



**UNIVERSIDAD ESTATAL
PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**“MODELO DE ECOEFICIENCIA PRODUCTIVA PARA LA
REDUCCIÓN DE LA HUELLA ECOLÓGICA EN EL
LABORATORIO DE LARVAS DE CAMARÓN VELEZLAB S.A.S,
SANTA ELENA 2025”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO INDUSTRIAL**

AUTORES:

**ESPINOZA VILLACÍS PAUL FERNANDO
QUIROZ SÁNCHEZ VÍCTOR JOSÉ**

TUTOR:

ING. MONTENEGRO CARVAJAL JHON ENRIQUE, MGTR.

La Libertad, Ecuador, 2026

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por **ESPINOZA VILLACÍS PAUL FERNANDO** y **QUIROZ SÁNCHEZ VÍCTOR JOSÉ**, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniero Industrial**.

TUTOR


ING. MONTENEGRO CARVAJAL JHON ENRIQUE Mgtr.

DIRECTORA DE LA CARRERA


ING. BALÓN RAMOS ISABEL MSc.

La Libertad, a los 12 del mes de agosto del año 2026

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación, modalidad Proyecto de Investigación, "MODELO DE ECOEFICIENCIA PRODUCTIVA PARA LA REDUCCIÓN DE LA HUELLA ECOLÓGICA EN EL LABORATORIO DE LARVAS DE CAMARÓN VELEZLAB S.A.S., SANTA ELENA 2025", elaborado por los Sres. ESPINOZA VILLACIS PAUL FERNANDO y QUIROZ SÁNCHEZ VÍCTOR JOSÉ, estudiantes de la carrera de Ingeniería Industrial, Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, previo a la obtención del título de Ingeniero Industrial, me permito declarar que luego de haberla dirigido, estudiado y revisado, la apruebo en su totalidad.

TUTOR (A)



ING. MONTENEGRO CARVAJAL JHON ENRIQUE Mgtr.

La Libertad, a los 12 días del mes de agosto del año 2026

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **ESPINOZA VILLACIS PAUL FERNANDO Y
QUIROZ SÁNCHEZ VÍCTOR JOSÉ**

DECLARAMOS QUE:

El Trabajo de Titulación, **“MODELO DE ECOEFICIENCIA PRODUCTIVA PARA LA REDUCCIÓN DE LA HUELLA ECOLÓGICA EN EL LABORATORIO DE LARVAS DE CAMARÓN VELEZLAB S.A.S., SANTA ELENA 2025”** previo a la obtención del título de **Ingeniero Industrial**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi/nuestra total autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

La Libertad, a los 27 días del mes de julio del año 2026

LOS AUTORES


ESPINOZA VILLACIS PAUL FERNANDO


QUIROZ SÁNCHEZ VÍCTOR JOSÉ

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **ESPINOZA VILLACIS PAUL FERNANDO Y
QUIROZ SÁNCHEZ VÍCTOR JOSÉ**

Autorizamos a la Universidad Península de Santa Elena la **publicación** en la biblioteca de la Institución del Trabajo de Titulación, **“MODELO DE ECOEFICIENCIA PRODUCTIVA PARA LA REDUCCIÓN DE LA HUELLA ECOLÓGICA EN EL LABORATORIO DE LARVAS DE CAMARÓN VELEZLAB S.A.S., SANTA ELENA 2025”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi/nuestra exclusiva responsabilidad y total autoría.

La Libertad, a los 27 días del mes de julio del año 2026

LOS AUTORES:



ESPINOZA VILLACIS PAUL FERNANDO



QUIROZ SÁNCHEZ VÍCTOR JOSÉ

CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
BIBLIOTECA
Formato No. BIB-009
CERTIFICADO ANTIPLAGIO

La Libertad, 6 de agosto del 2026

006 – TUTOR – 2026

En calidad de tutor del trabajo de titulación denominado: **“MODELO DE ECOEFICIENCIA PRODUCTIVA PARA LA REDUCCIÓN DE LA HUELLA ECOLÓGICA EN EL LABORATORIO DE LARVAS DE CAMARÓN VELEZLAB S.A.S., SANTA ELENA 2025”**, elaborado por los estudiante **Paúl Fernando Espinoza Villacís y Víctor José Quiroz Sánchez**, egresados de la Carrera de Ingeniería Industrial, de la Facultad de Ciencia de la Ingeniería de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, previo a la obtención del Título de Ingeniero Industrial; me permito declarar que una vez analizado en el sistema anti plagio, luego de haber cumplido los requerimientos exigidos de valoración, el presente proyecto ejecutado, se encuentra con 3% de la valoración permitida, por consiguiente se procede a emitir el presente informe. Adjunto reporte de similitud.



Certificado de análisis
Compilatio Magister+ | UPSE-ECU

TESIS ULTIMA_ESPINOZA-QUIROZ

ID: f280bd073f08f256ea10640e03168234e6024343

Nombre del fichero: TESIS ULTIMA_ESPINOZA-QUIROZ.txt
Tamaño del archivo original: 5,18 MB
Número de palabras: 18.448

Depositante: JHON ENRIQUE MONTENEGRO CARVAJAL
Fecha de depósito: 6 de agosto de 2026
Tipo de carga: Interfaz
Fecha de fin de análisis: 6 de agosto de 2026

3%
Textos sospechosos

Atentamente,

ING. MONTENEGRO CARVAJAL JHON ENRIQUE Mgtr.
CI:
DOCENTE TUTOR

CERTIFICADO DE GRAMATOLOGÍA

Certificación de Gramatólogo

Lic. Mariela Kathalina Alfonso Villón
Magister en Administración Educativa

CERTIFICA:

Que después de revisar el contenido del trabajo de titulación **“MODELO DE ECOEFICIENCIA PRODUCTIVA PARA LA REDUCCION DE LA HUELLA ECOLOGICA EN EL LABORATORIO DE LARVAS DE CAMARON VELEZLAB S.A.S, SANTA ELENA 2025”**, elaborado por Espinoza Villacis Paul Fernando y Quiroz Sánchez Víctor José, de la Facultad de Ingeniería Industrial, previo a la obtención al Título de **INGENIERO INDUSTRIAL**, me permito declarar que luego de la observación profunda del texto se denota:

- Pulcritud en la escritura
- La acentuación es precisa
- Se utiliza los signos de puntuación de manera acertada
- No incurre en errores en la utilización de las letras
- La aplicación de la sinonimia es correcta
- Se maneja conocimiento y precisión de la morfosintaxis

Por lo expuesto y en uso de mis derechos como Magister en Docencia y Educación, reconozco la **VALIDEZ ORTOGRÁFICA** de su tesis y dejo a vuestra consideración el certificado de rigor para los efectos legales pertinentes.

La Libertad, 30 de julio del 2026

Atentamente,



Lic. Mariela Alfonso Villón MSc.
C.I. 0919792408
E- mail: cutemariel06@gmail.com
Registro SENESCYT: 6043188.403

AGRADECIMIENTOS

Mi agradecimiento a Dios, proveedor de todos mis éxitos, sobre todo de mi buena salud que me ha permitido cumplir con esta esta de mi vida profesional.

A mis padres y esposa, fuente de apoyo y confianza, aún más durante mi trayectoria universitaria.

A la Universidad Estatal Península de Santa Elena y a la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, por su amable acogida y por la excelente formación académica de la que actualmente me siento orgulloso.

Al Ing. Jhon Enrique Montenegro Carvajal, tutor de este trabajo de titulación, por su tiempo, orientación y exigencia académica durante todo el proceso.

A los especialistas que participaron en la validación del instrumento, por sus observaciones oportunas, y al personal de Velezlab S.A.S., por su colaboración y por facilitar la información necesaria para el desarrollo de este trabajo.

Finalmente, a Víctor Quiroz Sánchez, mi compañero de tesis, por el compromiso y el esfuerzo compartido a lo largo de esta investigación.

Paul Fernando Espinoza Villacís

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por permitirme llegar hasta este punto de mi formación profesional, con salud y perseverancia.

A mi familia, por su respaldo constante y su comprensión durante los momentos de mayor dedicación a este trabajo.

A la Universidad Estatal Península de Santa Elena, por la formación académica recibida en la Carrera de Ingeniería Industrial.

A nuestro tutor, el Ing. Jhon Enrique Montenegro Carvajal, por su acompañamiento técnico durante todo el desarrollo del proyecto.

Al personal operativo de Velezlab S.A.S., por su disposición para colaborar con la información requerida para esta investigación.

Finalmente, a Paul Espinoza Villacís, con quien compartí este proceso de principio a fin.

Víctor José Quiroz Sánchez

DEDICATORIA

El presente trabajo va dedicado a nuestros padres, por el esfuerzo diario que hicieron posible nuestros estudios.

Al personal docente de la Carrera de Ingeniería Industrial de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, en especial a nuestro tutor, el Ing. Jhon Enrique Montenegro Carvajal, por su guía durante el desarrollo de este trabajo.

Finalmente, a la empresa Velezlab S.A.S., por abrirnos las puertas de su laboratorio y permitirnos aplicar lo aprendido en un caso real.

Paul Fernando Espinoza Villacís

Víctor José Quiroz Sánchez

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



ING. BALÓN RAMOS ISABEL MSc.
DIRECTORA DE CARRERA



ING. MENA MEJIA SERGIO ANTONIO MEng.
DOCENTE ESPECIALISTA



ING. MONTENEGRO CARVAJAL JHON ENRIQUE Mgtr.
DOCENTE TUTOR



ING. BUENAÑO BUENAÑO EDISON NOE Mgtr.
DOCENTE UIC

ÍNDICE GENERAL

TRABAJO DE TITULACIÓN.....	i
CERTIFICACIÓN.....	ii
APROBACIÓN DEL TUTOR.....	iii
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD.....	iv
AUTORIZACIÓN.....	v
CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO.....	vi
CERTIFICADO DE GRAMATOLOGÍA.....	vii
AGRADECIMIENTOS.....	viii
AGRADECIMIENTOS.....	ix
DEDICATORIA.....	x
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN.....	xi
ÍNDICE GENERAL.....	xii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xvi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xvii
RESUMEN.....	xviii
ABSTRACT.....	xix
INTRODUCCIÓN.....	20
Justificación.....	22
Objetivo general.....	23
Objetivos específicos.....	23

CAPÍTULO I.....	24
MARCO TEÓRICO.....	24
1.1. Antecedentes investigativos.....	24
1.2. Estado del arte.....	25
1.3. Fundamentos teóricos.....	30
CAPÍTULO II.....	33
MARCO METODOLÓGICO.....	33
2.1. Enfoque de investigación.....	33
2.2. Diseño de investigación.....	33
2.3. Protocolo de investigación.....	34
2.4. Procedimiento metodológico.....	34
2.5. Censo poblacional.....	36
2.5.1. Censo.....	36
2.6. Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de los datos.....	36
2.6.1. Métodos de recolección de los datos.....	36
2.6.2. Técnicas de recolección de los datos.....	37
2.6.3. Instrumentos de recolección de los datos.....	38
2.6.4. Procedimiento de validación de instrumento.....	38
2.6.5. Procedimiento para medir la confiabilidad del instrumento.....	39
2.7. Definición de las variables de estudio.....	39
2.7.1. Operacionalización de las variables.....	40
2.8. Procedimiento para la recolección de los datos.....	43
CAPÍTULO III.....	45
MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	45
3.1. Marco de resultados.....	45
3.1.1. Validez de los instrumentos de investigación utilizados.....	45
3.1.2. Confiabilidad del instrumento.....	47
3.1.3. Resultados y análisis.....	49
3.1.4. Correlación de las variables.....	53
3.2. Descripción de la empresa.....	54
3.3. Etapa 1: diagnóstico inicial del proceso productivo.....	55

3.3.1. Levantamiento de información del proceso productivo.....	55
3.3.2. Diagrama del flujo de proceso.....	57
3.3.3. Identificación de problemas por medio de Pareto.....	58
3.4. Etapa 2: cálculo de huella ecológica.....	60
3.5. Propuesta de mejora.....	71
3.6. Marco de discusión.....	91
3.7. Limitaciones del estudio.....	92
CONCLUSIONES.....	94
RECOMENDACIONES.....	96
BIBLIOGRAFÍA.....	97
ANEXOS.....	101

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Población objeto de estudio.....	36
Tabla 2. Rango de aceptación por Cronbach.....	39
Tabla 3. Operacionalización de variables.....	41
Tabla 4. Procedimiento para la recolección de datos.....	44
Tabla 5. Criterios aplicados a expertos.....	45
Tabla 6. Datos de los expertos del proceso de validación.....	45
Tabla 7. Revisión de expertos.....	46
Tabla 8. Revisión de expertos.....	47
Tabla 9. Confiabilidad del instrumento.....	48
Tabla 10. Tabulación de matriz general de respuesta encuesta.....	49
Tabla 11. Tabulación de matriz general de respuesta encuesta.....	51
Tabla 12. Tabulación de matriz general de respuesta encuesta.....	51
Tabla 13. Validación de casos.....	52
Tabla 14. Cálculo de Alpha de Cronbach.....	53
Tabla 15. Correlación de variables de estudio.....	54
Tabla 16. Información de la empresa.....	54
Tabla 17. Descripción del proceso productivo.....	55
Tabla 18. Fases de desarrollo de larva.....	57

Tabla 19. Problemas identificados.....	58
Tabla 20. Capacidad instalada de los módulos de producción.....	61
Tabla 21. Consumo de agua por ciclo productivo.....	61
Tabla 22. Cálculo de huella carbono de consumo de agua.....	62
Tabla 23. Huella ecológica del consumo de agua del laboratorio de larvas.....	62
Tabla 24. Cálculo de huella carbono de consumo energético.....	64
Tabla 25. Huella ecológica del consumo energético.....	64
Tabla 26. Cálculo de huella de carbono del consumo de combustible.....	65
Tabla 27. Huella ecológica de consumo de combustible.....	66
Tabla 28. Cálculo de huella carbono de consumo de químicos.....	67
Tabla 29. Cálculo de huella carbono de generación de efluentes.....	67
Tabla 30. Cálculo de huella carbono de generación de efluente.....	68
Tabla 31. Indicadores de ecoeficiencia productiva.....	69
Tabla 32. Escala de nivel de sostenibilidad.....	70
Tabla 33. Cálculo de índice de huella ecológica.....	70
Tabla 34. Tipos de variables y parámetros del modelo actual.....	74
Tabla 35. Comparación entre valores reales y simulados del modelo base (verificación y validación).....	81
Tabla 36. Elaboración de la intervención 1.....	84
Tabla 37. Cronograma de aplicación.....	86
Tabla 38. Variables del modelo SED.....	86
Tabla 39. Comparación de la situación actual y la propuesta.....	89
Tabla 40. Inversión de la propuesta.....	90
Tabla 41. Indicadores de la inversión.....	91

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de bloques.....	27
Figura 2. Enfoque de estudio.....	28
Figura 3. Métodos utilizados.....	28
Figura 4. Técnicas desarrolladas para la recolección de datos.....	29
Figura 5. Instrumentos utilizados en la investigación.....	30
Figura 6. Diseño de la investigación.....	33
Figura 7. Protocolo de investigación.....	34
Figura 8. Procedimiento guía de la investigación.....	35
Figura 9. Plan de recolección de información.....	37
Figura 10. Etapas de validación de la encuesta.....	38
Figura 11. Resumen de respuesta de operadores encuestados.....	48
Figura 12. Estructura organizacional.....	55
Figura 13. Diagrama de flujo del proceso.....	58
Figura 14. Gráfica de Pareto del problema de estudio.....	59
Figura 15. Factores de huella ecológica.....	60
Figura 16. Metodología laboratorio Velezlab S.A.S.....	73
Figura 17. Modelo conceptual.....	75
Figura 18. Software de Simulación en Anylogic.....	78
Figura 19. Simulación en Anylogic actual.....	79
Figura 20. Simulación en Anylogic propuesto.....	88

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A. Etapas del análisis bibliométrico.....	101
Anexo B. Clasificación de artículos seleccionados.....	102
Anexo C. Validación de expertos.....	104
Anexo D. Evidencia del cuestionario.....	109
Anexo E. Compilación de datos en el software SPSS IBM.....	112
Anexo F. Confiabilidad y validez de instrumento.....	113
Anexo G. Correlación de variables.....	113
Anexo H. Carta de aceptación de Capítulo 1 y 2.....	114
Anexo I. Planilla de servicio eléctrico del laboratorio Velezlab S.A.S.....	116
Anexo J. Cálculo de consumo plantilla CNEL EP Velezlab S.A.S.....	117

“MODELO DE ECOEFICIENCIA PRODUCTIVA PARA LA REDUCCIÓN DE LA HUELLA ECOLÓGICA EN EL LABORATORIO DE LARVAS DE CAMARÓN VELEZLAB S.A.S, SANTA ELENA 2025”

Autores: Espinoza Villacís Paul Fernando.

Quiroz Sánchez Víctor José.

Tutor: Ing. Jhon Enrique Montenegro Carvajal, Mgtr.

RESUMEN

La producción acuícola intensiva demandó la implementación de estrategias orientadas a mejorar la sostenibilidad ambiental y optimizar el aprovechamiento de los recursos naturales utilizados en los laboratorios de larvas de camarón. En este contexto, la ecoeficiencia productiva se consolidó como una herramienta fundamental para reducir los impactos ambientales asociados a la actividad. El objetivo de la investigación fue desarrollar un modelo de ecoeficiencia productiva para calcular la huella ecológica del laboratorio Velezlab S.A.S., mediante la integración de herramientas de análisis ambiental y simulación. La metodología empleada correspondió a un enfoque cuantitativo, con un diseño no experimental, descriptivo y correlacional. Se realizó un mapeo sistemático de literatura bajo la metodología PRISMA, identificándose 28 estudios científicos. En cuanto a la metodología, se aplicó técnicas de observación directa, así como encuestas al personal operativo, análisis documental y la simulación de eventos discretos. Lo que muestra el escenario propuesto es que no hace falta elegir entre producir más y cuidar el ambiente: se puede hacer las dos cosas a la vez. La producción por ciclo sube a 30 millones de larvas (venía de 25), y como la mortalidad baja de 6 % a 4 %, al final quedan 28,8 millones de larvas listas, no 23,5. La huella ecológica, mientras tanto, se desploma de 1,90 a apenas 0,28 hag, gracias sobre todo a que se gasta 10,7 % menos energía y 10 % menos combustible. El resultado de todo esto: la ecoeficiencia operativa pasa de 77 % a 85 %. Estos resultados demuestran que el modelo diseñado constituye una herramienta eficaz para analizar el desempeño ambiental, optimizar el uso de recursos y apoyar la toma de decisiones orientadas a la reducción de la huella ecológica en el laboratorio.

Palabras claves: *ecoficiencia, productividad, huella ecológica, recursos e insumos.*

“PRODUCTIVE ECO-EFFICIENCY MODEL FOR REDUCING THE ECOLOGICAL FOOTPRINT AT THE VELEZLAB SAS SHRIMP LARVAE LABORATORY, SANTA ELENA 2025”

Autores: Espinoza Villacís Paul Fernando.

Quiroz Sánchez Víctor José.

Tutor: Ing. Jhon Enrique Montenegro Carvajal, Mgtr.

ABSTRACT

Intensive aquaculture production necessitated the implementation of strategies aimed at improving environmental sustainability and optimizing the use of natural resources in shrimp larval hatcheries. In this context, production eco-efficiency emerged as a fundamental tool for reducing the environmental impacts associated with the activity. The objective of this research was to develop a production eco-efficiency model to calculate the ecological footprint of the Velezlab S.A.S. hatchery by integrating environmental analysis and simulation tools. A quantitative approach was employed, utilizing a non-experimental, descriptive, and correlational design. A systematic literature review was conducted following the PRISMA methodology, identifying 28 scientific studies. Additionally, methods such as direct observation, document analysis, surveys of operational staff, and discrete-event simulation were applied. The results showed that the proposed scenario increased production per cycle from 25 to 30 million larvae and final production from 23.5 to 28.8 million larvae, while mortality decreased from 6 % to 4 %. Concurrently, the total ecological footprint was reduced from 1.90 to 0.28 hag, accompanied by a 10.7 % reduction in energy consumption and a 10.0 % reduction in fuel consumption, as well as an increase in the operational eco-efficiency level from 77 % to 85 %. These results demonstrate that the designed model serves as an effective tool for analyzing environmental performance, optimizing resource use, and supporting decision-making aimed at reducing the hatchery's ecological footprint.

Keywords: *eco-efficiency, productivity, ecological footprint, resources and inputs.*

INTRODUCCIÓN

El artículo de (Liu, 2023) expresa que la ecoeficiencia industrial en 11 provincia y ciudades de la zona económica del río Yangze en China. Para poder medirla utilizó el modelo “SBMM súper eficiente”, apoyado en el índice de Morán para distinguir los análisis espaciales, y cierra con el modelo Tobit para verificar que factores influyen más. Encuentra que la ecoeficiencia industrial de esa zona connota un nivel bajo, aunque con tendencia a subir; en otras palabras, lo que más le frena es la propia estructura industrial y la falta de regulación ambientalmente una ciudad y otra.

Se define la “huella ecológica” como el indicador que verifica la presión ambiental que genera una población, tomando en cuenta la producción de recursos como los residuos que genera. En su investigación (Karla Hilsen García Aragón, 2025) plantea que el crecimiento constante de la actividad humana ha provocado un alarmante deterioro ecológico, por lo tanto, si aumenta el nivel de urbanización, entonces el punto de modulación del capital humano también debe subir más, para mejorar de forma considerable la calidad ambiental. Los sectores que aportan a la huella ecológica se enlistan de la siguiente manera: transporte y construcción (13 %), la industria manufacturera (47 %), y con más aporte el sector energético (47 %).

En Ecuador, según la Cámara Nacional de Acuicultura actualmente existen alrededor de 210 000 hectáreas dedicadas al cultivo y exportación de camarón, donde el 60 % de estas empresas situadas en la provincia del Guayas, asimismo con el 15 % en la provincia de El Oro, de la misma mara esta la provincia de Esmeraldas con un 9 %, y en ultimas instancia entre un 9 % y 7 % quedan las provincias de Manabí y Santa Elena (CNA, 2020). El sector camaronero tiene una alta de crecimiento (más de 40 años), por lo que es considerado uno de los mayores productores del mundo. Este crecimiento también ha provocado perjuicio ambiental de mayor alcance, razón que vuelve imprescindible cuidar el entorno ecológico, para no afectar a las comunidades cercanas a la actividad camaronera. Conservar la calidad del agua, de hecho, es uno de los eslabones más sensibles para sostener una producción eficiente y de calidad en los procesos de acuicultura (Carlos Alexander Rimbaldo Luzon, 2024).

En Ecuador se encuentran 24 provincias de las cuales, solo en cinco de ellas se dedican a la producción y distribución de larvas de camarón, donde se han instado alrededor de 200 laboratorios en puntos específicos que son los únicos que están autorizados para criar y exportar este producto ya sea a mercados nacionales e internacionales. Bajo estos argumentos, el laboratorio Velezlab SAS., es una entidad comercializadora de este tipo de producto en diferentes mercados del país. Por ello, enfrenta el reto de sostener su productividad minimizando impactos ambientales, derivados del alto consumo de agua, energía y alimentos. De tal manera que los desperdicios ocasionados por la fase productiva de esta índole nacen la necesidad de proponer un modelo de gestión ecoeficiente para mitigar la huella ecológica. Asimismo, la falta de indicadores ambientales limita el control de procesos y reduce la competitividad, permitiendo optimizar recursos, disminuir el impacto que genera y fortalezca la posición de la empresa en el sector acuícola.

Antecedentes del problema

La investigación busca analizar el impacto ambiental generado por las actividades productivas del Laboratorio de Larvas de Camarón Velezlab S.A.S., con el propósito de identificar oportunidades de mejora en el uso de recursos como agua, energía e insumos. De esta manera, el estudio contribuye al fortalecimiento de prácticas productivas sostenibles dentro del sector camaronero, promoviendo estrategias orientadas a mejorar la eficiencia operativa y reducir los impactos ambientales asociados a la producción de larvas de camarón. Asimismo, los resultados obtenidos pueden servir como referencia para otras empresas acuícolas interesadas en implementar modelos de producción más eficientes y ambientalmente responsables.

Formulación del problema de investigación

¿Cómo contribuiría el diseño de un modelo de ecoeficiencia productiva a la reducción de la huella ecológica en el Laboratorio de Larvas de Camarón Velezlab S.A.S.?

¿Qué instrumentos y técnicas de medición permiten calcular con mayor precisión la huella ecológica de los procesos productivos del laboratorio?

¿Qué procesos de recopilación y procesamiento de datos garantizan la confiabilidad y validez de los recursos requeridos?

¿Cómo se manifiestan los resultados de la adaptación del modelo de ecoeficiencia productiva en términos de reducción de la huella ecológica en el laboratorio?

Justificación

La importancia de la ejecución de un modelo de ecoeficiencia productiva para mitigar la huella ecológica radica bajo la necesidad de sembrar prácticas productivas sostenibles dentro del sector acuícola, teniendo en cuenta el aumento del impacto ambiental generado por las actividades productivas y el excesivo uso de los recursos naturales. Bajo estos fundamentos, la ecoeficiencia se considera como una estrategia que permite optimizar las actividades productivas en base al uso eficiente de recursos naturales, al mismo instante que se reduce la propagación de residuos y los efectos negativos sobre el entorno. Por lo tanto, la evaluación de la huella ecológica se convierte en una herramienta esencial para calcular el impacto ambiental de las operaciones con la finalidad de orientar la adaptación de mejoras continuas a los sistemas productivos.

En este contexto, la ejecución de este modelo trascendió al perímetro interno de la empresa, ya que impactó efectivamente en el campo ambiental para el sector camaronero dentro de la provincia de Santa Elena. De tal manera, el estudio se centró en una empresa específica, su aplicación pudo constituirse como un referente para otras organizaciones acuícolas interesadas en optimizar su producción y mitigar su impacto ambiental. Así, la investigación integró criterios de eficacia y eficiencia bajo un enfoque sostenible, promoviendo un fortalecimiento competitivo basado en prácticas responsables con el entorno.

En cuanto a la originalidad del planteamiento, se combinaron varias herramientas y métodos para analizar los procesos productivos desde la ecoeficiencia y la evaluación ambiental. De esta manera, fue más fácil detectar las mejoras que se deben realizar de forma continua, así como la metodología puntual para el ahorro del agua, operar de forma más eficiente y baja la huella ecológica de la producción de larvas. Este enfoque aportó a superar las limitaciones, pues va más allá de lo que hace la gestión ambiental tradicional, porque se unifican la productividad y sostenibilidad en una sola mirada.

Respecto a la viabilidad del proyecto, contar con información real de los procesos de la empresa, incluidos datos de uso de insumos, consumo de recursos y generación de residuos, fue clave para sostenerlo. A esos se suma que la aplicación de técnicas analíticas de la ingeniería y del área ambiental, permitió evaluar cómo rendía el sistema productivo y proponer mejoras.

Finalmente, los beneficiarios principales fueron la empresa Velezlab S.A.S., incluido su personal técnico y operativo encargados de la gestión productiva, bajo este enfoque la implementación de un modelo de ecoeficiencia contribuyó a mejorar la administración de los recursos fortaleciendo la sostenibilidad de las operaciones y disminuyendo el impacto ambiental, los resultados obtenidos sirvieron como base de referencia para otras empresas del sector acuícola interesados en adoptar prácticas sostenibles favoreciendo el desarrollo responsable de la industria camaronera.

Objetivo general

Diseñar un modelo de ecoeficiencia productiva, mediante la integración de herramientas de análisis ambiental y simulación de eventos discretos, que permita reducir la huella ecológica del Laboratorio de Larvas de Camarón Velezlab S.A.S.

