10 + y_{11} / 4 - \mu(3\%) / 4$
13	$w_{12} + 10 - x_{12} / 4 - \mu(3\%) / 4 + \mu(3\%)$	$x_{12} + w_{12} / 4 - x_{12} / 4 - \mu(3\%) / 4$	$y_{12} + x_{12} / 4 - y_{12} / 4 - \mu(3\%) / 4$	$z_{12} - 10 + y_{12} / 4 - \mu(3\%) / 4$
14	$w_{13} + 10 - x_{13} / 4 + z_{13} / 4 - \mu(3\%) / 4 + \mu(3\%)$	$x_{13} + w_{13} / 4 - x_{13} / 4 - \mu(3\%) / 4$	$y_{13} + x_{13} / 4 - y_{13} / 4 - \mu(3\%) / 4$	$z_{13} - 10 + y_{13} / 4 - \mu(3\%) / 4$
15	$w_{14} + 10 - x_{14} / 4 + z_{14} / 4 - \mu(3\%) / 4 + \mu(3\%)$	$x_{14} + w_{14} / 4 - x_{14} / 4 - \mu(3\%) / 4$	$y_{14} + x_{14} / 4 - y_{14} / 4 - \mu(3\%) / 4$	$z_{14} - 10 + y_{14} / 4 - \mu(3\%) / 4$
16	$w_{15} + 10 - x_{15} / 4 + z_{15} / 4 - \mu(3\%) / 4 + \mu(3\%)$	$x_{15} + w_{15} / 4 - x_{15} / 4 - \mu(3\%) / 4$	$y_{15} + x_{15} / 4 - y_{15} / 4 - \mu(3\%) / 4$	$z_{15} - 10 + y_{15} / 4 - \mu(3\%) / 4$

Nota: Adaptado en base a Bassanezi & Bassanezi (2008)

Posteriormente, se procedió a seguir el mismo procedimiento utilizado en el escenario de adopción total hasta llegar a la ecuación 18. De esta manera, se obtuvo la producción de los productores que adoptan el PNF parcial, considerando la remoción anual del 3 por ciento de los árboles.

b. Producción de limón de los productores que no adoptan el PNF en sub-escenarios (75 por ciento, 70 por ciento, 60 por ciento, 50 por ciento y 25 por ciento).

En el escenario de adopción parcial del PNF, no todos los productores implementan el programa en su totalidad, lo que se refleja en la superficie cosechada que no se beneficia del programa. Por lo tanto, se aplicó la misma metodología utilizada en el escenario epidemiológico, donde la enfermedad se propaga sin control, para calcular la producción de los productores que no adoptan el PNF parcial.

Finalmente, la suma de la producción de los productores que adoptan el PNF en los sub-escenarios (25 por ciento, 30 por ciento, 40 por ciento, 50 por ciento y 75 por ciento) junto con la producción de los productores que no adoptan el PNF en los sub-escenarios (75 por ciento, 70 por ciento, 60 por ciento, 50 por ciento y 25 por ciento) resultará en la producción total de los sub-escenarios. Los resultados detallados se encuentran en los anexos, en las tablas correspondientes a la construcción de los escenarios.

3.5.2.2. Análisis Beneficio – Costo

Se procedió a calcular los costos y beneficios asociados a cada escenario propuesto, expresados en términos monetarios. Para este cálculo, se utilizó la fórmula establecida por Miranda *et al.* (2012).

$$\frac{B}{C} = \frac{\sum_{j=0}^n R_j / (1+i)^j}{\sum_{j=0}^n C_j / (1+i)^j}$$

Dónde:

Para el escenario epidemiológico:

- R_j : Beneficios sin adoptar el PNF en el año j .

- Cj: Costos sin implementación del PNF el año j.

Para escenarios con PNF:

- Rj: Beneficios de adoptar el PNF el año j.
- Cj: Costos de implementación del PNF el año j.

Se realizó una estimación de las pérdidas de producción causadas por la aparición del HLB en cada uno de los escenarios planteados, así como las ganancias no realizadas utilizando el método de Análisis de Beneficio/Costo (ABC). A partir de la cadena productiva directa del limón y las simulaciones de producción para el periodo 2024-2040, se evaluaron los impactos del HLB en términos de jornales y ganancias no obtenidas. Comparando las diferencias de producción entre el escenario tendencial y los escenarios con HLB, se pudieron determinar los niveles de afectación y calcular las pérdidas económicas asociadas.

IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se exponen los resultados derivados de las encuestas aplicadas, junto con las estimaciones de producción de limón en la región de Piura, las cuales se fundamentan en la metodología que hemos propuesto. Adicionalmente, se proporcionan los cálculos del Análisis de Beneficio/Costo (ABC) correspondientes a cada uno de los escenarios planteados. Por último, se realizará un análisis exhaustivo de los resultados obtenidos.

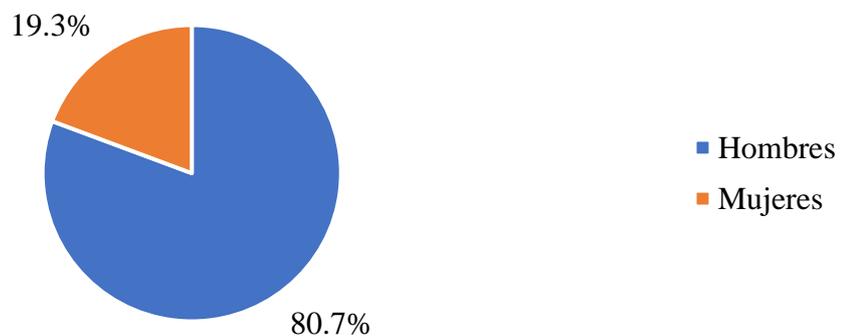
4.1. Resultados de las encuestas

4.1.1. Caracterización del productor

En lo que respecta a las características de los hogares de los productores de limón en la región de Piura, se encontró que el 19.3 por ciento correspondía a mujeres, mientras que el 80.7 por ciento eran hombres (Ver Figura 3). La edad promedio de esta población fue de 54.8 años.

Figura 3

Distribución del productor de limón por género



Nota: Elaborado con información de las encuestas aplicadas a productores de limón en la región de Piura en 2022.

Además, es importante destacar que el 79.8 por ciento de los encuestados se autodenominó como el jefe de hogar⁹, y un 78.2 por ciento de ellos indicó ser padre en el contexto familiar, como se ilustra con más detalle en la Tabla 11.

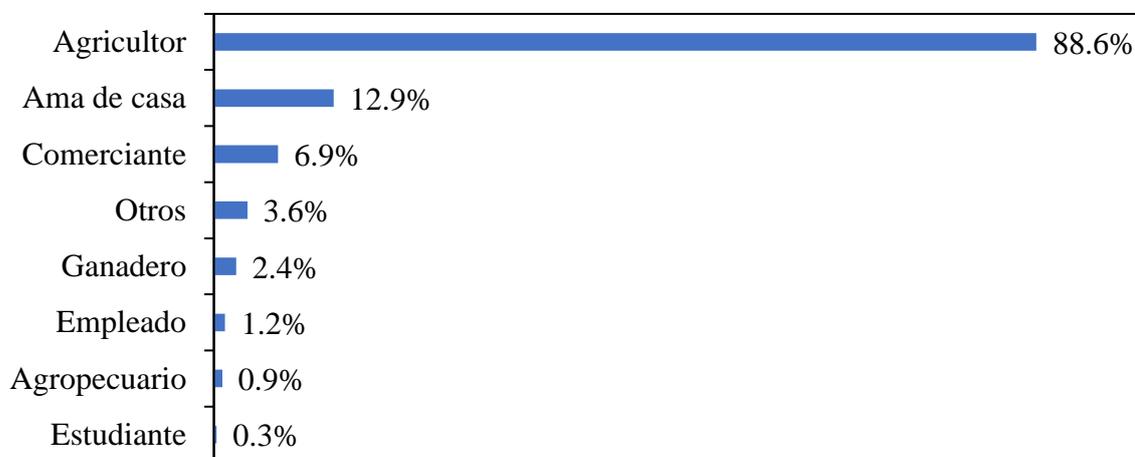
⁹ Según el INEI, el jefe de hogar es la persona que ostenta la máxima autoridad en la unidad familiar, además de ser quien realiza la mayor contribución económica y, en cierta medida, toma decisiones de carácter financiero en el seno familiar.

Tabla 11*Características del hogar del productor de limón*

Miembro del hogar		Parentesco con el jefe del hogar	
Padre	78.2 por ciento	Soy jefe de hogar	79.8 por ciento
Madre	18.8 por ciento	Esposa	14.8 por ciento
Hijo	3.0 por ciento	Hijo(a)	3.6 por ciento
		Esposo	1.5 por ciento
		Otros	0.3 por ciento

Nota: Elaborado con información de las encuestas aplicadas a productores de limón en la región de Piura en 2022.

En lo que respecta a su ocupación principal, el 88.6 por ciento de la población declaró que se dedica exclusivamente a la agricultura, mientras que se observa una proporción considerable de amas de casa y comerciantes. Por otro lado, las ocupaciones como estudiante, empleado, ganadero y otras presentan una menor prevalencia en esta muestra (Ver Figura 4).

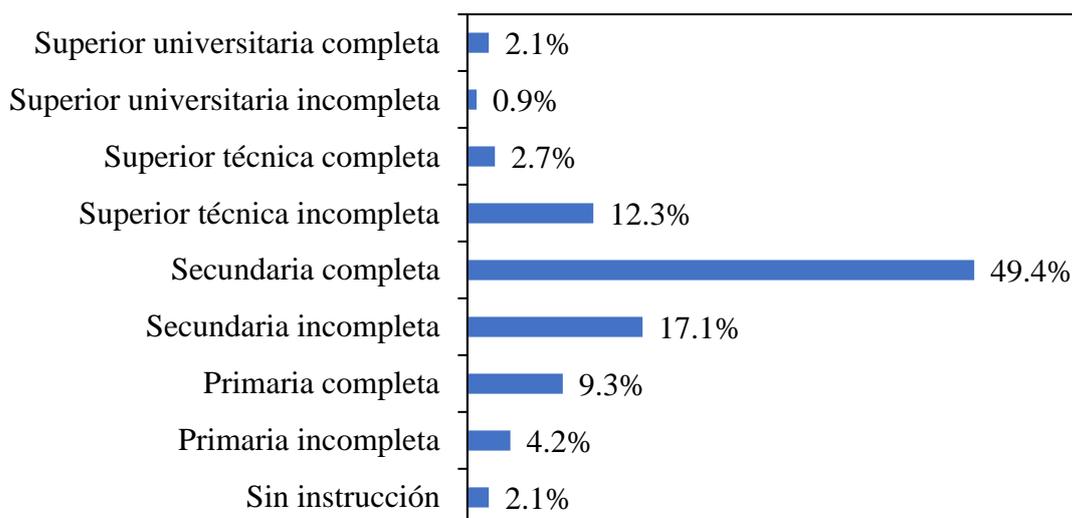
Figura 4*Ocupación principal del productor de limón*

Nota: Elaborado con información de las encuestas aplicadas a productores de limón en la región de Piura en 2022.

En cuanto a la formación educativa de los productores, se destaca que la mayoría ha completado la educación secundaria, lo cual corresponde al 49.4 por ciento de los encuestados. En segundo lugar, se encuentra la categoría de educación secundaria incompleta, que representa un 17.1 por ciento, seguida por aquellos con educación técnica incompleta, totalizando un 12.3 por ciento. Es importante señalar que un 2.1 por ciento de los participantes ha finalizado estudios universitarios, como se muestra en la Figura 5.

Figura 5

Estructura del nivel educativo del productor de limón

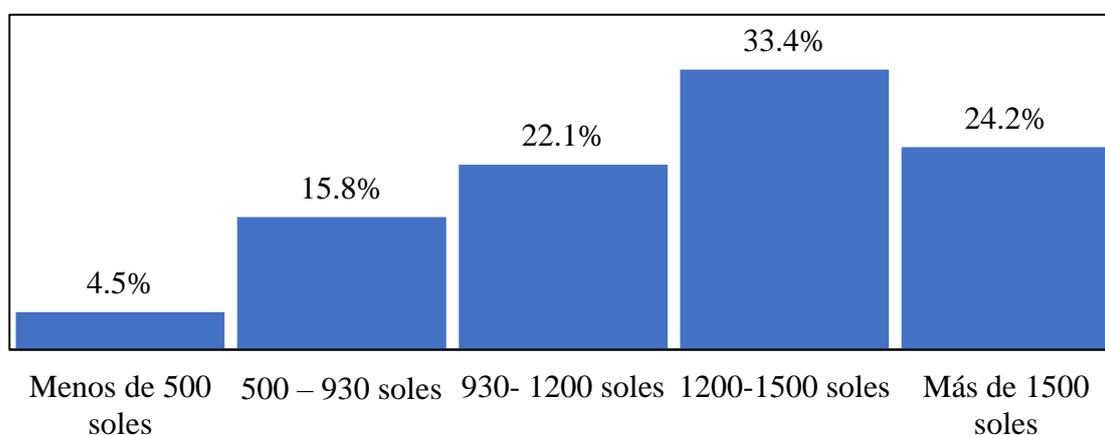


Nota: Elaborado con información de las encuestas aplicadas a productores de limón en la región de Piura en 2022.

En relación al ingreso mensual de los productores, un 33.4 por ciento, reporta ingresos mensuales de 1,200 a 1,500 soles, lo que sugiere que una parte importante de la población se encuentra en la categoría de ingresos medios. Asimismo, el 24.2 por ciento de los productores disfruta de ingresos mensuales superiores a 1,500 soles, lo que indica que un cuarto de la población encuestada tiene ingresos más altos. Estos datos reflejan una diversidad en los niveles de ingresos mensuales entre los productores de limón, con un grupo considerable ubicado en la categoría de ingresos medios (Ver Figura 6).

Figura 6

Estructura del nivel de ingreso mensual del productor de limón

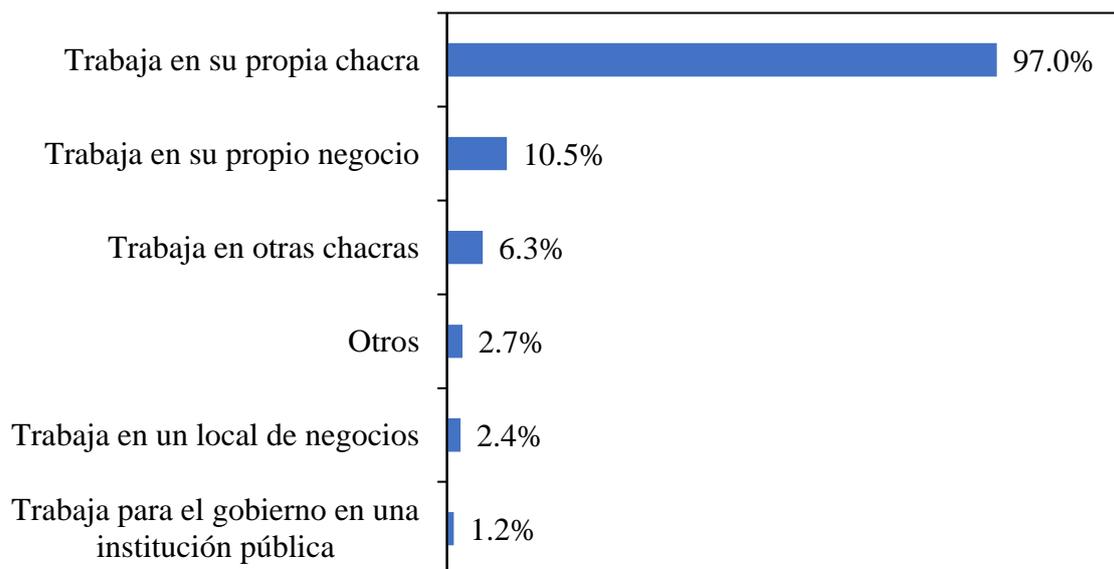


Nota: Elaborado con información de las encuestas aplicadas a productores de limón en la región de Piura en 2022.

Por último, el 97 por ciento de los encuestados indicó que se dedica exclusivamente a trabajar en su propia chacra, mientras que un 10.5 por ciento está involucrado en la gestión de su propio negocio. Además, un 6.3 por ciento desempeña labores en otras chacras, y un 2.4 por ciento trabaja en locales comerciales. De manera similar, un 1.2 por ciento de los encuestados presta sus servicios al gobierno en instituciones públicas (Ver Figura 7).

Figura 7

Fuente de ingreso del productor de limón



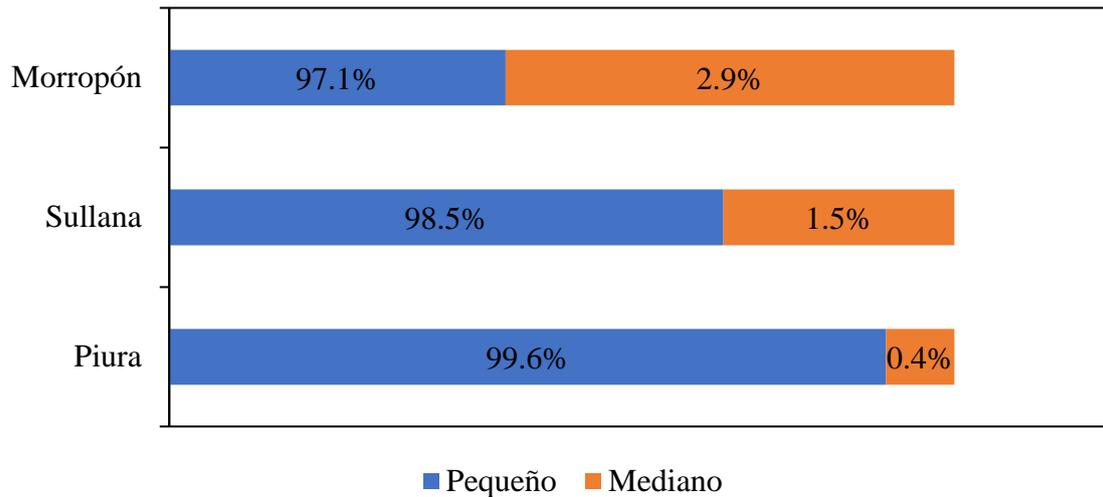
Nota: Elaborado con información de las encuestas aplicadas a productores de limón en la región de Piura en 2022.

4.1.2. Características agrarias

Según los datos recopilados en la encuesta, se puede apreciar que los productores de limón en la provincia de Piura tienen una media de 3.96 hectáreas en su unidad agraria principal. En la provincia de Sullana, esta cifra promedio es de 3.69 hectáreas, mientras que en la provincia de Morropón asciende a 4.09 hectáreas en su unidad agraria principal. Además, como se evidencia en el Figura 8, se puede notar que, en promedio, el 98.4 por ciento de los productores en las provincias de Piura, Sullana y Morropón son considerados pequeños productores.

Figura 8

Clasificación de productores de limón a nivel provincial

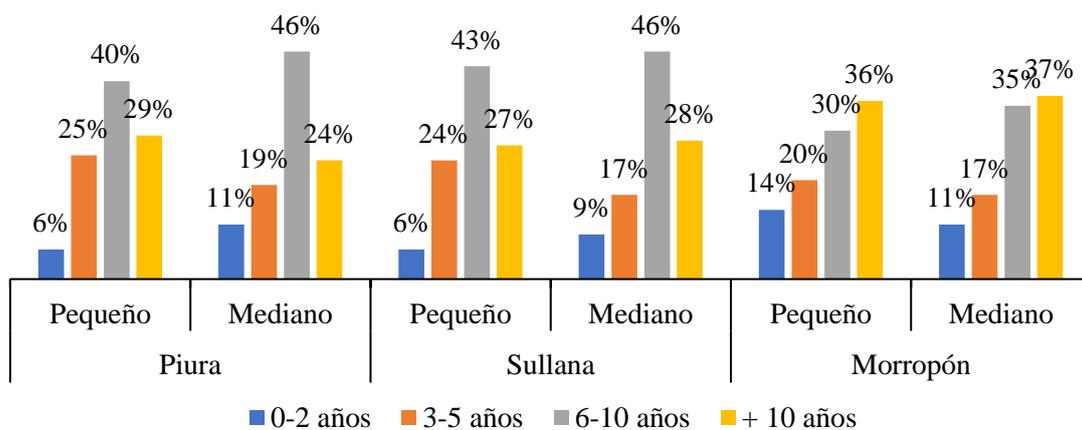


Nota: Elaborado con información de las encuestas aplicadas a productores de limón en la región de Piura en 2022.

En relación a la densidad de árboles de limón, se destaca que, en promedio, los productores en las provincias de Piura, Sullana y Morropón poseen aproximadamente 300 árboles por hectárea. Sin embargo, existen variaciones significativas entre estas regiones. En la provincia de Piura, el promedio se eleva a 373 árboles por hectárea, indicando una densidad considerablemente mayor en comparación con Sullana (288 árboles por hectárea) y Morropón (240 árboles por hectárea). Estos datos revelan diferencias importantes en la densidad de cultivo de limón entre las provincias, lo que puede influir en los rendimientos debido a las prácticas de cultivo de los productores en cada lugar (Ver Figura 9).

Figura 9

Porcentaje de árboles de limón por edades por hectárea a nivel productor



Nota: Elaborado con información de las encuestas aplicadas a productores de limón en la región de Piura en 2022.

En la provincia de Piura, tanto los productores pequeños como medianos tienden a no destinar su producción al autoconsumo ni al almacenamiento para ventas futuras, optando mayoritariamente por la venta directa a acopiadores, que constituye el 98 por ciento de la actividad para los productores pequeños. En Sullana, los productores pequeños y medianos tienden a destinar un porcentaje al autoconsumo, con un 4 por ciento y 5 por ciento respectivamente, mientras que gran parte de su producción al almacenamiento para futuras ventas (5 por ciento y 10 por ciento). La venta directa en ferias es una opción significativa para los productores pequeños en esta provincia, representando el 26 por ciento. En Morropón, se destaca que los productores medianos no destinan parte de su producción al autoconsumo ni al almacenamiento y se dedican completamente a la venta directa a acopiadores (Ver Tabla 12).

Tabla 12

Porcentaje del destino de la producción según la caracterización del productor por provincia

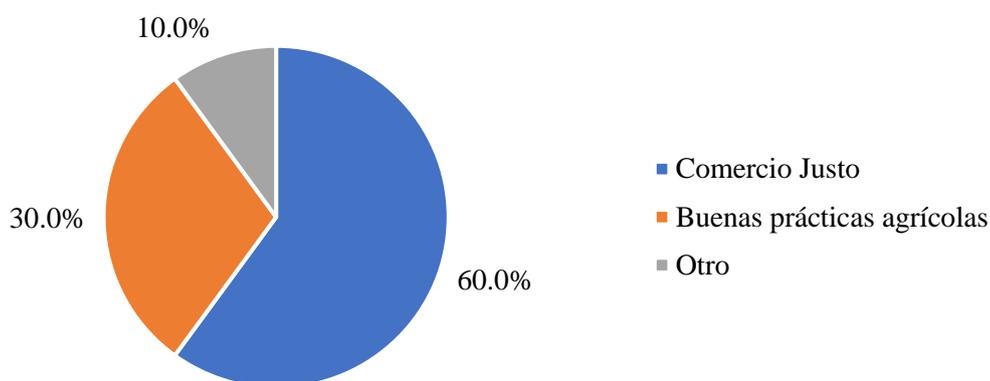
Provincia	Productor	Autoconsumo (Porcentaje)	Almacenamiento para venta futura (Porcentaje)	Acopiador (Porcentaje)	Venta directa en ferias (Porcentaje)
Piura	Pequeño	1	0	98	1
	Mediano	2	0	98	0
Sullana	Pequeño	4	5	65	26
	Mediano	5	10	70	15
Morropón	Pequeño	1	1	98	0
	Mediano	0	0	100	0

Nota: Elaborado con información de las encuestas aplicadas a productores de limón en la región de Piura en 2022.

En cuanto a las certificaciones, únicamente el 3.0 por ciento de los encuestados confirmó tener alguna certificación, destacando que el 60.0 por ciento de estos productores posee la certificación de Comercio Justo, mientras que el 30.0 por ciento cuenta con la certificación de Buenas Prácticas Agrícolas (Ver Figura 10). Estos resultados subrayan la presencia limitada de certificaciones entre los productores encuestados, siendo el Comercio Justo y las Buenas Prácticas Agrícolas las más comunes en este grupo.

Figura 10

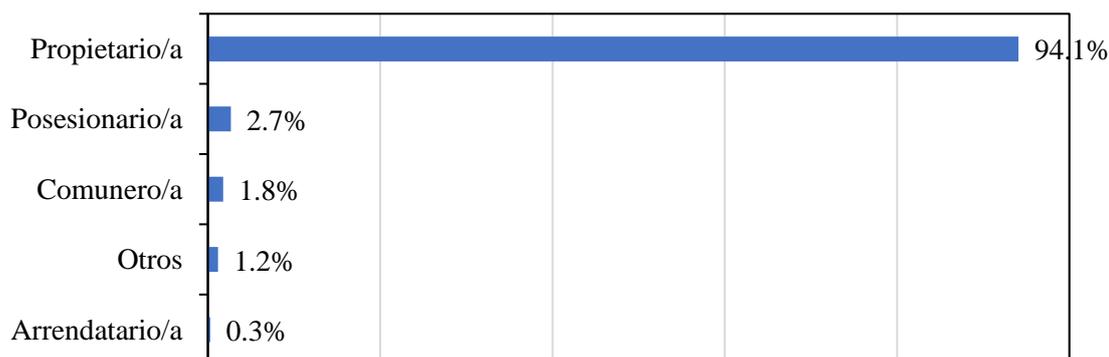
Porcentaje de productores de limón que poseen algún tipo de certificación



Nota: Elaborado con información de las encuestas aplicadas a productores de limón en la región de Piura en 2022.

En relación con las características de las unidades agropecuarias, se observa que el 94.1 por ciento de los productores son propietarios de la unidad agraria que administran, lo que refleja una gran mayoría de propietarios. Además, el 2.7 por ciento de los productores son posesionarios y el 1.8 por ciento son comuneros, lo que demuestra una presencia minoritaria de otros tipos de tenencia de la tierra en este grupo (consultar Figura 11). Estos datos resaltan la predominancia de la propiedad privada entre los productores encuestados.

