



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA
ELENA

FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR

CARRERA DE BIOLOGÍA

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

“COMPARACIÓN DE LAS FLUCTUACIONES DE PARÁMETROS
FÍSICOQUÍMICOS Y BIOLÓGICOS EN EL RENDIMIENTO ZOOTÉCNICO
DE *Penaeus vannamei*”

Previa a la obtención del Título de: BIÓLOGO

AUTOR:

DANIELA B. HARO MORALES

DOCENTE TUTOR:

Blga. DENNIS TOMALÁ SOLANO M.Sc.

LA LIBERTAD – ECUADOR

2024

UNIVERSIDAD ESTATAL PENINSULA DE SANTA
ELENA FACULTAD DE CIENCIAS DEL MAR
CARRERA DE BIOLOGÍA

**“COMPARACIÓN DE LAS FLUCTUACIONES DE PARÁMETROS
FÍSICOQUÍMICOS Y BIOLÓGICOS EN EL RENDIMIENTO ZOOTÉCNICO
DE *Penaeus vannamei*.”**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN
CURRICULAR

Previa a la obtención del Título de:

BIÓLOGO

AUTOR:

DANIELA B. HARO MORALES

DOCENTE TUTOR:

Blga. DENNIS TOMALÁ SOLANO M.Sc.

LA LIBERTAD – ECUADOR

2024

DECLARACIÓN DEL DOCENTE TUTOR

En mi calidad de Docente Tutor del Trabajo de Integración Curricular, “COMPARACIÓN DE LAS FLUCTUACIONES DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS Y BIOLÓGICOS EN EL RENDIMIENTO ZOOTÉCNICO DE *Penaeus vannamei*.”, elaborado por Daniela Bethsabe Haro Morales, estudiantes de la Carrera de Biología, Facultad de Ciencias del Mar de la Universidad Península de Santa Elena, previo a la obtención del título de Biólogo/a, me permito declarar que luego de haber dirigido su desarrollo y estructura final del trabajo, este cumple y se ajusta a los estándares académicos, razón por la cual, apruebo en todas sus partes, encontrándose apto para la evaluación del docente especialista.

Atentamente



Blga. Dennis Gisella Tomalá Solano M.Sc.

DOCENTE TUTOR

DECLARACIÓN DEL DOCENTE DE ÁREA

En mi calidad de Docente Especialista, del Trabajo de Integración Curricular “COMPARACIÓN DE LAS FLUCTUACIONES DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS Y BIOLÓGICOS EN EL RENDIMIENTO ZOOTÉCNICO DE *Penaeus vannamei*.”, elaborado por Daniela Bethsabe Haro Morales estudiante de la Carrera de Biología, Facultad de Ciencias del Mar de la Universidad Península de Santa Elena, previo a la obtención del título de Biólogo, me permito declarar que luego de haber evaluado el desarrollo y estructura final del trabajo, éste cumple y se ajusta a los estándares académicos, razón por la cual, declaro que se encuentra apto para su sustentación.

Atentamente



Acui. Sonny Mendoza Lombana Ph.D.

DOCENTE DE ÁREA

DEDICATORIA

A mi hija Lucía, por ser mi inspiración y la fuerza que me permite luchar y alcanzar mis sueños.

A mi pareja y padre de mi hija Alejandro, sostén de nuestro hogar, mi soporte y apoyo, eje importante para lograr mis objetivos.

A mi Sobrino Victor Hugo, a mi madre, hermanas y hermanos, quienes han sido piezas importantes para edificar mis propósitos.

A todos y cada uno, Gracias Totales.

AGRADECIMIENTO

A las autoridades y personal Académico de la Universidad Estatal Península de Santa Elena por liderar el proceso de formación profesional.

En particular A mi Docente tutor la M. Sc. Acui. Dennis Tomalá Solano, quien con conocimiento y constante guía me ha permitido finalizar este trabajo y mi carrera.

A Don Isauro Fajardo y el Ing. Juan Carlos Verdezoto, por su confianza y aporte de valor en este trabajo académico.

A quienes con sus bastos conocimientos fueron primordiales para ejecutar este proyecto: Ing. Producción Animal Alejandro Galué Aquino y Blgo. Kevin Morales Torres.

TRIBUNAL DE GRADO

Trabajo de Integración Curricular presentado por **Daniela Betsabe Haro Morales** como requisito parcial para la obtención del grado de Biólogo/a de la Carrera de Biología, Facultad de Ciencias del Mar de la Universidad Estatal Península de Santa Elena.

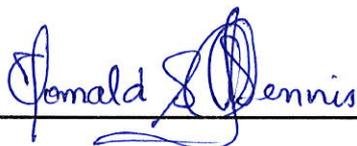
Trabajo de Integración Curricular **APROBADO** el: 15 de julio de 2024



Ing. Jimmy Villón Moreno, M.Sc.
DIRECTOR/A DE CARRERA
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



Acui. Sonnya Mendoza Lombana Ph.D.
PROFESOR DE ÁREA
MIEMBRO DEL TRIBUNAL



Blga. Dennis Tomalá Solano M. Sc.
DOCENTE TUTOR
MIEMBRO DEL TRIBUNAL



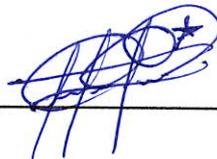
Blgo. Richard Duque Marín, Ph. D.
DOCENTE GUÍA DE LA UIC II
MIEMBRO DEL TRIBUNAL



Lcd. Pascual Roca Silvestre M. Sc.
SECRETARIO DEL TRIBUNAL

DECLARACIÓN EXPRESA

La responsabilidad de los datos, ideas y resultados expuestos en este trabajo de tesis, me corresponden exclusivamente. Así como, el patrimonio intelectual de la misma a la Universidad Estatal Península de Santa Elena.



Daniela B. Haro Morales

172348281-4

Índice

RESUMEN.....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	1
JUSTIFICACIÓN.....	5
OBJETIVO GENERAL.....	11
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11
HIPÓTESIS.....	12
CÁPITULO I.....	13
1. MARCO TEÓRICO.....	13
1.1. <i>Pennaeus vanamei</i>	13
1.2. Ecdysis en <i>P. vannamei</i>	15
1.3. Nutrición en <i>P. vannamei</i>	18
1.4. Indicadores claves de desempeño (KPIs)	19
1.5. Condiciones de cultivo en Ecuador.....	21
1.6. Oxígeno Disuelto (OD)	22
1.8. Temperatura (T°).....	23
1.9. Salinidad (Sal)	23
1.10. pH	24
1.11. Alcalinidad.....	24
1.12. Calcio (Ca)	25
1.13. Magnesio (Mg).....	26
1.14. Potasio (K)	26
1.15. Nitrógeno (N).....	26
1.16. Fósforo (P)	27
1.17. Chlorophyta.....	28
1.19. Bacillariophytas.....	29

1.18. Cianophytas	30
1.20. Dinoflagellata.....	32
1.21. Rhodophytas	33
1.22. Euglenophytas	34
1.23. Cryptophytas	35
CAPÍTULO II	37
2. MARCO METODOLÓGICO.....	37
2.1. Descripción del área de estudio.....	37
2.2. Manejo de cultivo	39
2.3. Análisis y Muestreo de parámetros	41
2.3.1. Temperatura y Oxígeno Disuelto en agua.....	41
2.3.2. Recolección y análisis de muestras de calidad de agua y fitoplancton	42
2.3.3. Amonio Total	44
2.3.4. Fosfato	44
2.3.5. Dureza Cálcica y Calcio.....	45
2.3.6. Magnesio y Dureza Magnésica.....	45
2.3.7. Dureza Total	46
2.3.8. Potasio	46
2.3.9. Alcalinidad	47
2.3.10. Sodio	47
2.3.11. Fitoplancton.....	48
2.4. Análisis de Datos.....	49
2.4.1. Análisis estadístico ANOVA	49
2.4.2. Análisis de coeficiente de Pearson.....	53
2.4.3. Análisis Power BI	56
CAPÍTULO III.....	58
3. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	58
3.4. Análisis estadístico de ANOVA en KPI's de cultivo de <i>P. vannamei</i>	58
3.5. Análisis de KPI's en cultivo de <i>P. vannamei</i>	61
3.6. Análisis del I.E.P. promedio en base a Alimento balanceado.	63