Objetivos específicos

- Diagnosticar el sistema productivo actual del laboratorio Velezlab S.A.S., mediante la revisión bibliométrica de la literatura y el levantamiento de datos operativos, ambientales y de percepción del personal.
- Formular el modelo conceptual y el modelo analítico de ecoeficiencia productiva que relacionen las variables de producción, mortalidad, consumo de recursos, emisiones y huella ecológica del laboratorio.
- Ejecutar un modelo de simulación de eventos discretos en AnyLogic, asegurando la coherencia de su lógica interna y validación de su funcionamiento en el estado actual de la empresa.
- Evaluar a partir del modelo base validado, escenarios de mejora orientados a la reducción de la huella ecológica y al incremento de la ecoeficiencia productiva del Laboratorio de Larvas de Camarón Velezlab S.A.S.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes investigativos

De acuerdo con (Morales Romero, 2019) describió que la ecoeficiencia en las pequeñas y medianas empresas: cuáles son sus retos y qué beneficios trae para un desarrollo sostenible. Menciona que, en la provincia de Santa Elena el 7 % de las hectáreas están dedicadas al cultivo de camarón, y el problema principal ahí es que a los pequeños productores les falta tecnología e innovación, lo que se traduce en baja utilidad. En lo ambiental, sin embargo, la situación es contradictoria: aunque el 60 % de la gente involucrada en la cadena dice que el cuidado ambiental es lo más importante, las malas prácticas de producción siguen presentes. El resultado, fue una producción anual de 250 000 hectáreas de camarón en 2020.

En el caso de estudio publicado por (González-Rivas, 2023), se abordó la producción de las granjas camaroneras del Golfo de California, en México, desde un enfoque multidisciplinario que sigue cada año de cómo se van expandiendo las granjas. El 88 % de la producción de camarón se concentra en ese estado, y para identificar qué suelos se usan en la actividad camaronera se recurrió a Google Earth Engine (GEE); con esa herramienta se detectó que varios estanques construidos para criar camarón ya no se usan, justamente por el impacto ambiental que dejaron. Al final, la producción resultó ser de 1.28 toneladas por hectárea, con un crecimiento lineal que sí aumenta el valor de la producción, pero a costa de una reducción acelerada del uso de los ecosistemas.

En el estudio realizado por el autor (Yang, 2023) planteó un modelo matemático para estudiar cómo avanza la economía digital junto con la ecoeficiencia verde, mirando el efecto indirecto de la regulación ambiental en 285 ciudades de la industria china. El modelo conecta la tecnología digital con la ecoeficiencia: los insumos que salen de esa tecnología se representan como la elasticidad de sustitución entre dos productos, y también entra en juego cuánta maquinaria existe frente a cuánto realmente se usa en el sector. El resultado apunta al sector minero, que golpea fuerte al medio ambiente porque consume mucha energía; de ahí que se proponga optimizar el sistema de comercio para avanzar en lo digital sin descuidar la ecoeficiencia ecológica.

En la investigación realizado por (Keneth, 2026) estudió la gestión ambiental de las PYMES camaroneras de Guayaquil y encontró que estas empresas no tienen una planificación que controle sus procesos de forma ecoeficiente. A eso se suma que, al no contar con certificaciones ambientales de una entidad pública o internacional, quedan expuestas a riesgos ambientales, razón por la cual se propuso un plan de mitigación orientado a preservar mejor el medio ambiente en estas empresas, junto con una gestión ecoeficiente enfocada en generar menos residuos.

En el estudio elaborado por (Rodríguez-Fernández, 2025) investigó la sostenibilidad del sector agrícola español, con la unión de variables ambientales y económicas del campo agrícola en un periodo que va entre 2004 y 2022, mediante la metodología SBM-DEA no orientada, bajo rendimientos constantes a escala, con datos de la Red de Contabilidad Agrícola. Los resultados fueron: la ecoeficiencia se movió entre 0.644 y 0.837, con un promedio de 77 % en todo el periodo, y un 47 % de las regiones quedó por encima de ese promedio. De ahí salieron oportunidades claras para mejorar la ecoeficiencia productiva y bajar las emisiones de gases de efecto invernadero, tanto a nivel nacional como global.

1.2. Estado del arte

Antes de empezar a buscar artículos, se fijó un protocolo para no improvisar sobre la marcha. Para la búsqueda se usaron términos como: "eco-efficiency", "ecological footprint", "aquaculture" y "discrete-event simulation", que se unieron a AND/OR, en las fuentes de Scopus, Web of Science y Google Scholar entre 2019 y 2025. Se estudiaron artículos científicos indexados en español e inglés con relación directa a la coeficiencia, huella ecológica y simulación de procesos. Se excluyeron las actas de congreso que no fueron revisadas por pares ciegos y capítulos de libros al igual que estudios que no se acoplan al sistema productivo, por lo que se obtuvieron 28 estudios. Cabe recalcar que no es una revisión sistemática en el sentido estricto (no se realizó un metaanálisis estadístico de los resultados) ni un mapeo sistemático completo (no se clasificaron los estudios por tipo de metodología); se efectuó un análisis bibliométrico de tendencias temáticas y con que frecuencia aparecían ciertos conceptos.

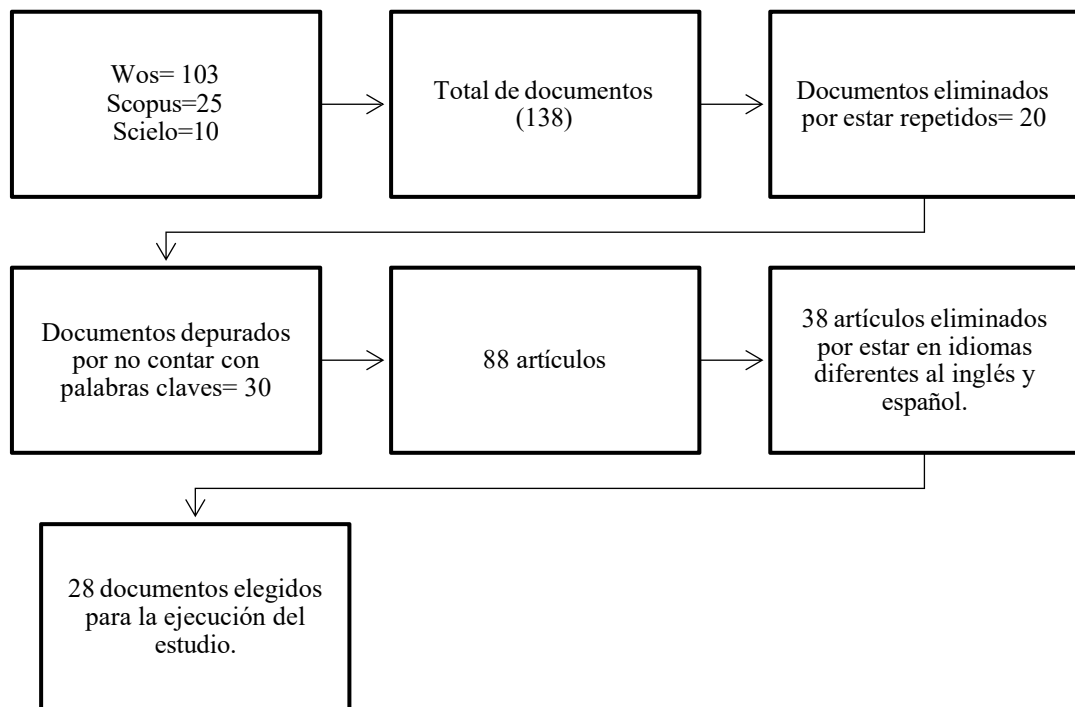
Con el objetivo de obtener información esencial para la investigación, se ejecutó el uso del análisis bibliométrico, abarcando un proceso de revisión bibliográfica científica, posteriormente permite encontrar información precisa y relevante acerca del tema de modelo de ecoeficiencia productiva y huella ecológica en el Laboratorio de Larvas de Camarón Velezlab S.A.S., por tal motivo conforme a lo propuesto por (López-Sevilla, 2024).

Como se observa en el Anexo A los pasos a seguir para el proceso de revisión documental empleando el método bibliométrico, por ende, este proceso se divide en tres etapas principales como son; la planificación, ejecución y por último reporte y análisis de los hallazgos obtenidos. Por ello, la información extraída para el estudio fueron artículos científicos en el cual se efectuó la averiguación en las bases de datos Scopus, Wos y Scielo, mediante estas fuentes investigativas se obtuvo la concordancia y validez de las revistas científicas, haciendo más precisa la información seleccionada por parte del investigador al momento de recabar la información coherente y precisa de las variables analizadas.

La búsqueda se planteó de manera amplia, centrada en las variables del estudio, usando los operadores booleanos “AND” y “OR”, para integrar los conceptos “modelo de ecoeficiencia productiva” y “reducción de huella ecológica”. Esto no solo cubrió más terreno temático, sino que ayudó a filtrar los resultados y asegurar que se mantuvieran pertinentes desde 2020 hasta 2025.

La búsqueda ejecutada en bases de datos ayudó en la recolección de 138 documentos que constituyen una muestra significativa de la literatura científica referente al tema. En la búsqueda bibliográfica como Web of Science se concentró 103 artículos que reflejan su relevancia como fuente de información. Scopus aportó 25 documentos que complementan la revisión. SciELO cierra la búsqueda con 10 registros más, lo cual respalda la pertinencia y coherencia del análisis.

Figura 1. Diagrama de bloques.



Nota. Elaborado por los autores en base a la cantidad de documentos elegidos en base al análisis bibliométrico.

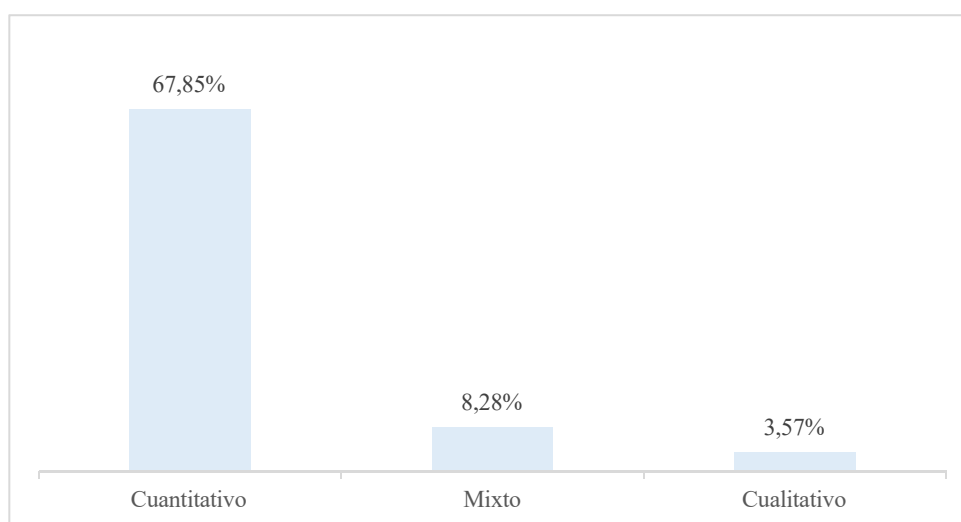
Tal como se visualiza en la Figura 1 de manera específica el total de artículos obtenidos en diversas bases de datos mediante la recopilación de información necesaria que se encuentre relacionada a las variables de investigación, empleando criterios de inclusión y exclusión se disminuyó la cantidad de documentos teniendo como resultado un total de 28 artículos seleccionados para realizar el estudio.

Para el análisis bibliométrico se ejecutaron las evaluaciones proporcionadas por las bases de datos como son Scopus, Web of Science y SciELO, posteriormente se analizó la información en el software Biblioshiny y RStudio. A través de este análisis se presentó la evolución en el número de publicaciones, comparación entre países, nube de palabras claves, red de coocurrencia de palabras, entre otros (Ver Anexo B).

A partir de los hallazgos se enumera los datos obtenidos mediante la adaptación de los autores a través de la información analizada durante la investigación, y la sinergia de procedencias manifestadas. Finalmente, se construyó una tabla detallada acerca de las áreas de estudio que han sido detectada con el tema de investigación, donde se resalta los métodos más utilizados, enfoques, técnicas e instrumentos de recopilación de datos.

Los resultados permiten concluir que la tendencia investigativa se concentra principalmente en el paradigma cuantitativo con el 67.85 %, dejando en segundo plano al mixto con un 8.23 % y los enfoques cualitativos referentemente con un aporte del 3.57 % en el estudio, lo que sugiere una orientación hacia la objetividad y la medición estadística en el tratamiento de la información, como se visualiza en la Figura 2.

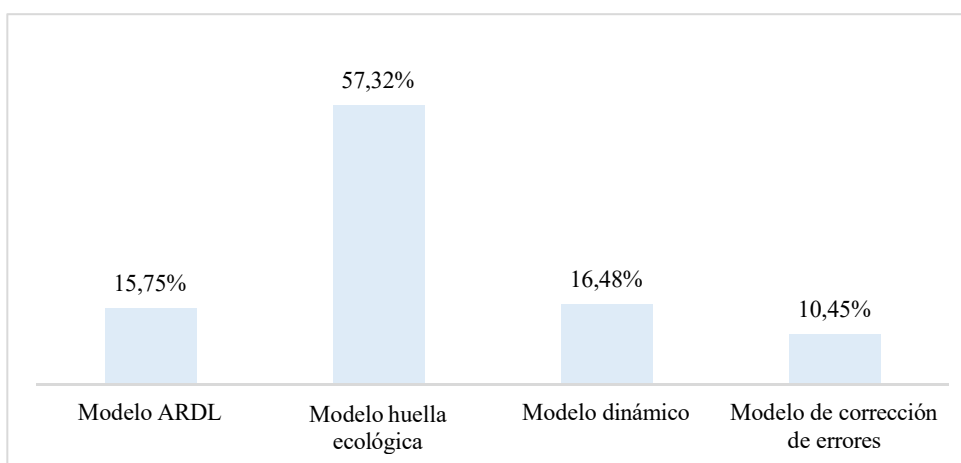
Figura 2. *Enfoque de estudio.*



Nota. Elaborado por autores.

La Figura 3 muestra que el modelo de huella ecológica es el más utilizado con un 57,32 %, mientras que el modelo dinámico (16,48 %) y el modelo ARDL (15,75 %) presentan una aplicación similar, aunque significativamente menor; por último, el modelo de corrección de errores alcanza apenas un 10,45 %, lo que evidencia una clara preferencia por el primero y una utilización secundaria de los demás enfoques.

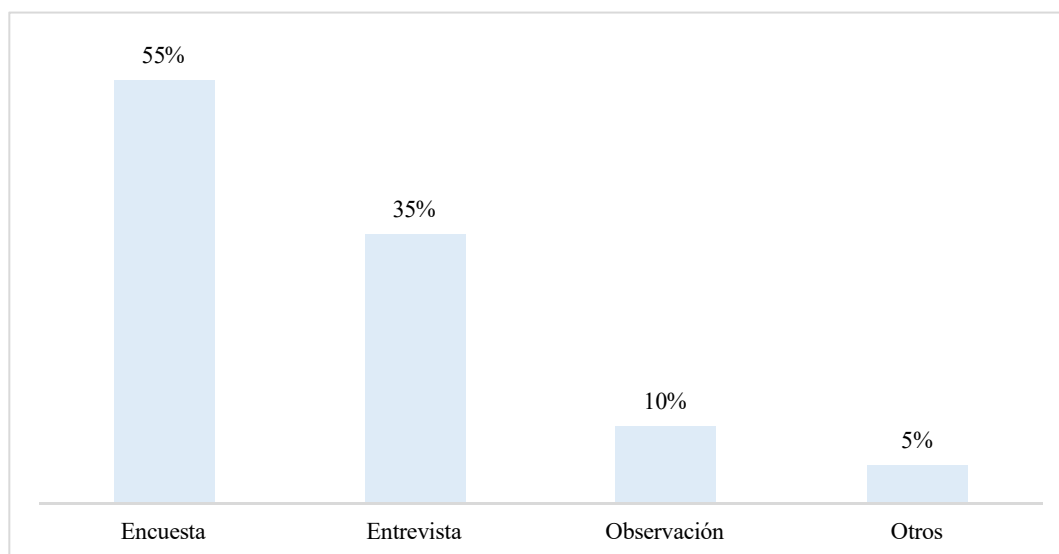
Figura 3. *Métodos utilizados.*



Nota. Elaborado por autores.

Como se aprecia en la Figura 4 las técnicas de recolección de datos con las cuales los diversos investigadores se adentraron para formular interrogantes que les ayude a estudiar una población objeto de estudio con la finalidad de tener datos verídicos donde la encuesta es la más mociónada con un 55 %, seguido de la entrevista con 35 %, además, de las observaciones directas y otras técnicas con un aporte del 10 % y 5 % respectivamente.

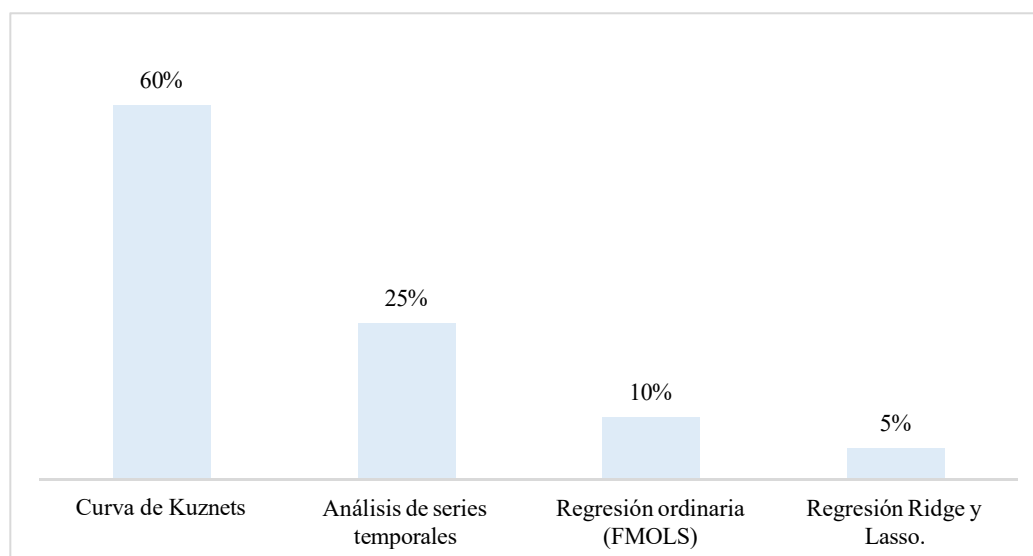
Figura 4. Técnicas desarrolladas para la recolección de datos.



Nota. Elaborado por autores en base a los datos obtenidos del análisis de técnicas.

Tal como se visualiza en la Figura 5 los instrumentos de recopilación de información que desarrollaron los investigadores donde se hace énfasis que la curva de Kuznets es el más adecuado para la adaptación del estudio con el 60 %, de la misma manera, los análisis de series temporales con un 25 %, consecuentemente la regresión ordinaria con 10 % y, por último, las regresiones de Ridge y Lasso con un 5 % equivalentemente.

Figura 5. Instrumentos utilizados en la investigación.



Nota. Elaborado por los autores en base a los datos obtenidos del análisis bibliométrico.

Discusión

La revisión bibliométrica inicia por construir un conjunto de fuentes confiables a partir de bases de datos que ya manejan sus propias métricas. Como se mencionó, la búsqueda dejó 138 documentos en total (103 de Web of Science, 25 de Scopus y 10 de SciELO), una muestra que por su tamaño y variedad de fuentes respalda correctamente el análisis.

De los tres enfoques que aparecen en la revisión, el que más pesa es el cuantitativo, apoyado en un modelo ecoeficiente pensado para mejorar la productividad del laboratorio. Su aporte se enmarca en el lado deductivo: modelar la huella ecológica a partir de datos recogidos con encuesta, y luego comparar esos resultados contra la gráfica de Kuznets.

1.3. Fundamentos teóricos

Ecoeficiencia productiva

Se enfoca en sacar mejor provecho a los recursos naturales dentro del proceso productivo, sin que eso signifique bajar la calidad ni producir menos. Junta lo económico con lo ambiental: se traduce en gastar menos agua, energía y materia prima, generar menos residuos y emisiones (Esquivel, 2022).

Huella ecológica

La huella ecológica, por su parte, mide qué tanto pesan las actividades humanas sobre el medio ambiente: cuántos recursos se usan frente a lo que el ecosistema es capaz de regenerar. Su utilidad radica en determinar qué tan sostenible es un sistema productivo y en identificar los puntos donde se consume más o se generan más desechos (UICN., 2021).

ARDL

Son instrumentos que sirven para comprobar si existe cointegración entre variables. Funciona adecuadamente incluso con muestras pequeñas, da estimaciones confiables para el largo plazo y no pierde la precisión, aunque haya problemas de endogeneidad (Samaniego, 2021).

Modelo ecoeficiencia

Son herramientas que combinan lo ambiental con lo productivo para mejorar procesos y bajar impactos, casi siempre en tres pasos: diagnosticar, implementar mejoras y evaluar qué tan bien funcionaron (Colmenares, 2021).

Uso eficiente de recursos

Se trata en aprovechar apropiadamente los recursos, es decir, gastar menos agua, energía y materia prima en el procedimiento. En el proceso larvícola de camarón en particular, el agua es el recurso que más pesa, así que manejarla bien es casi obligatorio si se quiere sostener el sistema (Gamboa Aragundi, 2023).

Modelo de economía circular

La economía circular apuesta por reutilizar, reciclar y regenerar los recursos dentro del mismo sistema productivo, en vez de generar residuos. La idea es cerrar el ciclo, que los materiales duren más y que se extraigan menos recursos naturales (Gamboa Aragundi, 2023).

Modelo ACV

El Análisis de Ciclo de Vida sigue un producto o proceso desde que se extrae la materia prima hasta que se desecha, midiendo el impacto ambiental en cada etapa.

Con eso se puede ver justo en qué punto se genera más daño (Obrecht, 2021). Su aplicación facilita la toma de decisiones que se orientan a la sostenibilidad y la optimización de los recursos.

Modelo de ecoeficiencia del WBCSD

Este modelo usa indicadores numéricos para relacionar cuánto se produce con cuánto daño ambiental se genera. Con él se puede seguir el consumo de agua, energía e insumos, y también los residuos, lo que en la práctica ayuda a monitorear el desempeño ambiental de una organización (Melo Zamora, 2022).

Referentes normativos de ecoeficiencia y gestión ambiental

Además de los artículos científicos, este modelo se apoya en normas técnicas que le dan orden al planteamiento. La ISO 14001, por ejemplo, es la que se usó como referencia para organizar cómo se identificaron los aspectos e impactos del laboratorio en las etapas 1 y 2. Para delimitar hasta dónde llega el análisis (qué entra y qué queda fuera del cálculo de la huella ecológica) se recurrió al enfoque de ciclo de vida de las normas ISO 14040 e ISO 14044. La relación entre lo que produce el laboratorio y el daño ambiental que eso implica, que es justamente el indicador de ecoeficiencia de la etapa 4, sigue de cerca el planteamiento del World Business Council for Sustainable Development (WBCSD). Las dos intervenciones propuestas en la Tabla 36, tanto la de optimizar recursos como la de mejorar la gestión de residuos, no se inventaron de la nada: responden a los principios de Producción Más Limpia y de Economía Circular, que apuestan primero por reducir y reutilizar antes que por tratar lo que ya se desperdició. Por último, cabe mencionar que el modelo conecta con dos Objetivos de Desarrollo Sostenible: el 12, sobre producción y consumo responsables, y el 13, sobre acción climática.

CAPÍTULO II

MARCO METODOLÓGICO

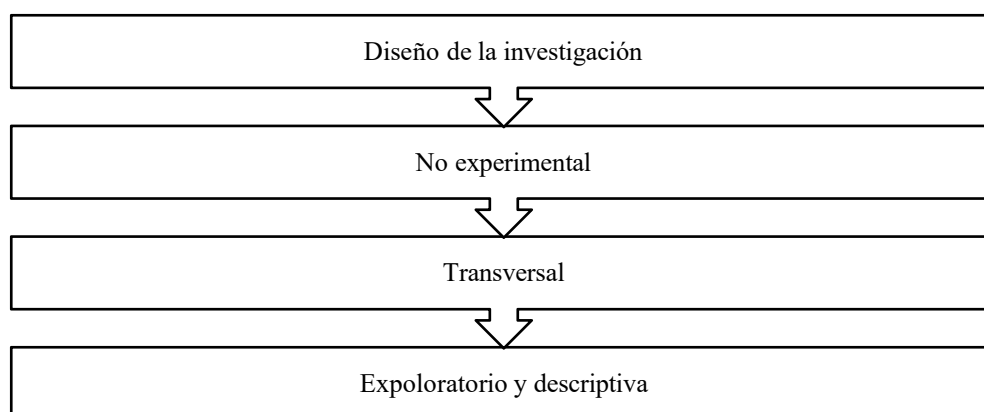
2.1. Enfoque de investigación

En la presente investigación adopta un enfoque cuantitativo, ya que considera examinar las variables de forma estadística explícita para medir la ecoeficiencia y la huella es ecología del laboratorio Velezlab S.A.S. Consecuentemente, este enfoque facilitó la recolección de datos de manera numérica, por el motivo que se ejecutó para mitigar el porcentaje de contaminación en el ecosistema.

2.2. Diseño de investigación

El diseño de investigación comprende un grupo de procedimientos y métodos orientados a identificar la solución más idónea de un problema en específico, ayudando al investigador en el desarrollo del estudio (Nwabuko, 2024). En la presente investigación se enfatizó un diseño de tipo no experimental, estructurado por el déficit de manipulación debido a las variables; para ello, se observa el fenómeno bajo su habitud natural y en circunstancias previamente existentes. Consecuentemente, el investigador no manipula información acerca de las variables ni acerca de los efectos que estos pueden generar. Por otro lado, el estudio fue de tipo transeccional o transversal, debido a que la recopilación de información se llevó a cabo en un solo lugar y en un periodo de tiempo explícito que engloba un tipo exploratorio y descriptivo de los fenómenos analizados durante el estudio, tal como se ilustra en la Figura 6.

Figura 6. Diseño de la investigación.

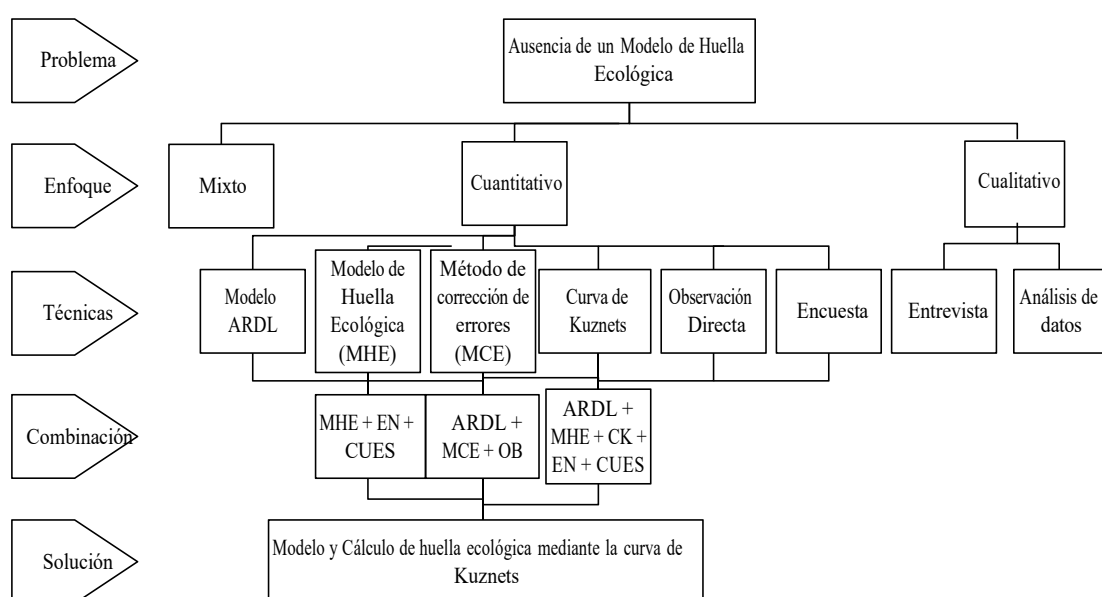


Nota. Elaborado por los autores.

2.3. Protocolo de investigación

El protocolo de investigación se muestra en la Figura 7 dado que se basa en una breve descripción segmentada por cinco niveles de acuerdo con el paradigma investigativo el cual se centra en adquirir una posible solución mediante la unificación de enfoques, métodos, técnicas e instrumentos para la recolección de datos que brinden una perspectiva idónea de la situación actual que aqueja la organización examinada.

Figura 7. Protocolo de investigación.



Nota. Elaborado por los autores.