Figura 11
Porcentaje de productores de limón según unidad agropecuaria



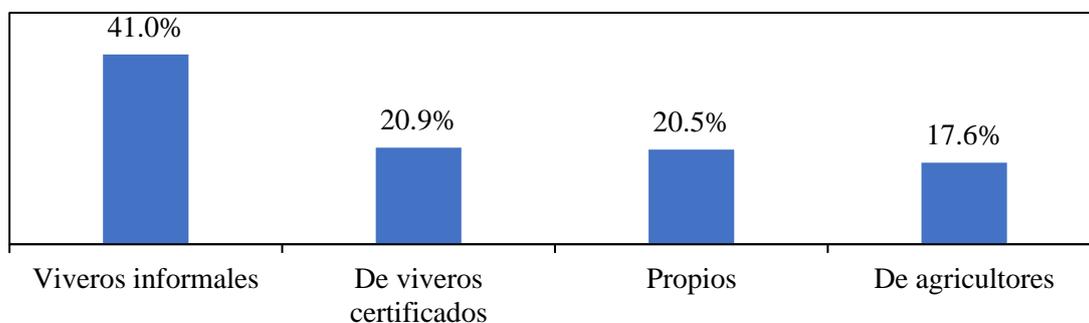
Nota: Elaborado con información de las encuestas aplicadas a productores de limón en la región de Piura en 2022.

En lo que respecta al tipo de plántones utilizados, es notable que el 98 por ciento de los productores cuenta con plántones del tipo "Sutil" en toda su unidad. En cuanto a la adquisición de estos, se observa que el 41.0 por ciento de los productores las obtiene a través de viveros informales, el 20.9 por ciento las adquiere en viveros certificados, y el 20.5 por

ciento utiliza sus propios plántulas para su producción (ver Figura 12). Estos datos destacan la alta prevalencia del uso de plántulas "Sutil" y las diversas fuentes de obtención de estas plántulas por parte de los productores.

Figura 12

Porcentaje de productores según adquisición de plántulas

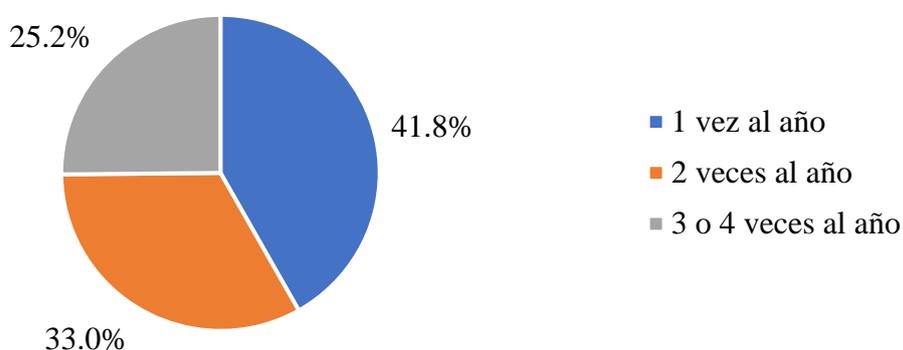


Nota: Elaborado con información de las encuestas aplicadas a productores de limón en la región de Piura en 2022.

En lo que respecta a la práctica de la poda, se ha constatado que un alto porcentaje, el 97.3 por ciento de los agricultores, lleva a cabo este proceso en sus cultivos. De estos agricultores que realizan podas, el 41.8 por ciento lo hace una vez al año, el 33.0 por ciento opta por realizarlo dos veces al año, y un 25.2 por ciento lo lleva a cabo entre tres y cuatro veces al año (ver Figura 13). Estos resultados ponen de manifiesto la amplia adopción de la poda como parte de las prácticas agrícolas, así como la variabilidad en la frecuencia con la que se realiza este importante procedimiento.

Figura 13

Porcentaje de productores de limón según la frecuencia de poda en el año

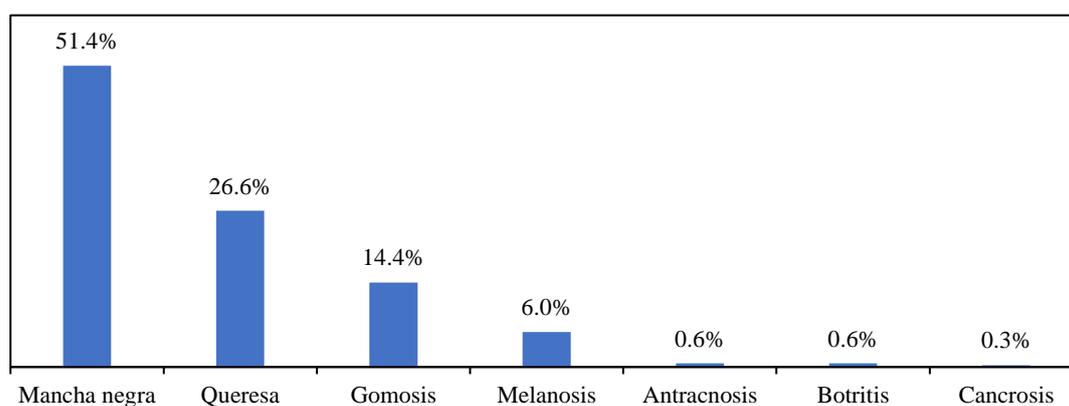


Nota: Elaborado con información de las encuestas aplicadas a productores de limón en la región de Piura en 2022.

En lo que respecta a las plagas y enfermedades que afectan a los cultivos de cítricos, se identifican varias afecciones. Entre las principales enfermedades, la Mancha Negra encabeza la lista con un 51.4 por ciento de incidencia, seguida de la Queresa con un 26.6 por ciento. Además, la Gomosis representa el 14.4 por ciento de las enfermedades identificadas, mientras que la Melanosis afecta al 6.0 por ciento de las plantaciones. Por otro lado, se han registrado enfermedades menos comunes como la Botritis, con un 0.6 por ciento, y la Cancrosis, con un 0.3 por ciento de incidencia (ver Figura 14). Estos datos proporcionan una visión detallada de las enfermedades más prevalentes en los cultivos de limón, lo que puede ser de utilidad para implementar estrategias de control y manejo de plagas y enfermedades en estas plantaciones.

Figura 14

Porcentaje de principales enfermedades que afectan a las plantaciones de limón

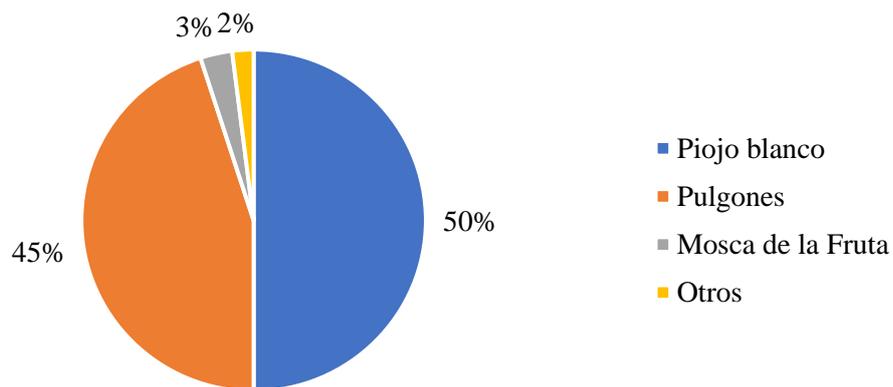


Nota: Elaborado con información de las encuestas aplicadas a productores de limón en la región de Piura en 2022.

Además, entre las plagas principales que afectan a las plantaciones de limón se encuentran el pulgón blanco y los pulgones de los cítricos, los cuales en conjunto representan un 95 por ciento del total. Las demás enfermedades no tienen una presencia significativa (ver Figura 15).

Figura 15

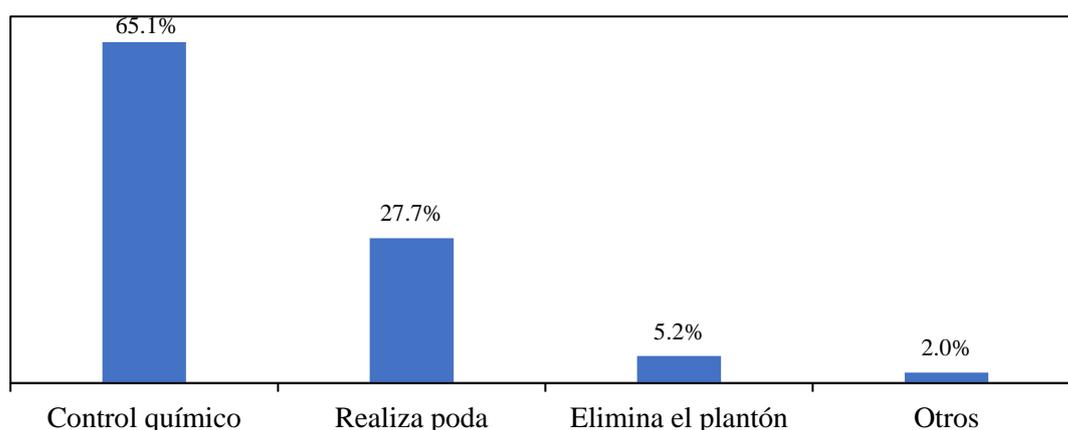
Porcentaje de principales plagas que afectan a las plantaciones de limón



Nota: Elaborado con información de las encuestas aplicadas a productores de limón en la región de Piura en 2022.

Para contrarrestar estas enfermedades, los productores implementan diversas estrategias. El 65.1 por ciento de los agricultores opta por el control químico, mientras que el 27.7 por ciento realiza podas como medida de control. Además, el 5.2 por ciento de los productores elimina las plantas afectadas, y un 2.0 por ciento emplea métodos adicionales u otras técnicas (ver Figura 16). Estas cifras reflejan las diferentes estrategias utilizadas por los productores para proteger sus cultivos de las enfermedades del cítrico y pueden ser fundamentales para comprender las prácticas agrícolas y las preferencias de manejo de enfermedades en el sector citrícola.

Figura 16
Porcentaje de productores de limón según el tipo de control de enfermedades



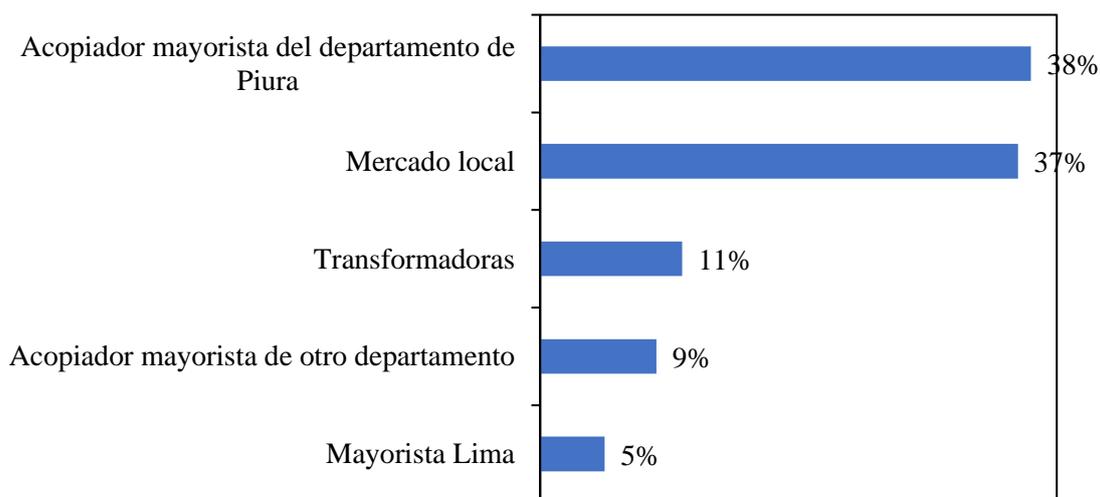
Fuente: Elaborado con información de las encuestas aplicadas a productores de limón en la región de Piura en 2022.

4.1.3. Destino y comercialización

En lo que respecta a la comercialización de la producción, los agricultores adoptan diversas estrategias para distribuir sus productos en la región, abarcando una amplia gama de actores, que incluyen acopiadores, empresas exportadoras, mercados locales y otros canales de venta. En este contexto, cabe resaltar que el 38 por ciento de los productores elige vender su producción al acopiador mayorista de Piura, mientras que un 37 por ciento opta por comercializar sus productos en el mercado local. Además, un 11 por ciento realiza ventas a empresas transformadoras, el 9 por ciento lo hace a través de un acopiador mayorista de otro departamento, y un 5 por ciento lleva a cabo sus ventas a un mayorista en Lima (ver Figura 17). Estos datos ponen de manifiesto la diversidad de canales de comercialización utilizados por los productores de la región, lo que refleja la complejidad y la variedad de opciones disponibles en el mercado agrícola local.

Figura 17

Porcentaje de destino de venta de la producción



Nota: Elaborado con información de las encuestas aplicadas a productores de limón en la región de Piura en 2022.

4.1.4. Análisis clúster

En el análisis del escenario tendencial sin la presencia del HLB, se identificaron los factores de riesgo relacionados con la introducción y propagación de esta enfermedad. Sin embargo, dado que la eventual llegada del HLB a Perú descartaría la viabilidad del escenario tendencial (BAU) en el futuro, se generaron distintos escenarios que consideran la presencia del HLB y se contempló la implementación de un PNF. Mediante la técnica de ELBOW, se

determinó el número óptimo de clústeres tomando en cuenta las características de los factores de riesgo (variables detalladas en el capítulo 3.5.2) en relación con la introducción del HLB (ver Tabla 13).

Tabla 13

Características de clústeres por atributos de riesgo ante el ingreso del HLB

Factores de Riesgo	Clúster 1			Clúster 2		
	Propios	Viveros certificados	Viveros informales	Propios	Viveros certificados	Viveros informales
1. Adquisición de plántones	18 %	57 %	25 %	14 %	22 %	64 %
2. Conoce los síntomas del HLB		49 %			45 %	
3. Distancia promedio en minutos entre la UA y el poblado urbano o la capital del distrito (el que se encuentre más cercano)		15			20	
4. Distancia promedio en minutos entre la UA y la carretera principal		12			25	
5. Pertenece a alguna asociación de cítricos		35 %			15 %	
6. Alguna vez participó de alguna charla, capacitación o evento del HLB		89 %			75 %	
7. Existe movimiento de entrada y salida de frutas cítricas en la UA		86 %			90 %	
8. Sabiendo que un árbol enfermo de HLB puede seguir produciendo, pero no posee cura, de detectarse el HLB estaría dispuesto a eliminar la planta enferma y las de alrededores del árbol enfermo inmediatamente		45 %			25 %	

Nota: Adaptado de las encuestas realizadas a productores de limón en Piura (2022).

Esta situación se atribuye, en gran medida, a la falta de una adecuada organización entre los diversos actores que conforman la cadena productiva directa, lo que, a su vez, dificulta la implementación efectiva de programas destinados a la prevención y el control fitosanitario. Como resultado de esta compleja dinámica, se prevé que aquellos distritos con una mayor exposición al comercio y un mayor tránsito de personas, así como aquellos que ostentan una producción de limón más significativa, sean los más susceptibles a sufrir las consecuencias de la posible introducción del HLB. Estos factores se interrelacionan de manera intrínseca y contribuyen al nivel de vulnerabilidad de la región frente a esta devastadora enfermedad.

En consecuencia, los riesgos identificados en caso de la entrada del HLB, tanto para los productores como para los grupos de clúster, comprenden una serie de desafíos. Entre ellos, destaca que un porcentaje reducido de productores tiene la capacidad de identificar los síntomas del HLB, con cifras inferiores al 50 por ciento de conocimiento efectivo. Además, es común observar que una proporción significativa de productores no forma parte de asociaciones relacionadas con la producción de cítricos, con una representación inferior al 40 por ciento. Cabe mencionar la presencia de un alto tránsito de personas en la UA, lo que aumenta la probabilidad de dispersión de la enfermedad. Por último, es importante señalar que un porcentaje no despreciable de productores no estaría dispuesto a eliminar sus plantones en caso de detectarse la presencia del HLB.

Los riesgos encontrados se asemejan a los que fueron identificados por Sulzbach *et al.* (2018), el cual se centró en el Estado de Rio Grande do Sul en Brasil, en donde resaltaron como factor predominante a los pequeños productores de cítricos con un conocimiento fitosanitario limitado y la amenaza de la presencia del HLB en países fronterizos. Asimismo, subrayaron la importancia de la cuarentena como medida principal para prevenir la propagación de la enfermedad. Esto implica evitar la importación de cítricos infectados con el HLB, así como controlar la entrada de la planta *Murraya paniculata* u otras flores ornamentales, ya que son potenciales hospedadores de la *Diaphorina citri*, el insecto vector del HLB.

Por otro lado, Pazolini *et al.* (2021) encontraron que una gran cantidad de árboles no comerciales cerca de los huertos de cítrico son una posible fuente primaria de inóculo del HLB. Además, Hall & McCollum (2011) destacaron la relevancia de implementar rigurosas inspecciones, dado que el vector del HLB puede ser transportado a través de frutas infectadas.

4.2. Escenarios proyectados

4.2.1. Escenario tendencial

Antes de proceder al análisis de los resultados, resulta crucial verificar los supuestos subyacentes al modelo utilizado para estimar la producción de limón en la región de Piura. En la Figura 18, se puede observar que las variables significativas son la superficie cosechada y el rendimiento por hectárea. Es evidente que los coeficientes asociados a estas variables son altamente significativos, con valores de p-valor muy cercanos a cero, lo que sugiere que son factores cruciales para predecir la variable "Producción". Además, el modelo presenta un coeficiente de determinación R-cuadrado (R-squared) de 0.9743, indicando que el modelo es capaz de explicar aproximadamente el 97.43 por ciento de la variabilidad en la variable de respuesta. El valor del estadístico F es de 738.1, con un p-valor muy cercano a cero, lo que respalda la afirmación de que el modelo en su totalidad es estadísticamente significativo.

Figura 18

Resumen del modelo lineal

```
Call:
lm(formula = Produccion ~ Superficie + Rendimiento, data = datos)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-26908.7 -2607.5   207.3   4279.3 23456.8

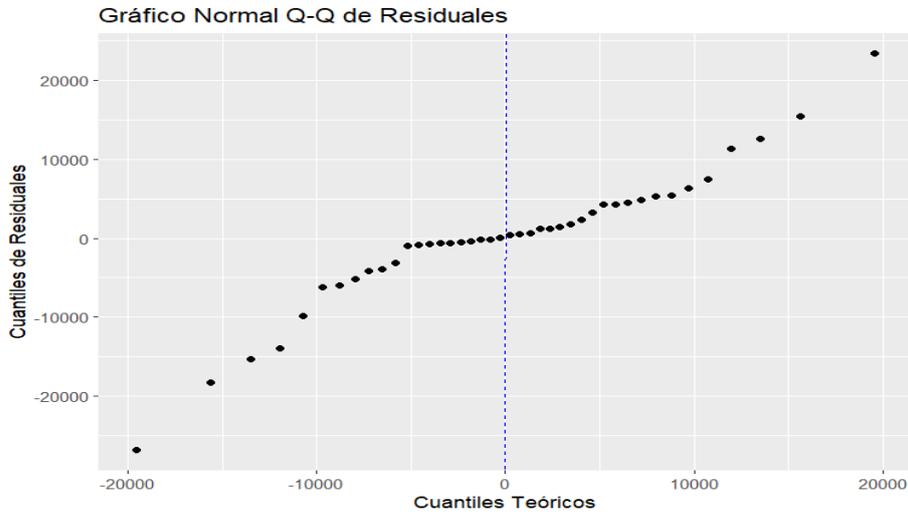
Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) -9.263e+04  5.545e+03  -16.71  <2e-16 ***
Superficie   8.068e+00  3.793e-01   21.27  <2e-16 ***
Rendimiento  1.145e+04  3.652e+02   31.35  <2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 8872 on 39 degrees of freedom
(19 observations deleted due to missingness)
Multiple R-squared:  0.9743, Adjusted R-squared:  0.9729
F-statistic: 738.1 on 2 and 39 DF, p-value: < 2.2e-16
```

Nota: El análisis se realizó utilizando el programa estadístico R, y los resultados indican que las variables son estadísticamente significativas para el modelo propuesto.

En la Figura 19, el gráfico Normal Q-Q de los residuales del modelo proporciona una herramienta visual para evaluar si los residuales se ajustan a una distribución normal. En este gráfico, la línea diagonal de referencia representa cómo se verían los cuantiles si los residuales fueran normalmente distribuidos.

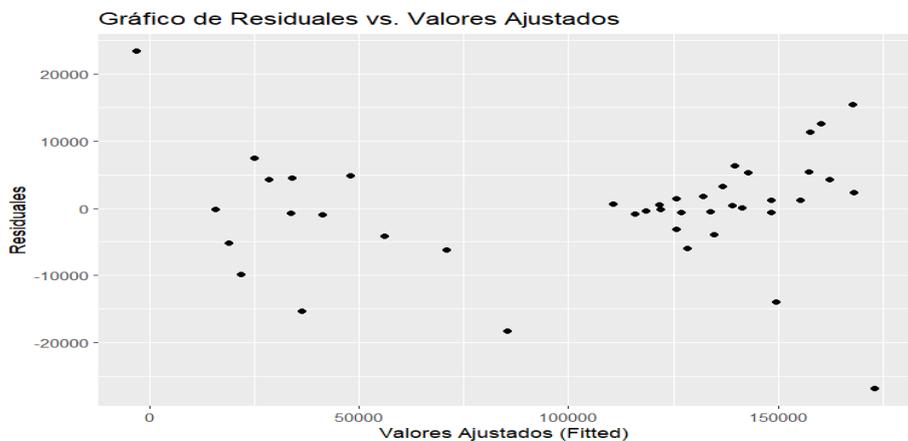
Figura 19
Prueba de normalidad de los residuales



Nota: El análisis se realizó utilizando el programa estadístico R.

En la Figura 20 se presenta el gráfico de Residuales vs. Valores Ajustados para evaluar la homocedasticidad en el modelo. En esta figura, los residuales se representan en el eje vertical (y), y los valores ajustados por el modelo se representan en el eje horizontal (x). Para evaluar la homocedasticidad, observamos que los puntos se dispersan de manera aleatoria alrededor de cero en el eje de los residuales, sin mostrar un patrón discernible. Esto indicaría que la varianza de los residuales es constante en todos los niveles de los valores ajustados, lo que es un supuesto clave de la regresión lineal.

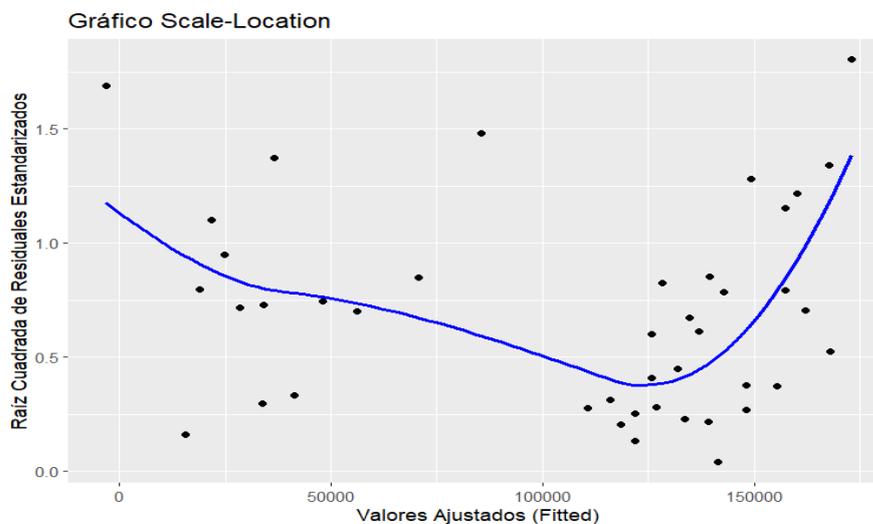
Figura 20
Residuales vs Valores ajustados



Nota: El análisis se realizó utilizando el programa estadístico R.

En la Figura 21, se muestra el gráfico Scale-Location con la raíz cuadrada de los residuales estandarizados en el eje vertical (y) y los valores ajustados en el eje horizontal (x). También incluye una línea de ajuste para evaluar la tendencia en la varianza de los residuales. La línea de ajuste se ajusta mediante el método de loess. Se observa que la dispersión de los puntos alrededor de la línea de ajuste es constante en todos los niveles de los valores ajustados, lo cual sugiere homocedasticidad.

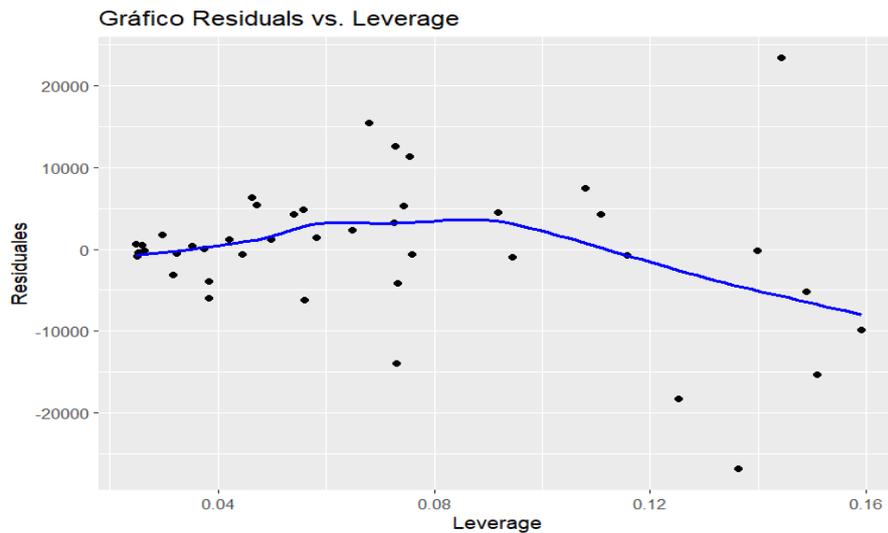
Figura 21
Scale – Location



Nota: El análisis se realizó utilizando el programa estadístico R.

En la Figura 22, la línea azul en el gráfico representa una línea de ajuste para identificar observaciones influyentes. Se observa que si hay puntos que están significativamente alejados de la línea de ajuste. Estos puntos atípicos o influyentes pueden ser observaciones que tienen un impacto desproporcionado en el modelo de regresión.

Figura 22
Residuals vs Leverage



Nota: El análisis se realizó utilizando el programa estadístico R.

Para la estimación de la producción desde el año 2023 al 2040, se realizó mediante una serie de tiempo, con el modelo ARIMA. Esta proyección muestra los valores futuros de la producción en el tiempo (Pt) sin la enfermedad en condiciones normales, lo que conforma el escenario tendencial o BAU (ver Tabla 14).