3.7. Análisis del comportamiento de Células totales/mL Fitoplancton, Oxígeno Disuelto y KPI's en cultivo de <i>P. vannamei</i>.....	65
3.8. Análisis del comportamiento por phylum fitoplancton, parámetros ambientales y KPIs en cultivo de <i>P. vannamei</i>.	67
3.9. Análisis de la relación Nitrógeno y Fósforo en cultivo de <i>P. vannamei</i>.....	72
3.10. Análisis de la Influencia del Magnesio y pH en la proliferación del Fitoplancton.....	74
3.11. Análisis de Calcio, Magnesio y Potasio en cultivo de <i>P. vannamei</i>.....	76
3.12. Análisis de relación de alcalinidad y pH en cultivo de <i>P. vannamei</i>.....	82
DISCUSIÓN.....	84
CONCLUSIONES.....	95
RECOMENDACIONES.....	97
BIBLIOGRAFÍA.....	98
ANEXOS:.....	112

Índice de Figuras

Figura 1	17
Figura 2	39
Figura 3	61
Figura 4	65
Figura 5	67
Figura 6	71
Figura 7	72
Figura 8	73
Figura 9	74
Figura 10	75
Figura 11	76
Figura 12	76
Figura 13	77
Figura 14	82
Figura 15	83

Índice de Tablas

Tabla 1	43
Tabla 2	55
Tabla 3	59
Tabla 4	60
Tabla 5	64

GLOSARIO Y SIMBOLOGÍA

1. Parámetros Fisicoquímicos:

Definición: Variables físicas y químicas del agua, como la temperatura, oxígeno disuelto, salinidad y pH.

Importancia en el Estudio: Estos parámetros son cruciales para la supervivencia y crecimiento de *Penaeus vannamei* y afectan directamente su salud y eficiencia productiva.

2. Parámetros Biológicos:

Definición: Factores relacionados con organismos vivos, como la composición del fitoplancton y la presencia de microorganismos.

Importancia en el Estudio: La composición y dominancia de ciertos grupos de fitoplancton, como las Chlorophytas y Bacillariophytas, influyen en la calidad del agua y en el rendimiento zootécnico de los camarones.

3. Rendimiento Zootécnico:

Definición: Medida del desempeño productivo en términos de crecimiento, supervivencia y conversión alimenticia de los animales cultivados.

Importancia en el Estudio: Es el indicador principal utilizado para evaluar la eficiencia del cultivo de *Penaeus vannamei* bajo diferentes condiciones ambientales.

4. Oxígeno Disuelto (DO):

Definición: Cantidad de oxígeno presente en el agua, esencial para la respiración de los organismos acuáticos.

Importancia en el Estudio: Niveles adecuados de DO son críticos para la supervivencia y crecimiento de los camarones, afectando directamente su salud y rendimiento.

5. Temperatura:

Definición: Medida del calor en el agua del estanque.

Importancia en el Estudio: La temperatura óptima es crucial para el metabolismo y crecimiento de los camarones. Temperaturas fuera del rango ideal pueden causar estrés y aumentar la mortalidad.

6. Salinidad:

Definición: Concentración de sales disueltas en el agua.

Importancia en el Estudio: La salinidad adecuada asegura el equilibrio osmótico de los camarones, crucial para su salud y crecimiento.

7. pH:

Definición: Medida de la acidez o alcalinidad del agua.

Importancia en el Estudio: Un pH dentro del rango neutro a ligeramente alcalino es óptimo para la salud de los camarones y previene enfermedades.

8. Fitoplancton:

Definición: Microalgas fotosintéticas presentes en el agua, que forman la base de la cadena alimentaria acuática.

Importancia en el Estudio: Las Chlorophytas y Bacillariophytas son tipos de fitoplancton que mejoran la calidad del agua y proporcionan una fuente de alimento adicional para los camarones.

9. Chlorophytas:

Definición: Grupo de algas verdes que son fotosintéticas.

Importancia en el Estudio: Indicadores de una buena calidad del agua y fuente de alimento para los camarones.

10. Bacillariophytas:

Definición: También conocidas como diatomeas, son un tipo de fitoplancton con una pared celular de sílice.

Importancia en el Estudio: Contribuyen a la producción de oxígeno y a la nutrición de los camarones.

11. Cianobacterias:

Definición: Grupo de bacterias fotosintéticas, también conocidas como algas verdeazuladas.

Importancia en el Estudio: Pueden producir toxinas y afectar negativamente la calidad del agua y la salud de los camarones.

12. ANOVA (Análisis de Varianza):

Definición: Método estadístico utilizado para comparar las medias de tres o más grupos.

Importancia en el Estudio: Utilizado para determinar si las diferencias observadas en los parámetros ambientales tienen un impacto significativo en el rendimiento zootécnico de los camarones.

13. Coeficiente de Correlación de Pearson:

Definición: Medida de la fuerza y dirección de la relación lineal entre dos variables.

Importancia en el Estudio: Utilizado para identificar las correlaciones entre los parámetros ambientales y los indicadores de rendimiento de los camarones.

14. Aireación:

Definición: Proceso de aumentar el contenido de oxígeno en el agua mediante la agitación o el uso de aireadores.

Importancia en el Estudio: Crucial para mantener niveles adecuados de oxígeno disuelto, especialmente durante la noche.

15. Manejo Nutricional:

Definición: Estrategias y prácticas para proporcionar una dieta adecuada a los camarones.

Importancia en el Estudio: Optimizar el régimen de alimentación para mejorar el crecimiento y la conversión alimenticia de los camarones.

16. Monitoreo Continuo:

Definición: Vigilancia constante de los parámetros ambientales y biológicos en los estanques de cultivo.

Importancia en el Estudio: Permite ajustes en tiempo real para mantener condiciones óptimas de cultivo y mejorar la eficiencia productiva

ABREVIATURAS

PPM: partes por mil

PPT: partes por millón

OD: oxígeno disuelto

N: nitrógeno

P: fosforo

Ca: Calcio

Mg: Magnesio

K: Potasio

Sal: salinidad

pH: potencial de hidrógeno

ATP: adenosin triphosphato

CCA: Canonical Correspondence Analysis

A.A.: alimentadores automáticos

mL: mililitros

mg: miligramos

ATP: Adenosin Triphosphate

I.E.P.: índice de eficiencia productiva

F.C.A.: Factor de conversión alimenticia

RESUMEN

La especie *Penaeus vannamei* es reconocida por la FAO (2022) como la preferida mundialmente en el cultivo de camarones. Es así como, uno de los mayores desafíos para los productores es alcanzar la máxima eficiencia en la producción de cada libra de camarón. Esto se consigue mediante la adopción de herramientas tecnológicas y la aplicación de conocimientos técnico-científicos para optimizar de indicadores clave de rendimiento. Tales como, la supervivencia, el F.C.A., el crecimiento de los animales. Permitiendo incrementar el número de ciclos producidos al año, aumentando así los ingresos económicos del productor.

Si se considera que, la energía obtenida por el consumo de alimento es utilizada una parte para el crecimiento de los organismos y otra para suplir procesos de reajustes metabólicos. Se remarca la importancia de corregir aquellas fugas energéticas que impiden la máxima expresión de crecimiento en el cultivo de camarón. Es por ello que, el presente estudio tuvo como objetivos determinar la influencia de estos parámetros fisicoquímicos y biológicos en el rendimiento zootécnico.