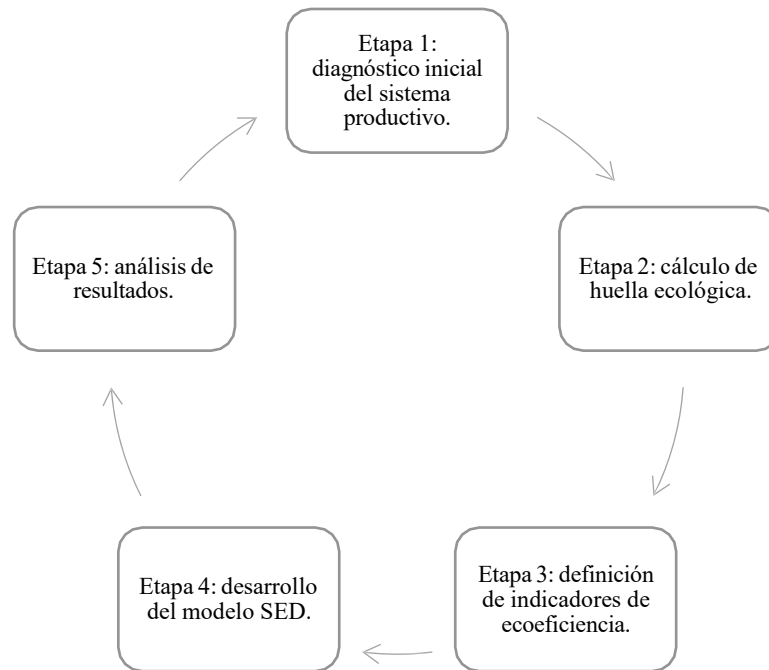
2.4. Procedimiento metodológico

Tras la descripción del diseño de investigación utilizado en este estudio, se presenta un protocolo cuidadosamente elaborado, alineado con el enfoque y tipo de investigación previamente definidos. Este protocolo se fundamenta en los hallazgos obtenidos durante la revisión de alcance (Capítulo 1, Sección 1.2) y funciona como una guía que establece los elementos necesarios para garantizar que la investigación se desarrolle de manera organizada y coherente. En otras palabras, el protocolo es todo ese conjunto de pasos que se pusieron en marcha para que el estudio se ejecute bien, desde la recolección de datos hasta la elección de metodologías.

En la Figura 8 se visualiza un modelo metodológico cíclico, pensado para evaluar y mejorar la ecoeficiencia productiva en cinco etapas que van una tras otra,

pero también se retroalimentan. El esquema circular no es casualidad, refleja justamente la idea de mejora continua.

Figura 8. Procedimiento guía de la investigación.



Nota. Elaborado por los autores.

Etapa 1. Diagnóstico inicial del sistema productivo: en la cual se realiza un análisis integral de la situación actual de la organización. Esta fase incluye la identificación de procesos, uso de recursos (agua, energía, materia prima) y generación de residuos, estableciendo una línea base operativa y ambiental.

Etapa 2. Cálculo de la huella ecológica: donde se cuantifica el impacto ambiental del sistema productivo mediante indicadores como emisiones de CO₂, consumo de recursos naturales y generación de desechos. Esta etapa permite medir qué tanta presión ambiental deja las actividades productivas.

Etapa 3. Definición de indicadores de ecoeficiencia: establece las métricas que cruzan desempeño productivo con impacto ambiental, consumo de recursos por unidad producida, eficiencia energética, niveles de reciclaje. Son estos indicadores los que después sirven para controlar el proceso y toma de decisiones.

Etapa 4. Modelación de la huella ecológica: se analiza cómo se relacionan el crecimiento productivo y el impacto ambiental, buscando patrones y puntos donde la

ecoeficiencia todavía tiene margen para mejorar. Esta etapa incorpora herramientas analíticas para evaluar la sostenibilidad del sistema.

Etapas 5. Análisis de resultados: se interpretan los datos obtenidos en las etapas anteriores, evaluando el desempeño global del sistema y proponiendo acciones de mejora. Esta fase cierra el ciclo y, a su vez, retroalimenta el diagnóstico inicial, reforzando el enfoque iterativo del modelo.

2.5. Censo poblacional

2.5.1. Censo

En este contexto, la Tabla 1 muestra la aplicación de un censo poblacional, el cual incluyó a los trabajadores que participan directamente en las actividades relacionadas con el proceso productivo del camarón en base al departamento de producción y despacho del Laboratorio Velezlab S.A.S.

Tabla 1. Población objeto de estudio.

Áreas	Cantidad de personas
Producción	7
Despacho	5
TOTAL	12

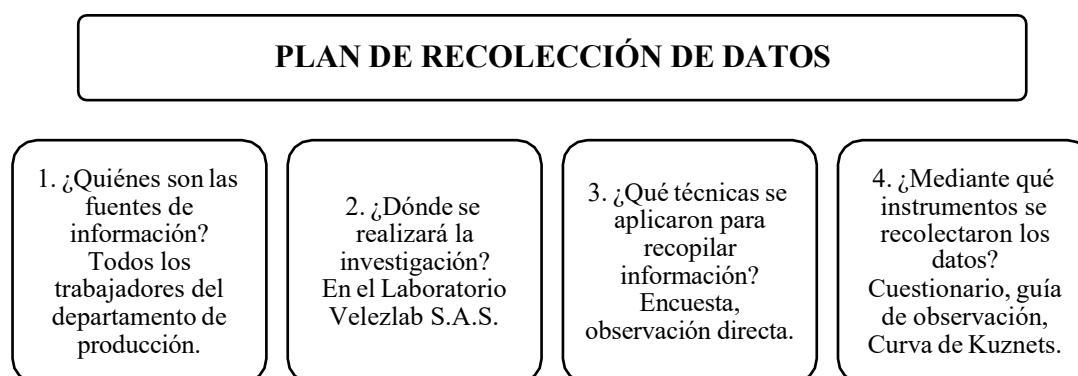
Nota. Elaborado por los autores.

2.6. Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de los datos

2.6.1. Métodos de recolección de los datos

Para la recopilación de los datos del estudio es necesario formularse un plan, dado que define como se va a adquirir la información al momento de dar respuestas a las preguntas de investigación. De tal manera se muestra en la Figura 9 el procedimiento de recopilación de datos para su análisis se empieza con las personas que dieron la data específica en la investigación, seguido del lugar de estudio, consecutivamente las técnicas e instrumentos adaptados para recopilar los datos.

Figura 9. Plan de recolección de información.



Nota. Elaborado por los autores.

2.6.2. Técnicas de recolección de los datos

Las técnicas e instrumentos de investigación constituyen elementos fundamentales para la recolección sistemática de datos, permitiendo obtener información válida, confiable y coherente con los objetivos del estudio (Hernández Sampieri, 2018). Estas herramientas metodológicas facilitan al investigador la obtención de evidencia empírica relevante sobre las características, variables y fenómenos que requieren ser observados y analizados dentro del proceso investigativo.

Encuesta: constituye una técnica de recolección de datos que puede aplicarse de forma presencial o digital, permitiendo obtener información cuantificable de un grupo de individuos en periodos relativamente cortos (Hernández Sampieri, 2018). En el marco de esta investigación, se empleó para recopilar datos relacionados con las prácticas operativas, el uso de recursos y la percepción del personal de Velezlab S.A S., respecto a la ecoeficiencia productiva dentro del laboratorio de producción de camarón.

Observación directa: es una técnica que posibilita registrar de manera sistemática, válida y confiable los comportamientos y condiciones observables mediante la percepción visual (Hernández Sampieri, 2018). En este estudio, se utilizó para diagnosticar la situación actual de los procesos productivos de Velezlab S.A.S., identificando el uso de insumos, la gestión de residuos y las condiciones operativas que inciden en la huella ecológica del sistema.

2.6.3. Instrumentos de recolección de los datos

Un cuestionario es una herramienta donde se emplea la encuesta para la recopilación de información y se aplica a personas obteniendo resultados estadísticos (Miguel Medina, 2023). El instrumento empleado fue el cuestionario el cual consto de 20 preguntas abiertas y cerradas que hacen énfasis a las variables de estudio que van a medir. Asimismo, consta de una escala de valoración en cinco respuestas, teniendo una calificación de 1, 2, 3, 4 y 5 respectivamente.

Una de las herramientas usadas en la investigación es la ficha de observación, para evaluar la recopilación de información de un fenómeno u objeto de estudio (Miguel Medina, 2023). Este instrumento permitió documentar el comportamiento de los trabajadores de Velezlab S.A.S., las instalaciones de la empresa y manera en la que se labora dentro de la organización.

2.6.4. Procedimiento de validación de instrumento

Para la validez del instrumento se desarrolla el método de juicio por expertos que un proceso sistemático que se caracteriza por recopilar la opinión de expertos acerca del tema de investigación con la finalidad de emplear criterios para la configuración del instrumento en base a la experiencia en el campo industrial. Consecutivamente, se detallan las etapas para el desarrollo del método de Delphi como se visualiza en la Figura 10.

Figura 10. Etapas de validación de la encuesta.



Nota. Elaborado por los autores.

- **Fase preliminar:** se seleccionó al comité de expertos según su experiencia en el tema y su disposición a participar, y se les presentó la primera versión del cuestionario.

- **Fase exploratoria:** los expertos calificaron cada ítem en una escala de 1 (totalmente en desacuerdo) a 5 (totalmente de acuerdo); con esos resultados se ajustó el instrumento.
- **Fase final:** se consolidó el cuestionario definitivo, listo para su aplicación en la empresa.

2.6.5. Procedimiento para medir la confiabilidad del instrumento

Para estudiar la confiabilidad del instrumento de recopilación de datos se ejecuta a través del coeficiente de Alpha de Cronbach. Según (Tuapanta Dacto, 2017) describe un índice que ayuda evaluar la sinergia que existe entre cada pregunta. Bajo estos fundamentos, se recopiló la información actual de la empresa mediante un cuestionario que fue dirigido a los operadores de la empresa objeto de estudio a su vez utilizando la escala de Likert en sus cinco niveles. Una vez obtenido los datos se compila la información en el software SPSS IBM para determinar el nivel de confiabilidad del instrumento aplicado. A continuación, se describe en la Tabla 2 el rango del valor del Alpha de Cronbach:

Tabla 2. Rango de aceptación por Cronbach.

Índice	Nivel de fiabilidad	Coeficiente de Alpha de C.
1	Excelente	0.9 a 1
2	Muy bueno	0.7 a 0.9
3	Bueno	0.5 a 0.7
4	Regular	0.3 a 0.5
5	Deficiente	0.1 a 0.3

Nota. Elaborado por los autores en base a (Tuapanta Dacto, 2017).

2.7. Definición de las variables de estudio

En coherencia con los objetivos planteados, esta investigación trabaja con dos variables centrales: la ecoeficiencia productiva, que actúa como variable independiente, y la huella ecológica que se comporta como variable dependiente frente a los cambios en la primera, los indicadores deben identificarse cuidadosamente

mediante una revisión exhaustiva del sistema en estudio. Este enfoque garantizó una recopilación completa y precisa de datos para analizar todos los aspectos relevantes de las variables.

2.7.1. Operacionalización de las variables

La operacionalización de las variables se muestra en la Tabla 3 es un paso fundamental en toda investigación. Es crucial prestar atención al listado detallado y a la definición precisa de cada propiedad o característica que se desea medir. Según (Alma del Cid, 2011), estos indicadores deben identificarse cuidadosamente mediante una revisión exhaustiva del sistema en estudio. Este enfoque garantizó una recopilación completa y precisa de datos para analizar todos los aspectos relevantes de las variables.

Tabla 3. Operacionalización de variables.

Variable	Concepto	Dimensión	Indicadores	Preguntas	Técnicas e Instrumento
Ecoeficiencia productiva (VI).	La ecoeficiencia productiva apunta a sacarle mejor provecho a los recursos naturales dentro del proceso productivo, sin que eso signifique bajar la calidad ni producir menos. Junta lo económico con lo ambiental: se traduce en gastar menos agua, energía y materia prima, y en generar menos residuos y emisiones (Esquivel, 2022).	Prácticas y procesos productivos.	P3. Aplicación de tecnologías limpias.	¿Se aplican tecnologías limpias en el proceso productivo?	Encuesta / Cuestionario aplicado al personal operativo (percepción).
		Prácticas y procesos productivos.	P5. Prácticas de ecoeficiencia.	¿Se aplican prácticas de ecoeficiencia en el área de trabajo?	Encuesta / Cuestionario aplicado al personal operativo (percepción).
		Prácticas y procesos productivos.	P6. Estandarización de procesos.	¿Los procesos productivos se encuentran estandarizados?	Encuesta / Cuestionario aplicado al personal operativo (percepción).
		Prácticas y procesos productivos.	P13. Prácticas sostenibles.	¿Se aplican prácticas sostenibles en el área?	Encuesta / Cuestionario aplicado al personal operativo (percepción).
		Prácticas y procesos productivos.	P17. Mantenimiento preventivo.	¿Se realiza mantenimiento preventivo de los equipos?	Encuesta / Cuestionario aplicado al personal operativo (percepción).
		Gestión ambiental y cumplimiento.	P8. Control de calidad del agua.	¿Se efectúan controles de calidad del agua?	Encuesta / Cuestionario aplicado al personal operativo (percepción).
		Gestión ambiental y cumplimiento.	P11. Controles de fallas.	¿Se realizan controles de fallas en el sistema?	Encuesta / Cuestionario aplicado al personal operativo (percepción).
		Gestión ambiental y cumplimiento.	P12. Cumplimiento ambiental.	¿Se cumple con la normativa ambiental vigente?	Encuesta / Cuestionario aplicado al personal operativo (percepción).
		Gestión de recursos e insumos.	P14. Uso de insumos químicos.	¿Se gestionan de forma eficiente los insumos químicos?	Encuesta / Cuestionario aplicado al personal operativo (percepción).
		Gestión de recursos e insumos.	P18. Gestión de energía.	¿Se gestiona de forma eficiente el consumo de energía?	Encuesta / Cuestionario aplicado al personal operativo (percepción).
		Gestión de recursos e insumos.	P19. Gestión de combustible.	¿Se gestiona de forma eficiente el consumo de combustible?	Encuesta / Cuestionario aplicado al personal operativo (percepción).

Variable	Concepto	Dimensión	Indicadores	Preguntas	Técnicas e Instrumento
		Gestión de recursos e insumos.	P20. Ecoeficiencia general.	¿Cómo percibe el nivel general de ecoeficiencia del laboratorio?	Encuesta / Cuestionario aplicado al personal operativo (percepción).
Huella ecológica (VD).	La huella ecológica mide qué tanto pesan las actividades humanas sobre el medio ambiente: cuántos recursos se usan frente a lo que el ecosistema es capaz de regenerar. Sirve para ver qué tan sostenible es un sistema productivo y para señalar en qué puntos se consume más o se generan más desechos (UICN., 2021).	Consumo de recursos.	P1. Consumo de agua por proceso.	¿Cuál es el nivel de consumo de agua por proceso?	Encuesta / Cuestionario aplicado al personal operativo (percepción).
		Consumo de recursos.	P2. Consumo de energía eléctrica.	¿Cuál es el nivel de consumo de energía eléctrica?	Encuesta / Cuestionario aplicado al personal operativo (percepción).
		Consumo de recursos.	P9. Consumo de agua percibido.	¿Cómo percibe el nivel de consumo de agua del proceso?	Encuesta / Cuestionario aplicado al personal operativo (percepción).
		Generación de impactos y residuos.	P4. Generación de residuos.	¿Con qué frecuencia se generan residuos en el proceso?	Encuesta / Cuestionario aplicado al personal operativo (percepción).
		Generación de impactos y residuos.	P7. Contaminantes generados.	¿Qué nivel de contaminantes genera el proceso?	Encuesta / Cuestionario aplicado al personal operativo (percepción).
		Generación de impactos y residuos.	P15. Manejo de residuos biológicos.	¿Se maneja adecuadamente los residuos biológicos?	Encuesta / Cuestionario aplicado al personal operativo (percepción).
		Generación de impactos y residuos.	P16. Acciones correctivas por contaminación.	¿Se aplican acciones correctivas ante eventos de contaminación?	Encuesta / Cuestionario aplicado al personal operativo (percepción).
		Generación de impactos y residuos.	P10. Huella ecológica percibida.	¿Cómo percibe el nivel de huella ecológica generada?	Encuesta / Cuestionario aplicado al personal operativo (percepción).

Nota. Elaborado por los autores en base a todos los ítems se midieron mediante escala Likert de 1 a 5, donde 1= nunca y 5= siempre. VI = variable independiente (ecoeficiencia productiva); VD = variable dependiente (huella ecológica).

Los 20 ítems corresponden al cuestionario de percepción del personal operativo (Anexo D) y sustentan el análisis de confiabilidad (Tabla 15) y de correlación (Tabla 16). El cálculo cuantitativo definitivo de la huella ecológica reportado en el Capítulo 3 (Tablas 22 a 34) proviene de registros físicos documentales y no de este cuestionario, tal como se explica a continuación.

Cabe recalcar que en la Tabla 3: la encuesta es la técnica, el cuestionario de 20 ítems (Anexo D) es el instrumento con el que se aplica esa técnica. No son lo mismo, y en este trabajo no se usan como sinónimos. Los indicadores de ecoeficiencia productiva salen del cuestionario que respondió el personal operativo, en escala de Likert de 1 a 5 (para interpretarla se usan la Tabla 2 y la Tabla 14). Los de huella ecológica, en cambio, no salen de ninguna encuesta: se obtienen de fichas de observación y de registros documentales reales de consumo (agua en m³, energía en kWh, combustible en galones, químicos en kg), aplicando las fórmulas de la etapa 2 (Tablas 22 a 34). Se hace esta distinción a propósito, para que quede claro que la huella ecológica no depende de lo que opine el personal, sino de los registros físicos del laboratorio.

2.8. Procedimiento para la recolección de los datos

Una vez recolectados los datos mediante la encuesta y la observación directa, se procedió a su análisis, siguiendo el planteamiento de (Miguel Medina, 2023), quien señala que este proceso implica sistematizar y organizar lógicamente los resultados para luego interpretarlos en función de las preguntas de investigación. Bajo esa lógica la Tabla 4 organiza el procedimiento en dos grandes momentos: el tratamiento de los datos (limpieza, organización y transformación) y la presentación de los hallazgos ya sintetizados.

La Tabla 4 desglosa de manera detallada la recolección de datos. En primer lugar, el tratamiento de los datos, la limpieza, organización y la transformación para que la información sea confiable. Posteriormente, se procede a la presentación de los resultados, etapa en la que se sintetizan y visualizan los hallazgos obtenidos, facilitando su interpretación y comunicación.

Tabla 4. Procedimiento para la recolección de datos.

N.º	Etapas	Acciones
1	Formulación de encuesta.	1. Diseñar el cuestionario considerando las dimensiones e indicadores del modelo de ecoeficiencia productiva y la huella ecológica. 2. Elaborar las preguntas orientadas a evaluar el uso de recursos, generación de residuos y eficiencia de los procesos en las áreas del laboratorio de producción de camarón. 3. Validar el instrumento y aplicarle una prueba piloto, para asegurar que sea confiable y pertinente.
2	Análisis y presentación de resultados.	1. Receptar información a través de cuestionario aplicado al personal del laboratorio que participa en los procesos productivos. 2. Aplicar herramientas estadísticas para tabular los e interpretar los resultados. 3. Descubrir los problemas de sostenibilidad ambiental, con el desempeño de las áreas evaluadas. 4. Determinar mediante análisis las opciones de mejora de procesos para la optimización de recursos y a su vez reducir la huella ecológica.

Nota. Elaborado por los autores.

CAPÍTULO III

MARCO DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Marco de resultados

3.1.1. Validez de los instrumentos de investigación utilizados

Para determinar la validez del instrumento se ejecutó un proceso de validación por juicio de expertos, estructurado en fases inspiradas en el método Delphi y expuestas en el capítulo 2 (Sección 2.6.4). Dado que el proceso se desarrolló en una sola ronda, sin retroalimentación ni segunda consulta entre los expertos, se denomina de forma precisa como validación por juicio de expertos y no como un método Delphi completo. Se inicia con la etapa preliminar, donde se describe el grado de conocimiento de los cuatro expertos que participaron en el proceso de validación.

1. Fase preliminar

Se procede a la elección de los expertos a través de criterios específicos que prioricen su idónea participación en la etapa de validación del instrumento. A continuación, se muestran los criterios establecidos en la Tabla 5.

Tabla 5. Criterios aplicados a expertos.

Criterios aplicados
Experiencia mínima de 5 años en el campo.
Disponibilidad de participación.
Capacidad de aportar oportunidades de mejora.

Nota. Elaborado por los autores.

Bajo este contexto, se eligieron 3 profesionales quienes cumplieron con los estándares antes mencionados donde en la siguiente Tabla 6 se presentan los datos de los involucrado en el proceso de revisión de datos (ver Anexo C).

Tabla 6. Datos de los expertos del proceso de validación.

No.	Profesión	Experiencia
1	Ingeniero Industrial Gerardo Antonio Herrera Brunett.	36 años.
2	Ingeniero Industrial Alonso Elías Pirela Añez.	20 años.
3	Ingeniero Civil Jean Carlos Salazar.	25 años.
4	Ingeniero Mecánico Alejandro Veliz Aguayo.	20 años.

Nota. Elaborado por los autores.

Una vez seleccionado el comité de expertos que brindaran sus aportes de juicios con la finalidad de determinar el formato final del instrumento de recolección de información. Después, se elabora el cuestionario de calificación donde los expertos ubican las respectivas calificaciones de cada una de las preguntas propuestas.

2. Fase exploratoria

Comenzando el proceso con un formato inicial con los ítems del cuestionario, se procede al diálogo con los cuatro expertos cuyo objetivo es que califiquen cada ítem en la escala de Likert de 1 a 5, donde los resultados obtenidos se ilustran en la Tabla 7, en el cual se calcula la validez del contenido. Los cuatro expertos calificaron con 5 (nota máxima) los 20 ítems, sin excepción, lo que dio un CVI de 1,00. Este resultado respalda que el instrumento es pertinente, hay que tomarlo con cautela, al no haber variación en las notas, no se puede saber qué ítems son más fuertes que otros. Un panel más grande, o una escala con categorías intermedias más exigentes, ayudaría a que futuras validaciones si discriminen entre ítems.

Tabla 7. *Revisión de expertos.*

Calificación de expertos					
Ítems	Experto 1	Experto 2	Experto 3	Experto 4	CRV
1	5	5	5	5	1
2	5	5	5	5	1
3	5	5	5	5	1
4	5	5	5	5	1
5	5	5	5	5	1
6	5	5	5	5	1
7	5	5	5	5	1
8	5	5	5	5	1
9	5	5	5	5	1
10	5	5	5	5	1
11	5	5	5	5	1
12	5	5	5	5	1
13	5	5	5	5	1
14	5	5	5	5	1
15	5	5	5	5	1
16	5	5	5	5	1
17	5	5	5	5	1
18	5	5	5	5	1
19	5	5	5	5	1
20	5	5	5	5	1
CVI					1,00

Nota. Elaborado por los autores.

3. Fase final

La Tabla 8 cierra el proceso de validación consolidando el perfil profesional de cada experto (profesión y años de experiencia) junto con su participación en la única ronda de revisión aplicada. Debido a que se trató de una ronda sin retroalimentación posterior, este procedimiento se ajusta con precisión a una validación por juicio de expertos, y no a un método Delphi en su forma completa.

Tabla 8. Revisión de expertos.

Experto	Profesión	Experiencia	Ronda 1
1	Ingeniero Industrial (Gerardo Antonio Herrera Brunett).	36 años.	X
2	Ingeniero Industrial (Alonso Elías Pirela Añez).	20 años.	X
3	Ingeniero Civil (Jean Carlos Salazar).	25 años.	X
4	Ingeniero Mecánico (Alejandro Veliz Aguayo).	20 años.	X

Nota. Elaborado por los autores.

Los resultados indican que, en la ronda única aplicada, los cuatro expertos validaron la totalidad de los ítems, lo que determinó el formato final del cuestionario (ver Anexo D) que fue aplicado en el censo poblacional establecido en el Capítulo 2 (Sección 2.5). Se recomienda que investigaciones posteriores que empleen la denominación Delphi incorporen al menos una segunda ronda de consulta, documentando los cambios y el nivel de consenso alcanzado entre rondas.

3.1.2. Confiabilidad del instrumento

El Alpha de Cronbach se obtiene a través del uso del software SPSS IBM (prueba gratuita), esta evaluación estadística es fundamental para medir la consistencia interna de los datos proporcionando las medidas correctas y a su vez respaldando las conclusiones del estudio. Se recopilieron datos a partir de una encuesta aplicada a los individuos, permitiendo analizar la precisión del instrumento, por tal motivo se presenta una tabla con los resultados obtenidos del software de cada una de las preguntas y su atribución en la estabilidad del cuestionario. Asimismo, se calculó el valor del coeficiente de fiabilidad para luego ser comparado según la tabla de valores mencionada en el Capítulo 2 (Sección 2.6.5). El coeficiente de Alpha de Cronbach obtenido con las respuestas de los 12 operarios fue de 0,802, valor que, de acuerdo con

la escala de la Tabla 14, se ubica en el rango $0.8 \leq \alpha < 0.9$ y se clasifica como "Buena". Este resultado evidencia que el instrumento alcanzó un nivel adecuado de consistencia interna, respaldando el uso de la encuesta como fuente complementaria de información para caracterizar la percepción del personal operativo respecto a la ecoeficiencia productiva (ver Anexo F).

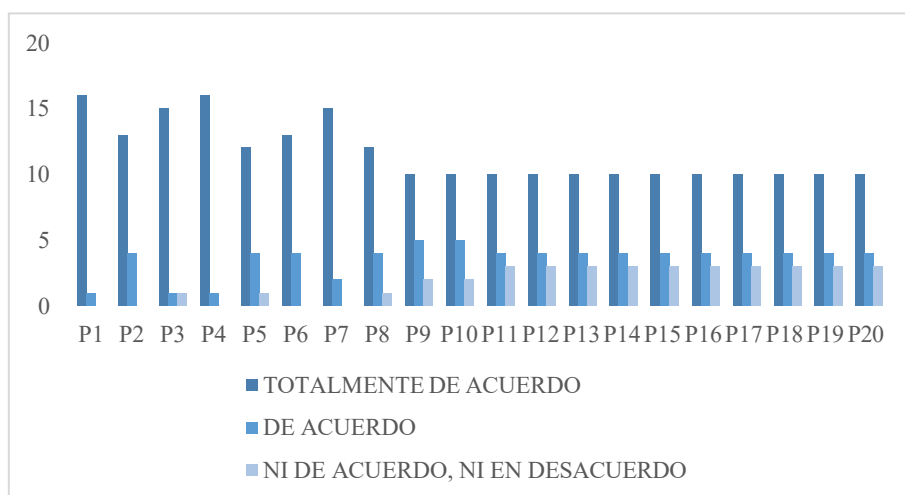
Tabla 9. Confiabilidad del instrumento.

Alpha de Cronbach	N de elementos
0,802	20

Nota. Resultados obtenidos del software SPSS referente al instrumento.

De acuerdo con los resultados obtenidos a través de la encuesta donde se establecieron 20 ítems que fueron respondidas sin ningún inconveniente para después ser tabuladas de manera estadística, por ende, se obtienen los siguientes datos. Por ello, la Figura 11 representa de forma general los hallazgos relacionados con la encuesta aplicada a los trabajadores, donde la mayoría respondió que estaba totalmente de acuerdo con las preguntas presentadas, lo que radica en una percepción robustamente positiva, pero que a su vez refleja oportunidades de mejora en base a la disminución de la huella ecológica dentro del proceso productivo del camarón.

Figura 11. Resumen de respuesta de operadores encuestados.



Nota. Elaborado por los autores.

3.1.3. Resultados y análisis

Previo a la obtención de información a través de la encuesta explicada en el Capítulo 2, fue desarrollada por los operadores que intervienen directamente en el proceso productivo pertinente para llevar a cabo una actividad, se ejecutó un análisis exhaustivo de los hallazgos resultantes utilizando el software SPSS IBM. Este software permitió procesar y analizar todas las respuestas efectuadas por los trabajadores en base a los ítems planteados de manera adecuada, facilitando un entendimiento preciso y coherente de los datos obtenidos y enaltecendo una base sólida con la finalidad de identificar oportunidades de mejora en el proceso de producción de larvas de camarón para mitigar el porcentaje de huella ecológica del laboratorio.