Tabla 14
Estimación de la producción en toneladas al 2040

Tiempo	Año	Producción de limón Piura (toneladas)
-	2023	169,038
0	2024	171,763
1	2025	174,488
2	2026	177,213
3	2027	179,937
4	2028	182,662
5	2029	185,387
6	2030	188,112
7	2031	190,837
8	2032	193,562
9	2033	196,287
10	2034	199,012
11	2035	201,737
12	2036	204,462

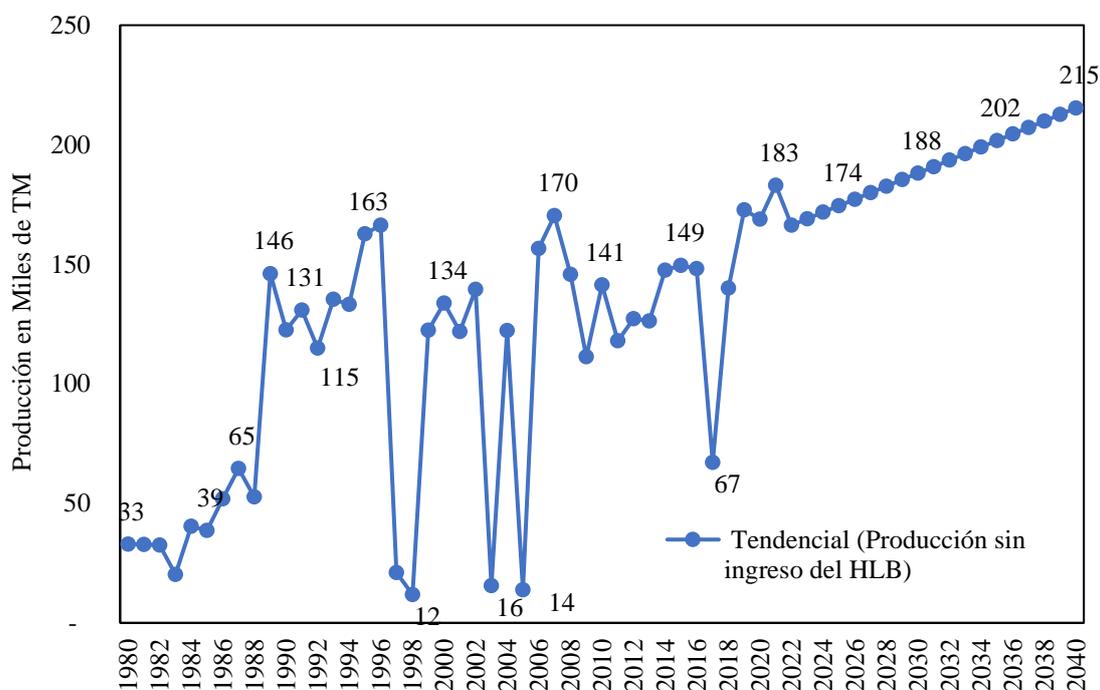
13	2037	207,187
14	2038	209,912
15	2039	212,637
16	2040	215,362

Nota: Adaptado de los datos históricos de la producción de la SIEA - MIDAGRI.

La Figura 23 muestra el primer escenario, que representa la proyección de la producción de limón en la región de Piura hasta el año 2040. En este escenario, se parte del supuesto de que el HLB no ingresará al Perú y que la producción continuará incrementándose en condiciones normales, sin la ocurrencia de eventos que puedan perjudicar la producción.

Figura 23

Producción tendencial de limón en la región de Piura, 1980-2040 (toneladas)



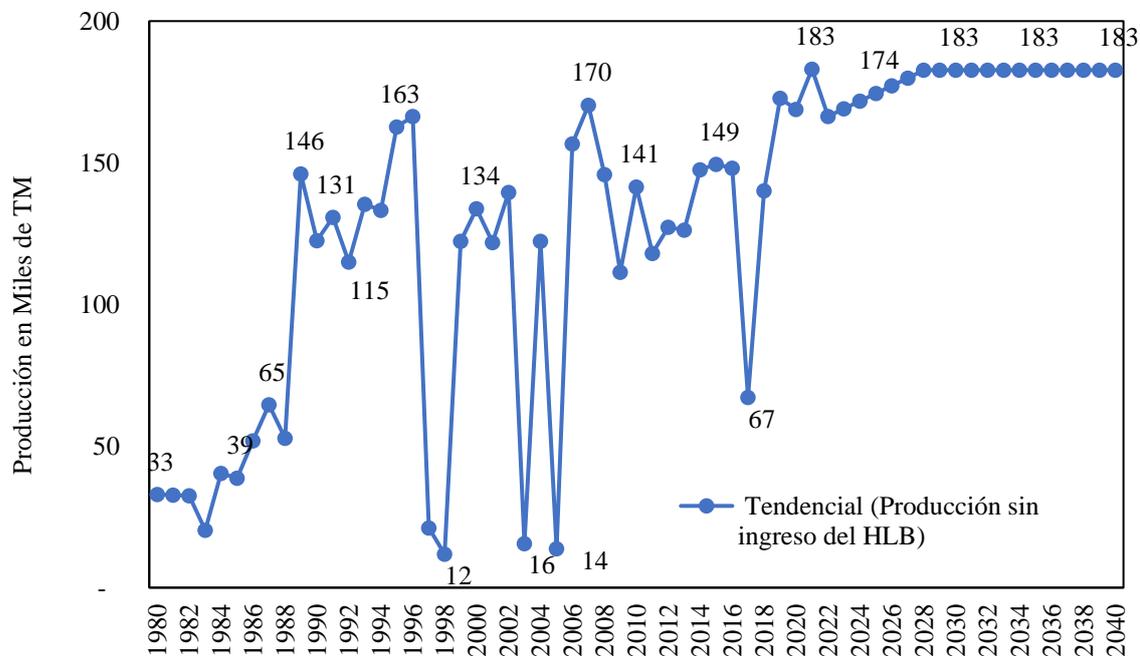
Nota: Adaptado del modelo de regresión ARIMA.

Asimismo, se realizó un contexto paralelo, en el cual se mantuvo la producción constante a partir del año 2028 (ver Figura 24). Esto se basa en la necesidad de establecer un escenario más realista y estable, desvinculado de los efectos de fenómenos naturales y fluctuaciones en los precios que pueden influir en la producción agrícola. Al adoptar este enfoque, podemos obtener una visión más precisa y estable de la evolución de la producción a largo

plazo, al eliminar las variables temporales y volátiles que a menudo afectan la industria agrícola, como las sequías, inundaciones o aumentos abruptos en los costos de insumos.

Figura 24

Producción tendencial (constante) de limón en la región de Piura, 1980-2040 (toneladas)



Nota: Adaptado del modelo de regresión ARIMA.

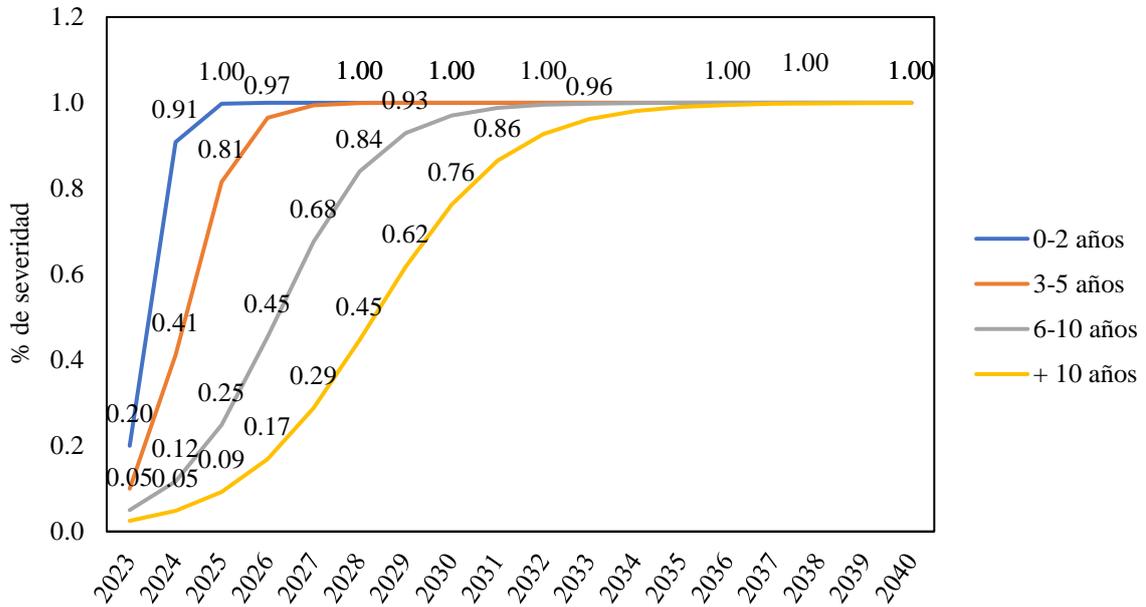
4.2.2. Escenarios con HLB

Según el modelo epidemiológico presentado en las ecuaciones 1, 2, 3 y 4 del subcapítulo 3.5.2, las curvas de severidad (S_t), incidencia (y_t), severidad total (S_n) y rendimientos con la presencia de HLB (RY_t) muestran similitudes con los resultados obtenidos por Bassanezi y Bassanezi (2008).

La Figura 25 muestra claramente que la severidad del HLB en árboles jóvenes experimenta un incremento sustancial y más rápido. Durante el primer año de la enfermedad, alrededor del 20 por ciento de la copa de los árboles de 0-2 años se ve afectada, en contraste con las otras categorías donde la afectación se sitúa en torno al 10 por ciento o incluso menos. Es importante resaltar que los árboles más resistentes se encuentran en la última categoría, lo que tiene un efecto significativo en la ralentización de la propagación de la enfermedad. Esto nos lleva a proyectar que, para el año 2036, se anticipa que todos los árboles estarán infectados, mientras que los árboles más jóvenes sufrirán afectaciones totales para el año 2025.

Figura 25

Curvas de progreso de severidad del HLB (proporción de copa afectada del árbol) en función de la edad de los árboles cuando aparece el primer síntoma

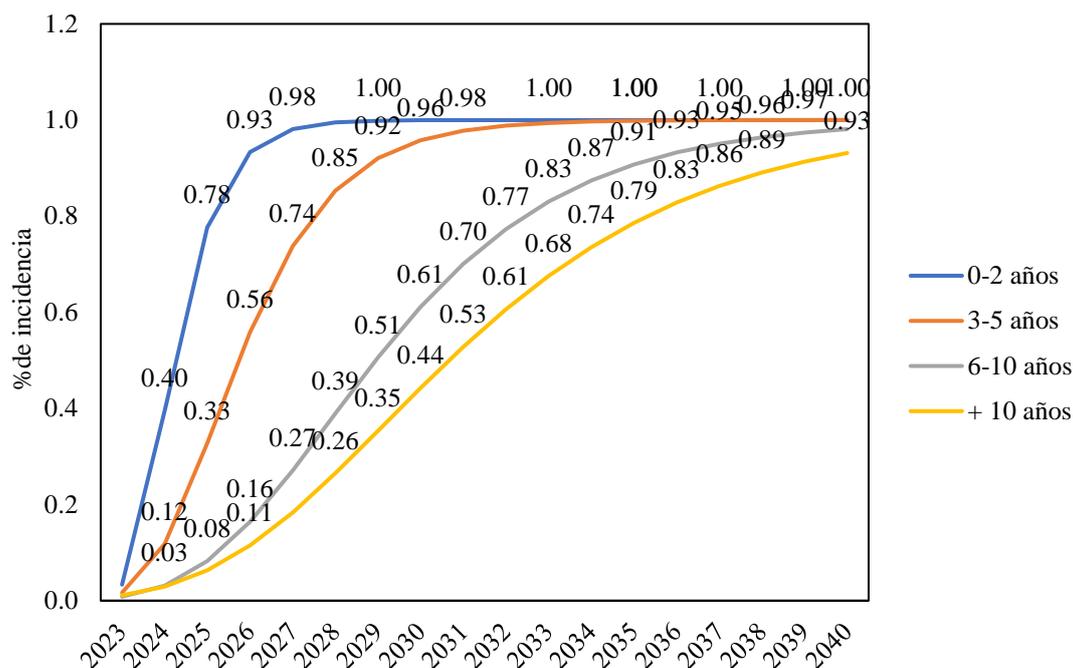


Nota: Adaptado en base a Bassanezi & Bassanezi (2008).

Las curvas de incidencia se presentan en la Figura 26, proporcionando una representación visual de la evolución de la proporción de árboles con síntomas por hectárea a lo largo del tiempo. En el primer año, todas las categorías exhiben una incidencia de menos del 5 por ciento. Sin embargo, en el segundo año, la categoría de 0-2 años experimenta un aumento significativo, alcanzando una incidencia del 78 por ciento, mientras que la categoría de 3-5 años presenta una incidencia del 33 por ciento. Por otro lado, las dos últimas categorías muestran una incidencia del 8 por ciento y 6 por ciento, respectivamente, en ese mismo período. En cuanto a los años en los que los árboles alcanzan el 100 por ciento de contagio por hectárea, se observa que esto ocurre en 2029 y 2034 para las dos primeras categorías, reflejando un rápido avance de la enfermedad. Sin embargo, es importante destacar que, para el año 2040, las dos últimas categorías no lograrán alcanzar un contagio completo por hectárea, lo que indica una mayor resistencia en ese grupo de árboles.

Figura 26

Curvas de progreso de incidencia del HLB, proporción de árboles con síntomas por hectárea (la enfermedad es detectada por primera vez)



Nota: Adaptado en base a Bassanezi & Bassanezi (2008) y datos de encuestas a productores de limón en Piura (2022).

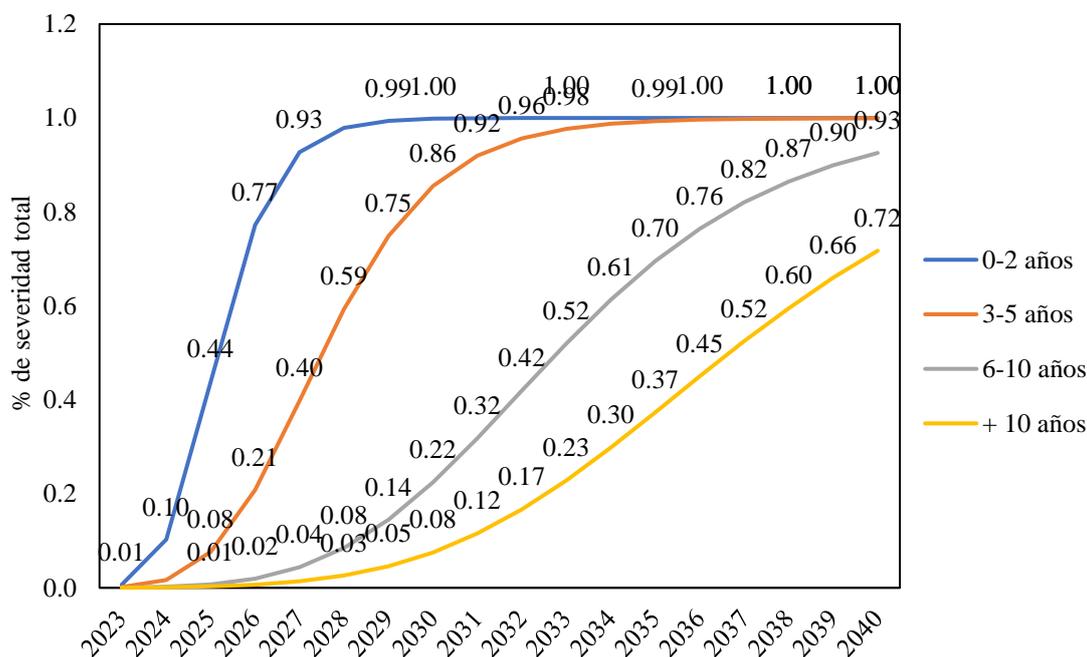
En la Figura 27 se presentan las curvas de severidad total en una hectárea, las cuales representan tanto la producción relativa (producción de árboles enfermos en relación con árboles sanos) como la gravedad del HLB en función de la edad de los árboles cuando aparecen los primeros síntomas. Un análisis detallado de estas curvas revela tendencias significativas en la propagación de la enfermedad.

En primer lugar, se observa que la propagación del contagio ocurre de manera más rápida en la primera categoría de árboles, alcanzando un 100 por ciento de severidad en el año 2031. La segunda categoría le sigue de cerca, alcanzando un 100 por ciento de severidad en el año 2036. Estos datos reflejan un aumento rápido en la incidencia de la enfermedad en árboles más jóvenes, lo que subraya la vulnerabilidad de esta población ante el HLB.

Por otro lado, resulta interesante notar que las últimas categorías de árboles no llegan al 100 por ciento de severidad, alcanzando un contagio del 93 por ciento para árboles de 6-10 años y un 72 por ciento para árboles de más de 10 años en el año 2040. Estos hallazgos sugieren que los árboles adultos exhiben una mayor resistencia a la enfermedad, lo que puede ser valioso en términos de estrategias de manejo y preservación de la producción. Esta información respalda la importancia de mantener y fomentar la salud de los árboles más maduros en la plantación, como un enfoque efectivo para mitigar los impactos del HLB.

Figura 27

Curvas de severidad total en una hectárea, que es la producción relativa (producción de árboles enfermos y relación árboles sanos) y la severidad del HLB



Nota: Adaptado de Bassanezi & Bassanezi (2008) y datos de encuestas a productores de limón en Piura (2022).

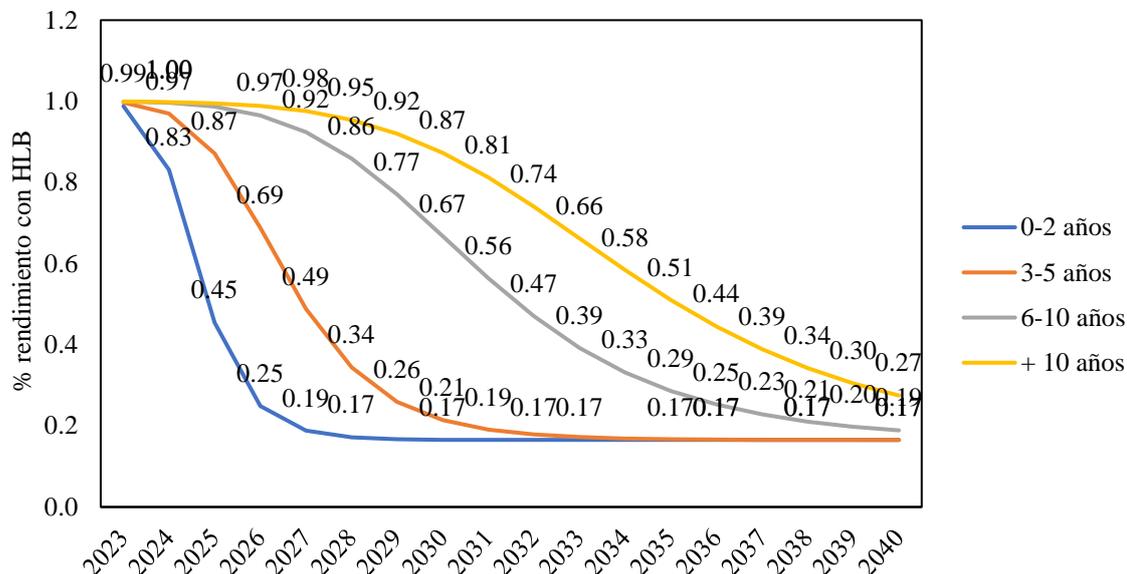
Finalmente, los rendimientos de la producción de limón en presencia del HLB se detallan en la Figura 28, donde se destaca una disminución significativa en los rendimientos a medida que la enfermedad afecta a los árboles. En la primera categoría de árboles, se observa una reducción progresiva en los rendimientos, aunque no llega al 0 por ciento; se estabiliza en un nivel del 17 por ciento en el año 2028. Es relevante señalar que, según la literatura, aunque los árboles puedan continuar produciendo con la enfermedad, los frutos ya no serían económicamente viables. Estos frutos tienden a disminuir de tamaño, volverse más ácidos y no todos son aptos para la cosecha, lo que plantea desafíos significativos para la rentabilidad de la producción.

La segunda categoría muestra una tendencia similar, alcanzando un rendimiento estacionario del 17 por ciento en el año 2032. A medida que avanzamos hacia categorías de árboles de mayor edad, la disminución en los rendimientos continúa, con la categoría de 6-10 años registrando un rendimiento del 19 por ciento hasta el año 2040, y la última categoría alcanzando un nivel de rendimiento del 27 por ciento. Estos datos reflejan la creciente dificultad que enfrenta la producción de limón en presencia del HLB, subrayando la importancia de estrategias de gestión y medidas de mitigación para mantener la

sostenibilidad y la viabilidad económica de la producción de limón en estas condiciones adversas.

Figura 28

Rendimientos de producción con HLB en función de la edad de los árboles cuando aparece el primer síntoma



Nota: Adaptado de Bassanezi & Bassanezi (2008) y datos de encuestas a productores de limón en Piura (2022).

4.2.2.1. Escenario epidemiológico (con HLB y sin PNF)

Estos datos representan la producción tendencial de limón en toneladas para los años desde 2024 hasta 2040, comparada con la producción proyectada en un escenario epidemiológico en el que el HLB afecta a los árboles. La columna (1) muestra la producción tendencial, la columna (2) muestra la producción estimada en el escenario con HLB, y la columna final calcula la pérdida de producción en porcentaje, que es la diferencia entre la producción tendencial y la producción con HLB.

En 2024, la producción tendencial es de 171,763 toneladas, y la producción en el escenario con HLB es de 171,645 toneladas, lo que resulta en una pérdida de producción insignificante del 0.1 por ciento. A medida que avanzan los años, se observa una disminución gradual en la producción debido al efecto del HLB. En 2030, la pérdida de producción alcanza un 15.5 por ciento, y en 2040, la pérdida se incrementa al 72.5 por ciento.

Esto indica que a medida que el HLB afecta más a los árboles con el tiempo, la producción de limón se vería significativamente reducida. La pérdida de producción simulada va en

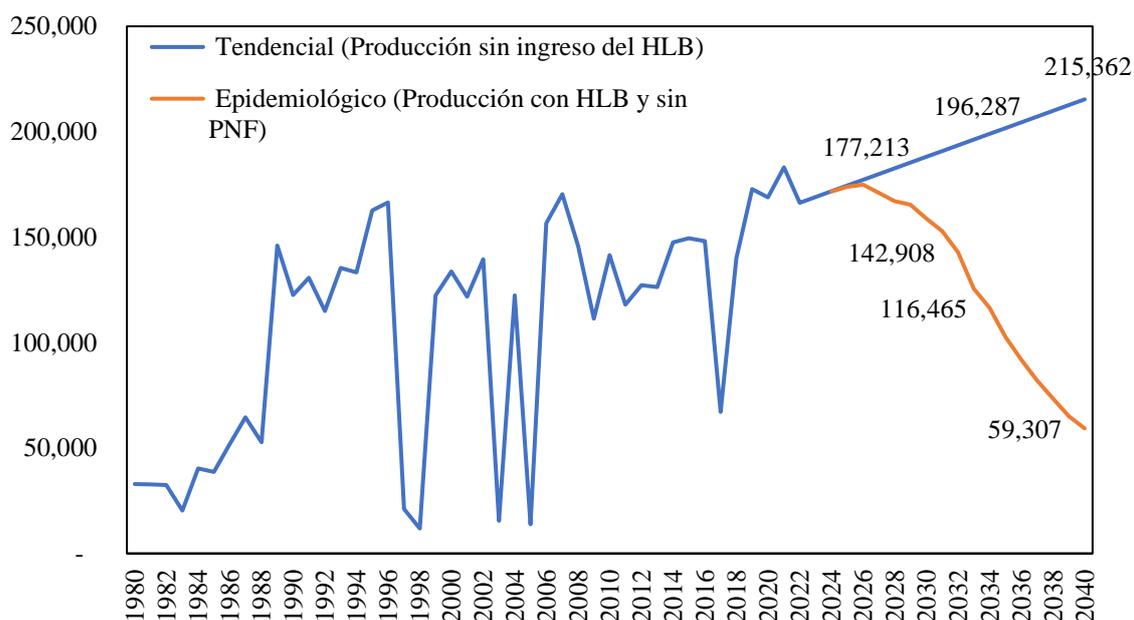
aumento año tras año, lo que sugiere un impacto sostenido y creciente en la producción de limón a lo largo del periodo analizado (ver Tabla 15 y Figura 29).

Tabla 15

Producción tendencial, escenario epidemiológico y pérdida de producción con HLB en toneladas, 2024-2040

Año	Producción tendencial (toneladas) (1)	Producción del escenario epidemiológico (toneladas) (2)	Pérdida de producción con HLB, en porcentaje (1) – (2)
2024	171,763	171,645	-0.1
2025	174,488	173,848	-0.4
2026	177,213	174,886	-1.3
2027	179,937	171,028	-5.0
2028	182,662	167,105	-8.5
2029	185,387	165,467	-10.7
2030	188,112	158,909	-15.5
2031	190,837	152,806	-19.9
2032	193,562	142,908	-26.2
2033	196,287	125,555	-36.0
2034	199,012	116,465	-41.5
2035	201,737	102,630	-49.1
2036	204,462	91,755	-55.1
2037	207,187	81,939	-60.5
2038	209,912	73,441	-65.0
2039	212,637	65,102	-69.4
2040	215,362	59,307	-72.5

Nota: Adaptado de SIEA - MIDAGRI, Bassanezi & Bassanezi (2008) y datos de encuestas a productores de limón (2022).

Figura 29*Producción tendencial y escenario epidemiológico en toneladas, 1980-2040*

Nota: Adaptado de SIEA - MIDAGRI, Bassanezi & Bassanezi (2008) y datos de encuestas a productores de limón (2022).

Con respecto al escenario paralelo de producción constante a partir del año 2028, se obtuvieron resultados similares en la pérdida de producción, con una pérdida de 71.9 por ciento al año 2040 (ver Tabla 16 y Figura 30).