El diseño experimental incluyó un monitoreo continuo durante un año en estanques de cultivo en la Isla de Mondragón, evaluando parámetros como temperatura, oxígeno disuelto, salinidad, pH, alcalinidad, calcio, magnesio, potasio, nitrógeno, fósforo y fitoplancton, utilizando análisis estadísticos como ANOVA y coeficientes de correlación de Pearson. El análisis del estudio mostró, que el coeficiente de correlación de Pearson entre el F.C.A. y el incremento semanal es moderado (0.453). Asimismo, la correlación entre el F.C.A. y la supervivencia también es moderada (0.370). Además,

la supervivencia mostró una correlación muy fuerte con el Índice de Eficiencia Productiva (I.E.P.) (0.864).

Lo que indica una relación significativa entre estos parámetros. Sumado que, El análisis de correlación por phylum de fitoplancton en el estudio reveló varias relaciones destacadas. Las Chlorophytas mostraron correlación positiva fuerte con el fosfato (0.790), indicando que niveles más altos de fosfato en el agua están asociados con un aumento en la cantidad de Chlorophytas. También mostraron correlación positiva moderada con el OD (0.383) y Temperatura (0.440), sugiriendo que un mayor OD y °T más altas pueden favorecer su crecimiento.

Por otro lado, las Cianobacterias presentaron correlaciones positivas muy fuertes con el magnesio (0.924), calcio (0.827) y potasio (0.903), subrayando la importancia de estos minerales en su proliferación. En contraste, su correlación con el oxígeno disuelto fue positiva pero débil (0.194). Por otro lado, las Diatomeas mostraron una correlación positiva moderada con el OD (0.391) y una correlación negativa fuerte con las Cianobacterias (-0.622), sugiriendo competencia significativa entre estos dos phylum.

Así mismo, los análisis realizados en parámetros ambientales destacaron que, la alcalinidad tuvo una correlación positiva moderada con el crecimiento semanal, la supervivencia y el I.E.P. Así como, correlación negativa moderada con el F.C.A. Sugiriendo que niveles más altos de alcalinidad están asociados con mejores resultados en estos KPIs. Conjuntamente, el OD mostró una correlación positiva moderada con la densidad de fitoplancton, lo que sugiere que niveles más altos de OD están asociados con una mayor cantidad de fitoplancton en el agua.

En resumen, la gestión adecuada de los parámetros ambientales, como la alcalinidad y el OD, es crucial para optimizar el rendimiento en el cultivo de *Penaeus vannamei*. Estos hallazgos indican la importancia de mantener un equilibrio en la calidad del agua y los nutrientes para mejorar la eficiencia productiva y la salud de los camarones. Implementar prácticas de monitoreo continuo y ajustes oportunos en el manejo de los estanques puede llevar a una mejora significativa en los resultados del cultivo.

Palabras Clave: *Penaeus vannamei*, parámetros fisicoquímicos, parámetros biológicos, rendimiento zootécnico, oxígeno disuelto, temperatura, salinidad, pH, fitoplancton, balance iónico, ANOVA, coeficiente de correlación de Pearson, índice de eficiencia productiva, factor de conversión alimenticia, supervivencia, crecimiento lineal.

ABSTRACT

The species *Penaeus vannamei* is recognized by the FAO (2022) as the globally preferred shrimp for cultivation. One of the greatest challenges for producers is achieving maximum efficiency in the production of each pound of shrimp. This is accomplished through the adoption of technological tools and the application of technical-scientific knowledge to optimize key performance indicators, such as survival, FCR, and animal growth. This allows for an increase in the number of production cycles per year, thereby boosting the producer's economic returns.

Considering that the energy obtained from food consumption is partly used for organism growth and partly to support metabolic adjustment processes, it is crucial to address those energy leaks that hinder the maximum growth expression in shrimp farming. Therefore, this study aimed to determine the influence of these physicochemical and biological parameters on zootechnical performance.

The experimental design included continuous monitoring over one year in cultivation ponds on Mondragón Island, evaluating parameters such as temperature, dissolved oxygen, salinity, pH, alkalinity, calcium, magnesium, potassium, nitrogen, phosphorus, and phytoplankton, using statistical analyses like ANOVA and Pearson correlation coefficients. The study's analysis showed that the Pearson correlation coefficient between FCR and weekly growth is moderate (0.453). Likewise, the correlation between FCR and survival is also moderate (0.370). Additionally, survival showed a very strong correlation with the Productive Efficiency Index (PEI) (0.864).

This indicates a significant relationship between these parameters. Moreover, the correlation analysis by phytoplankton phylum in the study revealed several noteworthy relationships. Chlorophytes showed a strong positive correlation with phosphate (0.790), indicating that higher phosphate levels in the water are associated with an increase in the quantity of Chlorophytes. They also showed a moderate positive correlation with DO (0.383) and Temperature (0.440), suggesting that higher DO and temperatures may favor their growth.

On the other hand, Cyanobacteria presented very strong positive correlations with magnesium (0.924), calcium (0.827), and potassium (0.903), emphasizing the importance of these minerals in their proliferation. In contrast, their correlation with dissolved oxygen was positive but weak (0.194). Meanwhile, Diatoms showed a moderate positive correlation with DO (0.391) and a strong negative correlation with Cyanobacteria (-0.622), suggesting significant competition between these two phyla.

Additionally, the analyses conducted on environmental parameters highlighted that alkalinity had a moderate positive correlation with weekly growth, survival, and PEI, as well as a moderate negative correlation with FCR. This suggests that higher levels of alkalinity are associated with better results in these KPIs. Concurrently, DO showed a moderate positive correlation with phytoplankton density, suggesting that higher DO levels are associated with a greater amount of phytoplankton in the water.

In summary, the proper management of environmental parameters, such as alkalinity and DO, is crucial to optimizing performance in the cultivation of *Penaeus vannamei*. These findings highlight the importance of maintaining a balance in water quality and nutrients to improve production efficiency and shrimp health. Implementing

continuous monitoring practices and timely adjustments in pond management can lead to a significant improvement in cultivation results.

Keywords: *Penaeus vannamei*, physicochemical parameters, biological parameters, zootechnical performance, dissolved oxygen, temperature, salinity, pH, phytoplankton, ionic balance, ANOVA, Pearson correlation coefficient, productive efficiency index, feed conversion ratio, survival, linear growth.

INTRODUCCIÓN

Penaeus vannamei, es la especie preferida y más utilizada para el cultivo de camarones, en todo el mundo (FAO, 2022). En Ecuador, esta industria se considera como uno de los ejes primordiales del flujo económico, debido a que, es la principal exportación no petrolera del país. Actualmente, es uno de los sectores de producción industrial que brinda mayor número de oportunidades laborales (FAO, 2020). Ecuador ocupa el puesto número uno en Latinoamérica como productor de camarón y posicionado en segundo lugar para las exportaciones de producción de crustáceos marinos en la acuicultura marina y costera a nivel mundial con 761,0 mil toneladas de peso vivo (FAO, 2022).

En contraste, el sector camaronero también se ha visto perjudicado por incidencias patológicas y variaciones asociadas a las etapas de auge y descenso de precios de exportación; las elevadas producciones acuícolas del 2018 y 2019 inclinaron los precios del mercado a los niveles más bajos en 2020, lo que afectó a la industria y contribuyó a una planificación conservadora por parte de los productores (Anderson et al., 2019).

En el año 2020 se presentó el creciente brote del coronavirus, el cual ha provocado estragos en el comercio mundial, debido al rol que desempeña la República Popular China como actor clave de la economía. En este escenario, Ecuador también

se ve influenciado por los eventos de este magnate asiático ya que, en 2019, este mercado se transformó en el segundo más importante para Ecuador. De hecho, China compra dos de cada tres libras de camarón producidas en territorio ecuatoriano (Camposano, 2020).