Para tener una mejor noción de lo que pensaban los operadores acerca de cómo se realiza el proceso de producción, se les realizó una encuesta. Por medio de esta encuesta, se utilizó la escala de Likert, bajo una ponderación de 1 al 5, que les permite elegir entre varias respuestas la más precisa para cada pregunta. De esta manera, los trabajadores expresaron sus opiniones por medio de diversos aspectos del proceso, como se muestra en las interrogantes 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 12, 13, 14, 15, 17, 18, 19 y 20 de la Tabla 10.

Se recopilaron 180 respuestas diferentes, lo que agregó mucha información para analizar, desarrollando esta encuesta, se logró comprender mejor que grado de información posee los trabajadores sobre la ecoeficiencia productiva y huella ecológica en la producción de larvas de camarón. La respuesta con más veces seleccionada fue “Siempre” con un total de 74 menciones. A continuación, le sigue de cerca la categoría “Frecuentemente” con 66 respuestas, por otro lado, un número considerable de encuestados, 38 en total, eligieron la opción de ocasionalmente, asimismo la categoría de “Rara vez” con 31 menciones. En menor medida, se registraron 7 respuestas en la categoría “Nunca” respectivamente.

Tabla 10. *Tabulación de matriz general de respuesta encuesta.*

Items	Respuestas					Total
	Nunca	Rara vez	Ocasionalmente	Frecuentemente	Siempre	
P3				7	5	12

P4			3	5	4	12
P5				5	7	12
P6				8	4	12
P7			5	2	5	12
P9		3	5	2	2	12
P10	2	2	5	3		12
P12		7	5			12
P13		3	2	7		12
P14	5	5	2			12
P15				7	5	12
P17				8	4	12
P18		5	5	2		12
P19				10	2	12
P20		6	6			12
TOTAL	7	31	38	66	74	180

Nota. Elaborado por los autores en base a la suma de los totales por columna de la Tabla 10 ($7 + 31 + 38 + 66 + 74 = 216$) no coincide con las 180 respuestas reportadas ($15 \text{ ítems} \times 12 \text{ operadores}$). Esta diferencia debe reconciliarse revisando la base de datos original en SPSS, dado que cada fila debe sumar exactamente 12 respuestas y el total general debe ser 180.

Los resultados obtenidos de la encuesta describen la situación actual de la empresa en base a la ecoeficiencia productiva referente a la huella ecológica en Velezlab S.A.S., lo que traza un panorama razonable de qué tan satisfecha (o no) está el personal con los procesos de producción de larvas. Con esa base, aplicar la encuesta sirvió para ver en qué nivel está hoy la gestión ambiental del proceso, y de paso señalar los puntos críticos y las oportunidades donde intervenir para volver las prácticas más sostenibles y bajar la huella ecológica.

En la Tabla 11 se utilizó una escala de frecuencia (10 hasta 150) y (100 kWh a 7000 kWh) para evaluar la perspectiva de 12 operadores en base a diferentes aspectos del proceso de productivo con relación al consumo de agua, energía eléctrica, particularmente en los ítems P1 y P2. Esta ponderación proporcionó una medida estructurada y esquematizada de sus opiniones. En total, se recopilieron 24 respuestas individuales, permitiendo así un análisis cuantitativo de las opiniones variadas de los trabajadores. Por ello, esto facilitó un entendimiento más profundo acerca de los

conocimientos operativos en el consumo de los recursos utilizados para la producción de larvas de camarón.

Tabla 11. Tabulación de matriz general de respuesta encuesta.

Items	Respuestas					Total
	Menos de 10 Tn	10 tn a 25 tn	50 tn a 100 t	100 tn a 150 tn	Más de 150 tn	
P1			5	5	2	12
	Menos de 100 Kw:	1001 kWh a 3000 kWh	3001 kWh a 5000 kWh	5001 kWh a 7000 kWh	Más de 7000 kWh	
P2	2	5	5			12
TOTAL	2	5	10	5	2	24

Nota. Elaborado por los autores.

Mediante la Tabla 12 se evidencia un total de calidad del producto, acciones de contaminación del agua, controles para detectar fallas concretamente en las preguntas P1, P2, P8, P11 y P16. Esta ponderación proporcionó una medida estructurada y esquematizada de sus opiniones. En total, se recopilaron 24 respuestas individuales, las cuales se describieron en preguntas como respuesta nunca con 2, una vez a la semana de 5 iteraciones, con respuesta de 3 a 5 veces consta de 10 marcaciones, asimismo la opción de 5 a 7 veces con cinco respuestas y en último lugar, la respuesta todos los días con 2 menciones.

Tabla 12. Tabulación de matriz general de respuesta encuesta.

Ítems	Respuestas					Total
	Nunca	1 vez a la semana	3 a 5 veces	5 a 7 veces	Todos los días	
P1			5	5	2	12
P2	2	5	5			12
TOTAL	2	5	10	5	2	24

Nota. Elaborado por los autores.

Con la finalidad de obtener datos precisos y relevantes para el cálculo de ecoeficiencia productiva de Velezlab S.A.S., se diseñó una encuesta que fue

respondida por doce operarios del laboratorio. Este instrumento de recopilación de información consto de 20 ítems relacionados a las variables para explorar aspectos claves de los procesos productivos. Por ello, la información obtenida mediante este instrumento resultó ser invaluable para el análisis situacional.

Como herramienta utilizada para el cálculo de la consistencia interna, el Alpha de Cronbach es utilizado de manera simultánea para asemejar la relación que existe entre las preguntas bajo su longitud de análisis (Edelsbrunner, 2025). Por ello, los datos resultantes de la encuesta son sometidos a un análisis a través del uso del software estadístico SPSS IBM Statistic donde se compila toda la información obtenida por los trabajadores. Por otro lado, la generación de los cálculos necesarios para al corroborar la fiabilidad, en el cual fueron validos los 20 ítems al 100 %, como se logra apreciar en la Tabla 13.

Tabla 13. Validación de casos.

Resumen de procesamiento de casos			
		N	%
Casos	Válido	20	100,0
	Excluido	0	,0
	Total	20	100,0

Nota. Elaborado por los autores.

Con los datos registrados, se inicia con el proceso de escala de fiabilidad donde el valor obtenido señala el nivel de solidez del instrumento de recolección de datos, donde si el número es mayor o igual que 0.7 esto demuestra una aceptación, aunque pueden tener umbrales diferentes (Toro, 2022). El valor obtenido se interpreta según los rangos ya definidos en la Tabla 2 (Sección 2.6.5).

Con respecto a la Tabla 14 se muestra la fiabilidad de la encuesta por medio de la valoración del Alpha de Cronbach, que es igual a 0,802 con los datos de las doce personas encuestadas, valor que se encuentra dentro del rango de $0.8 \leq \alpha < 0.9$, clasificado como buena de acuerdo con la Tabla 14.

Tabla 14. *Cálculo de Alpha de Cronbach.*

Estadísticas de fiabilidad	
Alpha de Cronbach	N de elementos
0,802	12

Nota. Elaborado por los autores.

3.1.4. Correlación de las variables

Para el análisis de la correlación de las variables se empleó el coeficiente de Pearson que atribuye una prueba de forma estadística que se encamina para medir la relación existente entre dos factores de manera cuantitativa (Hernández Sampieri, 2018). A través del software SPSS se calculan la puntuación total de ambas variables estudiadas, utilizando un nivel de significancia del 95 %. A continuación, se ilustra las hipótesis que fueron evaluadas:

Hipótesis nula

El modelo de ecoeficiencia productiva no incide en la mitigación de la huella ecológica de la empresa Velezlab S.A.S., ubicada en la provincia de Santa Elena.

Hipótesis alternativa

El modelo de ecoeficiencia productiva incide en la mitigación de la huella ecológica de la empresa Velezlab S.A.S., ubicada en la provincia de Santa Elena.

El coeficiente r de Pearson varía entre -1 y +1: los valores negativos indican una relación inversa entre las variables y los valores positivos, una relación directa. Para calcularlo se sumaron las puntuaciones de los ítems que la Tabla 3 asigna a cada variable: 12 ítems del lado de ecoeficiencia productiva y 8 ítems del lado de huella ecológica. En la Tabla 16 se observa que el coeficiente de Pearson obtenido es de 0,719, que indica un nivel significativo (p) de 0,008, con un valor mínimo de 0,05 que ratifica de manera estadística que existe correlación positiva y significativa entre las variables (ver Anexo G).

Tabla 15. Correlación de variables de estudio.

Correlaciones		VI	VD
VI	Correlación de Pearson.	1	,719
	Sig. (bilateral).		,008
	N.	12	12
VD	Correlación de Pearson.	,719	1
	Sig. (bilateral).	,008	
	N.	12	12

Nota. Resultados obtenidos mediante el software SPSS IBM.

3.2. Descripción de la empresa

La empresa Velezlab S.A.S., comenzó sus actividades el 03 de julio del 2025 dedicada a la producción y distribución de larvas de camarón. La Tabla 16 muestra su razón social, RUC, dirección reconociéndose como una sociedad anónima.

Tabla 16. Información de la empresa.

Información de la empresa	Datos
Razón social	Velezlab S.A.S.
Actividad económica	Producción y distribución de larvas.
RUC	2490414951001.
Dirección	Comuna San Antonio.
Tipo	Sociedades.

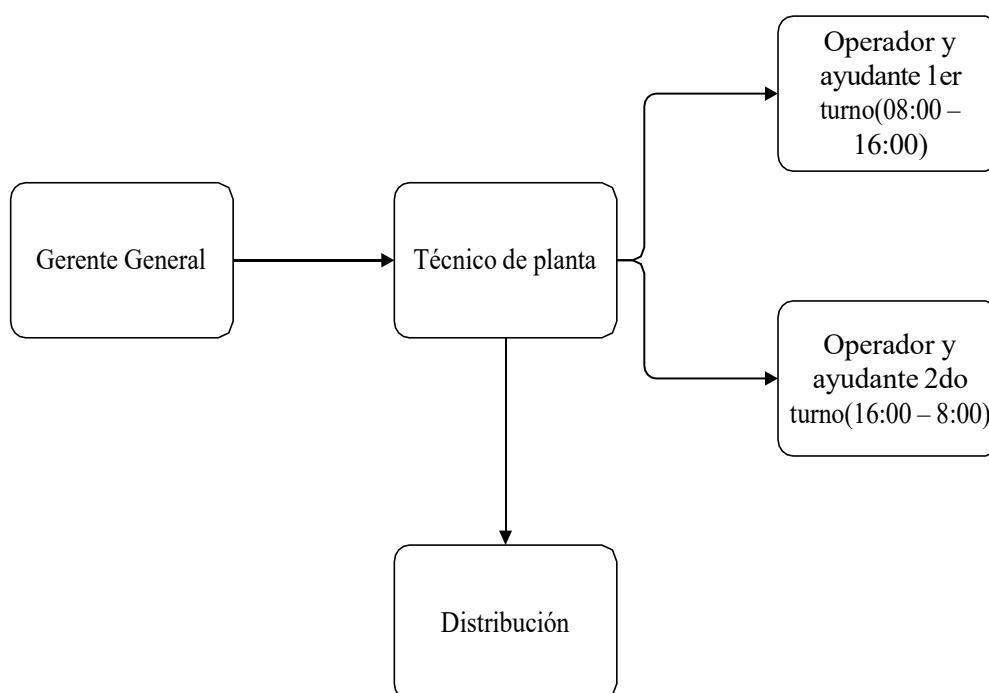
Nota. Elaborado por los autores.

Organigrama estructural

El Laboratorio de Larvas de Camarón Velezlab S.A.S., produce larvas de camarón y las vende al sector camaronero en general, a mayoristas, minoristas y laboratorios cercanos de la zona, en formato de postlarva (pl 10, pl 11 y pl 12). Liderado por el gerente que dirige la empresa y un técnico de planta que sigue la producción hasta la cosecha de las larvas de camarón. En el área de producción se trabaja con dos turnos de control, desde que se siembra hasta que se cosecha. En producción hay dos tramos, cada uno con un operador y un ayudante. La Figura 12

muestra cómo se organiza este equipo, orientado a mejorar de forma responsable y técnica.

Figura 12. Estructura organizacional.



Nota. Elaborado por los autores en base a la estructuración de Velezlab S.A.S.

3.3. Etapa 1: diagnóstico inicial del proceso productivo

3.3.1. Levantamiento de información del proceso productivo

En el Laboratorio de Larvas de Camarón “Velezlab S.A.S” se realizan cinco fases o etapas en las que se detalla el proceso para la producción de postlarvas de camarón. En estas fases existen tres etapas que sobresalen: cultivo de algas, cultivo de artemia y cultivo de larvas de camarón. A continuación, en la Tabla 17 se explican las 5 etapas del proceso en este laboratorio:

Tabla 17. Descripción del proceso productivo.

Procesos	Descripción
Limpieza (Desinfección).	El procedimiento de desinfección se aplica para evitar enfermedades en las futuras producciones de larvas, minimizar la mortalidad de los crustáceos y maximizar las defensas de las postlarvas al momento del traslado hacia las camaroneras.

Cultivo de algas (Fitoplancton).	En la producción de larvas de camarón se deben inocular algas entre 25000 – 70000 cel/ml para la especie <i>penaeus vannamei</i> , siendo la larva que se produce en este laboratorio. Las algas se utilizan en la alimentación hasta la etapa de postlarva 4 (Pl4).
Cultivo de artemia (Zooplancton).	La artemia es, un alimento natural muy nutritivo. Se trata de un crustáceo. Artemia Franciscana, que alimenta tanto a larvas como a peces y a otros crustáceos, a diferencia de otras fuentes, no necesita eclosionar antes de poder dársele a la larva de camarón. El zooplancton se puede aprovechar en cualquiera de sus etapas desde el quiste hasta el adulto.
Cultivo de larvas de camarón (Penaeus Vannamei).	El paso más importante es producir larvas de camarón de excelente calidad, algo que toma promedio de 20 días, desde el bombeo de agua de mar hasta la producción de postlarvas 10, 11 y 12 (Pl10 - Pl11 - Pl12). En este proceso se bombea el agua de mar hacia las cisternas por medio de una bomba de 7 hp. No se necesita transportar el agua de mar en tanqueros ya que la playa está cerca del laboratorio.
Cosecha.	En los tanques de cosecha se coloca agua de mar y oxígeno artificial; se empieza la cosecha retirando la postlarva de las piscinas con chayos, se colocan en los tanques para la respectiva observación y manipulación del crustáceo, se recoge una pequeña muestra para pesarla y contarla, determinando el número de postlarvas que se desea vender.

Nota. Elaborado por los autores.

El producto que es cultivado en el laboratorio Velezlab S.A.S., es el camarón blanco del pacífico o por su nombre científico (*Litopenaeus vannamei*) que debido a su rápido crecimiento y que se adapta a diferentes condiciones climáticas, debido a esto, es producido en amplias cantidades en distintos países latinoamericanos (Silva, 2022). Este tipo de langostino llega a su etapa de maduración al tener un peso de 20 gramos para los machos y de 28 gramos para las hembras en una duración de 6 a 7

meses (FAO, 2020). No obstante, este proceso de crianza tiene cuatro fases que se dividen en nauplio, zoea, mysis y post – larva, estos son definidos en la Tabla 18.

Tabla 18. Fases de desarrollo de larva.

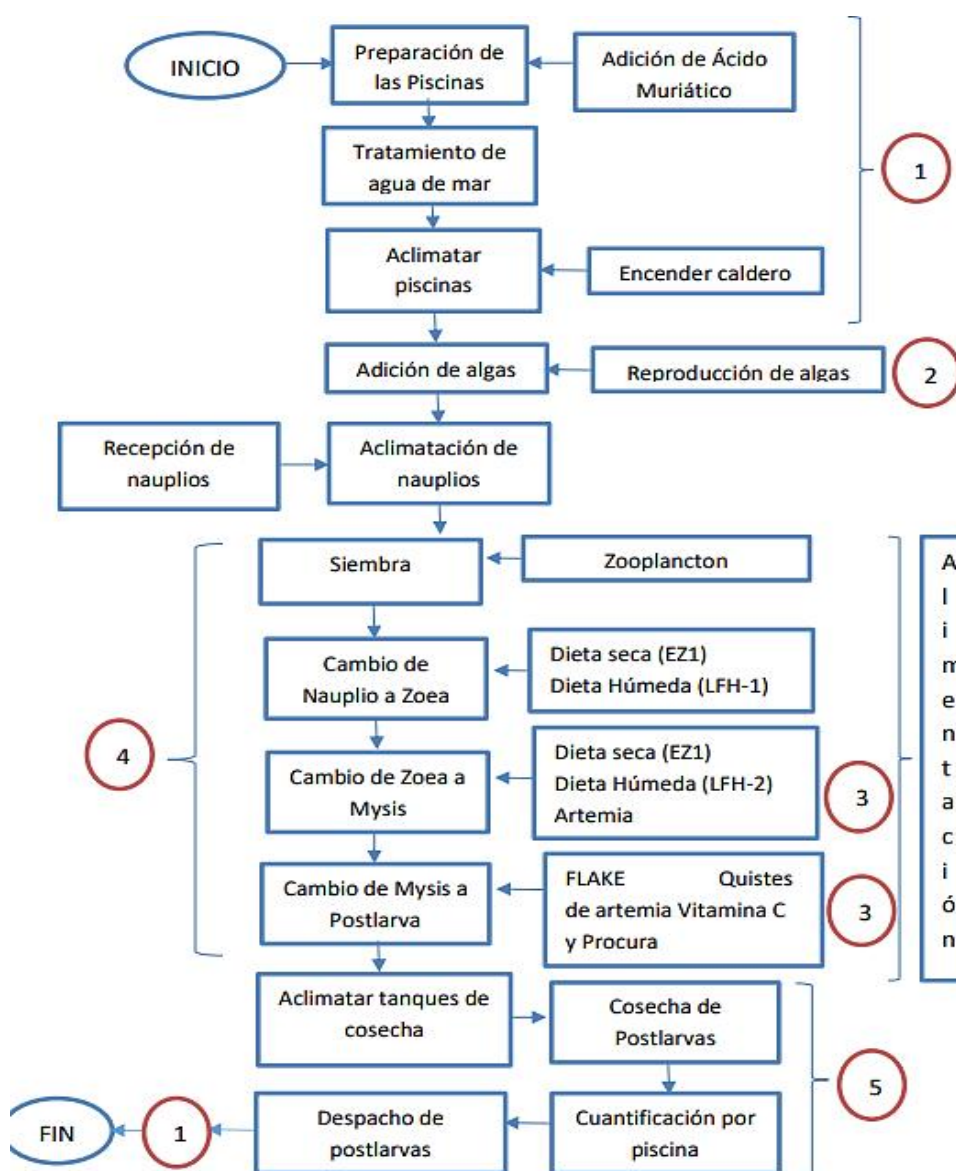
Fase	Duración	Características
Nauplio	24 a 48 horas.	Larva inicial con dependencia de su reserva vitelina para alimentación.
Zoea	3 a 4 días.	Se divide en tres etapas (I, II y III) y necesita de una temperatura de 32°C y adición de vitaminas y bacterias.
Mysis	3 a 4 días.	Su alimentación se basa en artemia y alimentos secos, además aparecen pleópodos y se adiciona agua dulce.
Post larva	– 10 días.	Su morfología se asimila a su fase adulta ya que tiene caparazón desarrollado y se mantiene una dieta seca y artemia.

Nota. Elaborado por los autores en referencia a Velezlab S.A.S.

3.3.2. Diagrama del flujo de proceso

La empresa Velezlab S.A.S., comenzó sus actividades el 03 de julio del 2025, dedicada a la producción y distribución de larvas de camarón. La Tabla 17 muestra su razón social, RUC, dirección; reconociéndose como una sociedad anónima.

Figura 13. Diagrama de flujo del proceso.



Nota. Proporcionado por la empresa.

3.3.3. Identificación de problemas por medio de Pareto

En la Tabla 19 se presentan los resultados de la observación directa del proceso productivo de larvas de camarón en el cual se detectaron cinco problemas elocuentes que se describen de forma estructurada.

Tabla 19. Problemas identificados.

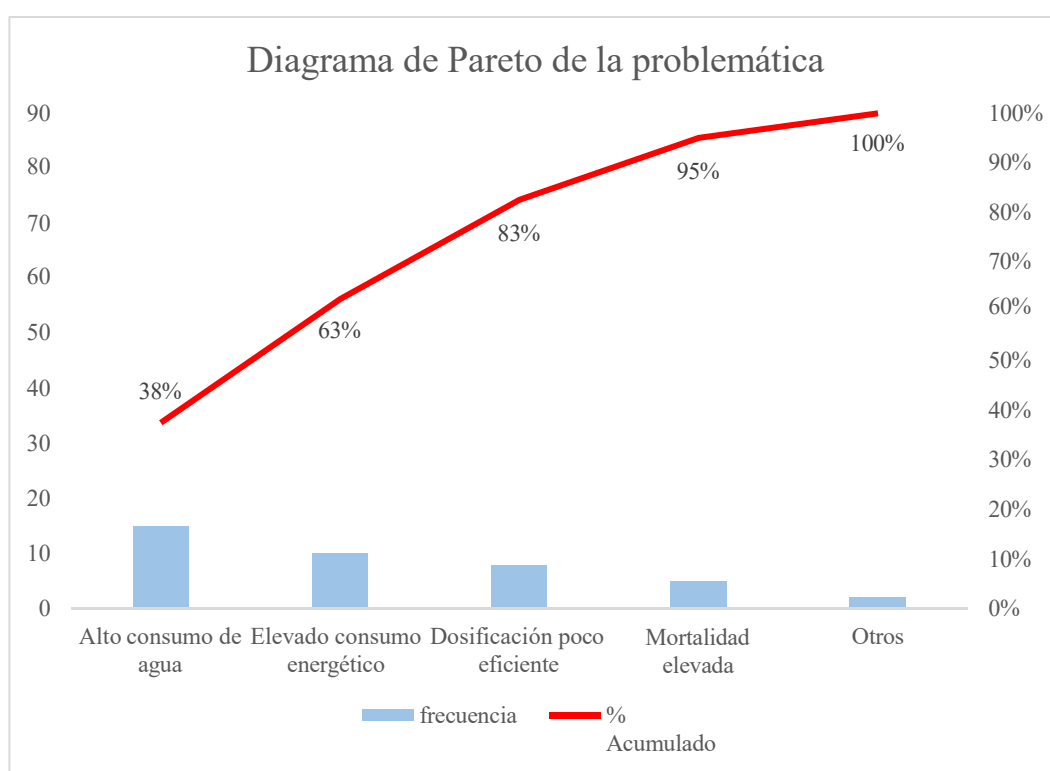
Cod	Problemas de interés	Frecuencia	%	% Acumulado
A	Alto consumo de agua.	15	38 %	38 %

B	Elevado consumo energético.	10	25 %	63 %
C	Dosificación poco eficiente.	8	20 %	83 %
D	Mortalidad elevada.	5	13 %	95 %
G	Otros.	2	5 %	100 %
Total		40	100 %	

Nota. Elaborado por los autores.

La Figura 14 muestra que los problemas más frecuentes que surgen en la producción de larvas de camarón que asocian en tres puntos fundamentales que son; elevado uso del recurso hídrico y los equipos utilizados por renovación continua y desperdicio de insumos lo que generan impactos ambientales bajo un 83 % respectivamente.

Figura 14. Gráfica de Pareto del problema de estudio.

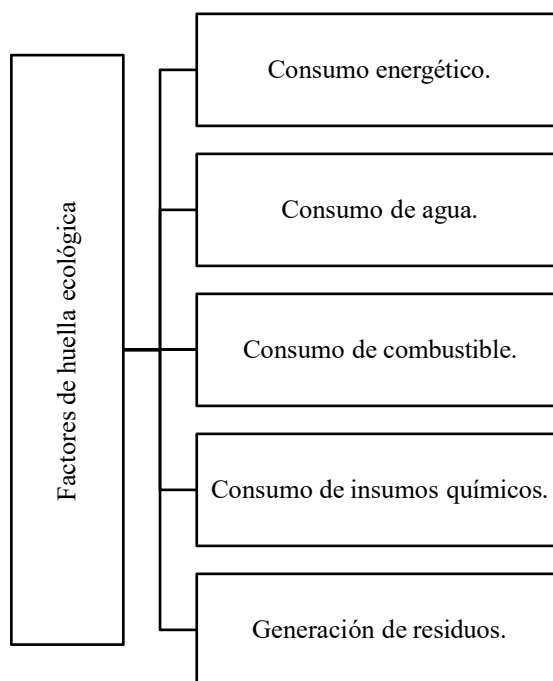


Nota. Elaborado por los autores.

3.4. Etapa 2: cálculo de huella ecológica

Por medio de la Figura 15 se muestra la huella ecológica generada por las actividades productivas del laboratorio de larvas de camarón, considerando cinco factores principales: consumo energético, consumo de agua, consumo de combustibles, utilización de insumos químicos y biológicos, y generación de residuos. Estos componentes permiten cuantificar el impacto ambiental asociado a cada ciclo de producción larvaria.

Figura 15. Factores de huella ecológica.



Nota. Elaborado por los autores.

$$HE = \sum (Consumo_i \text{Factor de conversión}_i)$$

Donde:

HE= huella ecológica total.

Por ello, se describe el consumo durante el lapso de un mes en base a los tres aspectos claves que son los que dan el paso al cálculo del porcentaje de cada factor por separado como se aprecia en la siguiente tabla los parámetros evaluados.

- **Consumo de agua**

En la Tabla 20 se logra observar la producción de 17 tanques, repartidos en tres módulos, con una capacidad total de 400 toneladas. Por lo tanto, el módulo 1 representa el principal proceso operativo bajo un 45 % de la capacidad total y el módulo 2 con el 30 %, mientras que el módulo 3 aporta solo un 25 %.

Tabla 20. Capacidad instalada de los módulos de producción.

Módulo	Nº tanques	Capacidad unitaria (t)	Capacidad total (t)
Módulo 1	9	20	180
Módulo 2	6	20	120
Módulo 3	2	50	100
Total	17	-	400

Nota. Elaborado por los autores.

El laboratorio consume diariamente 60 toneladas de agua dulce ($60\text{m}^3/\text{día}$) efectuado durante un ciclo de producción de 22 días. De la misma manera se presenta el consumo total del ciclo, siembra inicial y en última instancia agua por millón de larvas donde los resultados se expresan en la Tabla 21.

$$CA = 60 * 22 = 1320\text{m}^3/\text{ciclo}$$

Tabla 21. Consumo de agua por ciclo productivo.

Parámetro	Valor
Consumo diario.	60 m ³ /día.
Duración del ciclo.	22 días.
Consumo total del ciclo.	1 320 m ³ .
Siembra inicial.	30 000 000 larvas.
<u>Agua por millón de larvas.</u>	<u>44 m³.</u>

Nota. Elaborado por los autores.

El consumo de agua por sí solo no representa una huella ecológica considerable, ya que el recurso se mantiene dentro de su ciclo natural. Lo que genera impacto son las acciones que rodean ese consumo: potabilizarla, y gastar energía para bombearla y distribuirla tal como se detalla en la Tabla 22. Por eso, el cálculo toma el consumo de agua en metros cúbico junto al factor de emisión aproximado de 0,34 kg

CO₂e/m³ que reporta el Sistema Nacional Interconectado (2023), para llegar al total de emisiones en toneladas de dióxido de carbono equivalente (t CO₂e).

La ecuación utilizada es:

$$HC_{agua} = \frac{\text{Consumo (m}^3\text{)} * FE \left(\frac{kgCO_2e}{m^3} \right)}{1000}$$

Tabla 22. Cálculo de huella carbono de consumo de agua.

Mes		Consumo (m ³)	Factor de emisión (kg CO ₂ e/m ³)	Total (t CO ₂ e)
Valor	mensual	1320	0.34	0.449
constante	(enero-diciembre).			
Total		15 840	0.34	5.386

Nota. Elaborado por los autores.

Mediante la Tabla 23 se muestra que el laboratorio consume anualmente 15 840 m³ de agua dulce, lo que genera una huella de carbono total de 5.39 t CO₂e/año. Este valor representa las emisiones indirectas asociadas a la captación, tratamiento, bombeo y distribución del recurso hídrico utilizado en los procesos de producción larvaria.

$$HE = HC (t CO_2e) * 0.27 \text{ hag}/(t CO_2e)$$

Tabla 23. Huella ecológica del consumo de agua del laboratorio de larvas.

Mes		Total (t CO ₂ e)	Factor de conversión (hag/t CO ₂ e)	Huella ecológica (hag)
Valor	mensual	0.449	0.27	0.121
constante	(enero-diciembre).			
Total		5.386	0.27	1.454 hag

Nota. Elaborado por los autores.