Tabla 16

Producción tendencial (escenario constante), escenario epidemiológico y pérdida de producción con HLB en toneladas, 2024-2040

Año	Producción tendencial (toneladas) (1)	Producción del escenario epidemiológico (toneladas) (2)	Pérdida de producción con HLB, en porcentaje (1) – (2)
2024	171,763	171,645	-0.1
2025	174,488	173,848	-0.4
2026	177,213	174,886	-1.3
2027	179,937	171,028	-5.0
2028	182,662	167,105	-8.5
2029	182,662	163,035	-10.7

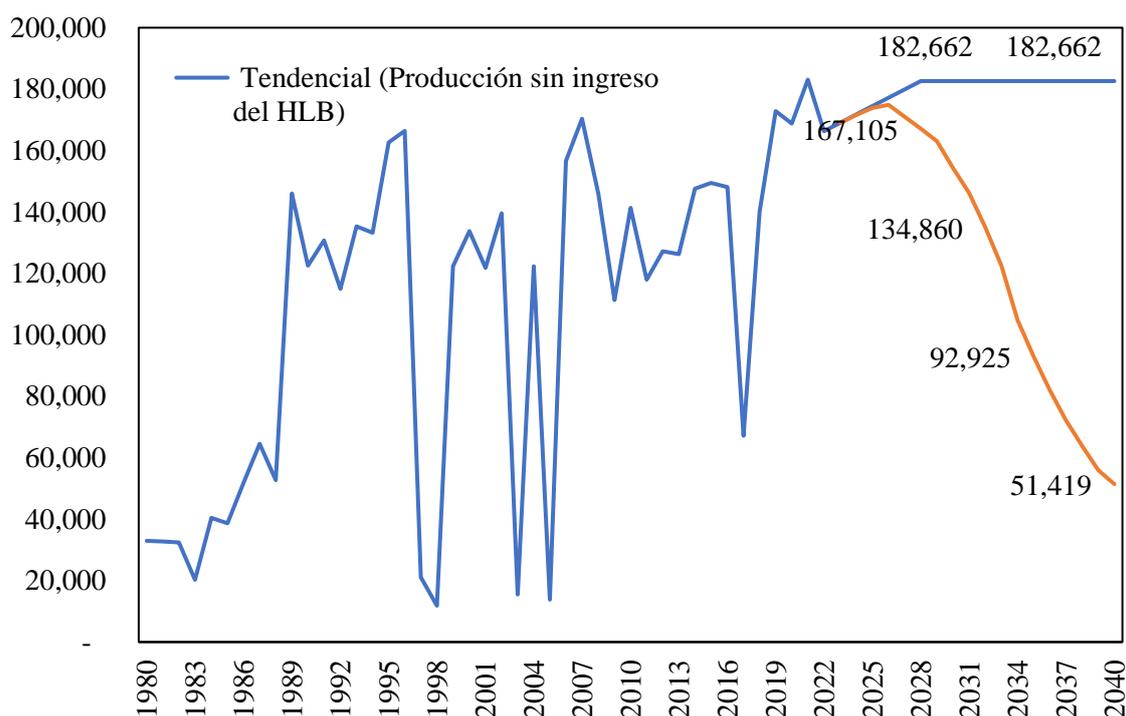
Continúa ...

2030	182,662	154,305	-15.5
2031	182,662	146,260	-19.9
2032	182,662	134,860	-26.2
2033	182,662	122,433	-33.0
2034	182,662	104,723	-42.7
2035	182,662	92,925	-49.1
2036	182,662	81,972	-55.1
2037	182,662	72,240	-60.5
2038	182,662	63,907	-65.0
2039	182,662	55,925	-69.4
2040	182,662	51,419	-71.9

Nota: Adaptado de SIEA - MIDAGRI, Bassanezi & Bassanezi (2008) y datos de encuestas a productores de limón (2022).

Figura 30

Producción tendencial (constante) y escenario epidemiológico en toneladas, 1980-2040



Nota: Adaptado de SIEA - MIDAGRI, Bassanezi & Bassanezi (2008) y datos de encuestas a productores de limón (2022).

4.2.2.2. Escenario de adopción total (con HLB y el 100 por ciento todos los productores aplican el PNF)

En el escenario de adopción total, se analiza el impacto de la implementación de prácticas de manejo y control del HLB en la producción de limón. Los resultados muestran que, a pesar de la adopción total de medidas de control, el incremento en la producción de limón es relativamente menor en comparación con el escenario tendencial sin HLB.

La Tabla 17 y la Figura 31 reflejan que la tendencia de crecimiento de la producción en el escenario de adopción total es casi paralela a la del escenario tendencial sin HLB. Esto sugiere que, a pesar de los esfuerzos para controlar la enfermedad, no se puede recuperar completamente las pérdidas en la producción causadas por el HLB. Estas pérdidas se estiman en un promedio del 4.1 por ciento durante el periodo analizado en comparación con el escenario tendencial sin HLB y aumentan ligeramente a lo largo de los años alcanzando un 8.7 por ciento en 2040.

Tabla 17

Producción tendencial, HLB tendencial, producción con PNF estricto y pérdida de producción con HLB en toneladas, 2024-2040

Año	Producción tendencial sin HLB (toneladas)	Producción con HLB (toneladas)	Producción del escenario de adopción total (toneladas)	Pérdida de producción PNF el escenario de adopción total (porcentaje)
2024	171,763	171,645	171,763	0.0
2025	174,488	173,848	174,616	-0.1
2026	177,213	174,886	177,213	0.0
2027	179,937	171,028	177,793	1.2
2028	182,662	167,105	176,316	3.5
2029	185,387	165,467	178,615	3.7
2030	188,112	158,909	180,296	4.2
2031	190,837	152,806	180,938	5.2
2032	193,562	142,908	182,576	5.7
2033	196,287	125,555	187,339	4.6
2034	199,012	116,465	188,133	5.5
2035	201,737	102,630	191,401	5.1

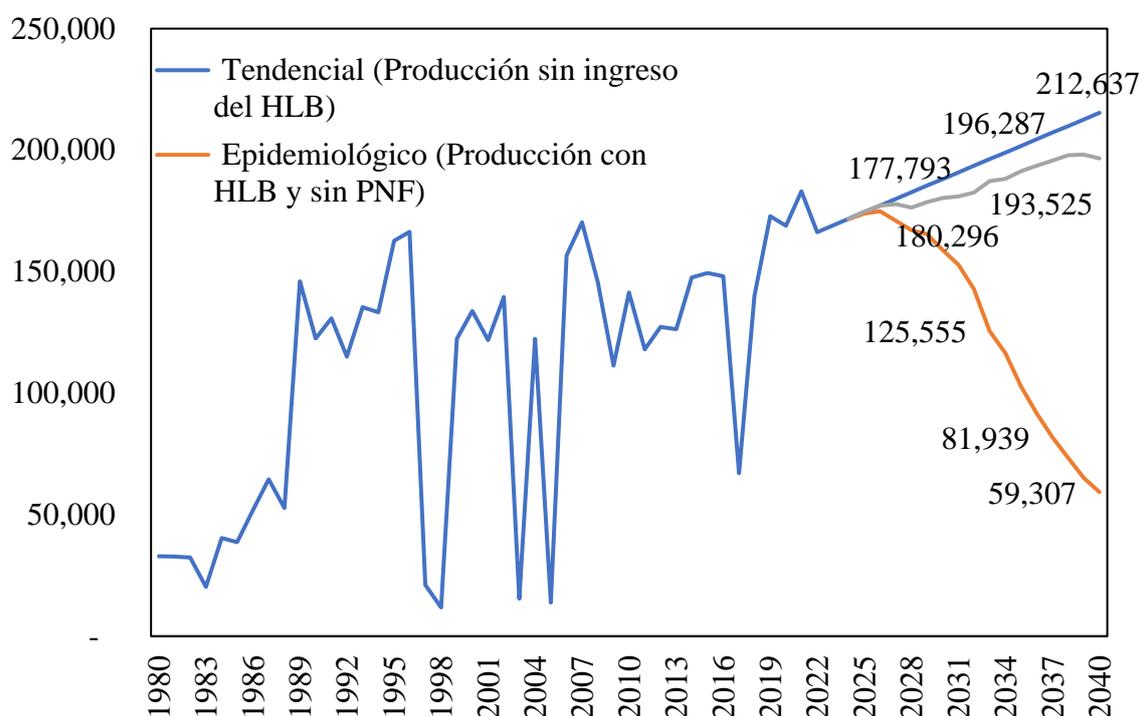
Continúa ...

2036	204,462	91,755	193,525	5.3
2037	207,187	81,939	195,707	5.5
2038	209,912	73,441	197,940	5.7
2039	212,637	65,102	198,157	6.8
2040	215,362	59,307	196,649	8.7

Nota: Adaptado de SIEA - MIDAGRI, Bassanezi & Bassanezi (2008) y datos de encuestas a productores de limón (2022).

Figura 31

Producción tendencial, escenario epidemiológico y escenario de adopción total en toneladas, 1980-2040



Nota: Adaptado de SIEA - MIDAGRI, Bassanezi & Bassanezi (2008) y datos de encuestas a productores de limón (2022).

Asimismo, con respecto al escenario de producción constante, los resultados muestran que la pérdida de producción debido a la enfermedad es significativa y va en aumento a medida que avanzamos en los años (ver Tabla 18 y Figura 32).

Tabla 18

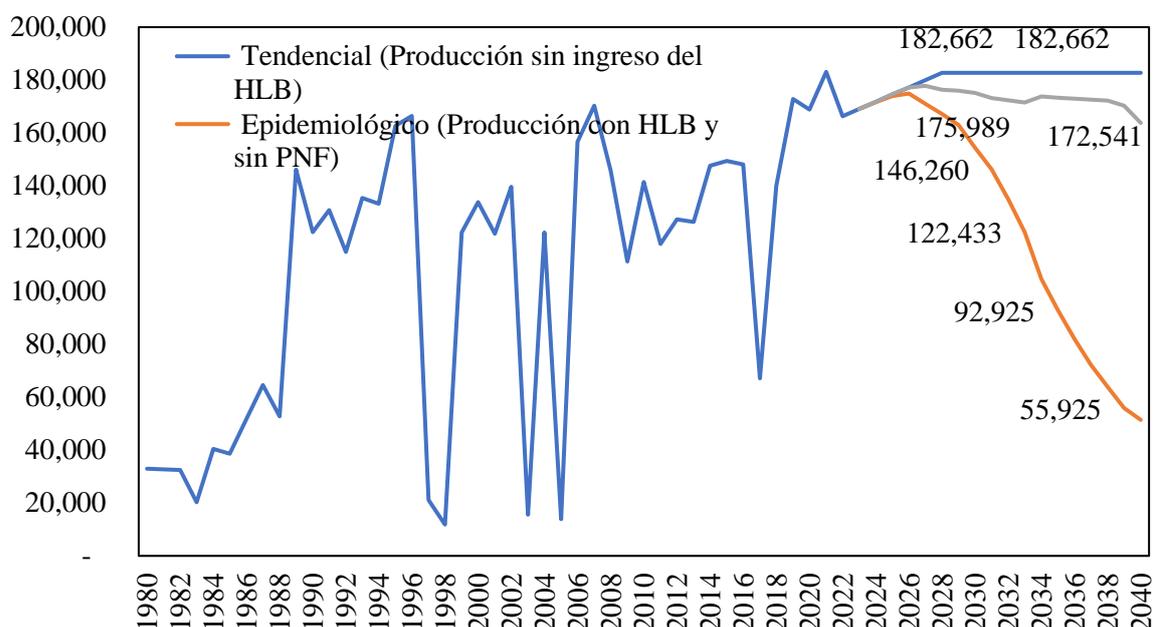
Producción tendencial, HLB tendencial (constante), producción con PNF estricto y pérdida de producción con HLB en toneladas, 2024-2040

Año	Producción tendencial sin HLB (toneladas)	Producción con HLB (toneladas)	Producción del escenario de adopción total (toneladas)	Pérdida de producción PNF el escenario de adopción total (porcentajes)
2024	171,763	171,645	171,763	0.0
2025	174,488	173,848	174,616	-0.1
2026	177,213	174,886	177,213	0.0
2027	179,937	171,028	177,793	1.2
2028	182,662	167,105	176,316	3.5
2029	182,662	163,035	175,989	3.7
2030	182,662	154,305	175,073	4.2
2031	182,662	146,260	173,187	5.2
2032	182,662	134,860	172,294	5.7
2033	182,662	122,433	171,472	6.1
2034	182,662	104,723	173,783	4.9
2035	182,662	92,925	173,303	5.1
2036	182,662	81,972	172,891	5.3
2037	182,662	72,240	172,541	5.5
2038	182,662	63,907	172,244	5.7
2039	182,662	55,925	170,223	6.8
2040	182,662	51,419	163,771	10.3

Nota: Adaptado de SIEA - MIDAGRI, Bassanezi & Bassanezi (2008) y datos de encuestas a productores de limón (2022).

Figura 32

Producción tendencial, escenario epidemiológico (constante) y escenario de adopción total en toneladas, 1980-2040



Nota: Adaptado de SIEA - MIDAGRI, Bassanezi & Bassanezi (2008) y datos de encuestas a productores de limón (2022).

4.2.2.3. Escenarios de adopción parcial (con HLB y solo un porcentaje de productores adoptan el PNF)

La Tabla 19 muestra la producción proyectada de limón en varios escenarios a lo largo del período de 2024 a 2040. Se comparan cinco escenarios diferentes de producción, todos ellos afectados por el HLB, pero con diferentes niveles de adopción de prácticas de manejo y control por parte de los productores del PNF. Los escenarios con "adopción parcial" representan la producción en diferentes grados de adopción de prácticas de manejo y control del HLB. Por ejemplo, el escenario de "adopción parcial 25 por ciento" implica que solo el 25 por ciento de los productores adoptan las prácticas de manejo recomendadas en el PNF.

En el año 2040, la pérdida de producción se calcula en comparación con la producción tendencial sin HLB. En este año, la pérdida es del 58.1 por ciento en el escenario de adopción parcial al 25 por ciento, del 55.1 por ciento en el escenario de adopción parcial al 30 por ciento, del 49.1 por ciento en el escenario de adopción parcial al 43.1 por ciento, del 47 por ciento en el escenario de adopción parcial al 50 por ciento y del 28.2 por ciento en el escenario de adopción parcial al 75 por ciento.

Estos resultados resaltan la importancia de la adopción de prácticas de manejo y control del HLB por parte de los productores. Cuanto mayor sea el grado de adopción, menor será la

pérdida de producción. En el escenario de adopción parcial al 75 por ciento, la pérdida de producción es significativamente menor que en los otros escenarios, lo que sugiere que la implementación efectiva de prácticas de control puede mitigar considerablemente el impacto del HLB en la producción de limón.

Tabla 19

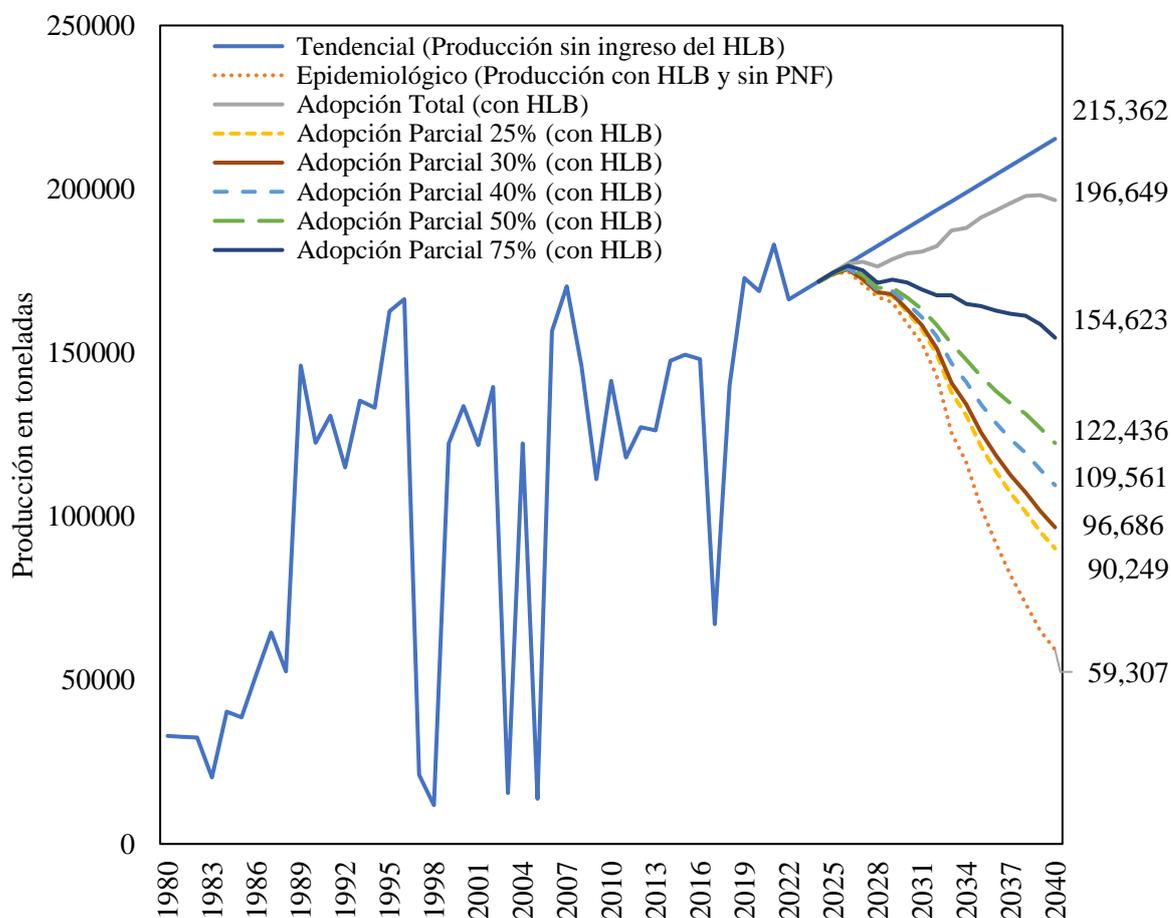
Producción tendencial, producción con HLB tendencial, producción con PNF estricto y producción de los escenarios con adopción parcial de los productores del PNF, 2024-2040

Año	Producción tendencial sin HLB (toneladas)	Producción con adopción parcial 25 % (toneladas)	Producción con adopción parcial 30 % (toneladas)	Producción con adopción parcial 40 % (toneladas)	Producción con adopción parcial 50 % (toneladas)	Producción con adopción parcial 75 % (toneladas)
2024	171,763	171,664	171,670	171,684	171,697	171,730
2025	174,488	174,025	174,069	174,156	174,244	174,463
2026	177,213	175,394	175,515	175,758	176,000	176,607
2027	179,937	172,293	172,583	173,163	173,743	175,193
2028	182,662	168,267	168,574	169,190	169,805	171,343
2029	185,387	167,335	167,841	168,852	169,864	172,392
2030	188,112	162,353	163,264	165,085	166,905	171,457
2031	190,837	157,136	158,359	160,806	163,252	169,368
2032	193,562	149,566	151,362	154,953	158,545	167,525
2033	196,287	137,926	140,890	146,817	152,745	167,563
2034	199,012	130,758	134,180	141,025	147,871	164,983
2035	201,737	121,386	125,671	134,240	142,810	164,233
2036	204,462	113,796	118,706	128,525	138,345	162,893
2037	207,187	107,103	112,584	123,546	134,508	161,912
2038	209,912	101,455	107,443	119,418	131,394	161,333
2039	212,637	95,273	101,612	114,291	126,969	158,665
2040	215,362	90,249	96,686	109,561	122,436	154,623
Pérdida de producción en 2040 (respecto a producción sin HLB)		-58.1 %	-55.1 %	-49.1 %	-43.1 %	-28.2 %

Nota: Adaptado de SIEA - MIDAGRI, Bassanezi & Bassanezi (2008) y datos de encuestas a productores de limón (2022).

Figura 33

Producción tendencial, escenario epidemiológico, escenario de adopción total y escenarios de adopción parcial en toneladas, 1980-2040



Nota: Adaptado de SIEA - MIDAGRI, Bassanezi & Bassanezi (2008) y datos de encuestas a productores de limón (2022).

En cuanto a las pérdidas de producción en el año 2040 con respecto al escenario constante, el escenario de adopción parcial con 25 por ciento de adoptantes, tiene una caída hasta del 58.3 por ciento de la producción y el escenario de menor pérdida con un 30 por ciento sería el escenario de adopción parcial con 75 por ciento de adoptantes (ver Tabla 20).

En general, estos datos destacan la necesidad de promover y respaldar la adopción de prácticas de manejo y control efectivas por parte de los productores de limón para mantener la sostenibilidad y la rentabilidad de la industria en presencia del HLB.

Tabla 20

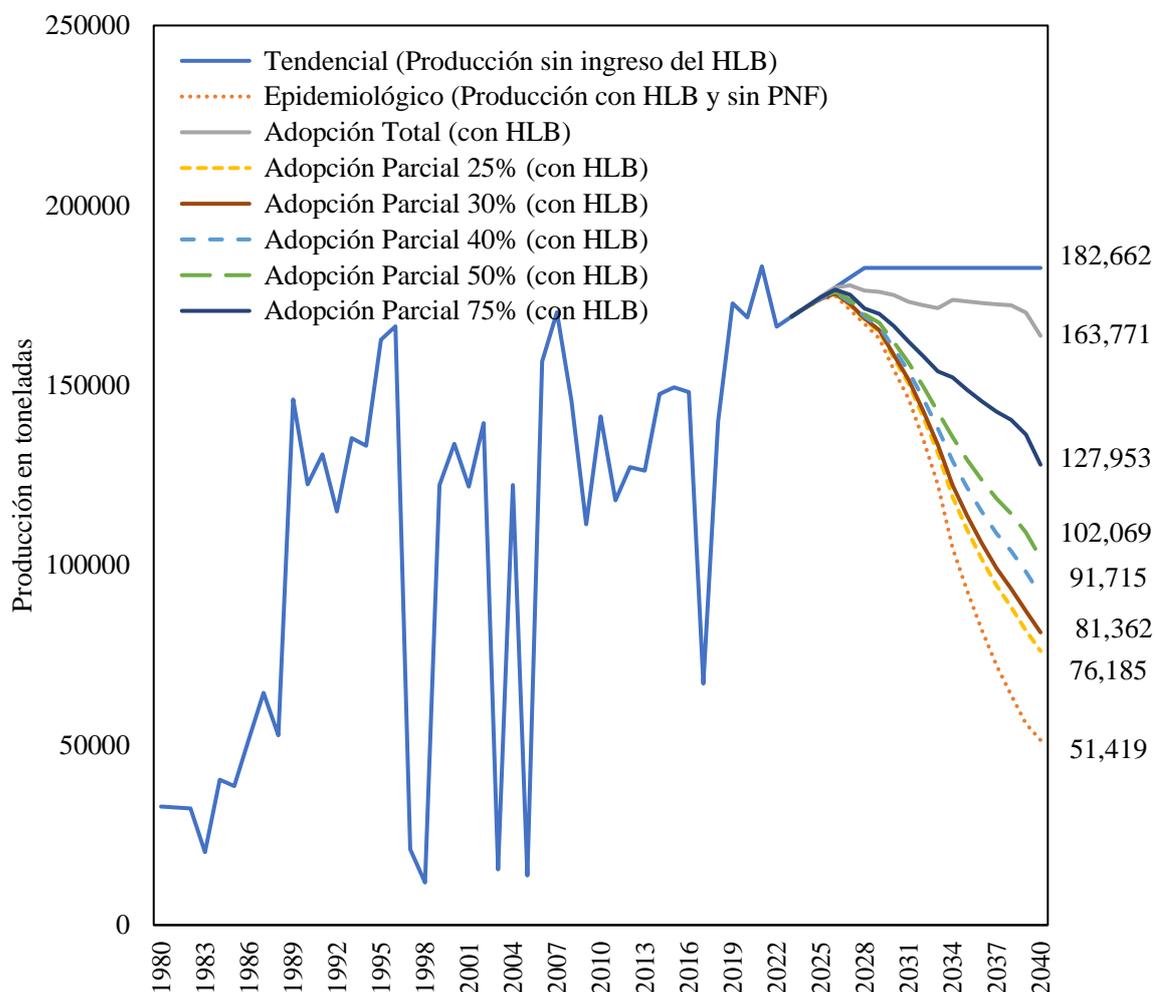
Producción constante, producción con HLB tendencial, producción con PNF estricto y producción de los escenarios con adopción parcial de los productores del PNF, 2024-2040

Año	Producción tendencial sin HLB (toneladas)	Producción con adopción parcial 25 % (toneladas)	Producción con adopción parcial 30 % (toneladas)	Producción con adopción parcial 40 % (toneladas)	Producción con adopción parcial 50 % (toneladas)	Producción con adopción parcial 75 % (toneladas)
2024	171,763	171,664	171,670	171,684	171,697	171,730
2025	174,488	174,025	174,069	174,156	174,244	174,463
2026	177,213	175,394	175,515	175,758	176,000	176,607
2027	179,937	172,293	172,583	173,163	173,743	175,193
2028	182,662	168,267	168,574	169,190	169,805	171,343
2029	182,662	164,875	165,374	166,370	167,367	169,858
2030	182,662	157,650	158,534	160,302	162,070	166,490
2031	182,662	150,405	151,575	153,917	156,259	162,113
2032	182,662	141,143	142,838	146,228	149,617	158,091
2033	182,662	131,239	133,508	138,045	142,583	153,928
2034	182,662	118,927	122,255	128,912	135,569	152,212
2035	182,662	109,909	113,788	121,547	129,307	148,704
2036	182,662	101,663	106,049	114,822	123,594	145,525
2037	182,662	94,425	99,257	108,922	118,586	142,746
2038	182,662	88,285	93,495	103,916	114,337	140,389
2039	182,662	81,843	87,288	98,179	109,071	136,299
2040	182,662	76,185	81,362	91,715	102,069	127,953
Pérdida de producción en 2040 (respecto a producción sin HLB)		-58.3 %	-55.5 %	-49.8 %	-44.1 %	-30.0 %

Nota: Adaptado de SIEA - MIDAGRI, Bassanezi & Bassanezi (2008) y datos de encuestas a productores de limón (2022).

Figura 34

Producción constante, escenario epidemiológico, escenario de adopción total y escenarios de adopción parcial en toneladas, 1980-2040



Nota: Adaptado de SIEA - MIDAGRI, Bassanezi & Bassanezi (2008) y datos de encuestas a productores de limón (2022).

La comparación de los hallazgos de dos estudios, el de Vera-Villagrán *et al.* (2016) en Colima, México, y el de Miranda *et al.* (2012) en el Estado de Sao Paulo, Brasil, arroja una valiosa convergencia de resultados en el contexto de la producción de cítricos frente a la presencia del HLB.