De ahí que, la industria se ve sujeta a constantes procesos de investigación con enfoque a mejoras, buscando mantener la ventaja productiva sobre el mercado, precisamente con valores agregados en áreas de sanidad e inocuidad, trazabilidad, tecnificación e incluso producciones orgánicas. Es así que, el enfoque de producción actual está en la mejora de procesos relacionados a la eficiencia productiva, traducida en menos costo de producción por libra de camarón, para de esa manera, conseguir un mayor rendimiento considerando los precios y demanda del camarón presentados a lo largo del 2021 y 2022. Por ello, se considera como factor importante, las prácticas en los cultivos que pueden repercutir sobre la productividad de los sistemas, afectando la rentabilidad y pudiendo amenazar la sostenibilidad del sector camaronero (Piedrahita, 2020).

Existen muchos casos a nivel nacional donde las prácticas de manejo acuícola no son adecuadas. Se conocen una serie de criterios incorrectos a causa de la falta de estandarización de protocolos, como: criterio de diseño e implementación de las unidades de producción acuícola, selección de semilla, preparación de estanques, calidad de agua y suelos, control de la salud animal, cosechas, control de la calidad del producto, criterios de alimentación y automatización, etc. (Piedrahita, 2019), estos

aspectos pueden afectar el rendimiento zootécnico por bajos crecimientos del camarón, problemas patológicos en las poblaciones, resistencia bacteriana y el elevado riesgo a enfermedades (Aguardo García, 2013; Echeverría et al., 2002).

En contraste, si se considera que el costo del alimento balanceado puede representar hasta el 60% del gasto de producción, dependiendo del sistema de cultivo, manejo, calidad fisicoquímica del agua, factores biológicos y fisiológicos, así como, tipo de alimento (Molina-Poveda et al., 2002). Los resultados del rendimiento productivo dependerán de aquellas variables que intervengan en procesos alimenticios, los cuales pueden expresarse en la captura e ingesta del alimento natural o balanceado necesario para los animales, quienes obtienen de dichos procesos los nutrientes y energía para sus funciones normales de mantenimiento, crecimiento y reparación de tejidos (Barraza López, 2012). Es decir que, el consumo del alimento está sujeto a calidad de agua y suelos del estanque, disponibilidad de alimento natural, intensidad de la luz, hora del día, estadio de muda y tamaño de los camarones (Mera et al., 2021; Molina-Poveda et al., 2002).

De esta manera, en Acuicultura el desarrollo de enfermedades depende de las condiciones ambientales, la susceptibilidad del hospedero y la virulencia del patógeno. Es así como, una infección no es solo el resultado al aumento de los agentes patógenos y la susceptibilidad del hospedero, sino que también depende del efecto del ambiente en la fisiología del organismo (Abad-rosales et al., 2011). Por lo tanto, el manejo inadecuado del cultivo incrementará el estrés en los organismos, por lo que, en estas condiciones, los camarones pueden presentar un rendimiento sub-óptimo de

mecanismos inmunológicos, provocando que la expresión en su potencial de crecimiento sea reducida al existir menos asimilación nutricional.

Actualmente, existen pocos estudios de *P. vannamei*, a pesar de que, es una especie de suma importancia en muchas regiones la información sobre su comportamiento respecto a estímulos ambientales y alimenticios es escasa. A pesar de la tecnificación en el sector, muchos productores continúan sin la innovación y apertura a nuevas tecnologías, así como la investigación referente a la relación de la influencia de parámetros ambientales en el cultivo. Variables que fluctúan dependiendo la época del año, debido al sistema de producción mayormente utilizado en Ecuador.

Por ello, los rendimientos zootécnicos del cultivo de *P. vannamei* se ven mermados por un manejo carente de innovación, investigación y tecnificación. Es así como, en el presente trabajo se pretende comparar el rendimiento zootécnico de *P. vannamei* mediante la eficiencia productiva de los indicadores claves de desempeño (siglas en inglés KPIs) demostrando la relación entre las fluctuaciones de parámetro físicos, químicos y fitoplancton en el cultivo.

JUSTIFICACIÓN

La producción de *P. vannamei* en Ecuador ha mostrado un constante crecimiento en las libras exportadas desde 1994 hasta 2023. Esto demuestra el desarrollo del mercado internacional del camarón, así como la evolución de la metodología de producción acuícola a nivel nacional. Además, la variación histórica mensual analizada por La Cámara Nacional Ecuatoriana de Acuicultura (2024), sugiere un incremento de estos datos para los años 2021 y 2022, siendo superior al 32% en libras y 64% en dólares, así como más del 21% en libras y 21% en dólares, respectivamente, para cada año.

Posterior a las dificultades presentadas durante la pandemia mundial, todos los mercados se vieron en la necesidad de cambiar su perspectiva con enfoque en la eficiencia. La producción de camarón no fue la excepción, los productores ecuatorianos aplicaron estrategias de innovación que les permitieron sostener la variación de los precios que se presentaron a lo largo del brote de la pandemia y que se registraron en el año 2020, con menos del 7% de variación en las libras producidas y menos del 18% de ingreso en dólares al país (Gonzabay-Crespin et al., 2021).

La especie *Penaeus vannamei* es reconocida por la FAO (2022) como la más utilizada mundialmente en la acuicultura de camarones. En este contexto altamente

competitivo, Ecuador busca mantener su posición como uno de los principales productores y exportadores de camarón blanco del Pacífico (Varas-Chiquito et al., 2017). Uno de los mayores desafíos para los productores es alcanzar la máxima eficiencia en la producción de cada libra de camarón. Esto se logra mediante la implementación de herramientas tecnológicas y la aplicación de conocimientos técnico-científicos para mejorar los indicadores clave de rendimiento (KPIs), como la supervivencia de los cultivos, el factor de conversión alimenticia (F.C.A.), el crecimiento de los animales y la reducción de los días de ciclo de producción, lo que permite aumentar el número de ciclos producidos al año y por ende los ingresos económicos del productor.

Por otro lado, se anticipa que la producción global de camarón experimentará una recuperación en 2024, aunque a un ritmo más lento comparado con el promedio de los últimos diez años. En el caso de Ecuador, se proyecta que el crecimiento de la producción disminuya su velocidad en el mismo año (Jackson, 2023). Es así como, a nivel nacional se reconoce que el éxito continuo en el cultivo de camarón dependerá de la intensificación de los métodos de producción, así como de una gestión eficaz del alimento balanceado y la reducción de los costos operativos (Reis et al., 2020). Por lo tanto, cualquier herramienta que contribuya a mejorar la producción acuícola no solo aumentará el rendimiento financiero, sino que también asegurará el éxito continuo de las operaciones.

De igual manera, las prácticas apropiadas de manejo del alimento durante la etapa de engorde de un cultivo pueden minimizar los costos de producción, disminuir el impacto ambiental y maximizar los beneficios económicos (Molina-Poveda et al., 2002). Es así como, si se considera que la energía utilizada en el crecimiento es igual a la energía tomada del alimento menos la energía gastada en el metabolismo y otros procesos en menor medida, vemos que es necesario minimizar el gasto energético de los reajustes metabólicos de los organismos para maximizar el crecimiento (Sedano Vera & Anguis Climent, 2016).

Dicho de otro modo, los camarones son organismos delicados, vulnerables a condiciones ambientales adversas que pueden afectar su salud y crecimiento. En situaciones de estrés, como cambios bruscos en la temperatura o la calidad del agua los camarones tienden a comer menos, enfermarse con mayor facilidad y experimentar un crecimiento más lento (Boyd, 2009; Carneiro Silva et al., 2022; Mohammadi et al., 2023). De hecho, el crecimiento en artrópodos es un proceso discontinuo influenciado por factores como la muda y ritmos universales, que impactan directamente en el incremento de tamaño, ya que durante la muda el camarón absorbe agua con iones involucrados en procesos fisiológicos, lo cual le permite crecer (Araujo Mejía, 2000).