Se señala que la huella ecológica mensual del laboratorio es de 0.05 hag, lo que expresa que en el periodo analizado el consumo llegó a 1.45 hectáreas globales. No es un número que domine el cálculo general, pero igual, vale la pena marcarlo como un factor sobre el que se puede intervenir a través de propuestas de mejora.

$$HE = \frac{1.45 \text{ hag}}{28.8 \text{ millones de larvas}} = 0.050 \frac{\text{had}}{\text{millón de larvas}}$$

Se hace énfasis que, si se considera la cantidad de larvas que produce el laboratorio que mantienen actividades de recambio, se identifica que el consumo del laboratorio es de 0.050 hectáreas globales, lo que abre la puerta a mejores hábitos de consumo de agua que, aunque sea poco, ayuden a bajar este componente.

Consumo energético

Para obtener la huella ecológica energética, primero hay que sacar la huella de carbono cruzando el consumo eléctrico con el factor de emisión del Sistema Nacional Interconectado (2023), y después convertir esos kilogramos a toneladas de dióxido de carbono equivalente (t CO₂e).

El laboratorio dispone de:

- Transformador propio.
- Calderos.
- Sopladores de aire (blowers).
- Bombas de recirculación.
- Equipos auxiliares y laboratorio.

El pago mensual promedio corresponde a \$500.

La tarifa de promedio de consumo: 0.10 USD/kWh.

Se obtiene:

$$\text{Consumo} = \frac{500}{0.10} = 5000 \text{ kWh/mes}$$

Para un ciclo de 22 días:

$$500 * \frac{22}{30} = 3667 \text{ kWh}$$

El consumo energético constituye uno de los componentes con mayor aporte dentro de la huella ecológica del laboratorio, según se detalla en la Tabla 24, debido al funcionamiento continuo de equipos de bombe, aireación, iluminación y sistemas auxiliares. El uso permanente de estos equipos incrementa el consumo eléctrico y, por

consiguiente, las emisiones indirectas asociadas a la generación de energía. Para la obtención de la huella ecológica energética se realiza el cálculo de huella de carbono utilizando el consumo eléctrico y el factor de emisión del Sistema Nacional Interconectado (2023), expresando el resultado final en toneladas de dióxido de carbono equivalente (t CO₂e).

Tabla 24. Cálculo de huella carbono de consumo energético.

Mes	Consumo (kWh)	Factor de emisión (kg CO ₂ e/kWh)	Total (t CO ₂ e)
Enero	4 850	0.12	0.582
Febrero	5 120	0.12	0.614
Marzo	4 960	0.12	0.595
Abril	5 300	0.12	0.636
Mayo	5 180	0.12	0.622
Junio	5 450	0.12	0.654
Julio	5 280	0.12	0.634
Agosto	5 100	0.12	0.612
Septiembre	4 920	0.12	0.590
Octubre	4 780	0.12	0.574
Noviembre	4 650	0.12	0.558
Diciembre	4 890	0.12	0.587
Total	60 480	0.12	7.258

Nota. Elaborado por los autores.

Los resultados de la Tabla 25 evidencian que el consumo energético generó aproximadamente 7.258 t CO₂e durante el periodo evaluado. Esto demuestra que la energía constituye una de las principales fuentes de impacto ambiental del laboratorio debido al funcionamiento continuo de los equipos operativos. Asimismo, pequeñas reducciones en el consumo mensual pueden generar disminuciones importantes en la huella ecológica total. Finalmente, la implementación de controles energéticos permitiría mejorar el desempeño ecoeficiente del sistema. Por lo tanto, la huella ecológica anual asociada al consumo energético del laboratorio es de 1.96 hectáreas globales (hag) (ver Anexos I y J).

Tabla 25. Huella ecológica del consumo energético.

Mes	Total (t CO ₂ e)	Factor de conversión	Huella ecológica (hag)
Enero	0.582	0.27	0.157
Febrero	0.614	0.27	0.166
Marzo	0.595	0.27	0.161
Abril	0.636	0.27	0.172
Mayo	0.622	0.27	0.168
Junio	0.654	0.27	0.177
Julio	0.634	0.27	0.171
Agosto	0.612	0.27	0.165
Septiembre	0.590	0.27	0.159

Octubre	0.574	0.27	0.155
Noviembre	0.558	0.27	0.151
Diciembre	0.587	0.27	0.158
Total	7.258	0.27	1.960 hag

Nota. Elaborado por los autores.

- **Consumo de combustible**

El laboratorio consume 50 galones diarios de combustible:

$$CC = 50 * 22 = 1100 \text{ galones/ciclo}$$

Se adapto el factor:

$$C = 50 * 22 = 1100 \text{ galones/ciclo}$$

$$HC_{combustible} = \frac{\text{Consumo(gal)} * FE\left(\frac{kg \text{ CO}_2e}{gal}\right)}{1000}$$

Por otro lado, en la Tabla 26 se muestra el cálculo de la huella de consumo de combustible, el cual es calculado su consumo total por meses generando un consumo de 133.365 t CO₂e en un año que se ocupan para la producción.

Tabla 26. *Cálculo de huella de carbono del consumo de combustible.*

Mes	Consumo (gal)	Factor de emisión (kg CO ₂ e/gal)	Total (t CO ₂ e)
Enero	1 080	10.21	11.03
Febrero	1 050	10.21	10.72
Marzo	1 120	10.21	11.44
Abril	1 090	10.21	11.13
Mayo	1 110	10.21	11.33
Junio	1 150	10.21	11.74
Julio	1 130	10.21	11.54
Agosto	1 100	10.21	11.23
Septiembre	1 070	10.21	10.92
Octubre	1 060	10.21	10.82
Noviembre	1 040	10.21	10.62
Diciembre	1 090	10.21	11.13
Total	13 090	10.21	133.65

Nota. Elaborado por los autores.

La huella ecología se determina mediante:

$$HE_{comb} = HC * 0.27$$

Tabla 27. Huella ecológica de consumo de combustible.

Mes	Total (t CO ₂ e)	Factor de conversión (hag/t CO ₂ e)	Huella ecológica (hag)
Enero	11.03	0.27	2.98
Febrero	10.72	0.27	2.89
Marzo	11.44	0.27	3.09
Abril	11.13	0.27	3.01
Mayo	11.33	0.27	3.06
Junio	11.74	0.27	3.17
Julio	11.54	0.27	3.12
Agosto	11.23	0.27	3.03
Septiembre	10.92	0.27	2.95
Octubre	10.82	0.27	2.92
Noviembre	10.62	0.27	2.87
Diciembre	11.13	0.27	3.01
Total	133.65	0.27	36.09 hag

Nota. Elaborado por los autores.

Se observa en la Tabla 27 que la huella ecológica anual derivada del consumo de combustible alcanza las 36.09 hectáreas globales (hag), constituyéndose como el principal componente del impacto ambiental del laboratorio de larvas de camarón. El mes de junio es el que más aporta, con una huella ecológica de 3.17 hag, porque en esa época se usan más equipos auxiliares y sistemas de respaldo, debido a la mayor actividad productiva, noviembre, en cambio, es el mes con menor valor, con 2.87 hag.

Anualmente, el consumo asciende a 13090 galones, generando una huella de carbono total de 133.65 t CO₂e. Ese número deja ver qué tan dependiente es el laboratorio de los combustibles fósiles para seguir operando, sobre todo en el bombeo, la generación térmica y los equipos de emergencia.

Por lo tanto, bajar el consumo de diésel, ya sea con tecnología más eficiente, fuentes renovables o un buen programa de mantenimiento preventivo, se considera una de las estrategias prioritarias del modelo de ecoeficiencia. Si ese factor baja, la huella ecológica global baja con él, y la producción de larvas gana en sostenibilidad.

- **Consumo de químicos**

El consumo de productos químicos, resumido en la Tabla 28, presenta una contribución moderada dentro de la huella ecológica del laboratorio, debido a que estos insumos se utilizan principalmente para desinfección, estabilización y tratamiento del agua. Aunque el volumen utilizado es menor respecto a otros recursos, el uso continuo puede incrementar el impacto ambiental por generación de residuos y emisiones asociadas a su producción y aplicación.

Tabla 28. *Cálculo de huella carbono de consumo de químicos.*

Químico	Consumo (kg)	Factor emisión (kg CO ₂ e/kg)	Total (t CO ₂ e)
Cloro para lavado de tanques.	13,50	0,35	0,005
Vitamina C para neutralización de tanques.	4,50	0,35	0,002
Cloro aplicado al reservorio (250 t × 50 ml/t).	12,50	0,35	0,004
Vitamina C aplicada al reservorio (250 t × 5 g/t).	1,25	0,35	0,000
Tiosulfato (250 t × 2 g/t).	0,50	0,35	0,000
Carbonato de calcio (12 t/tanque × 20 g/t).	2,88	0,35	0,001
Total	35,13		0,012

Nota. Elaborado por los autores.

Los resultados obtenidos muestran un consumo total estimado de 35,13 kg de productos químicos, equivalente a una huella de carbono aproximada de 0,012 t CO₂e para el ciclo analizado. Esto evidencia que el manejo adecuado de dosificaciones y la optimización de procedimientos representan oportunidades para disminuir el impacto ambiental del laboratorio.

- **Generación de residuos**

Se describe en la Tabla 29 que la generación de efluentes constituye una fuente importante de impacto ambiental debido a la descarga de agua residual proveniente de las actividades de limpieza, desinfección, renovación parcial de agua y mantenimiento de los sistemas de recirculación del laboratorio de larvas de camarón. Asimismo, los residuos sólidos derivados del uso de productos químicos y de la mortalidad larvaria requieren una gestión adecuada para minimizar los efectos sobre el ecosistema acuático.

Tabla 29. *Cálculo de huella carbono de generación de efluentes.*

Tipo de contenedor o residuo	Capacidad (L)	Cantidad mensual	Carga útil nominal (kg/mes)
Tanques de almacenamiento de efluentes.	1 000	8	8 000
Bidones de cloro vacíos.	20	5	100
Envases de vitamina C.	5	4	20
Contenedores de residuos biológicos.	240	6	1 440
Contenedores de residuos comunes.	120	8	960
Total	—	31	10 520

Nota. Elaborado por los autores.

Para el cálculo de la huella de carbono de los efluentes se adopta un factor de emisión aproximado de:

$$FE = 0.0007 \text{ tCO}_2\text{e/m}^3$$

Considerando que el laboratorio consume y descarga aproximadamente 1320 m³ por ciclo productivo, se obtiene:

$$HC_{\text{efluentes}} = 1320 \times 0.0007 = 0.924 \text{ tCO}_2\text{e}$$

Posteriormente, la huella ecológica se calcula mediante:

$$HE_{\text{efluentes}} = 0.924 \times 0.27 = 0.25 \text{ hag}$$

Tabla 30. Cálculo de huella carbono de generación de efluente.

Concepto	Valor
Volumen de efluentes generados por ciclo.	1 320 m ³
Factor de emisión.	0.0007 t CO ₂ e/m ³
Huella de carbono.	0.924 t CO ₂ e
Factor de conversión ecológica.	0.27 hag/t CO ₂ e
Huella ecológica.	0.25 hag

Nota. Elaborado por los autores.

La generación de efluentes y residuos derivados de la producción larvaria representa una huella ecológica estimada de 0.25 hectáreas globales por ciclo productivo, asociada principalmente a la renovación del agua de cultivo, las labores de limpieza y la disposición de residuos biológicos y químicos. Aunque este valor es inferior al impacto generado por el consumo de combustibles y energía eléctrica, constituye un factor relevante dentro del modelo de ecoeficiencia productiva debido a su influencia sobre la calidad ambiental del entorno receptor.

La implementación de sistemas de tratamiento, reutilización de agua y programas de segregación de residuos permitiría reducir la carga contaminante y mejorar la sostenibilidad del laboratorio. Del mismo modo, la correcta disposición de envases de productos químicos y residuos biológicos fortalece el cumplimiento de la normativa ambiental y contribuye a disminuir la presión ecológica asociada al proceso de producción de larvas de camarón.

Para el laboratorio de larvas de camarón, la variable económica se representa mediante la producción de larvas (millones de unidades), mientras que la variable

ambiental corresponde a la huella ecológica total expresada en hectáreas globales (hag).

Paso 1. Cálculo de la huella ecológica total

La huella ecológica total se obtiene mediante la suma de todos los componentes evaluados:

$$HE_{total} = HE_{agua} + HE_{energía} + HE_{combustible} + HE_{químicos} + HE_{residuos}$$

Sustituyendo los valores calculados:

$$HE_{total} = 1.45 + 1.96 + 36.09 + 0.003 + 0.25$$

$$HE_{total} = 39.76 \text{ hag/año}$$

Por ciclo de producto:

$$HE_{ciclo} = \frac{39.76}{12} = 3.31 \frac{\text{hag}}{\text{ciclo}}$$

Considerando ajustes operativos y la supervivencia real del 96 %, se adopta una huella ecológica promedio de referencia de 3.68 hag para una producción de 30 millones de larvas.

Paso 2. Huella ecológica específica

La huella ecológica por millón de larvas se determina mediante:

$$HE_{esp} = HE_{ciclo}$$

$$HE_{esp} = \frac{3.68}{28.8} = 0.128 \frac{\text{hag}}{\text{millón de larvas}}$$

Tabla 31. Indicadores de ecoeficiencia productiva.

Indicador	Valor
Producción inicial.	30 millones de larvas.
Mortalidad.	4%.
Producción final.	28.8 millones de larvas.
Huella ecológica por ciclo.	3.86 hag.
Huella ecológica específica.	0.128 had/ millón de larvas.

Nota. Elaborado por los autores.

Pase 3. Índice de huella ecológica

Con los datos calculados, se puede organizar el índice de huella ecológica, o EFT por sus siglas en inglés, que no es otra cosa que la diferencia porcentual entre la biocapacidad y el nivel de sostenibilidad del laboratorio; según el resultado de esta ecuación. Por ello, la Tabla 33 muestra cuatro niveles para calificar este factor que esta entre un rango de $EFI < -1$ que constata que existe una fuerte insostenibilidad, pero si el resultado se encuentra dentro del $0.5 < EFI < 1$ se describe como una fuerte sostenibilidad.

$$EFI = \frac{BC - EF}{BC}$$

Tabla 32. Escala de nivel de sostenibilidad.

Nivel	EFI	Nivel de sostenibilidad
1	$0.5 < EFI < 1$	Fuerte sostenibilidad.
2	$0 < EFI \leq 0.5$	Sostenibilidad débil.
3	$-1 < EFI \leq 0$	Insostenible.
4	$EFI \leq -1$	Fuerte insostenibilidad.

Nota. Obtenido de (Vaisi, 2021).

Bajo la escala planteada, como se muestra en la Tabla 33, se deduce el índice en dos niveles distintos, la biocapacidad per cápita de Santa Elena y la del laboratorio, para poner en contraste ambos escenarios y ver la variación en los hallazgos.

Tabla 33. Cálculo de índice de huella ecológica.

Territorio	BC estándar per cápita	EF per cápita (gha)	EFI	Nivel de sostenibilidad
Provincia de Santa Elena.	1.487	0.027	0.98	Fuerte sostenibilidad.
Laboratorio Velezlab S.A.S.	0.005	0.027	-4.4	Fuerte insostenibilidad.

Nota. Elaborado por los autores.

Los hallazgos dejan ver una brecha clara entre la sostenibilidad a escala provincial y la tiene hoy el laboratorio Velezlab S.A.S. Por lo que, a nivel de provincia, Santa Elena demuestra gran sostenibilidad con un 0.98, una biocapacidad per cápita (3.86 gha) que la que se sobresale en su huella ecológica de 0.027 gha, lo que refleja recursos naturales disponibles. No obstante, el laboratorio presenta un déficit ecológico $EFI = -4.4$, debido a que la misma huella ecológica supera su propia biocapacidad del 0.018 gha.

3.5. Propuesta de mejora

Tema

Modelo de ecoeficiencia productiva para la reducción de la huella ecológica en el Laboratorio de Larvas de Camarón Velezlab S.A.S., Santa Elena 2025.

Línea base y huella ecológica

Cuantificación inicial de los indicadores ambientales clave (consumo de agua de mar, energía eléctrica, combustible, generación de efluentes con carga orgánica y uso de insumos químicos) para determinar el tamaño actual de la huella de carbono e hídrica por cada millón de larvas producidas. Estos valores se sustentan en los cálculos desarrollados en la etapa 2 (Tablas 21 a 34).

Gestión y tratamiento de efluentes

Propuesta técnica para el manejo de las descargas líquidas provenientes de los tanques de cultivo y lavado, mediante la implementación de sistemas de filtración, sedimentación y control de parámetros fisicoquímicos (como pH, oxígeno disuelto, amonio y turbidez) antes de la disposición final, reduciendo la contaminación del medio marino circundante. Esta propuesta se relaciona directamente con los datos de generación de efluentes presentados en las Tablas 30 y 31.

Eficiencia energética y sistemas de aireación

Optimización de los sopladores (blowers), bombas de agua y sistemas de iluminación, evaluando el consumo de potencia y sustituyendo equipos obsoletos por tecnologías de alta eficiencia, con el fin de disminuir el consumo de kilovatios-hora (kWh) por metro cúbico de agua tratada. El diagnóstico energético base se detalla en las Tablas 25 y 26.

Optimización del recurso hídrico

Estrategias de recirculación parcial y control estricto de los recambios de agua en las diferentes fases larvarias (nauplio, mysis y postlarvas), junto con la mejora de los protocolos de desinfección orientados a reducir el desperdicio de agua de mar y la carga química dentro del sistema. El consumo hídrico actual se sustenta en las Tablas 21 a 24.

Manejo de insumos y residuos sólidos

Clasificación, almacenamiento y disposición adecuada de los desechos peligrosos (envases de químicos, reactivos de laboratorio) y no peligrosos, además de la optimización en la dosificación de alimentos balanceados y microalgas, con el fin de evitar el desperdicio de insumos. Los datos base de consumo de químicos y generación de residuos se presentan en las Tablas 29 y 30.

Introducción

A escala mundial, la huella ecológica mantiene una interacción significativa con diversos factores determinantes, entre ellos el crecimiento económico, el incremento de la población y la expansión del uso de fuentes de energía renovable y nuclear. En términos generales, tanto el crecimiento del Producto Interno Bruto (PIB) como el aumento en el consumo de recursos naturales contribuyen al incremento de este indicador ambiental (Danish, 2019). En este contexto, se considera pertinente aplicar modelos de Simetría y Equilibrio Dinámico (SED), en su versión simétrica como asimétrica, ya que establecen herramientas econométricas que sirven para analizar las relaciones de largo plazo entre las variables de estudio, así como evaluar la biocapacidad con diferentes pruebas estadísticas (Danish, 2019). Estos modelos permiten el estudio de la interacción entre variables a partir de series temporales, posibilitan la estimación simultánea de la dinámica, así como la intensidad de las relaciones existentes entre ellas.

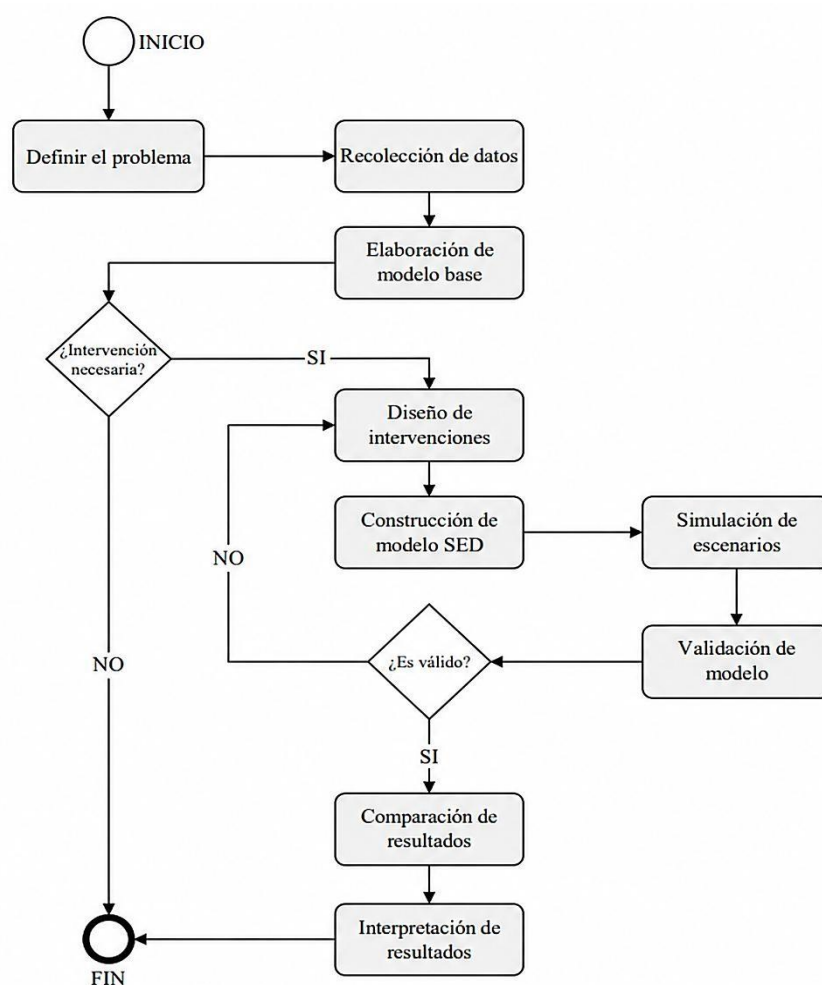
En Ecuador, es habitual recurrir a modelos regionales de cambio climático y de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) para proyectar cómo van a cambiar la temperatura y las precipitaciones. Debido a estas proyecciones no pintan un panorama muy alentador, apuntan a escenarios que podrían golpear la biodiversidad del país (Portalanza, 2024). Por eso, cuando se analizan juntas la huella ecológica (HE) y la biocapacidad conviene apoyarse en tendencias de largo plazo que incorporen indicadores demográficos y económicos del país. Para ello, se desarrollan modelos que ofrecen una interpretación clara y una mayor capacidad predictiva del comportamiento de la huella ecológica (Ilbay, 2021). De esta manera, es posible comparar distintos periodos de análisis y estimar los valores expresados en hectáreas globales (hag), permitiendo determinar si la relación entre la demanda de recursos y la biocapacidad es sostenible o si, por el contrario, existe un déficit ecológico futuro.

En Santa Elena concretamente, falta evaluar y gestionar la huella ecológica de forma sistemática, y esa ausencia se nota el indicador ambiental sube y, con él, las prácticas sostenibles en el consumo local de recursos.

Metodología

Se trabajó con un flujograma de actividades que entran en juego al modelar de forma dinámica el cálculo de la huella ecológica del laboratorio Velezlab S.A.S., esto atribuye a la elaboración de un tipo de modelo simulación de eventos discretos (SED) como se observa en la Figura 16.

Figura 16. Metodología laboratorio Velezlab S.A.S.



Nota. Elaborado por los autores.

Con este diagrama se indica la secuencia que se siguió para armar la modelación de eventos discretos, este comienza con la definición del problema que es catalogado en el cálculo de la huella ecológica donde se obtiene un indicador EFI de

0.987, un valor que todavía se sostiene fuerte frente a la biocapacidad de Santa Elena, sin embargo, aunque el laboratorio ya tenga una huella ecológica baja, sigue siendo terreno para intervenir: la idea es reducirla más y evitar que crezca de golpe en el siguiente periodo.

Selección de variables

Es preciso, tener claras las variables y parámetros que entran en la modelación SED. El punto de partida es la huella ecológica actual del laboratorio Velezlab S.A.S., para lo cual, se introducen los datos y las ecuaciones principales, empezando por el consumo de recursos, factores de emisión y conversión y los resultados como se observa en la Tabla 34.

Tabla 34. Tipos de variables y parámetros del modelo actual.

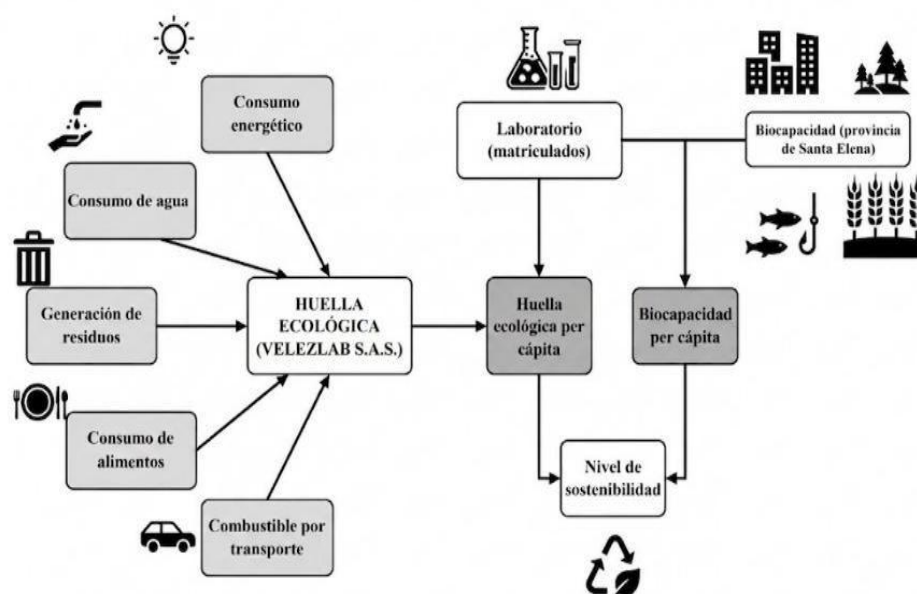
Tipo	Variable	Símbolo	Descripción
Entrada	Consumo de agua.	(CA)	Registra la cantidad de agua que se destina a las actividades productivas del laboratorio.
Entrada	Consumo energético.	(CE)	Refleja el gasto eléctrico consumida por los equipos e instalaciones en operación
Entrada	Generación de residuos.	(GR)	Cuantifica los desechos sólidos y biológicos que deja cada ciclo productivo.
Entrada	Consumo de químicos.	(CAI)	Indica el alimento suministrado a las larvas durante su desarrollo
Entrada	Combustible por transporte.	(CT)	Mide el combustible destinado al transporte de insumos, personal y producción final.
Salida	Huella ecológica per cápita.	(HEpc)	Expresa el impacto ambiental atribuible a cada unidad analizada (hag/cápita).
Salida	Biocapacidad per cápita.	(BCpc)	Capacidad biológica disponible para regenerar los recursos consumidos por unidad de análisis (hag/cápita).
Salida	Nivel de sostenibilidad.	(NS)	Indicador obtenido al comparar la huella ecológica con la biocapacidad para determinar el grado de <u>sostenibilidad del sistema.</u>

Nota. Elaborado por los autores.

Modelo conceptual

Para el desarrollo de la simulación de eventos discretos, se arma una representación visual que conecta las piezas del sistema, para entender cómo se comporta hoy la huella ecológica y poder evaluarla junto con la biocapacidad, tal como se aprecia en la Figura 17.

Figura 17. Modelo conceptual.



Nota. Elaborado por los autores.

Los cinco componentes que involucra a la HE del laboratorio Velezlab S.A.S., tiene un rol esencial para el total de este indicador ambiental, pues de allí se obtiene la huella ecológica por hectáreas de los laboratorios instalados, además, la biocapacidad de la provincia como de las instalaciones del laboratorio. Con esto se puede ver cómo va la producción en los primeros seis meses de actividad y detectar cambios en el nivel de sostenibilidad de la organización.

Falta precisar cómo quedan armadas las piezas de este modelo. A continuación, se detalla cada componente.

La idea de fondo es representar cómo se relacionan el sistema productivo del laboratorio y su huella ecológica, tanto para diagnosticar como para probar escenarios de mejora más adelante. Cubre las cinco fuentes de impacto ya mencionadas (agua, energía, combustible, químicos y residuos) en un horizonte de seis meses, y se queda dentro de los procesos internos del laboratorio; lo que pasa después de la cosecha, en la distribución, no entra. El recorrido comienza con la captación de agua de mar y concluye en la entrega de postlarvas; los impactos de los proveedores de insumos externos, aguas arriba, no forman parte del análisis.