Ambos estudios llegan a la conclusión de que la producción de cítricos se ve notablemente afectada si no se implementa un programa fitosanitario efectivo para controlar la propagación de la enfermedad del HLB. En el trabajo de Vera-Villagrán *et al.* (2016), se destaca que el escenario D, que incluye acciones como la erradicación, el control de vectores y la replantación, genera la menor reducción de producción, alcanzando las 227.445.532

toneladas. En contraste, el escenario C, que se enfoca solo en el control de vectores, resulta en la pérdida más alta de producción, llegando a 123.578.116 toneladas.

En el estudio de Miranda *et al.* (2012), se confirma que el escenario B, que incorpora un programa fitosanitario, produce menos pérdida de producción en comparación con el escenario A, que no incluye dicho programa. Estos resultados subrayan la efectividad de los programas fitosanitarios en la reducción de la propagación de la enfermedad del HLB y en la mitigación de las pérdidas en la producción de cítricos.

Por otra parte, en un estudio realizado por Spreen *et al.* (2014), se llevaron a cabo simulaciones de la producción de jugo de naranja en Florida abarcando los periodos desde 2011-12 hasta 2031-32, teniendo en cuenta tanto la presencia como la ausencia del efecto del HLB. Con la influencia del HLB, la producción de naranjas en Florida se mantuvo en niveles actuales de 125 a 150 millones de cajas (equivalentes a 5,102 a 6,123 millones de toneladas métricas) o disminuyó; sin el HLB, la producción de naranjas en Florida se elevó a casi 225 millones de cajas (equivalentes a 9,185 millones de toneladas métricas) para el año 2031-32. Estas dos simulaciones arrojaron proyecciones similares en lo que respecta a la producción de limón en Piura.

Esto indica claramente que la implementación de medidas específicas y bien planificadas, como la erradicación, el control de vectores y el programa fitosanitario, es fundamental para mantener la salud y la sostenibilidad de la industria de cítricos en regiones afectadas por el HLB. La investigación respalda la importancia de políticas y acciones proactivas en la lucha contra esta enfermedad que amenaza la producción de cítricos a nivel mundial.

4.3. Análisis beneficio/costo (ABC)

4.3.1. Costos de producción en el tiempo

De acuerdo con la información obtenida de las encuestas de costos de trabajo de campo, se ha calculado que los costos promedio de instalación para una hectárea de limón ascienden a S/ 9,043, mientras que los costos de mantenimiento se mantienen en S/ 3,126. Estas cifras se fundamentan en la premisa de que en una hectárea de limón se encuentran plantados 300 árboles, y el costo de instalación por cada nuevo árbol es de S/ 30.14.

En consecuencia, los costos proyectados para el período de 2024 a 2040 varían en función de la cantidad de árboles ubicados en la categoría de 0-2 años, mientras que los costos de mantenimiento permanecen invariables en el tiempo. Esto se debe a que la enfermedad aún

no ha ingresado a Perú, como se detalla en la Tabla 21. Es importante destacar que los costos en el escenario epidemiológico son equivalentes a los del escenario tendencial, ya que en ambos casos los productores no enfrentan gastos de producción adicionales al no verse afectados por la enfermedad.

Tabla 21

Costos de producción total, costos de instalación y costos de mantenimiento para el escenario tendencial y epidemiológico por una hectárea (en soles)

Año	Costo de instalación de árboles de 0-2 años (en soles) (a)	Costo de mantenimiento de una ha (en soles) (b)	Costo total por ha (en soles) (a)+(b)
2024	1,507.2	3,126.0	4633.2
2025	1,431.8	3,126.0	4557.8
2026	1,375.3	3,126.0	4501.3
2027	1,332.9	3,126.0	4458.9
2028	1,301.1	3,126.0	4427.1
2029	1,277.3	3,126.0	4403.3
2030	1,259.4	3,126.0	4385.4
2031	1,246.0	3,126.0	4372.0
2032	1,235.9	3,126.0	4361.9
2033	1,228.4	3,126.0	4354.4
2034	1,222.7	3,126.0	4348.7
2035	1,218.5	3,126.0	4344.5
2036	1,215.3	3,126.0	4341.3
2037	2,457.2	3,126.0	5583.2
2038	3,100.2	3,126.0	6226.2
2039	3,361.7	3,126.0	6487.7
2040	3,388.6	3,126.0	6514.6

Nota: Adaptado de encuestas a productores de limón en Piura (2022).

En consecuencia, la variación de los costos de producción adicionales en los escenarios afectados por el HLB ya sea en el caso de adopción total o de adopción parcial por parte de los productores del PNF, se calcula siguiendo una lógica similar a la del escenario tendencial. Esto implica utilizar las tablas correspondientes que reflejan la variación en el número

estimado de árboles por hectárea, según su categoría de edades a lo largo del tiempo. No obstante, en estos escenarios de adopción total y adopción parcial, se incurre en costos adicionales debido a actividades tales como la remoción de plantas enfermas, el control, la inspección y otros aspectos relacionados con la gestión del HLB.

Dado que, hasta el año 2023, Perú no ha reportado la presencia del HLB, se ha tomado como referencia el estudio de Miranda *et al.* (2012) para estimar el incremento porcentual en los costos de producción debido al manejo del HLB. Según dicho estudio, la implementación de un control de HLB con un nivel de costos medios, que incluye actividades como la inspección y el monitoreo de la enfermedad, conlleva un incremento de los costos en un 36 por ciento. En contraste, un control de HLB con un nivel de costos altos, que implica un mayor número de inspecciones y monitoreos, resulta en un aumento del 67 por ciento en los costos de producción (Ver Anexo 8 y 9).

Este enfoque metodológico se utiliza para evaluar y cuantificar cómo el manejo del HLB impactaría los costos de producción en diferentes escenarios, y proporciona una base sólida para tomar decisiones informadas en relación con la gestión de la enfermedad y su influencia en la rentabilidad de la producción de limón en Perú.

4.3.2. Coeficientes de costos y jornales

Con el fin de obtener información técnica sobre los costos relacionados con la producción de 10 TM de limón en la región de Piura, y también para evaluar su impacto en la cadena de producción directa, que abarca desde viveros y productores hasta el transporte interprovincial, pasando por acopio, transporte, empaque, procesamiento, comercio mayorista y minorista en la región, se utilizaron los parámetros técnicos establecidos en un estudio previo realizado por el IICA en 2018 para producciones similares.

Es importante destacar que estos costos se han actualizado considerando los jornales actuales en la cadena de producción directa, los precios de transacción del producto correspondientes al año 2023 y un índice de precios basado en datos recopilados durante la investigación de campo, como se describe en detalle en el Anexo 10.

En este contexto, las pérdidas proyectadas en la producción de limones para el período comprendido entre 2024 y 2040 se calcularon considerando el valor bruto de producción en cada escenario. Para ello, se emplearon precios estimados en función de la tasa de crecimiento esperada para cada año, lo que a su vez generó un Valor Actual Neto (VAN) con

referencia al año 2024, que es el año de evaluación de la relación Beneficio-Costo (B/C). Para esta evaluación se utilizó una tasa de descuento del 8 por ciento, que corresponde a la tasa social de descuento empleada por el gobierno para la evaluación de proyectos públicos (MEF, 2019).

La Tabla 22 presenta un resumen de las pérdidas en la producción en los escenarios afectados por la enfermedad del HLB, en comparación con el escenario tendencial. Estas pérdidas se calcularon mediante la comparación de la producción proyectada en el escenario tendencial con la producción obtenida en los diferentes escenarios de adopción parcial (25 por ciento, 30 por ciento, 40 por ciento, 50 por ciento y 75 por ciento) y en el escenario de adopción total (donde el 100 por ciento de los productores implementan el PNF).

Tabla 22

Pérdida de producción de escenario de adopción parcial y adopción total con HLB

Años	Diferencia producción (en TM)					
	Adopción 25 por ciento	Adopción 30 por ciento	Adopción 40 por ciento	Adopción 50 por ciento	Adopción 75 por ciento	Adopción 100 por ciento
2024	99	93	79	66	33	0
2025	463	419	332	244	25	0
2026	1,819	1,698	1,455	1,213	606	0
2027	7,644	7,354	6,774	6,194	4,744	2,144
2028	14,395	14,088	13,472	12,857	11,319	6,346
2029	18,052	17,546	16,535	15,523	12,995	6,772
2030	25,759	24,848	23,027	21,207	16,655	7,816
2031	33,701	32,478	30,031	27,585	21,469	9,899
2032	43,996	42,200	38,609	35,017	26,037	10,986
2033	58,361	55,397	49,470	43,542	28,724	8,948
2034	68,254	64,832	57,987	51,141	34,029	10,879
2035	80,351	76,066	67,497	58,927	37,504	10,336
2036	90,666	85,756	75,937	66,117	41,569	10,937
2037	100,084	94,603	83,641	72,679	45,275	11,480

Continúa...

2038	108,457	102,469	90,494	78,518	48,579	11,972
2039	117,364	111,025	98,346	85,668	53,972	14,480
2040	125,113	118,676	105,801	92,926	60,739	18,713

Nota: Adaptado en base a Bassanezi & Bassanezi (2008).

Para ilustrar estos resultados, en el caso del escenario de adopción parcial por el 25 por ciento de los productores, el VAN asciende a S/ 591,475,871. En el escenario de adopción parcial por el 30 por ciento, el VAN se estima en S/ 562,328,817. Para la adopción parcial del 40 por ciento, el VAN alcanza los S/ 504,034,709, mientras que, en el escenario de adopción parcial del 50 por ciento, el VAN se sitúa en S/ 445,740,602. Para el escenario de adopción parcial del 75 por ciento, el VAN es de S/ 300,005,333, y finalmente, en el escenario de adopción total por el 100 por ciento de los productores, el VAN alcanza los S/ 99,640,916 (ver Tabla 23).

Tabla 23*Estimación de ingresos de las pérdidas evitadas de producción de escenario de adopción parcial y adopción total con HLB (en soles 2023)*

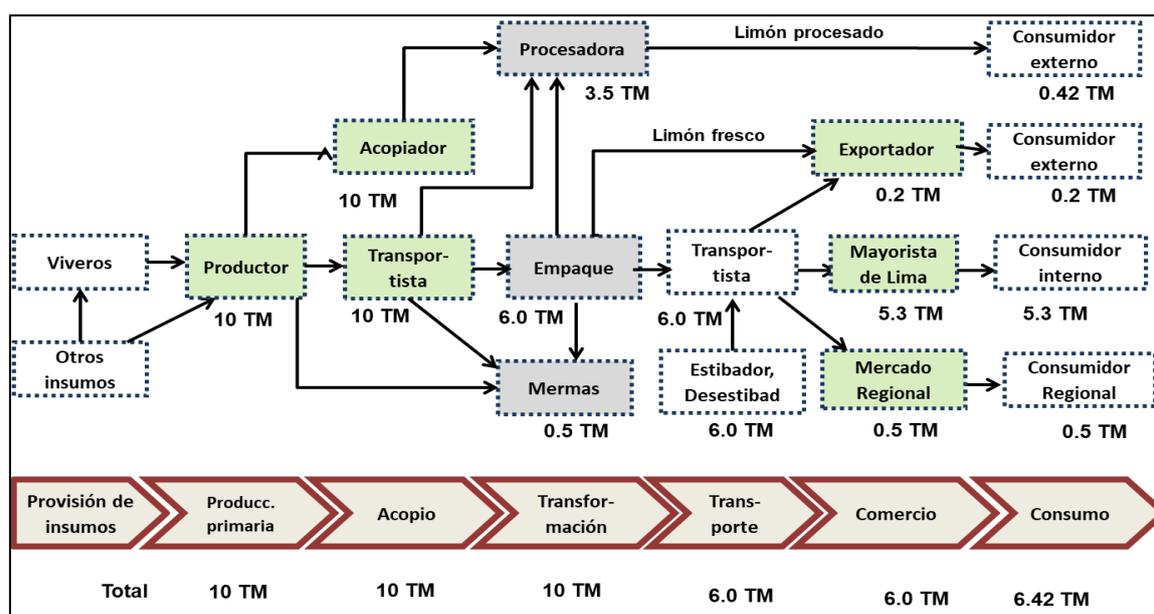
Años	Precio al	Ingreso de las pérdidas evitadas de producción (en soles)					
	productor (S/ x kg)	Adopción 25 %	Adopción 30 %	Adopción %	Adopción 50 %	Adopción 75 %	Adopción 100 %
2024	1.35	133,815	124,894	107,052	89,210	44,605	0
2025	1.36	629,796	570,240	451,128	332,017	34,238	0
2026	1.39	2,528,799	2,360,213	2,023,040	1,685,866	842,933	0
2027	1.42	10,854,777	10,442,889	9,619,112	8,795,336	6,735,894	3,044,944
2028	1.46	21,017,105	20,567,935	19,669,595	18,771,256	16,525,407	9,264,647
2029	1.49	26,897,411	26,143,871	24,636,792	23,129,712	19,362,013	10,090,597
2030	1.55	39,925,723	38,514,621	35,692,417	32,870,213	25,814,704	12,114,093
2031	1.57	52,910,759	50,990,243	47,149,212	43,308,181	33,705,603	15,541,476
2032	1.60	70,393,902	67,520,493	61,773,677	56,026,860	41,659,819	17,578,268
2033	1.64	95,712,104	90,851,596	81,130,581	71,409,566	47,107,028	14,675,037
2034	1.68	114,667,258	108,917,328	97,417,469	85,917,609	57,167,961	18,275,947
2035	1.72	138,203,340	130,833,631	116,094,213	101,354,795	64,506,249	17,778,280
2036	1.76	159,571,768	150,930,712	133,648,598	116,366,485	73,161,202	19,248,648
2037	1.81	181,151,558	171,231,220	151,390,545	131,549,870	81,948,183	20,779,150
2038	1.85	200,645,199	189,567,811	167,413,036	145,258,261	89,871,323	22,148,036
2039	1.89	221,817,629	209,836,525	185,874,316	161,912,107	102,006,584	27,367,164
2040	1.94	242,719,827	230,231,256	205,254,115	180,276,974	117,834,122	36,302,358
VAN 2024		591,475,871	562,328,817	504,034,709	445,740,602	300,005,333	99,640,916

Nota: Adaptado en base a Bassanezi & Bassanezi (2008).

Para la estimación de las pérdidas en la producción y los costos laborales asociados a la cadena de producción directa de limón en la región de Piura, se basó en el análisis del flujo de dicha cadena, el cual se detalla en la Figura 35. Este enfoque permitió evaluar de manera integral cómo el impacto del HLB afecta cada eslabón de la cadena productiva, desde la fase de cultivo hasta la comercialización, brindando así una visión completa de las implicaciones económicas de la enfermedad en el sector limonero de la región.

Figura 35

Flujos de limón de Piura en la cadena productiva directa



Nota: Elaborado en base a IICA (2018).

Al considerar distintos niveles de adopción del PNF, se evaluaron las posibles pérdidas acumulativas de jornales en la cadena productiva del limón entre 2024 y 2040. Para el escenario con un 25% de adopción, se estimaron pérdidas totales de 3,366,580 jornales y un Valor Actual Neto (VAN) al 2024 de S/ 295,036,450 (Anexo 11). En el escenario con un 30% de adopción y la presencia de la enfermedad HLB, se proyectaron 3,202,468 jornales perdidos y un VAN al 2024 de S/ 280,656,147 (Anexo 12). Con una adopción del 40%, se prevén pérdidas de 2,874,244 jornales y un VAN al 2024 de S/ 90,473,433 (Anexo 13). Para el 50% de adopción, se calculan pérdidas de 2,546,020 jornales y un VAN al 2024 de S/ 80,141,830 (Anexo 14). En el caso de una adopción del 75%, se proyectan pérdidas de 1,725,460 jornales y un VAN al 2024 de S/ 54,312,823 (Anexo 15). Finalmente, en el escenario con un 100% de adopción, se estiman pérdidas de 584,401 jornales y un VAN al 2024 de S/ 18,395,354 (Anexo 16).

En cuanto a los costos adicionales, se estimaron los costos incrementales (en soles) asociados a las actividades de prevención, control y manejo del HLB (Programa Nacional de Fitosanitario) tanto para el Gobierno (gestionado por SENASA) como para el programa apoyado por PROCITRUS. Estos costos se valoraron a precio nominal para el período de 2024 a 2040, y se calculó el VAN al año base 0, que corresponde a 2023. Los costos incrementales para el Gobierno se estimaron en S/ 18,569,390. Por otro lado, si el programa cuenta con el respaldo de PROCITRUS, los costos incrementales ascienden a S/ 4,772,044. Considerando ambas fuentes de financiamiento, el total de costos incrementales se valora en S/ 17,228,071, como se muestra en el Anexo 17.

Los costos incrementales relacionados con la producción de limón en la región de Piura, expresados en soles, se determinan teniendo en cuenta las áreas cosechadas hasta el año 2040 en cada uno de los escenarios analizados. En este contexto, los costos adicionales de producción se derivan de la diferencia entre los costos de producción proyectados en un escenario tendencial y los costos de producción correspondientes a los escenarios de adopción parcial (25 por ciento, 30 por ciento, 40 por ciento, 50 por ciento y 75 por ciento) y adopción total (100 por ciento) desde el año 2024 hasta el 2040. Estos costos adicionales se determinan utilizando el VAN al año 2023 para cada escenario, tal como se ilustra en la Tabla 24.

Tabla 24

Costos incrementales de producción de limón en Piura (en soles), debido al implemento de actividades de los productores para manejar el HLB

Escenarios	Adopción parcial 25 por ciento	Adopción parcial 30 por ciento	Adopción parcial 40 por ciento	Adopción parcial 50 por ciento	Adopción parcial 75 por ciento	Adopción total 100 por ciento
VAN de costos adicionales (soles), manejo del HLB	36,886,928	38,433,934	40,493,456	41,173,655	36,839,616	19,136,789

Nota: Adaptado de encuestas a productores de limón en Piura (2022).

4.3.3. Análisis Beneficio/Costo de la cadena productiva del limón

Se analizó exhaustivamente la relación Beneficio/Costo (B/C) en la cadena productiva directa del limón en Piura durante el período 2024-2040. En el escenario de adopción parcial con un 25% de productores aplicando medidas, se registró un VAN de S/ 2,095,593,503. Esta cifra se suma a pérdidas de jornales por S/ 295,036,450 y ganancias no realizadas de S/ 105,970,837. Los costos adicionales para el Gobierno, PROCITRUS y los productores totalizaron S/ 43,452,717, generando ratios B/C de 8.21 para productores, 5.01 para el conjunto de actores, y 15.31 para el Gobierno (consultar Anexo 18).

El análisis del escenario de adopción parcial con un 30% de productores mostró un VAN de S/ 2,124,731,635. Se suman pérdidas de jornales por S/ 280,656,147 y ganancias no obtenidas por S/ 100,805,036. Los costos adicionales se elevaron a S/ 43,677,705, generando ratios B/C de 9.82 para productores, 5.98 para el conjunto de actores y 18.18 para el Gobierno (consultar Anexo 20).

En el escenario de adopción parcial con un 40% de productores, se obtuvo un VAN de S/ 2,183,007,901. Se sumaron pérdidas de jornales por S/ 251,895,542 y ganancias no realizadas de S/ 90,473,433. Los costos incrementales totalizaron S/ 43,559,336, con ratios B/C de 13.22 para productores, 7.99 para el conjunto de actores y 24 para el Gobierno (consultar Anexo 22).

La adopción parcial con un 50% de productores generó un VAN de S/ 2,241,284,166. Se sumaron pérdidas de jornales por S/ 223,134,937 y ganancias no obtenidas por S/ 80,141,830. Los costos incrementales ascendieron a S/ 43,157,298, con ratios B/C de 17.06 para productores, 10.09 para el conjunto de actores y 29.15 para el Gobierno (consultar Anexo 24).

Con un 75% de productores adoptantes, se alcanzó un VAN de S/ 2,386,974,830, con pérdidas de jornales por S/ 151,233,425 y ganancias no realizadas por S/ 54,312,823. Los costos adicionales se estimaron en S/ 40,022,167, generando ratios B/C de 31.15 para productores, 16.31 para el conjunto de actores y 39.91 para el Gobierno (consultar Anexo 26).

Finalmente, el escenario de adopción total (100%) registró un VAN de S/ 2,587,294,642, con pérdidas de jornales por S/ 51,228,384 y ganancias no obtenidas de S/ 9,087,915. Los

costos adicionales se calcularon en S/ 31,803,675, con ratios B/C de 84.21 para productores, 29.97 para el conjunto de actores y 53.61 para el Gobierno (consultar Anexo 28).

Los análisis con control alto del HLB mostraron una tendencia similar en la relación B/C, proporcionando una visión integral de los beneficios potenciales de la inversión en la prevención y gestión del HLB en la producción de limón en Piura. La discusión de los resultados obtenidos por diferentes estudios en distintos contextos geográficos arroja luz sobre la importancia de la implementación de medidas de control para hacer frente a la enfermedad del HLB en la producción de cítricos.

En un contexto en el que los agentes de control biológico contribuyen a la disminución de las poblaciones de *Diaphorina Citri* en plantaciones de cítricos de bajo uso de aspersión y certificadas como orgánicas en Florida, un estudio realizado por Alvarez *et al.* (2016) revelaron que el beneficio total derivado de la erradicación de las plagas del psílido asiático en estas plantaciones ecológicas se estima en aproximadamente 1.88 millones de dólares. No obstante, este monto es inferior al beneficio (pérdidas evitadas) obtenido en los escenarios de adopción total y parcial del PNF en la región Piura.

Por otro lado, en Brasil, Oliveira *et al.* (2013) demostraron que la implementación de medidas de control del HLB tendría un impacto positivo en la economía, generando un beneficio neto significativo de 1,002 mil millones de reales. Además, a lo largo de veinte años, se estimó que esta acción resultaría en una ganancia de 685 millones de reales en términos de valor presente neto. Estos resultados sugieren que el control de la enfermedad representa una inversión rentable en el largo plazo en el ámbito brasileño. El estudio de Miranda *et al.* (2012) revela que, con un 40 por ciento de adopción del Programa Nacional de Fitossanidad (PNF), se obtiene un ratio B/C de 4.6 para el Gobierno, Fundecitrus y los productores.

Por otro lado, el estudio realizado por Vera-Villagrán *et al.* (2016) en Colima, México, examinó el análisis costo-beneficio en distintos escenarios citrícolas. El escenario de erradicación, con la intervención del gobierno, mostró un ratio B/C de 10.9 unidades monetarias, lo cual es comparable al retorno del B/C en Piura, con una adopción del 40 por ciento por parte de los productores.

Estos resultados demuestran que la efectividad de las medidas de control del HLB puede variar según el contexto y la adopción por parte de los productores. No obstante, en todos los casos, se evidencia que la inversión en la prevención y control del HLB es beneficiosa

tanto para la economía como para la sostenibilidad a largo plazo de la industria cítrica. La toma de decisiones y la implementación de políticas públicas efectivas son esenciales para abordar este desafío y garantizar la salud y viabilidad de la producción de cítricos en diversas regiones.

V CONCLUSIONES

La falta de organización entre los pequeños productores, la falta de controles regulares de plagas, la adquisición de plántones de viveros informales y la intensa actividad comercial debido a su ubicación fronteriza los hacen especialmente vulnerables al riesgo del HLB. Estos hallazgos resaltan la urgente necesidad de capacitar a los productores en la detección temprana de la enfermedad, promover la colaboración en el sector y aplicar medidas de control efectivas para mitigar los riesgos asociados con la posible introducción del HLB en la región de Piura.

Por otro lado, las proyecciones epidemiológicas indican que, sin la implementación del Programa Nacional Fitosanitario (PNF), las pérdidas de producción para el año 2040 serían considerablemente altas, alcanzando un 78 por ciento. Sin embargo, la implementación del PNF reduce de manera significativa estas pérdidas, disminuyéndolas al 16 por ciento en un escenario de adopción total. En escenarios de adopción parcial por parte de los productores, que varían del 25 por ciento al 75 por ciento, las pérdidas se reducen a un rango del 31 por ciento al 52 por ciento. Estos resultados subrayan la importancia crítica de la implementación del PNF para reducir las posibles pérdidas en la producción de limón hasta el año 2040 y garantizar la sostenibilidad de este sector.

Además, los análisis de beneficio/costo revelan que la introducción del HLB en 2024 tendría un impacto económico negativo en la cadena de producción de limón en Piura. Sin embargo, la implementación del PNF como parte de la política pública resulta en una relación favorable en los ratios de beneficio-costo en los escenarios de adopción, respaldando la viabilidad de su implementación para mitigar las pérdidas económicas en la cadena de producción de limón en Piura. Es importante destacar que la estrategia más efectiva radica en prevenir la entrada del HLB en el Perú, lo que requiere un estricto control en las fronteras comerciales de la región. En resumen, abordar estos desafíos agronómicos y económicos de manera proactiva es fundamental para garantizar la prosperidad y sostenibilidad de la producción de limón en la región de Piura.

VI RECOMENDACIONES

De las conclusiones del estudio, se presentan las siguientes recomendaciones de política con el fin de abordar las posibles repercusiones económicas en el sector productor de limón en Piura debido a la posible introducción del HLB:

1. Se sugiere dar prioridad a la implementación de un Programa Nacional Fitosanitario integral y eficiente en la región de Piura con el propósito de prevenir la entrada y la propagación del HLB. Este programa debe abarcar medidas de control en los puntos de acceso comerciales para evitar la introducción de esta enfermedad. Es esencial promover la capacitación de los productores de limón en Piura en la adopción de Buenas Prácticas Agrícolas (BPA), que abarquen la gestión adecuada de plagas y enfermedades, así como la instauración de sistemas de seguimiento y control en sus cultivos. Además, se requiere respaldar y estimular la organización de los productores de limón en Piura, fomentando la creación de asociaciones o cooperativas que faciliten la adopción de prácticas más eficaces, la inversión conjunta en tecnologías y la participación en programas de formación. Asimismo, promover la educación y certificación de los viveros puede incentivar a los productores a adquirir sus plantas de fuentes confiables y libres de patógenos. Esta medida complementaria se suma al PNF, fortaleciendo la prevención y reduciendo significativamente el riesgo de introducción de enfermedades desde los viveros informales.
2. Las autoridades competentes deberían considerar la viabilidad de implementar incentivos económicos o fiscales con el propósito de estimular a los productores a adoptar el Programa Nacional Fitosanitario. Estos incentivos podrían incluir la reducción de impuestos agrícolas o el acceso preferencial a opciones de financiamiento en el sector agrícola. Asimismo, es esencial promover la investigación y el desarrollo de variedades de limón resistentes al HLB, así como la exploración de métodos de control biológico y químico efectivos. El Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI) puede colaborar en este empeño, trabajando

en conjunto con instituciones de investigación y universidades para avanzar en esta dirección.