Cabe destacar que, los factores ambientales son difíciles de controlar, debido a los sistemas de producción mayormente utilizados en Ecuador, lo que hace que la gestión de la salud y la nutrición sea crucial para su desarrollo óptimo, así como para los resultados finales de cultivo (Pandey et al., 2023). Añadido a esto, se ha demostrado que la nutrición de los camarones involucra una serie de procesos químicos y fisiológicos que les proporcionan los nutrientes necesarios para su crecimiento. Una parte esencial de estos procesos es la digestión, llevada a cabo por medio de enzimas hepatopancreáticas. Estas enzimas desempeñan un papel crucial en la asimilación de nutrientes y son influenciadas por una amplia gama de factores, como el ayuno, la edad y el tamaño de los camarones, la frecuencia y cantidad de alimentación, la calidad de la proteína del alimento, estimulantes alimenticios, estadio de muda, condiciones ambientales y ritmo circadiano (Rodríguez, Cedeño, Molina, Otero, Valenzuela & Sotomayor, 2000).

Además de esto, se ha observado que la frecuencia de la muda está influenciada por diversos factores ambientales. Estas variaciones en el entorno pueden ser una fuente potencial de estrés para los camarones de cultivo, provocando que las mudas se retrasen o sean incompletas (Abad-rosales et al., 2011). Sumado a que, los cambios bioquímicos, biológicos y morfológicos en la epidermis de los crustáceos también pueden incidir en su sistema inmunológico (Echeverría et al., 2002). Es decir que, dichos procesos fisiológicos están estrechamente ligados al crecimiento y supervivencia de cultivo.

Por consiguiente, el manejo eficiente de los parámetros ambientales de los estanques de cultivo es la mejor herramienta para mantener el estado de salud de los organismos. Ya que, de esto dependen una gran variedad de factores potenciales de estrés para los camarones. Que van desde la densidad y nutrición, hasta las concentraciones compuestos tóxicos y sólidos suspendidos. Algunos de estos factores, particularmente los compuestos tóxicos, se han asociado a alteraciones perjudiciales, como la reducción de la tasa de crecimiento, la supresión del sistema inmune y el aumento en la susceptibilidad a infecciones bacterianas y virales (Kavitha & Krishna, 2020).

En definitiva, para comprender y contribuir a la solución de algunos problemas provocados por el desarrollo de enfermedades en el cultivo del camarón. La acuicultura se debe visualizar como un proceso ecológico natural donde existe un vínculo entre las condiciones ambientales, las interacciones ecosistémicas y la salud de los organismos de cultivo. Es así como, se establece una relación directa entre la nutrición, el ambiente y la salud de los camarones. Destacando la importancia de comprender y gestionar adecuadamente estos factores para promover su bienestar y ganancia económica del negocio.

Por ello, es importante analizar los resultados productivos y el papel que juegan los parámetros ambientales en el cultivo, para abrir la puerta a las futuras herramientas que permitirán tener un control más detallado de la calidad ecosistémica, así como de la eficiencia de los KPIs que intervienen en el cultivo de camarón.

OBJETIVO GENERAL

Comparar los ciclos de cultivo de *Penaeus vannamei* mediante la aplicación de índices de eficiencia productiva, demostrando la relación entre los parámetros fisicoquímicos y biológicos en el rendimiento zootécnico a cosecha.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar los resultados de KPIs finales de los ciclos producidos durante el periodo enero 2023 a enero 2024.
- Analizar los parámetros fisicoquímicos y fitoplancton registrados en los ciclos comprendidos en el periodo enero 2023 – enero 2024.
- Comparar los índices productivos finales vs los parámetros fisicoquímicos y fitoplancton estableciendo la correlación en los resultados finales de los ciclos de cultivo de *P. vannamei*.

HIPÓTESIS

H0: Los resultados de índices productivos están estrechamente relacionados a los parámetros fisicoquímicos y biológicos del cultivo de *P. vannamei*.

H1: Los resultados de índices productivos no se relacionan a los parámetros fisicoquímicos y biológicos del cultivo de *P. vannamei*.

CÁPITULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1. *Pennaeus vanamei*

P. vannamei, comúnmente conocido como camarón blanco del Pacífico o camarón blanco del Golfo, es una especie originaria de las aguas del Pacífico oriental. Siendo de los más importantes en la industria de la acuicultura debido a su rápido crecimiento, alta tolerancia a una amplia gama de condiciones de cultivo y excelente sabor. *P. vannamei* es originaria de la región del Pacífico oriental, pero debido a su facilidad de cultivo se ha extendido a numerosos países alrededor del mundo, incluyendo Ecuador, China, Tailandia, Vietnam, Indonesia y entre otros (FAO, 2006).

Los camarones *Penaeidos* ocupan un lugar destacado como los crustáceos de mayor relevancia y extensamente cultivados a nivel global, impulsados por su alta demanda entre los consumidores y su valor considerable en los mercados. Además, son adecuados para ser criados de manera intensiva gracias a su capacidad de adaptación a variedad de sistemas de cultivo, rápido crecimiento, la disponibilidad de postlarvas generadas mediante reproducción artificial, así como, su favorable respuesta a la

alimentación adicional (Anderson et al., 2019; Carneiro Silva et al., 2022; Kumar-Ghosh et al., 2020; Pandey et al., 2023).

Los camarones blancos del Pacífico tienen un cuerpo largo y delgado con una coloración que varía desde tonos marrones hasta tonos verdosos. Estos crustáceos pasan por varias etapas de desarrollo, desde larvas hasta adultos. El cultivo comienza con la producción de larvas en criaderos especializados, luego las larvas son transferidas a estanques de engorde donde crecen hasta alcanzar el tamaño comercial (Eco business fund Development Facility et al., 2021).

Esta especie es altamente adaptable y puede criarse en una variedad de sistemas como estanques de tierra, variedad de salinidades en agua, sistemas de recirculación continua y cultivos abiertos (Kumar et al., 2023). Se alimentan principalmente de una dieta compuesta por alimento balanceado, compuesto por ingredientes como harina de pescado, harina de soja y otros aditivos nutricionales (Lee et al., 1985; López et al., 2003; López-Elías et al., 2016).

Es una especie de gran importancia económica en la industria pesquera y acuícola. Su cultivo y comercio generan ingresos significativos en países productores, contribuyendo al empleo y al desarrollo económico local y nacional (FAO, 2006).

1.2. Ecdysis en *P. vannamei*

La ecdysis o muda es un proceso fundamental en la vida de *P. vannamei* y otros crustáceos. En el cual arrojan su exoesqueleto antiguo para permitir el crecimiento y desarrollo. Secretando una enzima llamada quitinasa, que disuelve la capa interna del exoesqueleto, permitiendo que el camarón se libere de su antiguo caparazón. Una vez que se ha completado este proceso, su nuevo exoesqueleto es suave y flexible, pero se endurecerá rápidamente a medida que calcifique. Llomitoa-Cadena (2001), explica 4 etapas durante el ciclo:

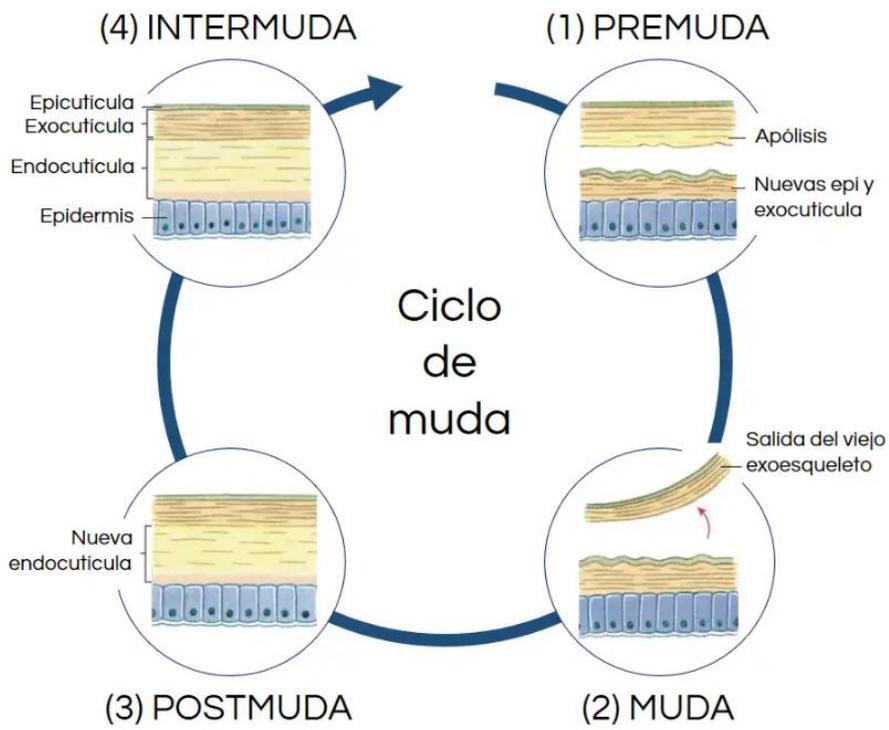
- Pre-muda (proecdysis): en esta etapa comienza a absorber agua y nutrientes para expandir su cuerpo y separar el exoesqueleto viejo del nuevo que está creciendo debajo. Durante esta etapa es primordial brindar condiciones adecuadas a los organismos para que puedan desarrollar el nuevo exoesqueleto adecuadamente (Figura 1).
- Muda (ecdycis): durante esta etapa, el camarón arroja su exoesqueleto antiguo a través de una fisura en la parte delantera del caparazón. El camarón emerge suave y vulnerable, con el nuevo exoesqueleto aún no endurecido. En este proceso el organismos se mantiene en los fondos de los estanques en estado de letargo, siendo más vulnerables a la exposición de variables ecosistémicas (Figura 1).

- Post-muda (metecdysis): después de arrojar su exoesqueleto, el camarón se infla para expandir el nuevo exoesqueleto y endurecerlo (Figura 1).
- Inter-muda (anecdysis): en esta etapa su nuevo exoesqueleto se endurece completamente (Figura 1).

Este proceso es vital para el crecimiento y la renovación del exoesqueleto. La frecuencia de la ecdisis está sujeta a factores tales como, la edad, la dieta, la temperatura del agua y condiciones ambientales. Además, la pre-muda, muda y post-muda son etapas del ciclo más vulnerables de los camarones a cualquier tipo de variación ecosistémica que podría detonar en mortalidad, mudas incompletas o poco frecuentes. Traducidas en menor crecimiento y supervivencia que afecta directamente al éxito en la producción de este animal.

Figura 1

Ciclo de las etapas de muda en crustáceos marinos.



Nota. Imagen obtenida de Garrido- Bautista (2018).

1.3. Nutrición en *P. vannamei*

Los requerimientos nutricionales de *P. vannamei*, varían en función de su etapa de vida y las condiciones de cultivo. La proteína es un componente esencial en la dieta, especialmente durante las etapas de crecimiento rápido como larvas y juveniles. Se ha observado que niveles de proteína en torno al 40 a 45% alcanzan pesos significativamente más altos a diferencia de aquellas dietas con proteínas de 15, 30 y 35% (Pedrazzoli et al., 1998).

Igualmente, los lípidos son importantes en la dieta de *P. vannamei*, proporcionando una fuente concentrada de energía. De acuerdo con Kanazawa et al. (1979), los requisitos de lípidos para peneidos recomendados para dietas comerciales oscilan entre el 6 y el 8%. También, se establece que el nivel no debe ser superior al 10%. En otro estudio se encontró que un rango de lípidos total entre el 8 y el 11% se considera óptimo para los juveniles de *P. vannamei*. Así como, niveles superiores al 11% como inferiores al 8% resultaron en un crecimiento más lento (Serrano Bermúdez et al., 2011).

Por otro lado, se requieren una variedad de vitaminas y minerales para mantener la salud y el crecimiento adecuados. Esto incluye vitaminas como la vitamina C, vitamina E, y minerales como el calcio y el fósforo. El estudio realizado por Lino & Gimenez (2004), demostró la importancia del ácido ascórbico (AA) en los camarones

penaídos, al detonar con efectos negativos en su fisiología cuando su nivel es insuficiente. Esto incluye, bajo crecimiento, baja eficiencia en F.C.A., frecuencia reducida o incompleta de la muda, una disminución de la resistencia al estrés, problemas en la síntesis de colágeno y cicatrización de heridas, así como la aparición de lesiones melanizadas debajo del exoesqueleto y una mayor tasa de mortalidad en el cultivo.

1.4. Indicadores claves de desempeño (KPIs)

En la acuicultura los KPIs son métricas utilizadas para evaluar el rendimiento y la eficacia de las operaciones. Según Barraza López (2012), en el cultivo de *P. vannamei* los principales indicadores que se utilizan son:

- El Factor de conversión alimenticia (F.C.A.): evalúa la eficiencia con la que los organismos convierten el alimento en biomasa.

$$FCA = \frac{\text{Cantidad de alimento consumido (kg)}}{\text{Aumento de peso corporal (kg)}}$$

- Supervivencia: indica el porcentaje de organismos que sobreviven durante un período de tiempo determinado se utiliza para evaluar la salud y el éxito general de una operación acuícola.

$$\text{Supervivencia (\%)} = \left(\frac{\text{Número de organismos al final del período}}{\text{Número de organismos al inicio del período}} \right) \times 100$$

- La Tasa de crecimiento de los organismos: mide la velocidad a la que los organismos acuáticos crecen en un determinado período de tiempo, para este estudio se determinará el peso lineal o peso promedio semana de cultivo.

$$\text{Peso lineal} = \frac{\text{Peso de cosecha} - \text{Peso de siembra}}{\text{Días de cultivo}} * 7$$

- Índice de eficiencia productiva: indicador productivo que se puede utilizar como herramienta para medir la rentabilidad en cultivos de camarón.

$$I. E. P = \frac{\text{Peso lineal} * \text{supervivencia.}}{F. C. A}$$

1.5. Condiciones de cultivo en Ecuador

Los camarones *Peneidos* dominan la producción de crustáceos en la acuicultura costera y representan una fuente significativa de ingresos en divisas para muchos países en desarrollo de América Latina y Asia (Gonzabay-Crespin et al., 2021). Este producto es ampliamente comercializado y es el segundo grupo de especies más importante en términos de valor de exportación.

La mayor parte de la producción se concentra en los países de América Latina y en las regiones del este y sudeste de Asia (Valenzuela-Quiñónez et al., 2011). El cultivo de camarón en Ecuador se realiza en sistemas extensivos o semi-intensivos. En piscinas de gran hectareaje y con contacto directo a condiciones ambientales sujetas a las características propias de agua y suelos de los diferentes sectores donde se lo realiza, que en su gran mayoría están ubicados en el margen litoral de la región y alimentados por diversas fuentes de agua.

Es por ello, que se describe una gran variedad de condiciones ambientales para el cultivo de estos organismos, más se establece los rangos óptimos para el éxito productivo de *P. vannamei* en los parámetros esenciales, descritos a continuación.