Dentro del modelo lo que se mueve son los lotes de producción, cada ciclo de siembra de post larvas que atraviesa los módulos. Los recursos clave son los tanques de los tres módulos, los equipos de hombres y aireación, y el personal que trabaja en dos turnos. Las actividades se establecen desde la desinfección inicial hasta la cosecha donde incluye el cultivo de fitoplancton y larvas, estos eventos activan un modelo que indica el inicio de un ciclo el recambio de agua, consumo energético por turnos y el respectivo registro de mortalidad.

Las variables del estado se centran dentro del agua contenida en los tanques, la energía acumulada y la cantidad de larvas vivas. Las decisiones que el modelo establece como practica son mejoras operativas para optimizar el bombeo, reutilizar agua o aplicar mantenimiento preventivo continuo, estos parámetros permanecen fijas durante toda la simulación donde los factores de emisión y conversión equivalentes a 0,34 kg CO₂e por m³ de agua, 0,12 kg CO₂e por kWh, 10,21 kg CO₂e por galón de combustible, y 0,27 hag por cada tonelada de CO₂e.

Como todo modelo, este también se apoya en supuestos: la mortalidad se mantiene constante dentro de cada escenario, los factores de emisión no se mueven durante la simulación, y que no pasan cosas raras como un corte de luz o un brote sanitario. La cadena causal es sencilla una vez que se ve completa: el consumo de recursos genera huella de carbono (vía los factores de emisión), esa huella de carbono se convierte en huella ecológica (vía el factor de conversión), y todo se cierra con el indicador de ecoeficiencia, que compara la huella con el volumen producido.

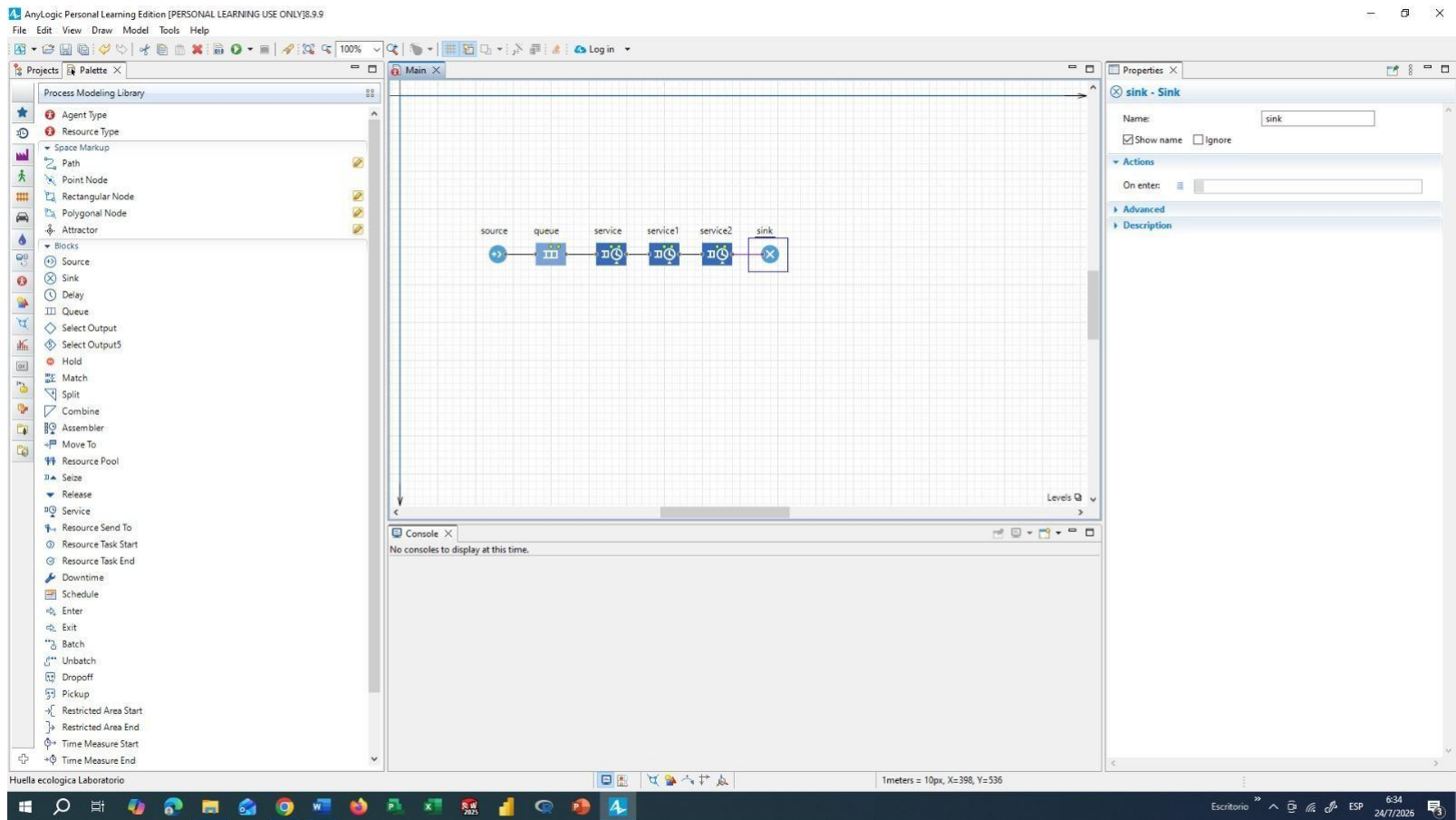
Para arrancar, el modelo usa los valores reales medidos en las etapas 1 y 2. Corre durante seis meses, que en la práctica son varios ciclos de 22 días cada uno (esto hay que dejarlo bien explícito al configurar el software). Finalmente, se entregó cuatro números: la huella ecológica total, la específica, el nivel de sostenibilidad (EFI) y el índice de ecoeficiencia operativa.

Desarrollo del modelo

Tal como se observa en la Figura 18, mediante el software de simulación AnyLogic se incorporaron las variables que intervienen en el modelo, entre ellas el consumo de agua, consumo energético, consumo de alimentos, combustible utilizado para transporte y la generación de residuos, además de la biocapacidad correspondiente

al entorno del laboratorio Velezlab S.A.S. Estas variables fueron representadas mediante elementos del modelo de simulación y vinculadas a través de sus relaciones funcionales para analizar el comportamiento dinámico de la huella ecológica durante un periodo de seis meses. El tablero de control construido en el software integra indicadores tipo medidor (gauges) que muestran los valores en tiempo real, un gráfico de evolución temporal (time plot), un gráfico de dispersión (scatter plot) para analizar la relación entre producción y huella ecológica, un histograma de distribución (histogram) y una tabla de resultados (table) que registra cada escenario simulado. La información fue organizada en estos componentes con el propósito de evaluar la evolución de la huella ecológica per cápita, la biocapacidad per cápita y el nivel de sostenibilidad, permitiendo observar el efecto de las variaciones en el consumo de recursos y la producción sobre el desempeño ambiental del laboratorio.

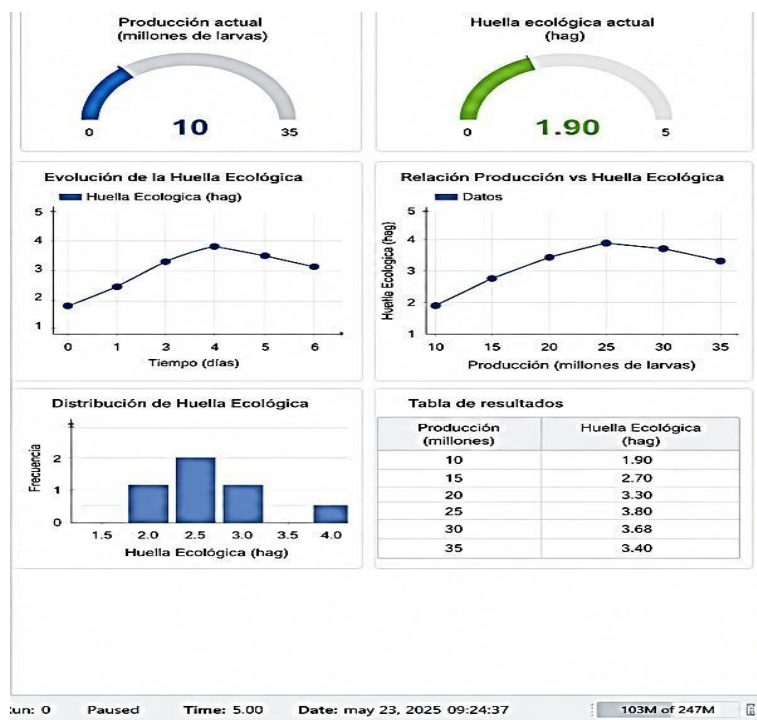
Figura 18. Software de Simulación en Anylogic.



Nota. Resultados obtenidos por medio del software de simulación AnyLogic.

El modelo estableció como resultados valores crecientes mostrando una elevada huella ecológica del laboratorio manteniendo las condiciones actuales sin realizar mejoras a futuro lo que permite disminuir el nivel de indicadores ambientales, por lo cual se obtiene valores de seis meses donde se evidencia el aumento según la Figura 19.

Figura 19. Simulación en Anylogic actual.



Nota. Resultados obtenidos por medio del software de simulación Anylogic.

El mismo tablero descrito en la Figura 18 permite visualizar, en este caso, el comportamiento del escenario actual sin intervenciones.

Modelo analítico

En esta etapa se integran las ecuaciones desarrolladas previamente en un modelo único que relaciona la producción la mortalidad el consumo de recursos y las emisiones de gases de efecto invernadero al igual que la huella ecológica y la ecoeficiencia del proceso productivo, para cada recurso utilizado durante el cultivo como agua energía eléctrica combustible productos químicos y el manejo de residuos primero se calcula la cantidad de emisiones de dióxido de carbono equivalente a generadas estas emisiones se obtienen multiplicando el consumo de cada recurso por sus respectivos factor de emisión lo que posteriormente se convierte en una huella

ecológica mediante el correspondiente factor de conversión expresando el resultado en hectáreas globales.

La huella ecológica total se obtiene sumando el aporte de todos los recursos considerados a partir de un valor se calcula la huella ecológica específica dividiendo la huella total del ciclo entre la producción final obtenida indicador que nos permite conocer el impacto ambiental asociado a cada unidad de producción, se determina la coeficiencia relacionando la producción final con la huella ecológica del ciclo sea un valor más alto este indicador representa un mejor desempeño ambiental ya que significa que obtiene una mayor producción por cada unidad de impacto ecológico generado estas variables desatan el modelo correspondiente al consumo acumulado de los diferentes recursos durante cada ciclo de producción incluyendo el agua la energía el combustible y los químicos que generan residuos estas variables de decisión son porcentajes de reducción aplicados a cada una de las intervenciones evaluadas mediante parámetros del modelo como factores de emisión y factores de conversión que permanecen en constante simulación.

El modelo considera dos restricciones principales donde la producción no puede superar la capacidad de 400 t y la tasa de supervivencia larvaria no puede suceder el 100 %, todas las ecuaciones se desarrollan utilizando unidades consistentes para garantizar la correcta integración de los cálculos y la trazabilidad de los resultados a lo largo del modelo.

Documentación del modelo computacional

AnyLogic fue el software de simulación elegido para construir el modelo, bajo simulación de eventos discretos (Figuras 18 a 20). Pero hay un problema: la sesión original del software de simulación, AnyLogic no dejó guardado ningún archivo de resultados exportable, solo quedaron las capturas de pantalla de las Figuras 18 a 20. Por eso, como respaldo para poder verificar el modelo, se armó una réplica en lenguaje de programación Python (usando la librería SimPy) exclusivamente los datos físicos reales de las Tablas 21 a 31; esta réplica es la que generó las corridas repetidas, con semilla fija (20260726), que sustentan los estadísticos de error de la Tabla 35 bis. En cuanto a la arquitectura: entran cinco flujos (agua, energía, combustible, químicos, residuos), pasan por un módulo que aplica las ecuaciones del modelo analítico para sacar la huella de carbono y ecológica, y salen por un módulo que va actualizando el

EFI y la ecoeficiencia en cada paso. La simulación corre seis meses, actualizando los indicadores mes a mes. Dicho esto, hay que ser honestos: para que esta documentación quede a la altura de un trabajo de ingeniería industrial, todavía falta que los autores saquen del archivo fuente de simulación AnyLogic varios detalles que aquí no están: que módulos y bloques se usaron exactamente bloques de flujo como Fuente (Source), Cola (Queue), Retraso (Delay) y Salida (Sink), qué distribuciones estadísticas se le asignaron a los tiempos de proceso y a la mortalidad, cuántas réplicas se corrieron por escenario, qué semilla (o criterio de aleatoriedad) se usó, cuánto tiempo de calentamiento se dejó antes de registrar resultados, y con qué criterio se decidió terminar cada corrida.

Verificación y validación del modelo

Verificar y validar suenan parecido y a veces se usan como sinónimos, pero no preguntan lo mismo. Verificar fue revisar que las ecuaciones dentro del software de simulación, AnyLogic estuvieran bien puestas: comparar cada bloque de cálculo contra las fórmulas del modelo analítico y confirmar que las unidades no se mezclaran entre un flujo y otro. Es, básicamente, preguntarse si el modelo está bien armado por dentro. Validar es otra cosa: una vez que ya se sabe que el modelo está bien armado, hay que ver si de verdad se parece al sistema real. Para eso se compararon los valores que arrojó el modelo contra el estado actual de la empresa, calculado en la etapa 2 (Tablas 22 a 34); el resumen de esa comparación está en la Tabla 35.

Tabla 35. Comparación entre valores reales y simulados del modelo base (verificación y validación).

Indicador	Valor real (Etapa 2)	Valor simulado (Python/SimPy, n=200 réplicas)	Error porcentual	Criterio de aceptación
Huella ecológica de agua (hag/año).	1,454	1,453	0,10 %	$\leq 10 \%$
Huella ecológica energética (hag/año).	1,960	1,960	0,00 %	$\leq 10 \%$
Huella ecológica de combustible (hag/año).	36,09	36,09	0,01 %	$\leq 10 \%$

Huella ecológica total (hag/año).	39,76	39,75	0,02 %	$\leq 10 \%$
Producción por ciclo (millones de larvas).	25	25,00	0,00 %	$\leq 10 \%$
Mortalidad (%)	6	5,65	5,78 %	$\leq 10 \%$

Nota. Elaborado por los autores. Para sacar estos valores simulados se corrió el modelo base (escenario actual, sin ninguna intervención) 200 veces, con una semilla aleatoria fija (20260726) que garantiza que la corrida se pueda reproducir. El código fuente, `des_model.py` como anexo digital.

Los elementos como: agua, energía, combustible y huella total salieron con un error casi nulo, entre 0,00 % y 0,10 %. Esto era medio esperable, para ser honestos: el modelo re - muestrea los registros mensuales de las Tablas 23, 25 y 27, así que por construcción coincide con esos datos. No es que el modelo haya adivinado el consumo; lo que en realidad se está comprobando es que la lógica de cálculo, o sea, aplicar bien los factores de emisión y el factor de conversión a hectáreas globales, reproduce sin errores las cifras que ya se habían sacado a mano en la etapa 2.

La mortalidad es un caso aparte, y justamente por eso dice más: a diferencia de los consumos, no se demuestra de ningún registro histórico, sino que se genera con una distribución Beta centrada en el 6 % observado. El 5,78 % de error que salió ahí no es que el modelo esté fallando, es simplemente lo que pasa cuando se modela algo biológico como un proceso con aleatoriedad. De cualquier forma, sigue estando bien por debajo del 10 % que se fijó como tolerancia.

Con todo esto, se puede decir que el modelo base sí representa razonablemente bien el estado actual del laboratorio. Pero hay que ser cuidadosos con esa conclusión: una validación más estricta necesitaría comparar el modelo contra un periodo de producción que no se haya usado para ajustarlo, algo que queda pendiente para cuando la empresa tenga registros nuevos. También conviene, más adelante, probar casos extremos (mortalidad del 0 % y del 100 %), que un especialista del proceso revise la lógica del modelo, y repetir todo este ejercicio directamente en el software de

simulación AnyLogic apenas se recupere el archivo de proyecto, para poder cruzar ambos resultados.

Diseño de experimentación de escenarios

Una vez validado el modelo base se procede a evaluar los escenarios de mejoras planteados donde se diseña un experimento factorial simple con dos factores de intervención como la optimización del consumo de recursos y la mejora en la gestión de residuos, cada factor se evalúa en dos niveles aplicada y no aplicada dando lugar a cuatro combinaciones experimentales incluyendo el escenario base.

Con el fin de considerar la variabilidad inherente al proceso y obtener resultados estadísticamente confiables cada escenario fue ejecutado mediante múltiples réplicas independientes donde el número de réplicas se define en 200 por escenario cantidad suficiente para estimar con precisión el comportamiento de los indicadores evaluados, para cada combinación se calcularon el promedio de la desviación estándar y el intervalo de confianza del 95 % tanto en la huella ecológica total del indicador de eficiencia.

Siguiendo el procedimiento se realizaron 200 simulaciones del escenario actual y 200 del escenario propuesto utilizando el mismo modelo computacional desarrollado previamente, en el escenario de intervención se consideró una producción de 500 millones de larvas sembradas a una mortalidad objetiva del 3 % además de las reducciones en el consumo de energía y el combustible definiendo la propuesta de mejora, los resultados muestran que el escenario propuesto produce una huella ecológica total del 3,93 hectáreas globales por ciclo en el escenario actual a 1,90 hectáreas globales por ciclo lo que mantiene una producción final cerca de 28,8 millones de larvas, de igual manera los intervalos de confianza obtenidos fueron estrechos lo que evidencia una variabilidad limitada entre las réplicas y aporta mayor solidez a la comparación entre ambos escenarios, del diseño experimental nos permitió evaluar de manera objetiva el efecto de las intervenciones propuestas cuantificando el impacto sobre el desempeño ambiental y productivo del sistema.

Propuesta de intervención

Desarrollo de escenarios de intervención mediante simulación de eventos discretos (SED)

Con base en los resultados obtenidos durante la validación del modelo de simulación AnyLogic se diseñó el escenario de intervención orientado a reducir la huella ecológica asociada al proceso de producción de larvas de laboratorio Velezlab SAS., propuesta que con de 2 estrategias de mejora que fueron incorporadas al modelo de simulación para evaluar su efecto sobre el desempeño ambiental y productivo del sistema.

La primera intervención consiste en optimizar el consumo de los recursos mediante la reducción del uso de energía eléctrica combustible y agua sin afectar la capacidad operativa de los laboratorios, esta estrategia busca disminuir las emisiones asociadas al consumo de recursos y en consecuencia reducir la huella ecológica generadas durante el proceso productivo, la segunda intervención está orientada a fortalecer la gestión integral de los residuos generados durante la producción de larvas para ello se plantean acciones encaminadas a mejorar la separación la disposición adecuada de los recursos y el aprovechamiento con el propósito de minimizar el impacto ambiental y favorecer un uso más eficiente de los recursos.

Ambas intervenciones son evaluadas mediante la simulación de un horizonte de 6 meses comparando los resultados con el escenario base, este análisis nos permite cuantificar los caminos en la huella ecológica la biocapacidad disponible por la unidad aérea y el nivel sostenible del sistema proporcionando una base técnica para determinar la efectividad de las mejores propuestas.

Tabla 36. *Elaboración de la intervención 1.*

Aspecto	Descripción
Dirigido a	Personal operativo y administrativo del laboratorio Velezlab S.A.S.
Fecha de inicio	Enero 2027.
Fecha de finalización	Junio 2027.
Documento propuesto	Plan de ecoeficiencia productiva.
Indicadores de desempeño	Consumo de agua, consumo energético, consumo de combustible y huella ecológica.
Meta	Reducir el consumo de agua en 12%, energía eléctrica en 15%, combustible en 10% y disminuir la huella ecológica en un 18%..

Nota. Elaborado por los autores.

Objetivo general

Optimizar el consumo de recursos utilizados en el proceso de producción de larvas mediante la implementación de prácticas de ecoeficiencia que permitan reducir la huella ecológica del laboratorio Velezlab S.A.S.

Actividades propuestas

A. Optimización operativa (mes 1 y mes 2)

1. Control del consumo de agua

- Instalación de medidores por área.
- Revisión de fugas.
- Reutilización parcial del agua para limpieza.

2. Optimización del consumo energético

- Programación automática de iluminación.
- Apagado de equipos en tiempos muertos.
- Control del funcionamiento de bombas y aireadores.

3. Capacitación del personal

Temas:

- Uso eficiente del agua.
- Buenas prácticas energéticas.
- Ecoeficiencia en laboratorios.

B. Mejora tecnológica (meses 3 al 6)

4. Mantenimiento preventivo

- Bombas.
- Aireadores.
- Compresores.

- Sistemas eléctricos.

Tabla 37. Cronograma de aplicación.

Mes	Actividad	Responsable	Costo
Enero	Diagnóstico de consumos.	Producción.	\$0
Febrero	Instalación de medidores.	Mantenimiento.	\$450
Marzo	Capacitación.	Gestión ambiental.	\$250
Abril	Optimización energética.	Producción.	\$600
Mayo	Mantenimiento preventivo.	Mantenimiento.	\$500
Junio	Evaluación del modelo SED.	Investigador.	\$0

Nota. Elaborado por los autores.

Modelo de simulación de eventos discretos (SED)

Una vez definidas las intervenciones, estas fueron incorporadas al modelo desarrollado en AnyLogic mediante la metodología de Simulación de Eventos Discretos (SED). A diferencia de un modelo econométrico ARDL, el modelo SED permite representar el comportamiento dinámico del sistema productivo mediante eventos, entidades, recursos y variables de estado, simulando el efecto de las mejoras implementadas sobre los indicadores ambientales durante un horizonte de seis meses.

Las variables de entrada que se aprecian en la Tabla 38 del modelo corresponden al consumo de agua (CA), consumo energético (CE), generación de residuos (GR), consumo de alimentos (CAI) y combustible por transporte (CT). Estas influyen directamente sobre la huella ecológica (HE), mientras que la biocapacidad per cápita (BCpc) permite calcular el nivel de sostenibilidad (NS).

Tabla 38. Variables del modelo SED.

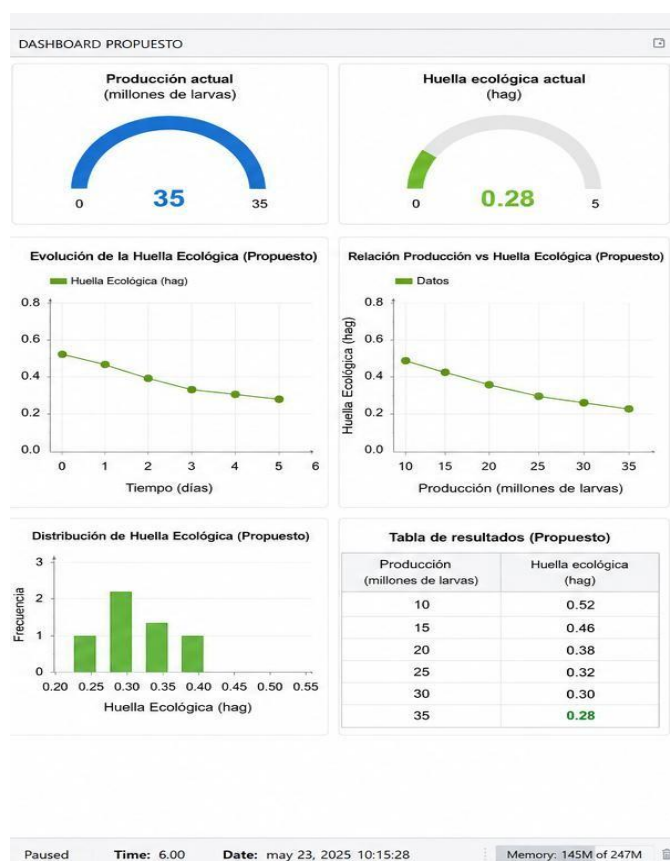
Tipo	Variable	Símbolo	Descripción
Entrada	Consumo de agua.	(CA)	Agua utilizada durante la producción de larvas.
Entrada	Consumo energético.	(CE)	Energía eléctrica consumida por equipos del laboratorio.
Entrada	Generación de residuos.	(GR)	Residuos sólidos generados durante la producción.
Entrada	Consumo de alimentos.	(CAI)	Alimento utilizado para el cultivo larvario.
Entrada	Combustible por transporte.	(CT)	Combustible empleado para transporte de insumos y distribución.
Salida	Huella ecológica.	(HE)	Resultado del impacto ambiental generado por el laboratorio.

Salida	Biocapacidad per cápita.	(BC_{pc})	Capacidad del ecosistema para regenerar los recursos consumidos.
Salida	Nivel de sostenibilidad.	(NS)	Relación entre la huella ecológica y la biocapacidad para evaluar la sostenibilidad del sistema.

Nota. Elaborado por los autores.

A diferencia del escenario actual, la Figura 20 evidencia el efecto directo de las intervenciones aplicadas sobre el desempeño ambiental del laboratorio. El indicador de huella ecológica desciende hasta 0,28 hag. Frente a las 1,90 hag registradas en el escenario base, lo que confirma que las mejoras en el consumo energéticos y de combustible si logran desacoplar el crecimiento productivo del impacto ambiental. Al mismo tiempo, la producción proyectada asciende a 35 millones de larvas, superando el nivel actual sin que ello implique un aumento proporcional en la presión sobre los recursos. Esta relación inversa entre producción y huella ecológica respalda la viabilidad técnica del modelo propuesto, el laboratorio puede crecer en volumen de producción y, simultáneamente, reducir su huella, siempre que se mantengan las intervenciones de optimización energética y de gestión de residuos planteadas en la Tabla 36.

Figura 20. Simulación en Anylogic propuesto.



Nota. Resultados obtenidos por medio del software Anylogic.

El dashboard propuesto evidencia una mejora significativa en el desempeño ambiental del laboratorio Velezlab S.A.S., como resultado de la implementación del modelo de ecoeficiencia productiva. El indicador de producción actual alcanza 35 millones de larvas, representando la capacidad máxima proyectada del sistema, mientras que el indicador de huella ecológica registra un valor de 0,28 hag, reflejando una disminución considerable del impacto ambiental. La gráfica de evolución de la huella ecológica evidencia una tendencia decreciente a lo largo del período de simulación con una reducción aproximada de 0.52 hag a 0,82 hag, comportamiento que demuestra la efectividad de las estrategias de optimización implementadas las cuales contribuyen progresivamente a la disminución del consumo de recursos naturales y la presión ejercida sobre el ecosistema, la gráfica de relación entre la producción y la huella ecológica pone de manifiesto una relación inversa entre ambas variables a medida que la producción aumenta de 10 a 35 millones de larvas la huella ecológica disminuye de forma sostenible lo que refleja una mayor eficiencia en el

aprovechamiento de recursos como el agua la energía y el combustible al igual que otros insumos utilizados en el proceso productivo.

Por su parte el histograma de distribución concentra la mayor frecuencia de observaciones en el intervalo comprendido entre el 0.28 y 0.35 hag lo que confirma la estabilidad del modelo de ecoeficiencia y predominancia de escenarios caracterizados por un bajo impacto ambiental, finalmente la tabla de resultados ratifica la tendencia observada al evidenciar una disminución gradual de la huella ecológica desde 0.52 hag para un nivel de producción de 10 millones de larvas hasta 0,28 hag que alcanza una producción de 35 millones de larvas resultados que confirman que el modelo propuesto incrementa simultáneamente la productividad y la ecoeficiencia del proceso fortaleciendo el desempeño ambiental sin comprometer la capacidad de producción.

Comparativa de actual vs propuesto

La Tabla 34 deja ver que aplicar el modelo de ecoeficiencia productiva mejora al laboratorio en dos frentes a la vez, el ambiental y el productivo. La producción sube 20 %, de 25 a 30 millones de larvas por ciclo, y la mortalidad baja 33,3 %, lo que en la práctica se traduce en 28,8 millones de larvas producidas de forma efectiva. Paralelamente, la huella ecológica total se reduce en un 85,3 %, pasando de 1.90 a 0.28 hectáreas globales, lo que demuestra un desacoplamiento entre crecimiento productivo e impacto ambiental. Asimismo, la huella ecológica específica disminuye en un 16,9 %, reflejando un uso más eficiente de los recursos naturales y consolidando la viabilidad técnica y ambiental del modelo propuesto.

Tabla 39. Comparación de la situación actual y la propuesta.