3. Resulta crucial establecer un sistema de vigilancia epidemiológica continuo para monitorear la presencia y expansión del HLB en la región de Piura. Esta acción garantizará una respuesta rápida y eficiente en caso de detectarse casos de la enfermedad. Asimismo, es esencial llevar a cabo evaluaciones regulares de las políticas implementadas y realizar los ajustes pertinentes según sea necesario a medida que evolucione la situación del HLB en la región de Piura.

La implementación de estas recomendaciones contribuirá a proteger la sostenibilidad y rentabilidad del sector productor de limón en Piura, así como a salvaguardar la seguridad alimentaria y la economía de la región en general.

VII BIBLIOGRAFÍA

ADEX DATA TRADE. (2022). *Estadísticas arancelarias*.

<https://www.adexdatatrade.com/Login.aspx?ReturnUrl=%2fMembers%2fProductos.aspx>

Agraria.pe. (2023). Productores advierten sobre riesgo de ‘dragón amarillo’ en limones importados. *Agencia Agraria de Noticias*. <https://agraria.pe/noticias/productores-advierten-sobre-riesgo-de-dragon-amarillo-en-lim-33104>

Alvarez, S., Rohrig, E., Solís, D., & Thomas, M. H. (2016). Citrus Greening Disease (Huanglongbing) in Florida: Economic Impact, Management and the Potential for Biological Control. *Agricultural Research*, 5(2), 109-118.

<https://doi.org/10.1007/s40003-016-0204-z>

Arias, J., & Vargas, C. (2010). *La variación de precios y su impacto sobre los ingresos y el acceso a los alimentos de pequeños productores agrarios en el Perú*.

Barrientos, P. (2018). La agricultura peruana y su capacidad de competir en el mercado internacional. *Equidad y Desarrollo*, 1(32), 143-179.

Bassanezi Beozzo, R., Belasque, J., & Barbosa, J. C. (s. f.). *Projeção da produção de laranja no estado de São Paulo e sul do Triângulo Mineiro considerando diferentes cenários de controle do Huanglongbing*.

Bassanezi, R. B., & Bassanezi, R. C. (2008). An approach to model the impact of Huanglongbing on citrus yield. *Proceedings of the International Research Conference on Huanglongbing*, 1.

Bassanezi, R. B., Belasque Jr, J., & Montesino, L. H. (2013). Frequency of symptomatic trees removal in small citrus blocks on citrus huanglongbing epidemics. *Crop Protection*, 52, 72-77.

- Bassanezi, R. B., Montesino, L. H., Gasparoto, M. C. G., Bergamin Filho, A., & Amorim, L. (2011). Yield loss caused by huanglongbing in different sweet orange cultivars in São Paulo, Brazil. *European Journal of Plant Pathology*, 130(4), 577-586.
<https://doi.org/10.1007/s10658-011-9779-1>
- Bassanezi, R., & Bassanezi, R. (2008). An approach to model the impact of Huanglongbing on citrus yield. *Proceedings of the International Research Conference on Huanglongbing*, 301-304.
- Bassanezi, R., Lopes, S. A., de Miranda, M. P., Wulff, N. A., Volpe, H. X., & Ayres, A. J. (2020). Overview of citrus huanglongbing spread and management strategies in Brazil. *Tropical Plant Pathology*, 45(3), 251-264.
- Bouvet, J. P. R., Vanaclocha, P., Stansly, P. A., Urbaneja, A., & Monzó, C. (2014). El psílido asiático de los cítricos y la enfermedad de HLB, el gran desafío para nuestra citricultura. *Agricultura: Revista agropecuaria*, 972, 278-284.
- Bové, J. M. (2006). Huanglongbing: A destructive, newly-emerging, century-old disease of citrus. *Journal of plant pathology*, 7-37.
- Caballero, J. M. (2015). Agricultura peruana y campesinado: Balance de la investigación reciente y patrón de evolución. *Apuntes: Revista de Ciencias Sociales*, 14, 3-38.
- Cabrini, S. M., Calcaterra, C. P., & Lema, D. (2013). Costos ambientales y eficiencia productiva en la producción agraria del partido de Pergamino. *Revibec: revista iberoamericana de economía ecológica*, 20, 27-43.
- Carvajalino, C. A. M., & Prada, J. R. R. (2016). De la economía agrícola a la economía de la ruralidad. *Equidad y desarrollo*, 25, 95-117.
- CENAGRO. (2012). *IV Censo Nacional Agropecuario*.

- Chávez, F. E. (2011). *ANÁLISIS HISTOLÓGICO Y EPIDEMIOLÓGICO DEL LIMÓN MEXICANO Y LIMÓN PERSA ASOCIADOS A SÍNTOMAS DEL HLB (Huanglongbing)*.
- Cuervo, L. M. (2012). *Prospectiva económica: Una primera aproximación al estado del arte*. CEPAL.
- Djeddour, D., Pratt, C., Constantine, K., Rwomushana, I., & Day, R. (2021). *The Asian Citrus Greening Disease (Huanglongbing)*.
- Feldman, A. M., & Serrano, R. (2006). *Welfare economics and social choice theory* (2^o edición). Springer Science & Business Media. 10.1007/978-1-4615-8141-3
- Godet, M., Monti, R., Meunier, F., & Roubelat, F. (2000). *La caja de herramientas de la prospectiva estratégica*. Gerpa.
- González, M. M. R., Santos, M. O., Ramírez, M. Á. M., Monreal, J. J. V., Urrutia, V. M. M., & Stuchi, E. S. (2018). Experiencias con huanglongbing en limón Mexicano en el Estado de Colima, México. *Citrus Research & Technology*, 39, 1-12.
- Hall, D. G., & McCollum, G. (2011). Survival of adult Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae), on harvested citrus fruit and leaves. *Florida Entomologist*, 1094-1096.
- Hodges, A. W., & Spreen, T. H. (2012a). Economic impacts of citrus greening (HLB) in Florida, 2006/07–2010/11. *EDIS*, 2012(1).
- Hodges, A. W., & Spreen, T. H. (2012b). Economic impacts of citrus greening (HLB) in Florida, 2006/07–2010/11. *EDIS*, 2012(1).
- INEI. (2017). *Censos Nacionales 2017 – XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas*. <http://censo2017.inei.gob.pe/>
- Isaza Castro, J. G. (2009). *Supply Chains: Approaches and Concepts (Cadenas Productivas: Enfoques Y Precisiones Conceptuales)*.

- Lara, I. J., & Franco, O. (2017). Análisis del costo-beneficio, una herramienta de gestión. *Revista: CE Contribuciones a la Economía*.
- Lopes, S. A., Bertolini, E., Frare, G. F., Martins, E. C., Wulff, N. A., Teixeira, D. C., Fernandes, N. G., & Cambra, M. (2009). Graft transmission efficiencies and multiplication of 'Candidatus Liberibacter americanus' and 'Ca. Liberibacter asiaticus' in citrus plants. *Phytopathology*, 99(3), 301-306.
- López Aita, J. P. (2018). *Propuesta de mejora del proceso de cultivo de limón basado en modelos predictivos de rendimiento agrícola en los valles: Alto Piura y San Lorenzo, 2018* [Universidad Nacional de Piura].
<http://repositorio.unp.edu.pe/handle/UNP/1769>
- Lopez, V., Myers-Morgan, L., & Thomas, J. (2011). *Fao Support To The Management Of Citrus Greening Disease In Jamaica*.
- Manjunath, K., Halbert, S., Ramadugu, C., Webb, S., & Lee, R. (2008). Detection of 'Candidatus Liberibacter asiaticus' in *Diaphorina citri* and its importance in the management of citrus huanglongbing in Florida. *Phytopathology*, 98(4), 387-396.
- Manjunath, K. L., Ramadugu, C., Majil, V. M., Williams, S., Irej, M., & Lee, R. F. (2010). First report of the citrus huanglongbing associated bacterium 'Candidatus Liberibacter asiaticus' from sweet orange, Mexican lime, and Asian citrus psyllid in Belize. *Plant Disease*, 94(6), 781-781.
- Manzanilla-Ramírez, M. Á., Villegas-Monter, Á., Velázquez-Monreal, J. J., Zavaleta-Mancera, H. A., Sandoval-Villa, M., Muñoz-Orozco, A., Manzanilla-Ramírez, M. Á., Villegas-Monter, Á., Velázquez-Monreal, J. J., Zavaleta-Mancera, H. A., Sandoval-Villa, M., & Muñoz-Orozco, A. (2019). Physiological changes in Mexican lemon trees in production infected with HLB. *Revista Mexicana de*

Ciencias Agrícolas, 10(7), 1603-1614.

<https://doi.org/10.29312/remexca.v10i7.1957>

Martínez, Y., Llauger, R., Batista, L., Luis, M., Iglesia, A., Collazo, C., Peña, I., Casín, J.

C., Cueto, J., & Tablada, L. M. (2009). First report of 'Candidatus Liberibacter asiaticus' associated with Huanglongbing in Cuba. *Plant Pathology*, 58(2).

MEF. (2019). *Directiva General del Sistema Nacional de Programación Multianual y Gestión de Inversiones. Anexo 11. Parámetros de Evaluación Social*. Diario El Peruano.

Mercado, W. (2018). Institutional economy of the quinoa productive chain in Junin, Peru.

Scientia Agropecuaria, 9(3), 329-342.

MIDAGRI. (2020). *Piura se consolida como primera región exportadora de limón*.

Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego.

<https://www.gob.pe/institucion/midagri/noticias/76585-piura-se-consolida-como-primera-region-exportadora-de-limon>

Miranda, S. H. G. de, Adami, A. C. de O., & Bassanezi, R. B. (2012). *Economic impacts of huanglongbing disease in São Paulo State*.

Neupane, D., Moss, C. B., & van Bruggen, A. H. (2016). *Estimating citrus production loss due to citrus huanglongbing in Florida*.

Oliveira, J. M. C. de, Nascimento, A. S. do, Miranda, S. H. G. de, Barbosa, C. de J., & Laranjeiras, F. F. (2013). Estimativa dos impactos econômicos decorrentes de eventual introdução do huanglongbing (HLB) no estado da Bahia. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 35, 755-762.

Oliveira, J. M., Nascimento, A., Miranda, S. H., Barbosa, C. de J., & Ferraz, F. (2013). Estimativa dos impactos econômicos decorrentes de eventual introdução do

- huanglongbing (HLB) no estado da Bahia. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 35, 755-762.
- Olvera-Vargas, L. A., Gaspar, Á. de J. Q., Contreras-Medina, D. I., & Aguilar-Rivera, N. (2020). Análisis de riesgo potencial de Huanglongbing a través de tecnología geoespacial en Colombia. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 21(3), 1-23.
- Pazolini, K., Arruda, J. H., Chinelato, G. A., Filho, A. B., & Belasque, J. (2021). Temporal progress of Huanglongbing epidemics and the effect of noncommercial inoculum sources on citrus orchards in São Paulo State, Brazil. *Plant Disease*, 105(9). Scopus. <https://doi.org/10.1094/PDIS-09-19-1945-RE>
- Perloff, J. M. (2011). *Microeconomics with calculus*. Pearson Education.
- Pindyck, R. S., & Rubinfeld, D. L. (2009). *Microeconomía* (7^o edición). Pearson.
- Pintor, J. M., García, J., Faulín, J., & Lera, F. (2003). *Situación actual y prospectiva de futuro del sector de las energías renovables en Navarra*.
- Robles-González, M. M., Velázquez-Monreal, J. J., Manzanilla-Ramirez, M. Á., Orozco-Santos, M., Medina-Urrutia, V. M., López-Arroyo, J. I., & Flores-Virgen, R. (2013). Síntomas del Huanglongbing (HLB) en árboles de limón mexicano [*Citrus aurantifolia* (Christm) Swingle] y su dispersión en el estado de Colima, México. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 19(1), 15-31.
- Rodríguez, H. A. R., & Rojas, M. N. M. (2006). La importancia de la prospectiva en la sociedad. *Universidad & Empresa*, 5(10), 257-270.
- Salcedo, D., Mora, G., Covarrubias, I., Cintora, C., Hinojosa, R., DePaolis, F., & Mora, S. (2011). Assessment of the Economic Impact of Huanglongbing (HLB) disease on Mexico's Citrus Chain. *Comuniica Magazine*, 2011(936-2016-74321).

- SENASA. (2018). Senasa elimina foco de insecto que transmite HLB en Tumbes. *SENASA al día*. <https://www.senasa.gob.pe/senasacontigo/senasa-elimina-foco-de-insecto-que-transmite-hlb-en-tumbes/>
- SENASA. (2021). Productores piuranos exportaron más de 9 mil toneladas de limón en primer semestre del año. *SENASA al día*. <https://www.senasa.gob.pe/senasacontigo/productores-piuranos-exportaron-mas-de-9-mil-toneladas-de-limon-en-primer-semester-del-ano/>
- SIEA. (2021a). *Perfil productivo y competitivo de los principales cultivos del sector*. Sistema Integrado de Estadísticas Agrarias. <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiYzE2YzA3YWUtZGZiZi00NDFmLTliYWYtOTI1MTU5MWQ2YjQzIiwidCI6IjdmMDg0NjI3LTdmNDAtNDg3OS04OTE3LTk0Yjg2ZmQzNWYzZiJ9>
- SIEA. (2021b). *Perfil Productivo y Regional*. Sistema Integrado de Estadísticas Agrarias. https://siea.midagri.gob.pe/portal/siea_bi/index.html
- Sour, L. (2008). *El enfoque económico en el estudio de las políticas públicas*. <http://repositorio-digital.cide.edu/handle/11651/816>
- Spreen, T. H., Baldwin, J.-P., & Futch, S. H. (2014). An economic assessment of the impact of Huanglongbing on citrus tree plantings in Florida. *HortScience*, 49(8), 1052-1055.
- Stiglitz, J. E. (2003). *La economía del sector público* (3^o edición, Vol. 24). Antoni Bosch Editor.
- Sulzbach, M., de Oliveira, R. P., Girardi, E. A., Bassanezi, R. B., Laranjeira, F. F., & Schwarz, S. F. (2018). Risk analysis of introduction and spread of huanglongbing in citrus groves in Rio Grande do Sul, Brazil. *Tropical Plant Pathology*, 43(1), 49-58. <https://doi.org/10.1007/s40858-017-0198-5>

- Texeira, D. C., Ayres, J., Kitajima, E. W., Danet, L., Jagoueix-Eveillard, S., Saillard, C., & Bové, J. M. (2005). First Report of a Huanglongbing-Like Disease of Citrus in Sao Paulo State, Brazil and Association of a New Liberibacter Species, “Candidatus Liberibacter americanus”, with the Disease. *Plant Disease*, 89(1), 107-107.
<https://doi.org/10.1094/PD-89-0107A>
- Trillas, F. (2007). *Temas de Microeconomía Aplicada*. UAB.
- Van der Heyden, D., Camacho, P., Marlin, C., & González, M. S. (2004). *Guía metodológica para el análisis de cadenas productivas*. SNV.
- Varian, H. R. (2015). *Microeconomía intermedia: Un enfoque actual* (8° edición). Antoni Bosch editor.
- Vera-Villagrán, E., Sagarnaga-Villegas, L. M., Salas-González, J. M., Leos-Rodríguez, J. A., Galvão De Miranda, S. H., & Cristina De Oliveira Adami, A. (2016). Economic impact analysis for combating HLB in key lime citrus groves in Colima, Mexico, assuming the Brazilian approach. *Custos e Agronegocio*, 12(4), 344-363. Scopus.
- Vivas Viachica, E. A. (1997). *Fundamentos de economía agraria*. Universidad Nacional Agraria. <https://repositorio.una.edu.ni/3122/>
- Wallace, M. (2016). *An economic assessment of the potential impacts of invasive alien species: The case of Huanglongbing (HLB) in Belize*.

VIII ANEXOS

Anexo 1

Número de árboles estimados en una hectárea por categoría de edades a través del tiempo

t	wt (0-2 años)	xt (3-5 años)	yt (6-10 años)	zt (+ 10 años)
0	40	60	120	80
1	50	60	120	70
2	48	73	120	60
3	46	66	138	50
4	44	61	120	75
5	43	57	105	95
6	42	53	93	111
7	42	51	83	124
8	41	48	75	135
9	41	47	68	144
10	41	45	63	151
11	41	44	59	157
12	40	43	55	161
13	40	43	52	165
14	82	42	50	127
15	103	52	48	98
16	112	65	49	75
17	112	76	53	59

Nota: Adaptado de Bassanezi & Bassanezi (2008) y datos de encuestas a productores de limón en Piura (2022).

Anexo 2

Participación estimada de la superficie cosechada en una hectárea por categoría de edades a través del tiempo

t	a (3-5 años)	b(6-10 años)	c(+ 10 años)
0	23 %	46 %	31 %
1	24 %	48 %	28 %
2	29 %	48 %	24 %
3	26 %	54 %	20 %
4	24 %	47 %	29 %
5	22 %	41 %	37 %
6	21 %	36 %	43 %
7	20 %	32 %	48 %
8	19 %	29 %	52 %
9	18 %	26 %	56 %
10	17 %	24 %	58 %
11	17 %	23 %	60 %
12	17 %	21 %	62 %
13	16 %	20 %	64 %
14	19 %	23 %	58 %
15	26 %	24 %	49 %
16	34 %	26 %	40 %
17	41 %	28 %	31 %

Nota: Adaptado de Bassanezi & Bassanezi (2008) y datos de encuestas a productores de limón en Piura (2022).

Anexo 3

Producción total, superficie cosechada total y superficie cosechada estimados por categoría de edades a través del tiempo

t	Pt (producción en toneladas)	Spct			
		(superficie cosechada en hectáreas)	d hectáreas (3-5 años)	e hectáreas (6-10 años)	f hectáreas (+ 10 años)
0	171,763	14,087	3,251	6,501	4,334
1	174,488	14,314	3,435	6,871	4,008
2	177,213	14,541	4,175	6,910	3,455
3	179,937	14,768	3,846	8,019	2,903
4	182,662	14,995	3,582	7,044	4,369
5	185,387	15,222	3,371	6,246	5,605
6	188,112	15,449	3,205	5,593	6,651
7	190,837	15,676	3,077	5,057	7,542
8	193,562	15,903	2,979	4,620	8,304
9	196,287	16,130	2,907	4,265	8,959
10	199,012	16,357	2,855	3,977	9,525
11	201,737	16,584	2,821	3,745	10,018
12	204,462	16,811	2,800	3,560	10,451
13	207,187	17,039	2,791	3,414	10,833
14	209,912	17,266	3,317	3,924	10,024
15	212,637	17,493	4,602	4,236	8,655
16	215,362	17,720	6,074	4,585	7,060
17	171,763	17,947	7,304	5,045	5,598

Nota: Adaptado de Bassanezi & Bassanezi (2008) y datos de encuestas a productores de limón en Piura (2022).

Anexo 4

Producción total (constante), superficie cosechada total y superficie cosechada estimados por categoría de edades a través del tiempo

t	Pt	Spct			
	(producción en toneladas)	(superficie cosechada en hectáreas)	d hectáreas (3-5 años)	e hectáreas (6-10 años)	f hectáreas (+ 10 años)
0	169,038	14,087	3,251	6,501	4,334
1	171,763	14,314	3,435	6,871	4,008
2	174,488	14,541	4,175	6,910	3,455
3	177,213	14,768	3,846	8,019	2,903
4	179,937	14,995	3,582	7,044	4,369
5	182,662	15,222	3,371	6,246	5,605
6	182,662	15,222	3,158	5,510	6,554
7	182,662	15,222	2,987	4,911	7,323
8	182,662	15,222	2,851	4,422	7,948
9	182,662	15,222	2,743	4,024	8,454
10	182,662	15,222	2,657	3,701	8,864
11	182,662	15,222	2,589	3,437	9,195
12	182,662	15,222	2,536	3,223	9,463
13	182,662	15,222	2,493	3,050	9,678
14	182,662	15,222	2,925	3,460	8,837
15	182,662	15,222	4,004	3,686	7,532
16	182,662	15,222	5,218	3,939	6,065
17	182,662	15,222	6,195	4,279	4,748

Nota: Adaptado de Bassanezi & Bassanezi (2008) y datos de encuestas a productores de limón en Piura (2022).

Anexo 5*Rendimiento y producción estimados por categoría de edades a través del tiempo*

t	RA _t (3-5 años)	RB _t (6-10 años)	RC _t (+ 10 años)	PA _t (3-5 años)	PB _t (6-10 años)	PC _t (+ 10 años)
0	2	10	23	6,501	65,015	97,522
1	2	10	24	6,871	68,705	96,187
2	4	10	26	16,700	69,104	88,684
3	4	10	28	15,385	80,189	81,640
4	2	10	23	7,163	70,440	102,334
5	2	10	20	6,742	62,462	113,459
6	2	8	20	6,410	44,740	134,237
7	2	8	19	6,153	40,460	141,499
8	2	8	18	5,958	36,963	147,916
9	2	8	17	5,814	34,117	153,631
10	2	8	17	5,711	31,813	158,763
11	2	8	16	5,642	29,959	163,411
12	2	8	16	5,601	28,481	167,656
13	2	8	16	5,582	27,314	171,566
14	2	8	17	6,635	31,396	169,157
15	2	8	19	9,203	33,887	166,822
16	2	8	23	12,149	36,682	163,806
17	4	8	26	29,214	40,360	145,788

Nota: Adaptado de Bassanezi & Bassanezi (2008) y datos de encuestas a productores de limón en Piura (2022).

Anexo 6

Número de árboles estimados en una hectárea por categoría de edades a través del tiempo, con una eliminación del 2 por ciento de árboles anualmente

t	wt (0-2 años)	xt (3-5 años)	yt (6-10 años)	zt (+ 10 años)
0	48	58	118	78
1	65	55	115	65
2	66	69	113	53
3	67	66	127	40
4	68	64	109	59
5	68	62	95	74
6	69	61	85	85
7	69	61	76	94
8	69	60	70	101
9	69	60	65	106
10	70	60	61	109
11	70	60	58	112
12	70	60	56	114
13	70	60	55	116
14	99	60	53	88
15	114	67	53	67
16	119	76	54	51
17	120	84	57	39

Nota: Adaptado de Bassanezi & Bassanezi (2008) y datos de encuestas a productores de limón en Piura (2022).

Anexo 7

Número de árboles estimados en una hectárea por categoría de edades a través del tiempo, con una eliminación del 3 por ciento de árboles anualmente

t	wt (0-2 años)	xt (3-5 años)	yt (6-10 años)	zt (+ 10 años)
0	49	57	117	77
1	67	54	114	64
2	69	68	111	51
3	70	66	126	39
4	71	64	108	57
5	72	63	94	71
6	73	62	83	82
7	73	62	75	90
8	74	62	69	95
9	74	62	64	100
10	74	62	61	103
11	74	62	58	105
12	74	62	56	107
13	74	62	55	108
14	101	62	54	82
15	115	69	53	62
16	121	78	54	47
17	121	86	57	36

Nota: Adaptado de Bassanezi & Bassanezi (2008) y datos de encuestas a productores de limón en Piura (2022).

Anexo 8

Costos totales de producción con control medio del HLB para escenarios de adopción parcial y total por una hectárea (soles)

Año	Escenario adopción parcial 25 %	Escenario adopción parcial 30 %	Escenario adopción parcial 40 %	Escenario adopción parcial 50 %	Escenario adopción parcial 75 %	Escenario adopción total 100 %
2024	4395.0	4,468.0	4,613.9	4,759.8	5,124.5	5,489.3
2025	4,876.4	4,944.6	5,081.0	5,217.5	5,558.7	6,084.6
2026	5,357.7	5,421.2	5,548.2	5,675.2	5,992.8	6,679.9
2027	5,351.8	5,408.9	5,523.0	5,637.1	5,922.4	6,669.6
2028	5,347.4	5,399.6	5,504.1	5,608.5	5,869.6	6,661.9
2029	5,344.1	5,392.7	5,489.9	5,587.1	5,830.0	6,656.1
2030	5,341.6	5,387.5	5,479.2	5,571.0	5,800.3	6,651.8
2031	5,339.7	5,383.6	5,471.2	5,558.9	5,778.1	6,648.6
2032	5,338.3	5,380.6	5,465.3	5,549.9	5,761.4	6,646.1
2033	5,337.3	5,378.5	5,460.8	5,543.1	5,748.8	6,644.3
2034	5,336.5	5,376.8	5,457.4	5,538.0	5,739.5	6,642.9
2035	5,335.9	5,375.6	5,454.9	5,534.2	5,732.4	6,641.9
2036	5,335.5	5,374.6	5,453.0	5,531.3	5,727.1	6,641.1
2037	5,335.2	5,374.0	5,451.6	5,529.2	5,723.2	6,640.5
2038	5,334.9	5,373.4	5,450.5	5,527.5	5,720.2	6,640.1
2039	6,440.5	6,518.1	6,673.3	6,828.4	7,216.3	8,030.5
2040	7,008.6	7,106.7	7,302.9	7,499.1	7,989.6	8,745.1

Nota: Adaptado de Miranda *et al.* (2012) y de encuestas a productores de limón en Piura (2022).

Anexo 9*Costos totales de producción con control alto del HLB para escenarios de adopción parcial y total, 2024-2040 (soles)*

Año	Escenario adopción parcial 25 %	Escenario adopción parcial 30 %	Escenario adopción parcial 40 %	Escenario adopción parcial 50 %	Escenario adopción parcial 75 %	Escenario adopción total 100 %
2024	5,212.9	5,348.5	5,619.6	5,890.7	6,568.4	7,473.0
2025	5,717.7	5,853.2	6,124.2	6,395.2	7,072.8	8,204.2
2026	5,705.9	5,833.8	6,089.6	6,345.4	6,984.8	8,191.6
2027	5,697.1	5,819.3	6,063.7	6,308.0	6,918.9	8,182.1
2028	5,690.5	5,808.4	6,044.2	6,280.0	6,869.4	8,175.0
2029	5,685.6	5,800.3	6,029.6	6,258.9	6,832.3	8,169.7
2030	5,681.9	5,794.1	6,018.7	6,243.2	6,804.5	8,165.7
2031	5,679.1	5,789.5	6,010.4	6,231.3	6,783.6	8,162.7
2032	5,677.0	5,786.1	6,004.3	6,222.5	6,768.0	8,160.5
2033	5,675.4	5,783.5	5,999.7	6,215.8	6,756.2	8,158.8
2034	5,674.3	5,781.6	5,996.2	6,210.8	6,747.4	8,157.5
2035	5,673.4	5,780.1	5,993.6	6,207.1	6,740.8	8,156.6
2036	5,672.7	5,779.0	5,991.7	6,204.3	6,735.9	8,155.9
2037	5,672.2	5,778.2	5,990.2	6,202.2	6,732.1	8,155.3
2038	6,874.3	7,038.7	7,367.4	7,696.1	8,517.8	9,863.1
2039	7,492.4	7,687.2	8,076.9	8,466.6	9,440.9	10,740.7
2040	4,708.2	4,843.8	5,114.9	5,386.1	6,064.0	6,741.9

Nota: Adaptado de Miranda *et al.* (2012) y de encuestas a productores de limón en Piura (2022).