1.6. Oxígeno Disuelto (OD)

El OD es un factor crucial en el cultivo de *P. vannamei*, ya que influye directamente en la salud, el crecimiento y la supervivencia de los camarones. (Carchipulla, 2018). El oxígeno es esencial para el metabolismo de los organismos puesto que está inmerso en diferentes procesos oxidativos de liberación de energía y puede afectar la alimentación, crecimiento y reproducción de los camarones (Armijos-Hurtado & Villafuerte-García, 2020).

El consumo de oxígeno es un factor que indica la cantidad de energía consumida. El OD en agua no debe ser inferior E, es decir que bajo este valor se va a afectar la conversión de alimento en músculo del animal. A más que el OD Letal se establece según (Somiya & Fujii, 1984) en niveles bajo 1,5mg/L. Contrastando, para asegurar un metabolismo eficiente y reducir el estrés, se recomienda mantener niveles de oxígeno por encima de 5 mg/L (Valenzuela-Quiñónez et al., 2011).

Estrategias como el uso de aireadores de paleta y difusores de aire aumentan la oxigenación del agua mediante la creación de turbulencia y la inyección directa de aire. Al mismo tiempo, el monitoreo constante de los niveles de oxígeno es vital para identificar y corregir cualquier déficit a tiempo. Ajustar la densidad de población, controlar la calidad del agua y gestionar adecuadamente la alimentación son prácticas

fundamentales para evitar la acumulación de materia orgánica que consume oxígeno en el medio.

1.8. Temperatura (T°)

La temperatura es un factor ecológico que influye en los parámetros hidrológicos, que a su vez influyen en el metabolismo, crecimiento y otros procesos bioquímicos. Según Ramanathan et al. 2005, el rango óptimo para las especies de aguas cálidas es de 24–30 °C, como se cita en Kumar-Ghosh et al. (2020).

Mantener la temperatura dentro de este intervalo no solo favorece el metabolismo eficiente y la conversión alimenticia, sino que también fortalece la resistencia a enfermedades y mejora la conversión alimenticia, así como el crecimiento. Por otro lado, temperaturas extremas, tanto por encima como por debajo de este rango, pueden resultar perjudiciales, afectando negativamente la supervivencia, crecimiento y la asimilación de los piensos (Ayub, 2010)

1.9. Salinidad (Sal)

P. vannamei es un organismo eurihalino, es decir que tiene la capacidad de tolerar un rango amplio de salinidades. Se ha determinado que un rango de salinidad entre 15 y 25 ppt es ideal para su crecimiento y salud(Boyd, 2009). La salinidad un factor importante puesto que influye en muchas respuestas funcionales del organismo,

como el metabolismo, crecimiento, migración, comportamiento osmótico y reproducción. Las fluctuaciones repentinas en la salinidad afectarán las funciones osmorreguladoras del organismo en crecimiento y pueden conducir a la mortalidad (Kumar-Ghosh et al., 2020).

1.10. pH

El pH del agua juega un papel esencial en el cultivo efectivo de *P. vannamei*. Según Ramanathan et al. (2005), la mejor condición es de 7.8 a 8.5, como se cita en (Kumar-Ghosh et al., 2020). Un pH óptimo es crucial para mantener un ambiente acuático estable y propicio para el crecimiento de *P. vannamei*. Fluctuaciones significativas fuera de este rango pueden generar estrés en los camarones y afectar adversamente su fisiología, predisponiéndolos a enfermedades y reduciendo su tasa de supervivencia (Sánchez-fernández & Hernández-bautista, 2017; Sedano Vera & Anguis Climent, 2016).

1.11. Alcalinidad

Su adecuado nivel está intrínsecamente ligado a la estabilidad del pH y, por ende, al bienestar de los camarones en el cultivo. La alcalinidad actúa como un amortiguador, manteniendo el pH dentro de un rango óptimo para la vida acuática. Cuando ocurren procesos que tienden a acidificar o alcalinizar el agua, la alcalinidad

actúa como un sistema de amortiguación, contrarrestando estos cambios y manteniendo el pH relativamente constante.

Los niveles óptimos generalmente rondan entre 100 y 200 mg/L de carbonato de calcio (CaCO₃). Además, la alcalinidad también desempeña un papel en el metabolismo de los camarones y la disponibilidad de nutrientes, aspectos cruciales para su crecimiento y desarrollo (Sánchez-fernández & Hernández-bautista, 2017).

1.12. Calcio (Ca)

El Calcio desempeña un papel esencial debido a sus diversas funciones biológicas clave. En primer lugar, este elemento es fundamental en la formación y fortalecimiento del exoesqueleto de los camarones, proporcionándoles la estructura necesaria para su crecimiento y protección.

Conjuntamente, el calcio es vital para regular la osmorregulación en los camarones, ayudando a mantener el equilibrio de electrolitos en sus cuerpos y asegurando su adaptación a diferentes salinidades del agua. Asimismo, el calcio participa en procesos metabólicos esenciales, como la coagulación de la sangre, la contracción muscular y la transmisión nerviosa, que son cruciales para la salud y el funcionamiento adecuado de los camarones (Cheng et al., 2006).

1.13. Magnesio (Mg)

El magnesio desempeña un papel vital en el metabolismo de carbohidratos y proteínas, así como en la transmisión nerviosa y la contracción muscular en *P. vannamei*. Además, es fundamental para la coagulación sanguínea y la síntesis de ATP. La regulación del pH del agua también se ve influenciada por el magnesio, aunque en menor medida que otros elementos como el calcio (Roy et al., 2007).

1.14. Potasio (K)

Su función principal radica en la regulación osmótica, manteniendo el equilibrio de agua y sales dentro de los cuerpos de los camarones, lo que es vital para su adaptación a diferentes salinidades del agua. Igualmente, es fundamental para el funcionamiento celular, participando en la transmisión de señales nerviosas y la contracción muscular. También contribuye al metabolismo de carbohidratos y proteínas, lo que influye en el crecimiento y desarrollo adecuados de los camarones. Sumado que, en el medio acuático, el potasio ayuda a estabilizar el pH del agua, contribuyendo así a un entorno acuático saludable (Roy et al., 2007).

1.15. Nitrógeno (N)

Es un componente esencial tanto para la nutrición como para el mantenimiento de la calidad del agua en los sistemas acuícolas. En términos de nutrición, el nitrógeno

es crucial para la síntesis de proteínas y aminoácidos esenciales, que son fundamentales para el crecimiento y desarrollo de los camarones. Sin embargo, la presencia de nitrógeno en formas como amoníaco, nitritos y nitratos puede tener consecuencias negativas si se acumula en exceso.

El exceso de este parámetro puede provocar problemas como la eutrofización, donde hay un crecimiento excesivo de algas que agota el oxígeno del agua y afecta la salud de los organismos acuáticos. Una proporción equilibrada de nitrógeno a fósforo, idealmente en una relación de 16:1, es esencial para mantener la salud de los ecosistemas acuáticos. Cuando esta relación se ve perturbada, como por un exceso de fósforo, se crea un ambiente propicio para la proliferación de algas nocivas y el deterioro de la calidad del agua (Kavitha & Krishna, 2020).

1.16. Fósforo (P)

El fósforo desempeña un papel vital en la formación y fortaleza de las estructuras óseas y el exoesqueleto, lo que proporciona defensa contra lesiones y enfermedades, asegurando así un crecimiento óptimo en los organismos. Asimismo, el fósforo es un componente fundamental del ATP, la principal fuente de energía celular, lo que es esencial para mantener un metabolismo activo y sostenido. Respaldando el crecimiento constante de los camarones.

Por ello, el fósforo también es necesario para la transmisión de señales nerviosas y la contracción muscular, contribuyendo al funcionamiento del sistema nervioso y movilidad de *P. vannamei* (Boyd, 2009). Al mismo tiempo, la disponibilidad adecuada de fósforo en el entorno acuático es fundamental para el crecimiento saludable y la productividad óptima del fitoplancton. Al participar en la síntesis de ATP, la molécula de energía fundamental para la vida celular, así como en la formación de ácidos nucleicos como el ADN y el ARN, necesarios para la replicación y la expresión génica.