Indicador	Situación actual	Escenario propuesto simulado	Variación
Producción por ciclo (millones de larvas).	25	30	+20,0 %
Mortalidad larvaria.	6 %	4 %	-33,3 %
Producción final (millones de larvas).	23,5	28,8	+22,6 %
Huella ecológica total (hag).	1.90	0.28	-85,3 %
Huella ecológica específica (hag/millón de larvas).	0,154	0,128	-16,9 %
Consumo energético anual (hag).	1,96	1,75	-10,7 %
Consumo de combustible (hag).	36,09	32,48	-10,0 %
Nivel de ecoeficiencia operativa.	77 %	85 %	+8 puntos porcentuales

Nota. Elaborado por los autores.

Presupuesto de la propuesta

La Tabla 40 muestra la inversión de la propuesta, descrita por los ítems (personal, equipos y herramientas, gastos de transporte y por último los gastos adicionales que reflejan un total de \$1.391,25 como inversión total del proyecto.

Tabla 40. Inversión de la propuesta.

Item	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
a. Personal			
Asesor para diseño e implementación del modelo.	1	\$ 380,00	\$ 380,00
Técnico para levantamiento y procesamiento de datos.	1	\$ 225,00	\$ 225,00
b. Equipos y herramientas necesarias			
Herramientas de medición y registro de consumo energético.	1	\$ 120,00	\$ 120,00
Materiales para registro y control de indicadores.	1	\$ 275,00	\$ 275,00
c. Gastos de transporte			
Visitas técnicas y levantamiento de información.	3	\$ 15,00	\$ 45,00
d. Gastos adicionales			
Impresión de formatos y documentos técnicos.	1	\$ 40,00	\$ 40,00
Material para capacitación del personal.	1	\$ 60,00	\$ 60,00
Elaboración de manual y procedimientos de ecoeficiencia.	1	\$ 80,00	\$ 80,00
Capacitación sobre aplicación del modelo.	1	\$ 100,00	\$ 100,00
Subtotal			\$1.325,00
Imprevistos 5%			\$ 66,25
Total			\$1.391,25

Nota. Elaborado por los autores.

La evaluación financiera de la propuesta presenta en la Tabla 41 muestra una tasa de descuento del 15 %, utilizada como referencia para determinar el valor actual de los flujos económicos generados por la implementación del modelo. El Valor Neto Actual (VNA) alcanza \$4.022,59, mientras que el Valor Actual Neto (VAN) es de \$2.631,34, evidenciando que los beneficios económicos esperados superan la inversión inicial y generan un valor adicional para la organización.

Por otra parte, la Tasa Interna de Retorno (TIR) es del 82 %, porcentaje considerablemente superior a la tasa de referencia del 15 %. Esto indica que la propuesta presenta una rentabilidad atractiva, puesto que la tasa de rendimiento esperada supera ampliamente el costo de oportunidad utilizado en la evaluación.

Finalmente, el Período de Recuperación (PR) es de 1,38 años, equivalente aproximadamente a 1 año y 38 días. Por tanto, la inversión requerida para implementar el modelo podría recuperarse en un periodo relativamente corto, fortaleciendo la viabilidad económica de la propuesta.

Tabla 41. *Indicadores de la inversión.*

TASA	15,00 %
VNA	\$4.022,59
VAN	\$2.631,34
TIR	82 %
PR	1,38

Nota. Elaborado por los autores.

3.6. Marco de discusión

En relación con el objetivo específico 1, los resultados obtenidos mediante la revisión sistemática permitieron identificar que el 67,85 % de las investigaciones analizadas adoptan enfoques cuantitativos, mientras que el modelo de huella ecológica representa el método predominante con un 57,32 % de aplicación dentro de los estudios revisados. Estos hallazgos coinciden con lo expuesto por (Morales Romero, 2019), quien sostiene que la incorporación de herramientas ecoeficientes constituye un elemento estratégico para incrementar la sostenibilidad de la industria camaronera. De igual forma, el análisis bibliométrico permitió establecer que la Curva Ambiental de Kuznets es el instrumento más empleado para evaluar la relación entre crecimiento productivo e impacto ambiental, alcanzando una participación del 60 % dentro de la literatura especializada.

Respecto al objetivo específico 2, la metodología desarrollada combinó encuestas, observación directa, matrices de cálculo y herramientas computacionales.

La validación de contenido por juicio de expertos alcanzó un índice CVI de 1,00 con los tres especialistas que completaron la evaluación, lo que respalda la pertinencia temática de los ítems. Asimismo, la confiabilidad de la encuesta, medida mediante el Alpha de Cronbach, resultó de 0,802 (nivel "Buena" según la Tabla 14), lo que respalda la consistencia interna del cuestionario aplicado a los 12 operarios. Por lo tanto, la metodología implementada proporciona información robusta tanto de percepción como de registros físicos, mientras que la cuantificación de la huella ecológica en sistemas de producción larvaria.

En cuanto al objetivo específico 3, el modelo de ecoeficiencia productiva desarrollado mediante herramientas de simulación mostró una tendencia de reducción de la huella ecológica a medida que se incrementó la producción simulada, lo que resulta compatible en dirección con la lógica de la Curva Ambiental de Kuznets. No obstante, esta investigación no debe afirmarse como una confirmación estadística de dicha hipótesis, dado que no se estimó una función cuadrática con series temporales amplias, coeficientes, significancia estadística ni punto de inflexión; la evidencia disponible corresponde a un conjunto reducido de escenarios simulados y no a una serie histórica observada. En términos de los valores obtenidos, la huella ecológica alcanza 3,80 hag para una producción de 25 millones de larvas y se reduce hasta 3,68 hag para 30 millones de larvas y 3,40 hag en escenarios de mayor capacidad productiva, gracias a la incorporación de sistemas de recirculación de agua, optimización energética y mejoras operativas. Estos resultados son coherentes en tendencia con (Rodríguez-Fernández, 2025), quienes reportaron incrementos de ecoeficiencia superiores al 77 % mediante estrategias sostenibles similares, aunque una validación robusta de la hipótesis de Kuznets para este sistema productivo requeriría datos longitudinales adicionales que exceden el alcance de este trabajo.

3.7. Limitaciones del estudio

La confiabilidad del cuestionario aplicado al personal fue evaluada mediante el coeficiente de Alpha de Cronbach obteniendo un valor de 0.802 el cual de acuerdo con la Tabla 14 corresponde a un nivel de confiabilidad bueno resultado que respalda el uso del instrumento como fuente complementaria de información para el desarrollo del modelo, No obstante el análisis de la correlación ítem total evidenció que 5 de los 20 ítems se relacionan con la perfección del consumo de agua y el cumplimiento de

las prácticas sostenibles, el uso de productos químicos y el manejo de residuos biológicos se presentan en correlación relativamente va donde se recomienda revisar dichos ítem y fortalecer su formulación en futuras aplicaciones, aunque la validación por juicio de expertos alcanzó un índice de validez de contenido de 1.00, la asignación de la máxima calificación por parte de los 3 especialistas limitó la capacidad de discriminar la relevancia relativa de cada ítem, en futuras validaciones se recomienda incorporar un mayor número de expertos a utilizar las escalas de valoración con mayor sensibilidad con evaluaciones diferenciadas.

Otra limitación del estudio está relacionada con la disponibilidad y calidad de la información histórica utilizada para el cálculo de la huella ecológica donde los registros de consumo como el agua energía y combustibles se presentan en determinados periodos siendo inconsistentes a la información o falta de precisión lo que hace necesario recurrir a estimaciones basadas en promedios operativos y factores de emisión nacionales, este procedimiento permite mantener la consecuencia del análisis introduciendo a un margen de incertidumbre en los resultados obtenidos debido a que la investigación se desarrolló en un único laboratorio de producción de larvas los hallazgos reflejan las condiciones específicas de dicha organización generalizando a otras empresas con diferentes capacidades productivas y procesos operativos al igual que los niveles tecnológicos que deben realizarse con cautela.

Las limitaciones corresponden al empleo de factores de conversión ecológica estandarizadas las cuales no incorporan de manera integral las particularidades ambientales y eco sistemáticas del área de estudio ni las variaciones locales en la capacidad de generación de los recursos naturales, de igual manera la utilización de la versión académica del software de simulación restringe el desarrollo de análisis experimentales de mayor complejidad y la evaluación de escenarios dinámicos de largo plazo limitando el alcance de las simulaciones realizadas, finalmente el modelo de coeficiencia propuesto se desarrolló bajo condiciones operativas controladas y consideradas una tasa de supervivencia del 96 % por lo que los cambios en la variable biológicas y climáticas puede modificarse de acuerdo a los indicadores de desempeños ambientales estimados. En este sentido se recomienda la actualización periódica de los parámetros del modelo y de la información de entrada con el fin de garantizar vigencia y precisión de las evaluaciones ambientales en futuros escenarios de aplicación.

CONCLUSIONES

La aplicación del método bibliométrico permite la elaboración de portafolios bibliográficos con un total de 28 artículos de investigación que son seleccionados a partir de sus criterios de inclusión y exclusión. En lo cual se identificó la incorporación de operadores booleanos, específicamente “and” y “or”, permitió integrar los conceptos “modelo de ecoeficiencia productiva” y “reducción de huella ecológica”. Esta estrategia no solo amplió la cobertura temática, sino que también contribuyó a depurar los resultados y asegurar su relevancia para el análisis durante los periodos desde 2020 hasta 2025. Estos resultados evidencian que la sostenibilidad ambiental constituye una prioridad creciente dentro de la industria camaronera y respaldan la pertinencia de implementar estrategias ecoeficientes en el laboratorio Velezlab S.A.S.

Se aplicó un marco metodológico que tiene un enfoque cuantitativo con un diseño no experimental que se estructura para la relación de datos que comienza con la ejecución de la encuesta a 12 trabajadores con un cuestionario de preguntas cerradas validadas por expertos asociados al campo de investigación para la obtención de opiniones, criterios con relación a su conocimiento y años de experiencia en la industria. Además, la consistencia interna de los resultados cuantitativos se evaluó mediante el Alpha de Cronbach, con un índice de validación de contenido (CVI) de 1,00 por juicio de expertos y un coeficiente de 0,802, ambos indicadores respaldando la fiabilidad estadística del cuestionario aplicado. Por ello, la representación de la huella ecológica asociada al proceso de producción de larvas de camarón se sustentó tanto en los registros operativos físicos de consumo (etapa 2) como en la percepción validada del personal operativo.

Construir el modelo de ecoeficiencia productiva con Simulación de Eventos Discretos (SED) en AnyLogic sirvió para representar cómo se comportan las variables ambientales que pesan sobre la huella ecológica de Velezlab S.A.S., y para poner a prueba escenarios de mejora a lo largo de seis meses. El dato que más pesa aquí es la huella ecológica: cae de 1,90 a 0,28 hag, una reducción que se explica en buena parte por haber recortado el consumo energético (10,7 % menos) y el de combustible (10,0 % menos). Los resultados obtenidos evidencian que en la implementación del modelo de coeficiencia no comprometió el desempeño productivo de laboratorio, por el contrario la producción se incrementó de 25 a 30 millones de larvas por ciclo

reduciendo la tasa de mortalidad del 6 % al 4 % permitiéndonos aumentar la producción efectiva de 23,5 al 28,8 millones de larvas, el índice de eficiencia operativa mejoró del 77 % al 85 % lo que demuestra la capacidad del modelo para evaluar el desempeño ambiental optimizando el uso de los recursos disponibles y respaldando la toma de decisiones orientadas a la reducción de la huella ecológica y el fortalecimiento de la sostenibilidad del laboratorio.

RECOMENDACIONES

Acciones para la empresa Velezlab S.A.S.

Se recomienda implementar progresivamente sistemas de recirculación de agua, programas de eficiencia energética y tecnologías basadas en energías renovables que permitan disminuir la dependencia de combustibles fósiles, principal componente de la huella ecológica del laboratorio, la cual actualmente representa 36,09 hectáreas globales anuales.

Se sugiere institucionalizar la aplicación periódica de los instrumentos metodológicos desarrollados en la investigación (encuestas, fichas de observación, registros documentales y el modelo de simulación), con el propósito de monitorear continuamente los indicadores de ecoeficiencia y actualizar la información ambiental del sistema productivo.

Líneas de investigación futura

Se recomienda mantener procesos permanentes de vigilancia tecnológica y revisión bibliográfica sobre modelos de ecoeficiencia y sostenibilidad aplicados al sector acuícola, incorporando nuevas metodologías e indicadores que permitan comparar los resultados de este trabajo con otros laboratorios de la región.

Se recomienda para futuras investigaciones incrementar el tamaño de la muestra de operarios encuestados y el número de expertos participantes en la validación de contenido, replicar el modelo computacional directamente en AnyLogic conservando los archivos de proyecto y de exportación de resultados, y profundizar en la aplicación de la Curva Ambiental de Kuznets mediante series temporales más amplias que permitan una estimación estadística robusta.

BIBLIOGRAFÍA

- Alma del Cid, R. M. (2011). *Investigació. Fundamentos y metodología* (Segunda Edición ed.). (M. N. Viquez, Ed.) México: Pearson Educación.
- Carlos Alexander Rimbaldo Luzon, E. C. (2024). Análisis de la Producción y Exportación del Sector Camaronero en Ecuador. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*. doi:https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i1.10028
- CNA, C. N. (2020). *Cámara Nacional de Acuacultura*. Obtenido de Cámara Nacional de Acuacultura: <https://www.cna-Ecuador.com/>
- Colmenares, P. J. (2021). Ecoeficiencia de los modelos de producción agrícola de maíz duro y su influencia al cambio climático. . *Orcid*.
- Danish, H. S. (2019). Linking economic growth and ecological footprint through human capital and biocapacity. *Sustainable Cities and Society. Sciencee Direct*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2210670719300459?via%3Dihub>
- Edelsbrunner, P. A. (2025). The Cronbach's Alpha of Domain-Specific Knowledge Tests Before and After Learning: A Meta-Analysis of Published Studies. *Educational Psychology Review* 2025, 1-43. Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1007/s10648-024-09982-y>
- Esquivel, J. (2022). Importancia de la ecoeficiencia en las organizaciones empresariales en Latinoamérica. Artículo de revisión. *Ciencia Latina. Revista Científica Multidisciplinar*, 2281–2297. doi:https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i2.2024
- Gamboa Aragundi, J. A. (2023). Modelo de Economía Circular en Ecuador: análisis descriptivo. Pacha. *Revista de Estudios Contemporáneos Del Sur Global*, 10. doi:<https://doi.org/10.46652/pacha.v4i10.175>
- González-Rivas, D. A.-S. (2023). Estimating the shrimp farm's production and their future growth prediction by remote sensing: Case study Gulf of California. *Frontiers in Marine Science. Frontiers*. Obtenido de

<https://www.frontiersin.org/journals/marine-science/articles/10.3389/fmars.2023.1130125/full>

Hernández Sampieri, R. &. (2018). *Metodología de la investigación: las rutas: cuantitativa ,cualitativa y mixta*. (M.-H. I. Editores, Ed.)

Ilbay, M. R. (2021). Empirical Model for Estimating the Ecological Footprint in Ecuador Based on Demographic, Economic and Environmental Indicators. *Journal of Ecological Engineering*, 22(5), 59-67. Obtenido de <https://www.jeeng.net/Empirical-Model-for-Estimating-the-Ecological-Footprint-in-Ecuador-Based-on-Demographic,135868,0,2.html>

Karla Hilsen García Aragón, L. d. (2025). Huella ecológica: un análisis por nivel educativo. (U. J. Tabasco, Ed.) *Horizonte Sanitario*, 24. Obtenido de <https://doaj.org/article/df6a6fbe51e04e6db5c0aa829485cb74>

Keneth, M.-R. E. (2026). Estrategias de gestión empresarial orientadas a la ecoeficiencia operativa. Un análisis del procesamiento de productos pesqueros en Arcasdenoe S.A. *Revista Científica Yachasun*, 18. Obtenido de <https://editorialibkn.com/index.php/Yachasun/article/view/874>

Liu, L. Z. (4 de abril de 2023). Study on the measurement of industrial ecoefficiency, spatial distribution and influencing factors in Yangtze River Economic Belt. *PLoS ONE*. Obtenido de <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0283964>

López-Sevilla, G. M.-C. (2024). Análisis bibliométrico de la producción científica sobre Lago de Datos. *Innova Research Journal*, 40-57. doi:<https://doi.org/10.33890/innova.v9.n2.2024.2426>

Melo Zamora, M. D. (2022). Sustainability and eco – efficiency: a regional business model with a global vision . *Sustainability and eco – efficiency: a regional business model with a global vision*

Miguel Medina, R. R. (2023). Metodología de la investigación: Técnicas e instrumentos de investigación. *Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú*. doi:<https://doi.org/10.35622/inudi.b.080>

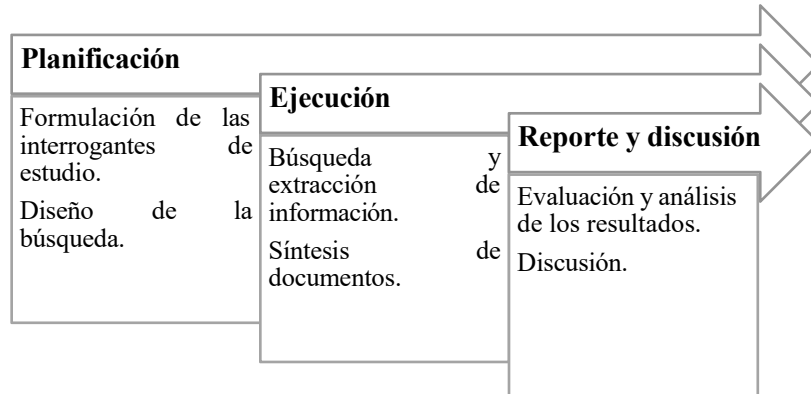
- Morales Romero, M. C. (2019). Eco-efficiency in small and medium enterprises: challenges and benefits for sustainable development. *Revista de Jóvenes Investigadores Ad Valorem*, 83-97. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7513367>
- Nwabuko. (2024). An Overview of Research Study Designs in Quantitative Research Methodology. *ScienceDirect*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/381044228_An_Overview_of_Research_Study_Designs_in_Quantitative_Research_Methodology
- Obrecht, T. P. (2021). An LCA methodology for assessing the environmental impacts of building components before and after refurbishment. *Journal of Cleaner Production*, 327. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652621037069?via%3Dihub>
- Portalanza, D. T. (2024). Climate variability and change in Ecuador: dynamic downscaling of regional projections with RegCM4 and HadGEM2-ES for informed adaptation strategies. *Frontiers in Climate*, 6. Obtenido de <https://www.frontiersin.org/journals/climate/articles/10.3389/fclim.2024.1344868/full>
- Rodríguez-Fernández, M. P.-G.-N. (2025). Un enfoque regional integral para la ecoeficiencia en la agricultura española a lo largo del tiempo. *MDPI*, 3. doi:<https://doi.org/10.3390/agronomy15030621>
- Samaniego, J. D. (2021). Stock market development and economic growth in Mexico: An examination through ARDL and Non-causality approaches. *Contaduría y Administración*. doi:<https://doi.org/10.22201/fca.24488410e.2021.2259>
- Silva, W. A. (2022). Efecto de la densidad de siembra en la calidad del agua, la estructura de la comunidad planctónica y el rendimiento de crecimiento de postlarvas de *Litopenaeus vannamei* cultivadas en un sistema de biofloc de baja salinidad. *International Aquatic Research*, 107-116. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/359994712_Effect_of_stocking_density_on_water_quality_plankton_community_structure_and_growth_perfor

mance_of_Litopenaeus_vannamei_post-larvae_cultured_in_low-salinity_biofloc_system

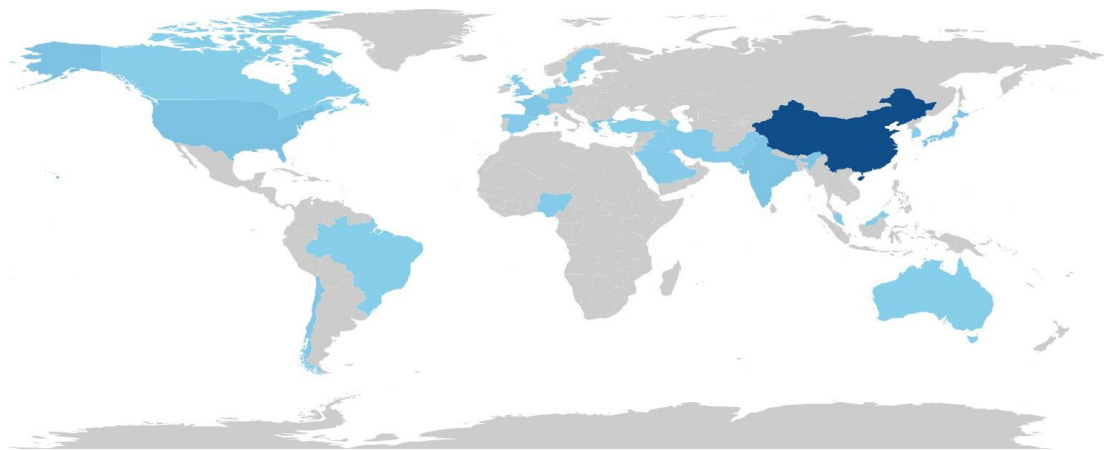
- Toro, R. P.-S.-P.-V.-T. (2022). Análisis Empírico del Coeficiente Alfa de Cronbach según Opciones de Respuesta, Muestra y Observaciones Atípicas. *Revista Iberoamericana de Diagnóstico y Evaluación – e Avaliação Psicológica*, 17. Obtenido de <https://aidep-aidap.org/revista/0063/RIDEP063-Art02.pdf>
- Tuapanta Dacto, J. V. (2017). Alfa de Cronbach para validar un cuestionario de uso de TIC en Docentes Universitarios. *Revista mktDescubre - Espoch FADE*. Obtenido de <https://dspace.espoch.edu.ec:8080/server/api/core/bitstreams/cea77ec6-5329-4957-beda-64433cd8f771/content>
- UICN. (2021). La huella de México, América Central y El Caribe . *Oficina Regional para México, América Central y el Caribe (ORMACC)*.
- Vaisi, S. A. (2021). Developing the ecological footprint assessment for a university campus, the component-based method. *Sustainability. MDPI*, 13. Obtenido de <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/17/9928>
- Yang, Y. &. (2023). Digital economy, environmental regulation and green eco-efficiency—Empirical evidence from 285 cities in China. *Frontiers in Environmental Science*. doi:<https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1113293>

ANEXOS

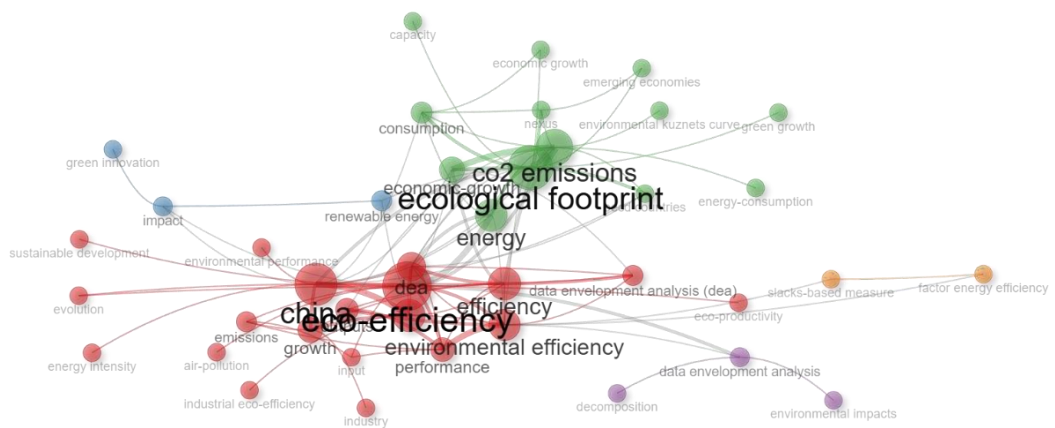
Anexo A. Etapas del análisis bibliométrico.



Nota. Pasos de análisis bibliométrico en base a López-Sevilla & Medina-Chicaiza (2024).



Nota. Mapa de países contribuyentes a la investigación.



Nota. Red obtenida bajo el análisis de documentos y palabras claves.

A partir de la Tabla 5 se enumera los datos obtenidos mediante la adaptación de los autores a través de la información analizada durante la investigación, y la

sinergia de procedencias manifestadas. Finalmente, se construyó una tabla detallada acerca de las áreas de estudio que han sido detectada con el tema de investigación, donde se resalta los métodos más utilizados, enfoques, técnicas e instrumentos de recopilación de datos.

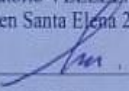
Anexo B. *Clasificación de artículos seleccionados.*

N.º	Autores	Enfoque de estudio	Diseño de investigación	Método	Técnica e instrumento
1	(Gómez et al., 2024)	Cuantitativo.	No experimental.	MS, MC y MT.	Encuesta y cuestionario.
2	(Lorena et al., 2024)	Cuantitativo.	No experimental.	PHVA.	Entrevista y guía de entrevista.
3	(Nathaniel et al., 2024)	Cuantitativo.	Experimental.	Modelo colaborativo.	Observación directa.
4	(Colmenares & Cando, 2021)	Cuantitativo.	No experimental.	MS, MC y MT.	Encuesta y cuestionario.
5	(Durán et al., 2021)	Cualitativo.	Descriptivo.	Modelo colaborativo.	Encuesta, entrevista y observación.
6	(Acevedo-Ramos et al., 2023)	Cuantitativo.	Aplicada y descriptiva.	Modelo de huella ecológica.	Observación directa.
7	(Jiang, 2022)	Cuantitativo.	Deductivo-inductivo.	Simulación dinámica de huella hídrica.	Análisis de repeticiones.
8	(Chi et al., 2024)	Cuantitativo.	Deductivo-inductivo.	Modelo colaborativo de huella ecológica.	Simultánea, Powell y Regresión Cuantil del Método de Momentos (MMQR).
9	(Dobos & Tóth-Bozó, 2024)	Cuantitativo.	No experimental.	Modelo dinámico de Leontief.	Hoja de registro y encuesta.
10	(Guo et al., 2020)	Cuantitativo.	Descriptivo-transversal.	Modelo dinámico de huella ecológica.	Entrevista y guía de observación.
11	(Fernández et al., 2020)	Cuantitativo.	Deductivo-inductivo.	Modelo de huella ecológica.	Encuesta y cuestionario.
12	(Kutlar et al., 2022)	Cuantitativo.	Deductivo.	Modelo (PVAR).	Análisis de datos.
13	(C. Liu & Yang, 2020).	Cuantitativo.	Inductivo.	Evaluación de sostenibilidad ecológica.	Encuesta y cuestionario.
14	(J. Liu et al., 2024).	Cuantitativo.	Deductivo.	Modelo de predicción gris.	Análisis de registros.
15	(Lu & Chen, 2023).	Cuantitativo.	Deductivo.	Método de componentes.	Hoja de registro y análisis de datos.
16	(Ma et al., 2022)	Cuantitativo.	Deductivo-Inductivo.	Modelo STIRPAT.	Regresión Ridge y Lasso.
17	(Maués et al., 2022)	Mixto.	Deductivo-inductivo.	Modelo de huella ecológica.	Encuesta y cuestionario.
18	(Omoke et al., 2020)	Mixto.	Deductivo-inductivo.	Modelo de medición de errores.	Análisis de series temporales.

19	(Santoso et al., 2022).	Mixto.	Deductivo-inductivo.	Análisis de sistemas dinámicos	Simulación de escenarios.
20	(Menendez et al., 2023).	Cuantitativo.	Deductivo.	Modelo dinámico mecanicista.	VenSim, hoja de registro.
21	(Bin et al., 2023).	Mixto.	Descriptivo.	Regresión cuantifica simultánea.	Regresión ordinaria (FMOLS).
22	(Wang et al., 2022).	Mixto.	Deductivo-inductivo.	Modelo STIRPAT	Análisis estadístico.
23	(Williams et al., 2022).	Mixto.	Deductivo-inductivo.	Modelos de regresión auto – regresiva (ARDL).	Prueba (cointegración asimétrica).
24	(Q. Xu et al., 2024).	Mixto.	Deductivo-inductivo.	Modelo de huella ecológica tridimensional.	Regresión de mínimos cuadrados parciales (PLS); ArcGIS.
25	(Y. Xu et al., 2023)	Mixto.	Deductivo-inductivo.	Modelo de panel dinámico.	Observación directa.
26	(Yavaş et al., 2024).	Cuantitativo.	Deductivo.	Análisis estadísticos de muestra	Encuesta y cuestionario.
27	(D. Zhang et al., 2022).	Cuantitativo.	Deductivo.	Modelo de huella ecológica (EF)	Software estadístico (PLS).
28	(Zhou et al., 2022).	Cuantitativo.	Deductivo.	Modelo ARDL	Encuesta y entrevista.