Anexo 10

Indicadores técnicos de costos para 10 TM de producción de limón, generación de valores y jornales directos en la cadena productiva directa (valores en soles actualizados en 2023)

Actividad	TM limón fresco	Actor o agente del limón	Margen de beneficio (soles/TM)	Número jornales generados	Valor del jornal (Soles)	Valor total (Soles)
a. Producción (cultivo del limón)	10	Jornaleros		80.0	50.0	4,000.0
b. Acopio de limón fresco	10	Acopiador		5.4	50.0	270.0
c. Transporte rural	10	Conductor		0.7	50.0	33.0
d. Actividad de empaque	6					
Empaque (operarios)	6	Jornaleros		5.5	50.0	27.3
Empaque Empresa mercado interno	5.88	Empresa	122.3			720.3
Empaque Empresa exportación	0.12	Empresa	516.9			89.0
e. Estiba a camión	5.3	Jornaleros		1.3	50.0	66.5
f. Transporte Piura a Lima	5.3	Conductor		2.2	114.0	251.9
Continúa...						
g. Desestiba en Lima	5.3	Jornaleros		1.3	147.0	195.5
h. Comercio mayorista	5.3					
Ayudantes del mayorista	5.3	Ayudantes		1.1	110.0	116.6
Agente Mayorista (margen 20 por ciento) menos costo ayudante.	5.3	Mayorista	305.7			1,621.0
i. Procesadoras	3.5					
Continúa ...						

	Aceite esencial (equivalencia en 14.00 kg total)	3.5	Jornaleros		2.6	50.0	131.5
	Jugo concentrado (equivalencia en 227.50 kg total)	3.5	Jornaleros		2.6	50.0	131.5
	Cáscara deshidratada (equivalencia 175.00 kg total)	3.5	Jornaleros		2.6	50.0	131.5
j.	Exportación	0.2					
	Transporte Piura a Puerto de Paíta, limón fresco	0.2	Conductor		0.2	147.0	29.4
	Transporte Piura-Paíta, limón transformado, 3 productos.	0.0417	Conductor		0.2	147.0	29.4
	Empresa exportadora limón fresco	0.2	Empresa	755.5			151.1
	Empresa transformadora- exportación (20 por ciento de margen de comercio), aceite esencial de limón.	0.014	Empresa	21,112.5			295.6
	Empresa transform- exporta	0.2275	Empresa	516.8			117.6
	Empresa transformadora- exportación (20 por ciento de margen de comercio), cáscara deshidratada de limón.	0.175	Empresa	596.3			104.4
	Continúa...						

k.	Mercado Regional	0.5				
	Limón fresco destinado al mercado regional de Piura	0.5	V. regional	2.0	50.0	100.0
	Transporte de empacadora de Piura al mercado regional	0.5	Conductor	0.2	114.0	17.0
	Total, generado 10 TM limón en jornales y valores (soles)	10		107.9		8,630.1

Nota: Recuperado de IICA (2018) y actualizado en julio 2023.

Anexo 11

Pérdida por jornales en la cadena productiva directa de la limón en el Piura y ganancias no realizadas por los actores de la cadena directa, escenario de adopción parcial del PNF por 25 por ciento

Años	Diferencia de producción	Pérdidas de jornales en producción S/	Jornales en el resto de la cadena productiva directa S/	Ganancias no realizadas por los actores de la cadena productiva directa S/		Pérdida jornales y ganancias en la cadena productiva directa S/	N° jornales perdidos, en la cadena productiva directa
	Negativo por 10 TM	46.35 por ciento	17.74 por ciento	35.91 por ciento	100.00 por ciento		
		S/ 4,000.00	S/ 1,530.98	S/ 3,098.94	S/ 8,630.10		
		80,00	18,45				107.89
2024	99	39,649	15,175	30,717	85,543		1,069
2025	463	185,234	70,897	143,507	399,647		4,996
2026	1,819	727,712	278,528	563,784	1,570,056		19,628
2027	7,644	3,057,684	1,170,313	2,368,895	6,597,027		82,473
2028	14,395	5,758,111	2,203,887	4,461,010	12,423,264		155,311
2029	18,052	7,220,781	2,763,717	5,594,192	15,579,011		194,763
2030	25,759	10,303,412	3,943,578	7,982,414	22,229,862		277,909
2031	33,701	13,480,448	5,159,571	10,443,775	29,084,394		363,601
2032	43,996	17,598,475	6,735,725	13,634,155	37,969,137		474,675
2033	58,361	23,344,416	8,934,954	18,085,736	50,366,143		629,657
2034	68,254	27,301,728	10,449,595	21,151,604	58,904,140		736,396

Continúa ...

2035	80,351	32,140,312	12,301,537	24,900,224	69,343,502	866,905
2036	90,666	36,266,311	13,880,742	28,096,780	78,245,445	978,193
2037	100,084	40,033,493	15,322,612	31,015,349	86,373,233	1,079,803
2038	108,457	43,382,746	16,604,520	33,610,132	93,599,326	1,170,141
2039	117,364	46,945,530	17,968,158	36,370,345	101,286,119	1,266,238
2040	125,113	50,045,325	19,154,588	38,771,865	107,974,002	1,349,848
8 por ciento	VAN 2024 S/	136,783,335	52,353,111	105,970,837	295,036,450	3,688,427
Total, jornales perdidos 2024- 2040		2,735,667	630,913			

Nota: Adaptado de Bassanezi & Bassanezi (2008) y datos de encuestas a productores de limón en Piura (2022).

Anexo 12

Pérdida por jornales en la cadena productiva directa de limón en Piura y ganancias no realizadas por los actores de la cadena directa, escenario de adopción parcial del PNF por 30 por ciento

Años	Diferencia de producción	Pérdidas de jornales en producción S/	Jornales en el resto de la cadena productiva directa S/	Ganancias no realizadas por los actores de la cadena productiva directa S/		N ^o jornales perdidos, en la cadena productiva directa
				Pérdida jornales y ganancias en la cadena productiva directa S/		
	Negativo por 10 TM	46.35 por ciento S/ 4,000.00 80,00	17.74 por ciento S/ 1,530.98 18,45	35.91 por ciento S/ 3,098.94	100.00 por ciento S/ 8,630.10	107.89
2024	93	37,006	14,164	28,670	79,840	998
2025	419	167,718	64,193	129,937	361,855	4,524
2026	1,698	679,198	259,959	526,198	1,465,386	18,320
2027	7,354	2,941,659	1,125,905	2,279,006	6,346,700	79,344
2028	14,088	5,635,051	2,156,786	4,365,671	12,157,759	151,991
2029	17,546	7,018,489	2,686,290	5,437,469	15,142,560	189,306
2030	24,848	9,939,257	3,804,199	7,700,290	21,444,188	268,087
2031	32,478	12,991,145	4,972,293	10,064,695	28,028,710	350,404
2032	42,200	16,880,123	6,460,779	13,077,622	36,419,275	455,299
2033	55,397	22,158,926	8,481,214	17,167,295	47,808,420	597,682

Continúa ...

2034	64,832	25,932,697	9,925,605	20,090,968	55,950,423	699,470
2035	76,066	30,426,426	11,645,556	23,572,417	65,645,752	820,677
2036	85,756	34,302,434	13,129,078	26,575,297	74,008,334	925,222
2037	94,603	37,841,154	14,483,505	29,316,866	81,643,207	1,020,671
2038	102,469	40,987,635	15,687,804	31,754,555	88,431,816	1,105,539
2039	111,025	44,409,847	16,997,638	34,405,862	95,815,321	1,197,845
2040	118,676	47,470,362	18,169,034	36,776,951	102,418,457	1,280,394
8 por ciento	VAN 2024 S/	130,115,505	49,801,033	100,805,036	280,656,147	3,508,650
Total, jornales perdidos 2024- 2040		2,602,310	600,158			

Nota: Adaptado de Bassanezi & Bassanezi (2008) y datos de encuestas a productores de limón en Piura (2022).

Anexo 13

Pérdida por jornales en la cadena productiva directa del limón en Piura y ganancias no realizadas por los actores de la cadena directa, escenario de adopción parcial del PNF por 40 por ciento

	Diferencia de producción	Pérdidas de jornales en producción S/	Jornales en el resto de la cadena productiva directa S/	Ganancias no realizadas por los actores de la cadena productiva directa S/	Pérdida jornales y ganancias en la cadena productiva directa S/	N° jornales perdidos, en la cadena productiva directa
	Negativo por 10 TM	46.35 por ciento S/ 4,000.00 80,00	17.74 por ciento S/ 1,530.98 18,45	35.91 por ciento S/ 3,098.94	100.00 por ciento S/ 8,630.10	107.89
2024	79	31,719	12,140	24,574	68,435	856
2025	332	132,685	50,784	102,796	286,271	3,579
2026	1,455	582,170	222,822	451,027	1,256,045	15,703
2027	6,774	2,709,609	1,037,089	2,099,229	5,846,047	73,085
2028	13,472	5,388,930	2,062,585	4,174,993	11,626,748	145,353
2029	16,535	6,613,904	2,531,437	5,124,023	14,269,658	178,394
2030	23,027	9,210,946	3,525,442	7,136,043	19,872,840	248,442
2031	30,031	12,012,538	4,597,737	9,306,534	25,917,342	324,008
2032	38,609	15,443,419	5,910,888	11,964,557	33,319,551	416,548

Continúa...

2033	49,470	19,787,947	7,573,734	15,330,415	42,692,975	533,730
2034	57,987	23,194,635	8,877,626	17,969,696	50,042,988	625,617
2035	67,497	26,998,654	10,333,595	20,916,802	58,250,251	728,221
2036	75,937	30,374,681	11,625,751	23,532,329	65,534,112	819,281
2037	83,641	33,456,474	12,805,292	25,919,901	72,183,154	902,405
2038	90,494	36,197,413	13,854,372	28,043,403	78,096,797	976,335
2039	98,346	39,338,480	15,056,599	30,476,897	84,873,724	1,061,057
2040	105,801	42,320,436	16,197,927	32,787,123	91,307,367	1,141,488
8 por ciento	VAN 2024 S/	116,779,845	44,696,879	90,473,433	251,895,542	3,149,097
Total, jornales perdidos 2024- 2040		2,335,597	538,647			

Nota: Adaptado de Bassanezi & Bassanezi (2008) y datos de encuestas a productores de limón en Piura (2022).

Anexo 14

Pérdida por jornales en la cadena productiva directa del limón en Piura y ganancias no realizadas por los actores de la cadena directa, escenario de adopción parcial del PNF por 50 por ciento

Años	Diferencia de producción	Pérdidas de jornales en producción S/	Jornales en el resto de la cadena productiva directa S/	Ganancias no realizadas por los actores de la cadena productiva directa S/		Pérdida jornales y ganancias en la cadena productiva directa S/	N ^o jornales perdidos, en la cadena productiva directa
				46.35 por ciento	17.74 por ciento		
	Negativo por 10 TM	S/ 4,000.00 80,00	S/ 1,530.98 18,45	S/ 3,098.94	S/ 8,630.10		107.89
2024	66	26,433	10,117	20,478	57,029		713
2025	244	97,652	37,376	75,654	210,687		2,634
2026	1,213	485,141	185,685	375,856	1,046,704		13,085
2027	6,194	2,477,559	948,273	1,919,452	5,345,394		66,826
2028	12,857	5,142,810	1,968,384	3,984,315	11,095,737		138,714
2029	15,523	6,209,319	2,376,584	4,810,576	13,396,756		167,481
2030	21,207	8,482,636	3,246,685	6,571,795	18,301,492		228,798
2031	27,585	11,033,931	4,223,180	8,548,373	23,805,975		297,613
2032	35,017	14,006,715	5,360,997	10,851,492	30,219,827		377,796

Continúa...

2033	43,542	17,416,967	6,666,254	13,493,534	37,577,529	469,779
2034	51,141	20,456,574	7,829,647	15,848,424	44,135,554	551,765
2035	58,927	23,570,883	9,021,633	18,261,188	50,854,751	635,766
2036	66,117	26,446,928	10,122,424	20,489,361	57,059,889	713,340
2037	72,679	29,071,795	11,127,078	22,522,937	62,723,102	784,139
2038	78,518	31,407,192	12,020,939	24,332,251	67,761,777	847,130
2039	85,668	34,267,113	13,115,559	26,547,931	73,932,126	924,270
2040	92,926	37,170,510	14,226,820	28,797,295	80,196,277	1,002,582
8 por ciento	VAN 2024 S/	103,444,184	39,592,724	80,141,830	223,134,937	2,789,543
Total, jornales perdidos 2024- 2040		2,068,884	477,136			

Nota: Adaptado de Bassanezi & Bassanezi (2008) y datos de encuestas a productores de limón en Piura (2022).

Anexo 15

Pérdida por jornales en la cadena productiva directa del limón en Piura y ganancias no realizadas por los actores de la cadena directa, escenario de adopción parcial del PNF por 75 por ciento

Años	Diferencia de producción	Pérdidas de jornales en producción S/	Jornales en el resto de la cadena productiva directa S/	Ganancias no realizadas por los actores de la cadena productiva directa S/		Pérdida jornales y ganancias en la cadena productiva directa S/	N° jornales perdidos, en la cadena productiva directa
				por ciento	por ciento		
	Negativo por 10 TM	46.35 por ciento S/ 4,000.00 80,00	17.74 por ciento S/ 1,530.98 18,45	35.91 por ciento S/ 3,098.94	100.00 por ciento S/ 8,630.10		107.89
2024	33	13,216	5,058	10,239	28,514		356
2025	25	10,070	3,854	7,802	21,726		272
2026	606	242,571	92,843	187,928	523,352		6,543
2027	4,744	1,897,435	726,233	1,470,009	4,093,762		51,179
2028	11,319	4,527,509	1,732,880	3,507,619	9,768,210		122,118
2029	12,995	5,197,856	1,989,452	4,026,961	11,214,500		140,199
2030	16,655	6,661,859	2,549,792	5,161,175	14,373,122		179,687
2031	21,469	8,587,415	3,286,788	6,652,971	18,527,555		231,624
2032	26,037	10,414,955	3,986,270	8,068,830	22,470,517		280,917

Continúa...

2033	28,724	11,489,519	4,397,554	8,901,332	24,788,916	309,901
2034	34,029	13,611,419	5,209,700	10,545,243	29,366,967	367,134
2035	37,504	15,001,453	5,741,728	11,622,151	32,365,999	404,627
2036	41,569	16,627,546	6,364,107	12,881,942	35,874,333	448,486
2037	45,275	18,110,096	6,931,545	14,030,525	39,072,971	488,475
2038	48,579	19,431,637	7,437,358	15,054,370	41,924,229	524,120
2039	53,972	21,588,695	8,262,961	16,725,518	46,578,133	582,301
2040	60,739	24,295,695	9,299,051	18,822,725	52,418,552	655,316
8 por ciento	VAN 2024 S/	70,105,033	26,832,337	54,312,823	151,233,425	1,890,659
Total, jornales perdidos 2024- 2040		1,402,101	323,359			

Nota: Adaptado de Bassanezi & Bassanezi (2008) y datos de encuestas a productores de limón en Piura (2022).

Anexo 16

Pérdida por jornales en la cadena productiva directa del limón en Piura y ganancias no realizadas por los actores de la cadena directa, escenario de adopción parcial del PNF por 100 por ciento

Años	Diferencia de producción	Pérdidas de jornales en producción S/	Jornales en el resto de la cadena productiva directa S/	Ganancias no realizadas por los actores de la cadena productiva directa S/	Pérdida jornales y ganancias en la cadena productiva directa S/	N ^o jornales perdidos, en la cadena productiva directa
	Negativo por 10 TM	46.35 por ciento S/ 4,000.00 80,00	17.74 por ciento S/ 1,530.98 18,45	35.91 por ciento S/ 3,098.94	100.00 por ciento S/ 8,630.10	107.89
2024	-	-	-	-	-	-
2025	-	-	-	-	-	-
2026	-	-	-	-	-	-
2027	2,144	857,731	328,292	664,514	1,850,575	23,135
2028	6,346	2,538,259	971,506	1,966,478	5,476,356	68,463
2029	6,772	2,708,885	1,036,812	2,098,668	5,844,485	73,065
2030	7,816	3,126,218	1,196,544	2,421,990	6,744,890	84,322
2031	9,899	3,959,612	1,515,521	3,067,650	8,542,959	106,801
2032	10,986	4,394,567	1,681,998	3,404,625	9,481,385	118,532
2033	8,948	3,579,277	1,369,950	2,772,991	7,722,378	96,542

Continúa ...

2034	10,879	4,351,416	1,665,482	3,371,194	9,388,285	117,369
2035	10,336	4,134,484	1,582,452	3,203,129	8,920,249	111,517
2036	10,937	4,374,693	1,674,391	3,389,228	9,438,506	117,996
2037	11,480	4,592,077	1,757,594	3,557,643	9,907,518	123,860
2038	11,972	4,788,765	1,832,875	3,710,024	10,331,876	129,165
2039	14,480	5,791,992	2,216,855	4,487,259	12,496,364	156,225
2040	18,713	7,485,022	2,864,853	5,798,909	16,149,117	201,890
8 por ciento	VAN 2024 S/	23,744,059	9,087,915	18,395,354	51,228,384	640,437
Total, jornales perdidos 2024- 2040		474,881	109,519			

Nota: Adaptado de Bassanezi & Bassanezi (2008) y datos de encuestas a productores de limón en Piura (2022).

Anexo 17

Costos incrementales por Prevención y Manejo del HLB por el Gobierno (SENASA) y PROCITRUS (Soles), a valor nominal (2024-2040) y VAN al año 0 (2023)

	2023 (VAN)	2024	2025	2026	2027	2029	2029	2030		
Gobierno Incremental	14,223,716	818,556	2,650,601	4,923,738	2,891,638	1,880,898	1,065,528	932,615		
PROCITRUS Incremental	2,705,271	296,577	296,577	296,577	296,577	296,577	296,577	296,577		
Gobierno y PROCITRUS	16,928,987	1,115,133.35	2,947,178.20	5,220,315.84	3,188,215.70	2,177,475.19	1,362,104.95	1,229,192.77		
Continúa...										
	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
	830,960	750,532	685,205	631,023	631,023	631,023	631,023	631,023	631,023	631,023
	296,577	296,577	296,577	296,577	296,577	296,577	296,577	296,577	296,577	296,577
	1,127,537.42	1,047,109.03	981,782.83	927,600.27	927,600.27	927,600.27	927,600.27	927,600.27	927,600.27	927,600.27

Nota: Adaptado de Bassanezi & Bassanezi (2008) y datos de encuestas a productores de limón en Piura (2022).

Anexo 18

Análisis Beneficio Costo de la cadena productiva directa de limón en Piura, en el escenario de adopción parcial, con adopción del 25 por ciento de los productores y con costos de un control medio de HLB

	Escenario Epidemiológico	Escenario parcial 25 por ciento	Jornales Perdidos
I. Beneficios			
A. Valor de Producción	S/ 1,949,902,839	S/ 2,095,593,503	
B. Pérdida de producción	S/ 737,032,720	S/ 591,342,056	
C. Reducción del empleo	S/ 367,043,390	S/ 295,036,450	S/ 4,588,629
C.1. Jornales producción	S/ 170,122,487	S/ 136,783,335	S/ 2,735,667
C.2. Jornales resto cadena	S/ 65,113,497	S/ 52,353,111	S/ 630,913
C.3. Beneficio no logrado	S/ 131,799,845	S/ 105,970,837	
D. Total pérdidas	$D = B + C$	S/ 1,104,076,110	S/ 886,378,506
E. Beneficios (pérdidas evitadas escenario B)		S/ 217,697,604	
II. Costos			
F.-Gobierno		S/ 14,223,716	S/ 18,055,816
G.-PROCITRUS		S/ 2,705,271	S/ 3,864,673
H.-GOB+PROCITRUS	$H = F + G$	S/ 16,928,987	S/ 21,920,489
Continúa...			

I.-Productores (costos adicionales de producción)		S/ 16,856,675	26,523,730
J.-Total costos	$J = H + I$	S/ 43,452,717	S/ 48,444,219
K.-Costos Netos	$J = H + I$	S/ 43,452,717	S/ 48,444,219
L.-Pérdidas netas evitadas (evitados-costos)		S/ 174,244,888	S/ 169,253,385
M.-Ratio B/C PROCITRUS		80.47	56.33
N.-Ratio B/C Productores		8.21	8.21
Ñ.-Ratio B/C (incluye gobierno, Procitrus y productores)		5.01	4.49
O.-Ratio B/C (sólo gobierno)		15.31	12.06
P.- Ratio B/C Gobierno + PROCITRUS		12.86	9.93

Nota: Adaptado de Bassanezi & Bassanezi (2008) y datos de encuestas a productores de limón en Piura (2022).

Anexo 19

Análisis Beneficio Costo de la cadena productiva directa de limón en Piura, en el escenario de adopción parcial, con adopción del 25 por ciento de los productores y con costos de un control alto de HLB

	Escenario Epidemiológico	Escenario parcial 25 por ciento	Jornales Perdidos
I. Beneficios			
A. Valor de Producción	S/ 1,949,902,839	S/ 2,095,593,503	
B. Pérdida de producción	S/ 737,032,720	S/ 591,342,056	
C. Reducción del empleo	S/ 367,043,390	S/ 295,036,450	S/ 4,588,629
C.1. Jornales producción	S/ 170,122,487	S/ 136,783,335	S/ 2,735,667
C.2. Jornales resto cadena	S/ 65,113,497	S/ 52,353,111	S/ 630,913
C.3. Beneficio no logrado	S/ 131,799,845	S/ 105,970,837	
D. Total pérdidas	D = B + C S/ 1,104,076,110	S/ 886,378,506	
E. Beneficios (pérdidas evitadas escenario B)		S/ 217,697,604	
II. Costos			
F.-Gobierno		S/ 14,223,716	S/ 18,055,816
G.-PROCITRUS		S/ 2,705,271	S/ 3,864,673
H.-GOB+PROCITRUS	H = F + G	S/ 16,928,987	S/ 21,920,489
I.-Productores (costos adicionales de producción)		S/ 16,856,675	S/ 36,886,928
J.-Total costos	J = H + I	S/ 53,815,915	S/ 58,807,417
K.-Costos Netos	J = H + I	S/ 53,815,915	S/ 58,807,417
Continúa ...			

L.-Pérdidas netas evitadas (evitados-costos)	S/ 163,881,689	S/ 158,890,187
M.-Ratio B/C PROCITRUS	80.47	56.33
N.-Ratio B/C Productores	5.90	5.90
Ñ.-Ratio B/C (incluye gobierno, Procitrus y productores)	4.05	3.70
O.-Ratio B/C (sólo gobierno)	15.31	12.06
P.- Ratio B/C Gobierno + PROCITRUS	12.86	9.93

Nota: Adaptado de Bassanezi & Bassanezi (2008) y datos de encuestas a productores de limón en Piura (2022).

Anexo 20

Análisis Beneficio Costo de la cadena productiva directa de limón en Piura, en el escenario de adopción parcial, con adopción del 30 por ciento de los productores y con costos de un control medio de HLB

	Escenario Epidemiológico	Escenario parcial 30 por ciento	Jornales Perdidos
I. Beneficios			
A. Valor de Producción	S/ 1,949,902,839	S/ 2,124,731,635	
B. Pérdida de producción	S/ 737,032,720	S/ 562,203,923	
C. Reducción del empleo	S/ 367,043,390	S/ 280,656,147	S/ 4,588,629
C.1. Jornales producción	S/ 170,122,487	S/ 130,115,505	S/ 2,602,310
C.2. Jornales resto cadena	S/ 65,113,497	S/ 130,115,505	S/ 600,158
C.3. Beneficio no logrado	S/ 131,799,845	S/ 100,805,036	
D. Total pérdidas	D = B + C	S/ 842,860,070	
E. Beneficios (pérdidas evitadas escenario B)		S/ 261,216,039	
II. Costos			
F.-Gobierno		S/ 14,365,953	S/ 18,055,816
G.-PROCITRUS		S/ 2,705,271	S/ 3,864,673
H.-GOB+PROCITRUS	H = F + G	S/ 17,071,224	S/ 21,920,489
I.-Productores (costos adicionales de producción)		S/ 16,856,675	S/ 26,606,481

Continúa ...

J.-Total costos	J = H + I	S/ 43,677,705	S/ 48,526,970
K.-Costos Netos	J = H + I	S/ 43,677,705	S/ 48,526,970
L.-Pérdidas netas evitadas (evitados-costos)		S/ 217,538,335	S/ 212,689,070
M.-Ratio B/C PROCITRUS		96.56	67.59
N.-Ratio B/C Productores		9.82	9.82
Ñ.-Ratio B/C (incluye gobierno, Procitrus y productores)		5.98	5.38
O.-Ratio B/C (sólo gobierno)		18.18	14.47
P.- Ratio B/C Gobierno + PROCITRUS		15.30	11.92

Nota: Adaptado de Bassanezi & Bassanezi (2008) y datos de encuestas a productores de limón en Piura (2022).

Anexo 21

Análisis Beneficio Costo de la cadena productiva directa de limón en Piura, en el escenario de adopción parcial, con adopción del 30 por ciento de los productores y con costos de un control alto de HLB

	Escenario	Escenario parcial 30 por ciento	Jornales Perdidos
I. Beneficios	Epidemiológico		
A. Valor de Producción	S/ 1,949,902,839	S/ 2,124,731,635	
B. Pérdida de producción	S/ 737,032,720	S/ 562,203,923	
C. Reducción del empleo	S/ 367,043,390	S/ 280,656,147	S/ 4,588,629
C.1. Jornales producción	S/ 170,122,487	S/ 130,115,505	S/ 2,602,310
C.2. Jornales resto cadena	S/ 65,113,497	S/ 130,115,505	S/ 600,158
C.3. Beneficio no logrado	S/ 131,799,845	S/ 100,805,036	
D. Total pérdidas	D = B + C	S/ 842,860,070	
E. Beneficios (pérdidas evitadas escenario B)		S/ 261,216,039	
II. Costos			
F.-Gobierno		S/ 14,365,953	S/ 18,055,816
G.-PROCITRUS		S/ 2,705,271	S/ 3,864,673
H.-GOB+PROCITRUS	H = F + G	S/ 17,071,224	S/ 21,920,489
I.-Productores (costos adicionales de producción)		S/ 16,856,675	S/ 38,433,934
J.-Total costos	J = H + I	S/ 55,505,159	S/ 60,354,424
Continúa...			

K.-Costos Netos	J = H + I	S/ 55,505,159	S/ 60,354,424
L.-Pérdidas netas evitadas (evitados-costos)		S/ 205,710,881	S/ 200,861,616
M.-Ratio B/C PROCITRUS		96.56	67.59
N.-Ratio B/C Productores		6.80	6.80
Ñ.-Ratio B/C (incluye gobierno, Procitrus y productores)		4.71	4.33
O.-Ratio B/C (sólo gobierno)		18.18	14.47
P.- Ratio B/C Gobierno + PROCITRUS		15.30	11.92

Nota: Adaptado de Bassanezi & Bassanezi (2008) y datos de encuestas a productores de limón en Piura (2022).

Anexo 22

Análisis Beneficio Costo de la cadena productiva directa de limón en Piura, en el escenario de adopción parcial, con adopción del 40 por ciento de los productores y con costos de un control medio de HLB

	Escenario Epidemiológico	Escenario parcial 40 por ciento	Jornales Perdidos
I. Beneficios			
A. Valor de Producción	S/ 1,949,902,839	S/ 2,183,007,901	
B. Pérdida de producción	S/ 737,032,720	S/ 503,927,657	
C. Reducción del empleo	S/ 367,043,390	S/ 251,895,542	S/ 4,588,629
C.1. Jornales producción	S/ 170,122,487	S/ 116,779,845	S/ 2,335,597
C.2. Jornales resto cadena	S/ 65,113,497	S/ 44,696,879	S/ 538,647
C.3. Beneficio no logrado	S/ 131,799,845	S/ 90,473,433	
D. Total pérdidas	D = B + C	S/ 1,104,076,110	S/ 755,823,200
E. Beneficios (pérdidas evitadas escenario B)		S/ 348,252,910	
II. Costos			
F.-Gobierno		S/ 14,508,190	S/ 18,055,816
G.-PROCITRUS		S/ 2,705,271	S/ 3,864,673
H.-GOB+PROCITRUS	H = F + G	S/ 17,213,461	S/ 21,920,489
I.-Productores (costos adicionales de producción)		S/ 16,856,675	S/ 26,345,875
J.-Total costos	J = H + I	S/ 43,559,336	S/ 48,266,364
K.-Costos Netos	J = H + I	S/ 43,559,336	S/ 48,266,364
Continúa...			

L.-Pérdidas netas evitadas (evitados-costos)	S/ 304,693,574	S/ 299,986,546
M.-Ratio B/C PROCITRUS	128.73	90.11
N.-Ratio B/C Productores	13.22	13.22
Ñ.-Ratio B/C (incluye gobierno, Procitrus y productores)	7.99	7.22
O.-Ratio B/C (sólo gobierno)	24.00	19.29
P.- Ratio B/C Gobierno + PROCITRUS	20.23	15.89

Nota: Adaptado de Bassanezi & Bassanezi (2008) y datos de encuestas a productores de limón en Piura (2022).

Anexo 23

Análisis Beneficio Costo de la cadena productiva directa de limón en Piura, en el escenario de adopción parcial, con adopción del 40 por ciento de los productores y con costos de un control alto de HLB

	Escenario Epidemiológico	Escenario parcial 40 por ciento	Jornales Perdidos
I. Beneficios			
A. Valor de Producción	S/ 1,949,902,839	S/ 2,183,007,901	
B. Pérdida de producción	S/ 737,032,720	S/ 503,927,657	
C. Reducción del empleo	S/ 367,043,390	S/ 251,895,542	S/ 4,588,629
C.1. Jornales producción	S/ 170,122,487	S/ 116,779,845	S/ 2,335,597
C.2. Jornales resto cadena	S/ 65,113,497	S/ 44,696,879	S/ 538,647
C.3. Beneficio no logrado	S/ 131,799,845	S/ 90,473,433	
D. Total pérdidas	D = B + C	S/ 1,104,076,110	S/ 755,823,200
E. Beneficios (pérdidas evitadas escenario B)		S/ 348,252,910	
II. Costos			
F.-Gobierno		S/ 14,508,190	S/ 18,055,816
G.-PROCITRUS		S/ 2,705,271	S/ 3,864,673
H.-GOB+PROCITRUS	H = F + G	S/ 17,213,461	S/ 21,920,489
I.-Productores (costos adicionales de producción)		S/ 16,856,675	S/ 26,345,875
J.-Total costos	J = H + I	S/ 43,559,336	S/ 48,266,364
Continúa...			

K.-Costos Netos	J = H + I	S/ 43,559,336	S/ 48,266,364
L.-Pérdidas netas evitadas (evitados-costos)		S/ 304,693,574	S/ 299,986,546
M.-Ratio B/C PROCITRUS		128.73	90.11
N.-Ratio B/C Productores		13.22	13.22
Ñ.-Ratio B/C (incluye gobierno, Procitrus y productores)		7.99	7.22
O.-Ratio B/C (sólo gobierno)		24.00	19.29
P.- Ratio B/C Gobierno + PROCITRUS		20.23	15.89

Nota: Adaptado de Bassanezi & Bassanezi (2008) y datos de encuestas a productores de limón en Piura (2022).

Anexo 24

Análisis Beneficio Costo de la cadena productiva directa de limón en Piura, en el escenario de adopción parcial, con adopción del 50 por ciento de los productores y con costos de un control medio de HLB

	Escenario Epidemiológico	Escenario parcial 50 por ciento	Jornales Perdidos
I. Beneficios			
A. Valor de Producción	S/ 1,949,902,839	S/ 2,241,284,166	
B. Pérdida de producción	S/ 737,032,720	S/ 445,651,392	
C. Reducción del empleo	S/ 367,043,390	S/ 223,134,937	S/ 4,588,629
C.1. Jornales producción	S/ 170,122,487	S/ 103,444,184	S/ 2,068,884
C.2. Jornales resto cadena	S/ 65,113,497	S/ 39,592,724	S/ 477,136
C.3. Beneficio no logrado	S/ 131,799,845	S/ 80,141,830	
D. Total pérdidas	$D = B + C$	S/ 1,104,076,110	S/ 668,786,329
E. Beneficios (pérdidas evitadas escenario B)		S/ 435,289,781	
II. Costos			
F.-Gobierno		S/ 14,934,901	S/ 18,055,816
G.-PROCITRUS		S/ 2,705,271	S/ 3,864,673
H.-GOB+PROCITRUS	$H = F + G$	S/ 17,640,173	S/ 21,920,489
I.-Productores (costos adicionales de producción)		S/ 64,698,149	S/ 25,517,125
J.-Total costos	$J = H + I$	S/ 43,157,298	S/ 47,437,614
Continúa ...			

K.-Costos Netos	J = H + I	S/ 43,157,298	S/ 47,437,614
L.-Pérdidas netas evitadas (evitados-costos)		S/ 392,132,483	S/ 387,852,166
M.-Ratio B/C PROCITRUS		160.90	112.63
N.-Ratio B/C Productores		17.06	17.06
Ñ.-Ratio B/C (incluye gobierno, Procitrus y productores)		10.09	9.18
O.-Ratio B/C (sólo gobierno)		29.15	24.11
P.- Ratio B/C Gobierno + PROCITRUS		24.68	19.86

Nota: Adaptado de Bassanezi & Bassanezi (2008) y datos de encuestas a productores de limón en Piura (2022).

Anexo 25

Análisis Beneficio Costo de la cadena productiva directa de limón en Piura, en el escenario de adopción parcial, con adopción del 50 por ciento de los productores y con costos de un control alto de HLB

	Escenario Epidemiológico	Escenario parcial 50 por ciento	Jornales Perdidos
I. Beneficios			
A. Valor de Producción	S/ 1,949,902,839	S/ 2,241,284,166	
B. Pérdida de producción	S/ 737,032,720	S/ 445,651,392	
C. Reducción del empleo	S/ 367,043,390	S/ 223,134,937	S/ 4,588,629
C.1. Jornales producción	S/ 170,122,487	S/ 103,444,184	S/ 2,068,884
C.2. Jornales resto cadena	S/ 65,113,497	S/ 39,592,724	S/ 477,136
C.3. Beneficio no logrado	S/ 131,799,845	S/ 80,141,830	
D. Total pérdidas	$D = B + C$	S/ 668,786,329	
E. Beneficios (pérdidas evitadas escenario B)		S/ 435,289,781	
II. Costos			
F.-Gobierno		S/ 14,934,901	S/ 18,055,816
G.-PROCITRUS		S/ 2,705,271	S/ 3,864,673
H.-GOB+PROCITRUS	$H = F + G$	S/ 17,640,173	S/ 21,920,489
I.-Productores (costos adicionales de producción)		S/ 64,698,149	S/ 41,173,655
J.-Total costos	$J = H + I$	S/ 58,813,827	S/ 63,094,144
Continúa ...			

K.-Costos Netos	J = H + I	S/ 58,813,827	S/ 63,094,144
L.-Pérdidas netas evitadas (evitados-costos)		S/ 376,475,953	S/ 372,195,637
M.-Ratio B/C PROCITRUS		160.90	112.63
N.-Ratio B/C Productores		10.57	10.57
Ñ.-Ratio B/C (incluye gobierno, Procitrus y productores)		7.40	6.90
O.-Ratio B/C (sólo gobierno)		29.15	24.11
P.- Ratio B/C Gobierno + PROCITRUS		24.68	19.86

Nota: Adaptado de Bassanezi & Bassanezi (2008) y datos de encuestas a productores de limón en Piura (2022).

Anexo 26

Análisis Beneficio Costo de la cadena productiva directa de limón en Piura, en el escenario de adopción parcial, con adopción del 75 por ciento de los productores y con costos de un control medio de HLB

	Escenario Epidemiológico	Escenario parcial 75 por ciento	Jornales Perdidos
I. Beneficios			
A. Valor de Producción	S/ 1,949,902,839	S/ 2,386,974,830	
B. Pérdida de producción	S/ 737,032,720	S/ 299,960,728	
C. Reducción del empleo	S/ 367,043,390	S/ 151,233,425	S/ 4,588,629
C.1. Jornales producción	S/ 170,122,487	S/ 70,105,033	S/ 1,402,101
C.2. Jornales resto cadena	S/ 65,113,497	S/ 26,832,337	S/ 323,359
C.3. Beneficio no logrado	S/ 131,799,845	S/ 54,312,823	
D. Total pérdidas	D = B + C S/ 1,104,076,110	S/ 451,194,153	
E. Beneficios (pérdidas evitadas escenario B)		S/ 652,881,957	
II. Costos			
F.-Gobierno		S/ 16,357,273	S/ 18,055,816
G.-PROCITRUS		S/ 2,705,271	S/ 3,864,673
H.-GOB+PROCITRUS	H = F + G	S/ 19,062,544	S/ 21,920,489
I.-Productores (costos adicionales de producción)		S/ 123,800,994	S/ 20,959,623
J.-Total costos	J = H + I	S/ 40,022,167	S/ 42,880,112
Continúa ...			

K.-Costos Netos	J = H + I	S/ 40,022,167	S/ 42,880,112
L.-Pérdidas netas evitadas (evitados-costos)		S/ 612,859,790	S/ 610,001,845
M.-Ratio B/C PROCITRUS		241.34	168.94
N.-Ratio B/C Productores		31.15	31.15
Ñ.-Ratio B/C (incluye gobierno, Procitrus y productores)		16.31	15.23
O.-Ratio B/C (sólo gobierno)		39.91	36.16
P.- Ratio B/C Gobierno + PROCITRUS		34.25	29.78

Nota: Adaptado de Bassanezi & Bassanezi (2008) y datos de encuestas a productores de limón en Piura (2022).

Anexo 27

Análisis Beneficio Costo de la cadena productiva directa de limón en Piura, en el escenario de adopción parcial, con adopción del 75 por ciento de los productores y con costos de un control alto de HLB

	Escenario Epidemiológico	Escenario parcial 75 por ciento	Jornales Perdidos
I. Beneficios			
A. Valor de Producción	S/ 1,949,902,839	S/ 2,386,974,830	
B. Pérdida de producción	S/ 737,032,720	S/ 299,960,728	
C. Reducción del empleo	S/ 367,043,390	S/ 151,233,425	S/ 4,588,629
C.1. Jornales producción	S/ 170,122,487	S/ 70,105,033	S/ 1,402,101
C.2. Jornales resto cadena	S/ 65,113,497	S/ 26,832,337	S/ 323,359
C.3. Beneficio no logrado	S/ 131,799,845	S/ 54,312,823	
D. Total pérdidas	D = B + C S/ 1,104,076,110	S/ 451,194,153	
E. Beneficios (pérdidas evitadas escenario B)		S/ 652,881,957	
II. Costos			
F.-Gobierno		S/ 16,357,273	S/ 18,055,816
G.-PROCITRUS		S/ 2,705,271	S/ 3,864,673
H.-GOB+PROCITRUS	H = F + G	S/ 19,062,544	S/ 21,920,489
I.-Productores (costos adicionales de producción)		S/ 123,800,994	S/ 36,839,616
J.-Total costos	J = H + I	S/ 55,902,160	S/ 58,760,105
Continúa ...			

K.-Costos Netos	J = H + I	S/ 55,902,160	S/ 58,760,105
L.-Pérdidas netas evitadas (evitados-costos)		S/ 596,979,797	S/ 594,121,852
M.-Ratio B/C PROCITRUS		241.34	168.94
N.-Ratio B/C Productores		17.72	17.72
Ñ.-Ratio B/C (incluye gobierno, Procitrus y productores)		11.68	11.11
O.-Ratio B/C (sólo gobierno)		39.91	36.16
P.- Ratio B/C Gobierno + PROCITRUS		34.25	29.78

Nota: Adaptado de Bassanezi & Bassanezi (2008) y datos de encuestas a productores de limón en Piura (2022).

Anexo 28

Análisis Beneficio Costo de la cadena productiva directa de limón en Piura, en el escenario de adopción parcial, con adopción del 100 por ciento de los productores y con costos de un control medio de HLB

	Escenario Epidemiológico	Escenario parcial 100 por ciento	Jornales Perdidos
I. Beneficios			
A. Valor de Producción	S/ 1,949,902,839	S/ 2,587,294,642	
B. Pérdida de producción	S/ 737,032,720	S/ 99,640,916	
C. Reducción del empleo	S/ 367,043,390	S/ 51,228,384	S/ 4,588,629
C.1. Jornales producción	S/ 170,122,487	S/ 23,744,059	S/ 474,881
C.2. Jornales resto cadena	S/ 65,113,497	S/ 9,087,915	S/ 109,519
C.3. Beneficio no logrado	S/ 131,799,845	S/ 18,395,354	
D. Total pérdidas	$D = B + C$ S/ 1,104,076,110	S/ 150,869,300	
E. Beneficios (pérdidas evitadas escenario B)		S/ 953,206,810	
II. Costos			
F.-Gobierno		S/ 17,779,645	S/ 18,055,816
G.-PROCITRUS		S/ 2,705,271	S/ 3,864,673
H.-GOB+PROCITRUS	$H = F + G$	S/ 20,484,916	S/ 21,920,489
I.-Productores (costos adicionales de producción)		S/ 16,856,675	S/ 11,318,759
J.-Total costos	$J = H + I$	S/ 31,803,675	S/ 33,239,248
Continúa ...			

K.-Costos Netos	J = H + I	S/ 31,803,675	S/ 33,239,248
L.-Pérdidas netas evitadas (evitados-costos)		S/ 921,403,135	S/ 919,967,562
M.-Ratio B/C PROCITRUS		352.35	246.65
N.-Ratio B/C Productores		84.21	84.21
Ñ.-Ratio B/C (incluye gobierno, Procitrus y productores)		29.97	28.68
O.-Ratio B/C (sólo gobierno)		53.61	52.79
P.- Ratio B/C Gobierno + PROCITRUS		46.53	43.48

Nota: Adaptado de Bassanezi & Bassanezi (2008) y datos de encuestas a productores de limón en Piura (2022).

Anexo 29

Análisis Beneficio Costo de la cadena productiva directa de limón en Piura, en el escenario de adopción parcial, con adopción del 100 por ciento de los productores y con costos de un control alto de HLB

	Escenario Epidemiológico	Escenario parcial 100 por ciento	Jornales Perdidos
I. Beneficios			
A. Valor de Producción	S/ 1,949,902,839	S/ 2,587,294,642	
B. Pérdida de producción	S/ 737,032,720	S/ 99,640,916	
C. Reducción del empleo	S/ 367,043,390	S/ 51,228,384	S/ 4,588,629
C.1. Jornales producción	S/ 170,122,487	S/ 23,744,059	S/ 474,881
C.2. Jornales resto cadena	S/ 65,113,497	S/ 9,087,915	S/ 109,519
C.3. Beneficio no logrado	S/ 131,799,845	S/ 18,395,354	
D. Total pérdidas	D = B + C S/ 1,104,076,110	S/ 150,869,300	
E. Beneficios (pérdidas evitadas escenario B)		S/ 953,206,810	
II. Costos			
F.-Gobierno		S/ 17,779,645	S/ 18,055,816
G.-PROCITRUS		S/ 2,705,271	S/ 3,864,673
H.-GOB+PROCITRUS	H = F + G	S/ 20,484,916	S/ 21,920,489
I.-Productores (costos adicionales de producción)		S/ 16,856,675	S/ 19,136,789
J.-Total costos	J = H + I	S/ 39,621,705	S/ 41,057,278
Continúa ...			

K.-Costos Netos	J = H + I	S/ 39,621,705	S/ 41,057,278
L.-Pérdidas netas evitadas (evitados-costos)		S/ 913,585,105	S/ 912,149,531
M.-Ratio B/C PROCITRUS		352.35	246.65
N.-Ratio B/C Productores		49.81	49.81
Ñ.-Ratio B/C (incluye gobierno, Procitrus y productores)		24.06	23.22
O.-Ratio B/C (sólo gobierno)		53.61	52.79
P.- Ratio B/C Gobierno + PROCITRUS		46.53	43.48

Nota: Adaptado de Bassanezi & Bassanezi (2008) y datos de encuestas a productores de limón en Piura (2022).

Anexo 30

Análisis Beneficio Costo de la cadena productiva directa de limón en Piura, en el escenario de producción constante y con costos de un control medio de HLB

	Epidemiológico	25 por ciento	30 por ciento	40 por ciento	50 por ciento	75 por ciento	Adopción total
	Existe HLB y no PNF	Existe HLB y PNF					
I.-Beneficios	No se hace nada	Se mitiga					
A.-Valor de Producción (ingresos)	S/ 1,888,186,975	S/ 2,017,006,098	S/ 2,042,769,922	S/ 2,094,297,571	S/ 2,145,825,220	S/ 2,274,644,343	S/ 2,455,282,850
B.-Pérdida de producción	S/ 661,647,999	S/ 532,828,876	S/ 507,065,052	S/ 455,537,403	S/ 404,009,754	S/ 275,190,631	S/ 94,552,124
C.-Reducción del empleo	S/ 367,043,390	S/ 295,036,450	S/ 280,656,147	S/ 251,895,542	S/ 223,134,937	S/ 206,763,344	S/ 51,228,384
c.1.-Jornales por Producción	S/ 170,122,487	S/ 136,783,335	S/ 130,115,505	S/ 116,779,845	S/ 103,444,184	S/ 95,842,829	S/ 23,744,059
c.2.-Jornales en el Resto de la Cadena	S/ 65,113,497	S/ 52,353,111	S/ 130,115,505	S/ 44,696,879	S/ 39,592,724	S/ 36,683,345	S/ 9,087,915
c.3.-Beneficios no logrados	S/ 131,799,845	S/ 105,970,837	S/ 100,805,036	S/ 90,473,433	S/ 80,141,830	S/ 74,252,794	S/ 18,395,354
D.-Total pérdidas (pérdidas)	S/ 1,028,691,389	S/ 827,865,326	S/ 787,721,199	S/ 707,432,945	S/ 627,144,691	S/ 481,953,975	S/ 145,780,508
E.-Beneficios (pérdidas evitadas en los escenarios)		S/ 200,826,063	S/ 240,970,190	S/ 321,258,444	S/ 401,546,698	S/ 546,737,414	S/ 882,910,881
II.-Costos							
F.-Gobierno		S/ 14,223,716	S/ 14,365,953	S/ 14,508,190	S/ 14,934,901	S/ 16,357,273	S/ 17,779,645
G.-PROCITRUS		S/ 2,705,271					
H.-GOB + PROCITRUS		S/ 16,928,987	S/ 17,071,224	S/ 17,213,461	S/ 17,640,173	S/ 19,062,544	S/ 20,484,916
Continúa ...							

I.-Productores (costos adicionales de producción)	S/ 23,989,987	S/ 24,078,396	S/ 23,881,491	S/ 23,186,289	S/ 19,268,234	S/ 10,765,625
J.-Total costos	S/ 40,918,974	S/ 41,149,620	S/ 41,094,953	S/ 40,826,462	S/ 38,330,778	S/ 31,250,541
K.-Costos Netos	S/ 40,918,974	S/ 41,149,620	S/ 41,094,953	S/ 40,826,462	S/ 38,330,778	S/ 31,250,541
L.-Pérdidas netas evitadas (evitados-costos)	S/ 159,907,089	S/ 199,820,569	S/ 280,163,491	S/ 360,720,236	S/ 508,406,635	S/ 851,660,340
M.-Ratio B/C PROCITRUS	74.24	89.07	118.75	148.43	202.10	326.37
N.-Ratio B/C Productores	8.37	10.01	13.45	17.32	28.38	82.01
Ñ.-Ratio B/C (incluye gobierno, procitrus y productores)	4.91	5.86	7.82	9.84	14.26	28.25
O.-Ratio B/C (sólo gobierno)	14.12	16.77	22.14	26.89	33.42	49.66
P.- Ratio B/C Gobierno + PROCITRUS	11.86	14.12	18.66	22.76	28.68	43.10

Nota: Adaptado de Bassanezi & Bassanezi (2008) y datos de encuestas a productores de limón en Piura (2022).

Anexo 31

Análisis Beneficio Costo de la cadena productiva directa de limón en Piura, en el escenario de producción constante y con costos de un control alto de HLB

	Epidemiológico	25 por ciento	30 por ciento	40 por ciento	50 por ciento	75 por ciento	Adopción total
	Existe HLB y no PNF	Existe HLB y PNF					
I.-Beneficios	No se hace nada	Se mitiga					
A.-Valor de Producción (ingresos)	S/ 1,888,186,975	S/ 2,017,006,098	S/ 2,042,769,922	S/ 2,094,297,571	S/ 2,145,825,220	S/ 2,274,644,343	S/ 2,455,282,850
B.-Pérdida de producción	S/ 661,647,999	S/ 532,828,876	S/ 507,065,052	S/ 455,537,403	S/ 404,009,754	S/ 275,190,631	S/ 94,552,124
C.-Reducción del empleo	S/ 367,043,390	S/ 295,036,450	S/ 280,656,147	S/ 251,895,542	S/ 223,134,937	S/ 206,763,344	S/ 51,228,384
c.1.-Jornales por Producción	S/ 170,122,487	S/ 136,783,335	S/ 130,115,505	S/ 116,779,845	S/ 103,444,184	S/ 95,842,829	S/ 23,744,059
c.2.-Jornales en el Resto de la Cadena	S/ 65,113,497	S/ 52,353,111	S/ 130,115,505	S/ 44,696,879	S/ 39,592,724	S/ 36,683,345	S/ 9,087,915
c.3.-Beneficios no logrados	S/ 131,799,845	S/ 105,970,837	S/ 100,805,036	S/ 90,473,433	S/ 80,141,830	S/ 74,252,794	S/ 18,395,354
D.-Total pérdidas (pérdidas)	S/ 1,028,691,389	S/ 827,865,326	S/ 787,721,199	S/ 707,432,945	S/ 627,144,691	S/ 481,953,975	S/ 145,780,508
E.-Beneficios (pérdidas evitadas en los escenarios)		S/ 200,826,063	S/ 240,970,190	S/ 321,258,444	S/ 401,546,698	S/ 546,737,414	S/ 882,910,881
II.-Costos							
F.-Gobierno		S/ 14,223,716	S/ 14,365,953	S/ 14,508,190	S/ 14,934,901	S/ 16,357,273	S/ 17,779,645
Continuará ...							

G.-PROCITRUS	S/ 2,705,271					
H.-GOB + PROCITRUS	S/ 16,928,987	S/ 17,071,224	S/ 17,213,461	S/ 17,640,173	S/ 19,062,544	S/ 20,484,916
I.-Productores (costos adicionales de producción)	S/ 33,331,726	S/ 34,751,248	S/ 36,679,335	S/ 37,392,813	S/ 33,862,588	S/ 18,207,415
J.-Total costos	S/ 50,260,713	S/ 51,822,472	S/ 53,892,797	S/ 55,032,985	S/ 52,925,132	S/ 38,692,331
K.-Costos Netos	S/ 50,260,713	S/ 51,822,472	S/ 53,892,797	S/ 55,032,985	S/ 52,925,132	S/ 38,692,331
L.-Pérdidas netas evitadas (evitados-costos)	S/ 150,565,350	S/ 189,147,718	S/ 267,365,647	S/ 346,513,713	S/ 493,812,281	S/ 844,218,550
M.-Ratio B/C PROCITRUS	74.24	89.07	118.75	148.43	202.10	326.37
N.-Ratio B/C Productores	6.03	6.93	8.76	10.74	16.15	48.49
Ñ.-Ratio B/C (incluye gobierno, procitrus y productores)	4.00	4.65	5.96	7.30	10.33	22.82
O.-Ratio B/C (sólo gobierno)	14.12	16.77	22.14	26.89	33.42	49.66
P.- Ratio B/C Gobierno + PROCITRUS	11.86	14.12	18.66	22.76	28.68	43.10

Nota: Adaptado de Bassanezi & Bassanezi (2008) y datos de encuestas a productores de limón en Piura (2022).