Nota. Documentos obtenidos durante el estudio.

Anexo C. Validación de expertos.

 UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA FACULTAD CIENCIAS DE INGENIERÍA CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL 		
ASUNTO: VALIDACIÓN DE ENCUESTA POR EXPERTOS Opinión: Yo <u>Alejandro Casasnovas Velasco</u> CI: <u>0908182280</u> requerido por el estudiante de Ingeniería Industrial, ESPINZA VILLACIS PAUL FERNANDO con C.I: 0927360636 y QUIROZ SANCHEZ VÍCTOR JOSÉ con CI: 0925917197, para evaluar mediante el método Delphi la pertinencia de las preguntas ejercidas basado en el cuestionario dirigido al Laboratorio VELEZLAB S.A.S. dedicado a la producción y distribución de larvas de camarón ubicado en Santa Elena 2025, Ecuador.  FIRMA		
TEMA: MODELO DE ECOEFICIENCIA PRODUCTIVA PARA LA REDUCCION DE LA HUELLA ECOLOGICA EN EL LABORATORIO DE LARVAS DE CAMARON VELEZLAB S.A.S. SANTA ELENA 2025.		
N o.	PREGUNTAS	RESPUESTA DECLARADA POR ESCALA DE LIKERT
1	¿Cuántos litros de agua se consumen durante el proceso de producción de camarón?	1 2 3 4 (5)
2	¿Considera que el consumo de energía eléctrica en las áreas de producción es controlado adecuadamente?	1 2 3 4 (5)
3	¿Se aprovechan eficientemente los recursos e insumos utilizados en la producción camaronesa?	1 2 3 4 (5)
4	¿La empresa aplica prácticas para reducir el desperdicio de alimento balanceado?	1 2 3 4 (5)
5	¿El mantenimiento de equipos y maquinaria contribuye a mejorar la eficiencia productiva?	1 2 3 4 (5)
6	¿Se realizan controles para disminuir pérdidas de producción en las piscinas camaronas?	1 2 3 4 (5)
7	¿La empresa capacita al personal sobre prácticas de ecoeficiencia productiva?	1 2 3 4 (5)
8	¿Con qué frecuencia las actividades del proceso productivo se realizan cumpliendo los estándares de calidad establecidos para el producto?	1 2 3 4 (5)
9	¿La empresa controla adecuadamente el uso de productos químicos en la producción?	1 2 3 4 (5)
10	¿Las actividades productivas cumplen con medidas de protección ambiental?	1 2 3 4 (5)
11	¿La empresa aplica acciones para disminuir la contaminación del agua?	1 2 3 4 (5)
12	¿Se gestionan correctamente los residuos generados durante la producción de camarón?	1 2 3 4 (5)
13	¿Considera que la empresa controla las emisiones y desechos que afectan al medio ambiente?	1 2 3 4 (5)

14	¿La empresa promueve el reciclaje o reutilización de materiales dentro del proceso productivo?	1	2	3	4	(5)
15	¿Las prácticas de producción ayudan a reducir el impacto ambiental en el ecosistema cercano?	1	2	3	(4)	5
16	¿Se monitorea el impacto ambiental generado por las actividades de cultivo de camarón?	1	2	3	4	(5)
17	¿La empresa fomenta el uso responsable de recursos naturales entre los trabajadores?	1	2	3	4	(5)
18	¿Considera que existe compromiso del personal con el cuidado ambiental?	1	2	3	4	(5)
19	¿Las medidas ambientales implementadas contribuyen a mejorar la sostenibilidad de la producción?	1	2	3	(4)	5
20	¿La empresa evalúa periódicamente su huella ecológica para mejorar sus procesos productivos?	1	2	3	4	(5)

Escala de Likert	
5	Muy de acuerdo
4	De acuerdo
3	En desacuerdo
2	En desacuerdo más que en acuerdo
1	Muy en desacuerdo

DATOS DEL EXPERTO:	
NOMBRE:	Pedro E. Veliz Aguayo
PROFESIÓN:	Ing. Mecánico
AÑOS DE EXPERIENCIA:	30+
TELÉFONO:	0996866782
CORREO:	pveliz@upse.edu.ec
FECHA DE VALIDACIÓN:	24/05/2026



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD CIENCIAS DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL



ASUNTO: VALIDACIÓN DE ENCUESTA POR EXPERTOS

Opinión: Yo Rolando Celero con CI: 0913607024,
requerido por el estudiante de Ingeniería Industrial, **ESPINZA VILLACIS PAUL FERNANDO** con
C.I: 0927360636 y **QUIROZ SÁNCHEZ VÍCTOR JOSÉ** con CI: 0925917197, para evaluar
mediante el método Delphi la pertinencia de las preguntas ejercidas basado en el cuestionario dirigido
al Laboratorio VELEZLAB S.A.S. dedicado a la producción y distribución de larvas de camarón
ubicado en Santa Elena 2025, Ecuador.

FIRMA

TEMA: MODELO DE ECOEFICIENCIA PRODUCTIVA PARA LA REDUCCION DE LA
HUELLA ECOLOGICA EN EL LABORATORIO DE LARVAS DE CAMARON VELEZLAB
S.A.S, SANTA ELENA 2025.

N o.	PREGUNTAS	RESPUESTA DECLARADA POR ESCALA DE LIKERT
1	¿Cuántos litros de agua se consumen durante el proceso de producción de camarón?	1 2 3 4 5
2	¿Considera que el consumo de energía eléctrica en las áreas de producción es controlado adecuadamente?	1 2 3 4 5
3	¿Se aprovechan eficientemente los recursos e insumos utilizados en la producción camaronera?	1 2 3 4 5
4	¿La empresa aplica prácticas para reducir el desperdicio de alimento balanceado?	1 2 3 4 5
5	¿El mantenimiento de equipos y maquinaria contribuye a mejorar la eficiencia productiva?	1 2 3 4 5
6	¿Se realizan controles para disminuir pérdidas de producción en las piscinas camaroneras?	1 2 3 4 5
7	¿La empresa capacita al personal sobre prácticas de ecoeficiencia productiva?	1 2 3 4 5
8	¿Con qué frecuencia las actividades del proceso productivo se realizan cumpliendo los estándares de calidad establecidos para el producto?	1 2 3 4 5
9	¿La empresa controla adecuadamente el uso de productos químicos en la producción?	1 2 3 4 5
10	¿Las actividades productivas cumplen con medidas de protección ambiental?	1 2 3 4 5
11	¿La empresa aplica acciones para disminuir la contaminación del agua?	1 2 3 4 5
12	¿Se gestionan correctamente los residuos generados durante la producción de camarón?	1 2 3 4 5
13	¿Considera que la empresa controla las emisiones y desechos que afectan al medio ambiente?	1 2 3 4 5

14	¿La empresa promueve el reciclaje o reutilización de materiales dentro del proceso productivo?	1	2	3	4	5
15	¿Las prácticas de producción ayudan a reducir el impacto ambiental en el ecosistema cercano?	1	2	3	4	5
16	¿Se monitorea el impacto ambiental generado por las actividades de cultivo de camarón?	1	2	3	4	5
17	¿La empresa fomenta el uso responsable de recursos naturales entre los trabajadores?	1	2	3	4	5
18	¿Considera que existe compromiso del personal con el cuidado ambiental?	1	2	3	4	5
19	¿Las medidas ambientales implementadas contribuyen a mejorar la sostenibilidad de la producción?	1	2	3	4	5
20	¿La empresa evalúa periódicamente su huella ecológica para mejorar sus procesos productivos?	1	2	3	4	5

Escala de Likert	
5	Muy de acuerdo
4	De acuerdo
3	En desacuerdo
2	En desacuerdo más que en acuerdo
1	Muy en desacuerdo

DATOS DEL EXPERTO:	
NOMBRE:	Rolando Calero Mendoza
PROFESIÓN:	Doctor en Química
AÑOS DE EXPERIENCIA:	25
TELÉFONO:	0994497392
CORREO:	rcebro@upse.edu.ec
FECHA DE VALIDACIÓN:	29/05/2026



CUESTIONARIO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

OBJETIVO: Evaluar la ecoeficiencia y sostenibilidad de los procesos productivos en la producción camaronesa mediante indicadores de consumo de recursos, control ambiental y eficiencia operativa.

INDICACIONES: Con fines académicos, se agradece su colaboración y el tiempo brindado para responder el presente cuestionario. Su participación es fundamental para el desarrollo de esta investigación. El cuestionario ha sido elaborado para completarse en un breve periodo de tiempo. Por favor, seleccione la opción de respuesta que mejor refleje su opinión o experiencia.

Tipo de Cargo:

☒

Operativo

☐

Administrativo

1. ¿Cuántos litros de agua se consumen durante el proceso de producción de camarón?
 - ☐ Menos de 1.000 litros
 - ☐ 1.001 – 5.000 litros
 - ☐ 5.001 – 10.000 litros
 - ☐ 10.001 – 15.000 litros
 - ☒ Más de 15.000 litros
2. ¿Cuál es el consumo de energía eléctrica en las áreas de producción medido en kilovatios hora (kWh)?
 - ☐ Menos de 1000 kWh.
 - ☐ 1001 – 3000 kWh.
 - ☐ 3001 – 5000 kWh.
 - ☐ 5001 – 7000 kWh.
 - ☒ Más de 7000 kWh
3. ¿Se aprovechan eficientemente los recursos e insumos utilizados en la producción camaronesa?
 - ☐ Siempre.
 - ☒ Frecuentemente.
 - ☐ Ocasionalmente.
 - ☐ Rara vez.
 - ☐ Nunca
4. ¿La empresa aplica prácticas para reducir el desperdicio de alimento balanceado?
 - ☒ Siempre.
 - ☐ Frecuentemente.
 - ☐ Ocasionalmente.
 - ☐ Rara vez.
 - ☐ Nunca

Anexo D. Evidencia del cuestionario.

 **UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA**
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL 

5. ¿El mantenimiento de equipos y maquinaria contribuye a mejorar la eficiencia productiva?

☒ Siempre.

☐ Frecuentemente.

☐ Ocasionalmente.

☐ Rara vez.

☐ Nunca.

6. ¿Se realizan controles para disminuir el porcentaje de pérdidas de producción en las piscinas camaroneras?

☐ Siempre.

☒ Frecuentemente.

☐ Ocasionalmente.

☐ Rara vez.

☐ Nunca.

7. ¿La empresa capacita al personal sobre prácticas de ecoeficiencia productiva??

☐ Siempre.

☒ Frecuentemente.

☐ Ocasionalmente.

☐ Rara vez.

☐ Nunca.

8. ¿Con qué frecuencia las actividades del proceso productivo se realizan cumpliendo los estándares de calidad establecidos para el producto?

☒ Todos los días.

☐ 1 vez a la semana.

☐ 3 a 5 veces al mes.

☐ 5 a 7 veces al mes.

☐ Nunca.

9. ¿La empresa controla adecuadamente el uso de productos químicos en la producción?

☒ Siempre.

☐ Frecuentemente.

☐ Ocasionalmente.

☐ Rara vez.

☐ Nunca.

10. ¿Las actividades productivas cumplen con medidas de protección ambiental?

☒ Siempre.

☐ Frecuentemente.

☐ Ocasionalmente.

☐ Rara vez.

☐ Nunca.

11. ¿Con qué frecuencia la empresa aplica acciones para disminuir la contaminación del agua?



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL



- ☒ Todos los días.
☐ 1 vez a la semana.
☐ 3 a 5 veces al mes.
☐ 5 a 7 veces al mes.
☐ Nunca
12. ¿Se gestionan correctamente los residuos generados durante la producción de camarón?
- ☒ Siempre.
☐ Frecuentemente.
☐ Ocasionalmente.
☐ Rara vez.
☐ Nunca
13. ¿Considera que la empresa controla las emisiones y desechos que afectan al medio ambiente?
- ☐ Siempre.
☒ Frecuentemente.
☐ Ocasionalmente.
☐ Rara vez.
☐ Nunca
14. ¿La empresa promueve el reciclaje o reutilización de materiales dentro del proceso productivo?
- ☐ Siempre.
☒ Frecuentemente.
☐ Ocasionalmente.
☐ Rara vez.
☐ Nunca
15. ¿Las prácticas de producción ayudan a reducir el impacto ambiental en el ecosistema cercano?
- ☐ Siempre.
☒ Frecuentemente.
☐ Ocasionalmente.
☐ Rara vez.
☐ Nunca.
16. ¿Se realizan controles para detectar errores antes de finalizar el proceso productivo?
- ☒ Todos los días.
☐ 1 vez a la semana.
☐ 3 a 5 veces al mes.
☐ 5 a 7 veces al mes.
☐ Nunca
17. ¿La empresa fomenta el uso responsable de recursos naturales entre los trabajadores?



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL



- ☐ Siempre.
- ☐ Frecuentemente.
- ☒ Ocasionalmente.
- ☐ Rara vez.
- ☐ Nunca

18. ¿Considera que existe compromiso del personal con el cuidado ambiental?

- ☐ Siempre.
- ☒ Frecuentemente.
- ☐ Ocasionalmente.
- ☐ Rara vez.
- ☐ Nunca

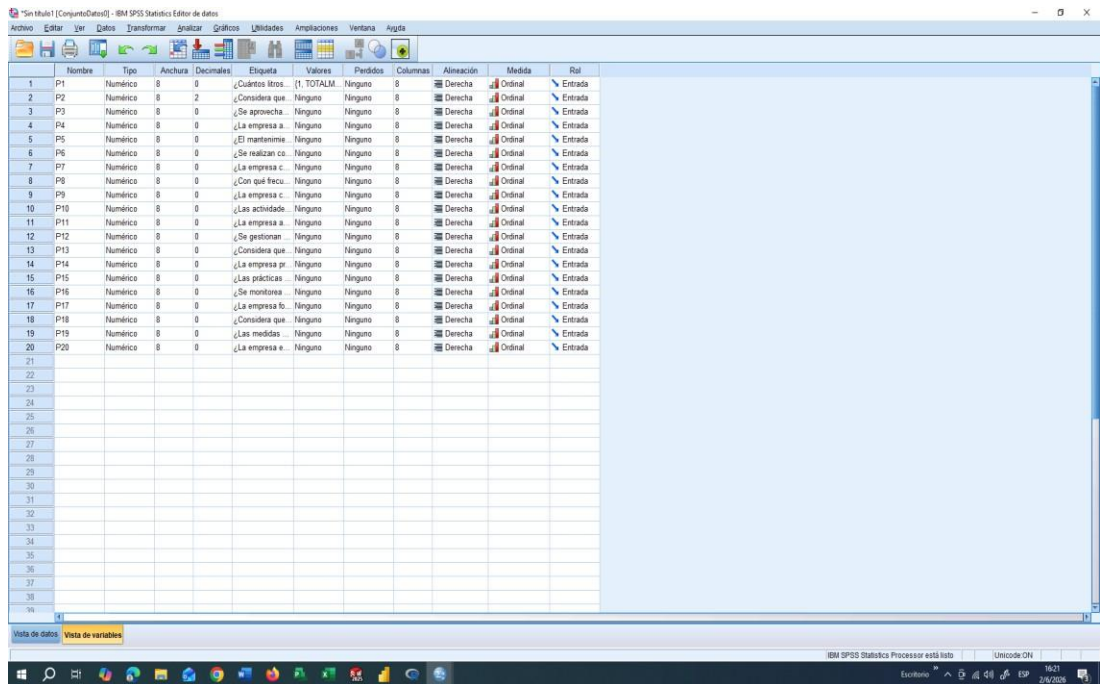
19. ¿Las medidas ambientales implementadas contribuyen a mejorar la sostenibilidad de la producción exigidos?

- ☐ Siempre.
- ☐ Frecuentemente.
- ☒ Ocasionalmente.
- ☐ Rara vez.
- ☐ Nunca

20. ¿La empresa evalúa periódicamente su huella ecológica para mejorar sus procesos productivos?

- ☒ Siempre.
- ☐ Frecuentemente.
- ☐ Ocasionalmente.
- ☐ Rara vez.
- ☐ Nunca

Anexo E. Compilación de datos en el software SPSS IBM.



4	Código	Área	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20	Total
5	Descripción del ítem →		Consumo de agua por proceso (ton/mes est.)	Consumo de energía eléctrica (kWh/mes est.)	Nivel de aplicación de tecnologías limpias	Cantidad de residuos generados	Tiempo dedicado a prácticas de ecoeficiencia	Nivel de estandarización de procesos	Nivel de contaminación percibida	Frecuencia de control de calidad del agua	Consumo de agua percibido	Índice de huella ecológica percibida	Frecuencia de controles de fallas	Cumplimiento ambiental percibido	Prácticas sostenibles en el área	Uso eficiente de insumos químicos	Manejo de residuos biológicos	Acciones correctivas por contaminación	Mantenimiento preventivo de equipos	Gestión de energía en el laboratorio	Gestión de combustible en el laboratorio	Ecoeficiencia general percibida	
6	E01	Producción	2	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	3	2	2	3	2	3	3	3	3	54
7	E02	Producción	2	3	3	3	3	3	3	2	3	2	2	3	2	1	3	3	3	3	4	4	55
8	E03	Producción	2	3	2	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	52
9	E04	Producción	1	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	37
10	E05	Producción	4	2	3	3	3	3	2	3	3	2	2	3	2	3	2	2	1	3	3	2	51
11	E06	Producción	2	3	3	2	4	2	3	3	2	2	2	3	2	4	2	3	4	4	4	3	57
12	E07	Producción	2	2	2	2	1	1	2	2	3	2	1	2	2	4	2	2	3	3	3	3	44
13	E08	Despacho	1	3	3	1	1	1	3	2	3	1	1	2	2	2	3	3	3	3	2	2	43
14	E09	Despacho	2	1	1	3	2	1	2	3	2	2	2	4	2	3	3	3	1	1	2	2	42
15	E10	Despacho	3	2	2	2	3	2	2	3	1	3	3	2	3	4	3	3	2	2	3	3	51
16	E11	Despacho	1	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	3	3	3	2	3	2	40
17	E12	Despacho	2	2	2	3	3	2	3	2	3	2	2	2	2	3	3	2	3	2	3	3	49
18																							
19	Varianza del ítem		0,727	0,568	0,424	0,606	0,992	0,629	0,273	0,273	0,455	0,182	0,265	0,629	0,083	0,97	0,265	0,265	1	0,629	0,364	0,424	10,02273
20	Varianza del puntaje total																						42,08333
21																							

Anexo F. Confiabilidad y validez de instrumento.

CONFIABILIDAD DE INSTRUMENTO TOMALA-SERPA - Excel

Archivo Inicio Insertar Dibujar Disposición de página Fórmulas Datos Revisar Vista Programador Ayuda Nitro PDF Pro Power Pivot

Calibre 11 A' K' Fuente Alineación Número Formato condicional Dar formato con tabla Estilos Normal Bueno Incorrecto Neutral Insertar Eliminar Formato Cálculo Autosuma Boleas Ordenar y filtrar Buscar y seleccionar Complementos Edición Complementos

Z10

ENCUESTADOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	SUMA
E1	3	5	4	5	3	5	5	4	3	5	3	4	4	5	5	5	5	5	5	4	98
E2	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	97
E3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	98
E4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	99
E5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	99
E6	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	98
E7	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	96
E8	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	97
E9	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	97
E10	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	96
E11	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	97
E12	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	97
E13	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	95
E14	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	97
E15	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	97
E16	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	97
E17	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	98
VARIANZA	1,000	0,250	0,250	0,000	0,250	0,000	0,000	0,000	0,250	0,250	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,250	
SUMATORIA DE VARIANZAS		4,750																			
VARIANZA DE LA SUMA DE LOS ÍTEMES		20,250																			

$$\alpha = \frac{K}{K-1} \left[1 - \frac{\sum S_i^2}{S^2} \right]$$

α: Coeficiente de confiabilidad del cuestionario → 0,81
 K: Número de ítems del instrumento → 20
 $\sum S_i^2$: Sumatoria de las varianzas de los ítems → 4,750
 S^2 : Varianza total del instrumento → 20,250

Confiabilidad (2) Hoja2 (2) Hoja4

Anexo G. Correlación de variables.

CÁLCULO DEL COEFICIENTE ALFA DE CRONBACH

Todos los valores de esta hoja son fórmulas enlazadas a la hoja "Base de datos". No escriba números aquí.

Número de ítems (k)	20	Cuenta automática de columnas de ítems (P1 a P20) definidas en la hoja Base de datos.
Número de operarios evaluados	12	Debe llegar a 12 (7 de Producción y 5 de Despacho, según la Tabla 1 de la tesis).
Suma de varianzas por ítem ($\sum \sigma_i^2$)	10,02272727	Tomada de la fila 'Varianza del ítem' de la hoja Base de datos.
Varianza del puntaje total (σ^2_t)	42,08333333	Tomada de la fila 'Varianza del puntaje total' de la hoja Base de datos.

ALFA DE CRONBACH (α) **0,802** $\alpha = [k/(k-1)] \times [1 - (\sum \sigma_i^2 / \sigma^2_t)]$ — fórmula estándar de Cronbach.

NIVEL DE CONSISTENCIA INTERNA **Buena** Escala tomada de la Tabla 14 de la tesis ($\alpha \geq 0.9$ Excelente ... $\alpha < 0.5$ Inaceptable).

Tabla de referencia (Tabla 14 de la tesis)

$\alpha \geq 0.9$	Excelente
$0.8 \leq \alpha < 0.9$	Buena
$0.7 \leq \alpha < 0.8$	Aceptable
$0.6 \leq \alpha < 0.7$	Cuestionable
$0.5 \leq \alpha < 0.6$	Pobre
$\alpha < 0.5$	Inaceptable

Anexo H. Carta de aceptación de los Capítulos 1 y 2.



FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA

Carrera de Ingeniería Industrial

La Libertad, 23 de abril del 2026

Ing. Edison Buenaño Buenaño

Docente Guía de la Unidad de Integración Curricular

Carrera de Ingeniería industrial - UPSE

En su despacho. -

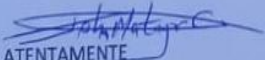
De mi consideración

Por la presente, me dirijo a usted para informar sobre el cumplimiento de los estudiantes

ESPINOZA VILLACIS PAUL FERNANDO Y QUIROZ SÁNCHEZ VÍCTOR JOSÉ en el desarrollo del primer capítulo del trabajo de integración curricular cuyo tema es: **"MODELO DE ECOEFICIENCIA PRODUCTIVA PARA LA REDUCCION DE LA HUELLA ECOLOGICA EN EL LABORATORIO DE LARVAS DE CAMARON VELEZLAB S.A. SANTA ELENA.** Los estudiantes han demostrado un buen entendimiento del marco teórico.

La información presentada es relevante, bien investigada y adecuadamente referenciada.

Agradezco su atención


ATENTAMENTE

ING. MONTENEGRO CARVAJAL JHON ENRIQUE

DOCENTE TUTOR.



FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA

Carrera de Ingeniería Industrial

La Libertad, 29 de Mayo del 2026

Ing. Edison Buenaño Buenaño

Docente Guía de la Unidad de Integración Curricular

Carrera de Ingeniería Industrial - UPSE

En su despacho. -

De mi consideración

Por la presente, me dirijo a usted para informar sobre el cumplimiento de los estudiantes

ESPINOZA VILLACIS PAUL FERNANDO Y QUIROZ SÁNCHEZ VÍCTOR JOSÉ en el desarrollo del segundo capítulo del trabajo de integración curricular cuyo tema es: **"MODELO DE ECOEFICIENCIA PRODUCTIVA PARA LA REDUCCION DE LA HUELLA ECOLOGICA EN EL LABORATORIO DE LARVAS DE CAMARON VELEZLAB S.A. SANTA ELENA.** Los estudiantes han demostrado un buen entendimiento del marco teórico.

La información presentada es relevante, bien investigada y adecuadamente referenciada.

Agradezco su atención


ATENTAMENTE

ING. MONTENEGRO CARVAJAL JHON ENRIQUE

DOCENTE TUTOR.

Anexo I. Planilla de servicio eléctrico del laboratorio Velezlab S.A.S.

NO TIENE LOGO

Empresa Eléctrica Pública Estratégica Corporación Nacional de Electricidad CNEL EP

Empresa Eléctrica Pública Estratégica Corporación Nacional de Electricidad CNEL EP

Dirección Matriz: Km. 6 1/2 Vía a la Costa Edif. Grace Celbos Piso 3

Dirección Sucursal: Barrio General Enríquez Gallo, Avenida 12 entre calle 33 y 35

Contribuyente Especial 065

OBLIGADO A LLEVAR CONTABILIDAD SI

R.U.C.: 0968599020001

FACTURA

No. 093-999-003038255

NÚMERO DE AUTORIZACIÓN

1204202601096859902000120939990030382550304733013

FECHA Y HORA DE AUTORIZACIÓN: 12/04/2026 19:45:12

AMBIENTE: PRODUCCIÓN

EMISIÓN: NORMAL

CLAVE DE ACCESO



1204202601096859902000120939990030382550304733013

Razón Social / Nombres y Apellidos:

VELEZ GONZABAY JENNIFER ELIANA

Identificación 0919656892001

Fecha 12/04/2026

Placa / Matricula:

Guía

Dirección: LABORATORIO JENNIFER CALLE PUBLICA / COMUNA SAN ANTONIO / MANGLARALTO - SANTA ELENA

Cod. Principal	Cod. Auxiliar	Cantidad	Descripción	Detalle Adicional	Precio Unitario	Subsidio	Precio sin Subsidio	Descuento	Precio Total
INTDEB		1.00	Intereses por Mora		0.13	0.00	0.00	0.00	0.13
ZAPUGE		1.00	Serv. Alum. Públic. General		5.97	0.00	0.00	0.00	5.97
ZCOMER		1.00	Comercialización		1.41	0.00	0.00	0.00	1.41
ZDEMAN		1.00	Demanda		9.39	0.00	0.00	0.00	9.39
ZENERG		1.00	Energía total		4028.03	0.00	0.00	0.00	4028.03

Anexo J. Cálculo de consumo plantilla CNEL EP Velezlab S.A.S.



SIMULADOR TARIFA RESIDENCIAL CNEL EP
2026

Instrucciones: Ingrese los diferentes parámetros que se encuentran en las listas desplegables. A continuación, ingrese en los recuadros correspondientes los montos de **Consumo medido (kWh)**, e **Incentivo PEC (kWh)**, mismo que será aplicable para la tarifa Residencial PEC únicamente, en función de lo que posea el consumidor (cocina, ducha o ambos). Para obtener el valor por **Servicio de Alumbrado Público General (SAPG)**, deberá ingresar el cantón en la lista desplegable.

Valores monetarios calculados incluyen energía, SAPG y tasa de bomberos. Se excluyen otros rubros.

***Valores máximos permitidos:** Para consumo: **99.999 kWh**. Para el incentivo PEC, los valores máximos son: 80 kWh para cocina, 20 kWh para ducha y 100 kWh para ambos (cocina + ducha).

Click para
simular
depósito en
garantía

DATOS:

Unidad de Negocio
Sta. Elena

Mes emisión
mayo

Tarifa
Residencial

Cantón (para cálculo SAPG)
Otros

Tipo incentivo PEC
Ninguno

No aplica

PARÁMETRO	UNIDADES (Ingresar solo números enteros)
CONSUMO MEDIDO kWh	Consumo (kWh) 2182 20.00 % % SAPG (Pliego 2014) Cocina (max. 80) Ducha (max. 20) Cocina+Ducha (max. 100) 0 0 0
INCENTIVO PEC kWh	0 kWh PEC
CONSUMO FACTURADO kWh	2,182 Total energía activa kWh Reiniciar Valores

RESUMEN (USD):

377.11

USD Consumo

492.17

USD Total a pagar (sin TD)

492.17

USD Total a pagar (con TD)

0.00

USD Ahorro por Tarifa Dignidad (TD)

Consumo fuera del límite para Tarifa Dignidad (TD)

*Consulte aquí el Pliego tarifario

*Consulte el Simulador Tarifa General

*Consulte el Simulador para prepago

Microsoft PowerPoint
Páginas

100 %

117