De igual manera, el fósforo regula diversas vías metabólicas y la actividad de enzimas que intervienen en la captación y utilización de nutrientes. También es esencial en la composición de los fosfolípidos, los componentes principales de las membranas celulares, que son cruciales para mantener la estructura y la integridad celular (Boyd C., 2013).

1.17. Chlorophyta

Comúnmente conocidas como algas verdes, son un grupo diverso de eucariotas fotosintéticos que pertenecen al filo *Chlorophyta* dentro del reino Plantae. Se caracterizan por su color verde, debido a la presencia de clorofilas a y b, y almacenan su energía en forma de almidón, similar a las plantas superiores. Estas algas tienen paredes celulares compuestas principalmente de celulosa y se pueden encontrar en una variedad de entornos, incluidos hábitats de agua dulce, marinos y terrestres. La reproducción en Chlorophyta puede ser tanto sexual como asexual.

Son importantes ecológicamente como productores primarios en los ecosistemas acuáticos y se utilizan como bioindicadores para monitorear la calidad del agua (Boyd, 2016). Además, las algas Chlorophytas, desempeñan un papel crucial en el cultivo de *P. vannamei*, al contribuir significativamente a la calidad del agua y a la salud de los camarones. Al ser de las principales productoras de OD, reduciendo el estrés y mejorando las condiciones de vida de los camarones. Además, las Chlorophytas compiten eficientemente por nutrientes como el nitrógeno y el fósforo, ayudando a prevenir la eutrofización y manteniendo un equilibrio ecológico en los estanques de cultivo.

Su presencia también está relacionada como fuente directa e indirecta de alimento para los camarones, complementando su dieta y promoviendo un crecimiento saludable. Estudios han demostrado que las Chlorophytas no solo mejoran la calidad del agua, sino que también influyen positivamente en la eficiencia productiva del cultivo de camarones (Boyd & McNevin, 2015; Li & Zhou, 2021; Nguyen & Le, 2019).

1.19. Bacillariophytas

Comúnmente conocidas como diatomeas, son un grupo de algas unicelulares que forman parte del fitoplancton. Se caracterizan por sus intrincadas paredes celulares de sílice, llamadas frústulas, que presentan patrones y formas complejas y diversas. Estas frústulas no solo proporcionan protección, sino que también son responsables de

la alta resistencia de las diatomeas a la degradación. De igual manera, contribuyen significativamente a la producción de oxígeno y al ciclo del carbono a través de la fotosíntesis. Son una fuente de alimento vital para muchos organismos acuáticos, incluidos los camarones.

Las diatomeas contribuyen significativamente a la producción de oxígeno durante el día, mejorando la calidad del agua y proporcionando un ambiente más saludable para los camarones. Además, las diatomeas son una fuente rica en ácidos grasos esenciales y otros nutrientes, lo que las convierte en un componente dietético valioso para los camarones juveniles, promoviendo su crecimiento y salud. Estas microalgas también compiten eficientemente por nutrientes.

La presencia abundante de diatomeas en el ecosistema acuático es un indicador de un ambiente saludable y bien balanceado, favoreciendo la estabilidad del ecosistema y la productividad del cultivo de *P. vannamei* (Boyd & McNevin, 2015; Li & Zhou, 2021; Martínez-Córdova & Peña-Messina, 2017; Nguyen & Le, 2019).

1.18. Cianophytas

También conocidas como cianobacterias o algas verdeazuladas, son un grupo de bacterias fotosintéticas que se encuentran en una amplia variedad de hábitats acuáticos y terrestres. A pesar de su nombre común, no son algas verdaderas, sino bacterias que realizan fotosíntesis oxigénica, similar a las plantas.

Estas bacterias, contienen clorofila a y otros pigmentos fotosintéticos, como la ficocianina, que les confiere su característico color. Las cianofitas son pioneras en la colonización de ambientes extremos y son conocidas por su capacidad de fijar nitrógeno atmosférico, un proceso vital para el ciclo del nitrógeno. Su presencia es fundamental en la formación de estromatolitos, estructuras sedimentarias antiguas. Sin embargo, bajo ciertas condiciones, como el exceso de nutrientes en cuerpos de agua, pueden proliferar y formar florecimientos nocivos que producen toxinas dañinas para otros organismos y la salud humana.

Las cianobacterias contribuyen a la producción de oxígeno durante el día, su respiración nocturna y descomposición pueden causar fluctuaciones en los niveles de OD, provocando estrés en los camarones. Además, algunas especies de cianobacterias producen toxinas que pueden afectar negativamente la salud de los camarones, reduciendo su crecimiento y aumentando la mortalidad. Estas toxinas también pueden comprometer la calidad del producto final, haciéndolo menos apto para el consumo humano.

La proliferación de cianobacterias suele estar vinculada a un exceso de nutrientes como N y P en el agua, lo que puede llevar a floraciones algales perjudiciales. Para manejar y controlar su crecimiento, es crucial mantener un equilibrio adecuado de nutrientes y asegurar una buena aireación y movimiento del agua en los estanques de cultivo (Boyd & McNevin, 2015; Li & Zhou, 2021; Nguyen & Le, 2019).

1.20. Dinoflagellata

Son un grupo diverso de protistas unicelulares que se caracterizan por tener dos flagelos que les permiten moverse de manera distintiva. Sus células están rodeadas por una capa rígida de placas de celulosa llamada teca, que proporciona protección y estructura.

Los dinoflagelados son notablemente diversos en sus modos de vida; algunos son autotróficos y realizan fotosíntesis, mientras que otros son heterotróficos y obtienen su energía alimentándose de otros organismos. Además, existen especies mixotróficas que combinan ambos métodos de nutrición.

Una característica notable de muchos dinoflagelados es su capacidad de producir bioluminiscencia. Sin embargo, algunos dinoflagelados pueden proliferar rápidamente bajo condiciones favorables y formar "mareas rojas", que son acumulaciones densas que pueden producir toxinas dañinas para la vida marina y la salud humana. A pesar de los riesgos asociados con algunos de ellos, los dinoflagelados son cruciales para el equilibrio de los ecosistemas acuáticos.

Algunas especies de dinoflagelados pueden proliferar rápidamente y formar floraciones algales nocivas (HABs), las cuales consumen oxígeno durante la noche, causando fluctuaciones que estresan a los camarones. Además, ciertos dinoflagelados producen toxinas que pueden ser perjudiciales, reduciendo el crecimiento y aumentando la

mortalidad de los camarones, así como comprometiendo la calidad del agua y la seguridad del producto final para el consumo humano (Boyd & McNevin, 2015; Li & Zhou, 2021; Martínez-Córdova & Peña-Messina, 2017; Nguyen & Le, 2019).

1.21. Rhodophytas

Las Rhodophyta, o algas rojas, son un filo de algas eucariotas que se distinguen por su pigmentación rojiza, la cual proviene de la presencia de pigmentos accesorios como las ficobiliproteínas (ficoeritrina y ficocianina) que enmascaran la clorofila a. Este grupo de algas se encuentra mayoritariamente en ambientes marinos, desde las zonas intermareales hasta las profundidades oceánicas, donde su capacidad para captar luz azul y verde les permite realizar la fotosíntesis en condiciones de baja luminosidad.

Las paredes celulares de las Rhodophyta están compuestas por celulosa y otros polisacáridos, como agar y carragenina, que tienen importantes aplicaciones comerciales en la industria alimentaria y farmacéutica. Además, muchas algas rojas son multicelulares y exhiben una gran variedad de formas y tamaños, desde filamentos delicados hasta estructuras robustas y complejas (Boyd, 2009).

1.22. Euglenophytas

Las Euglenophyta, comúnmente conocidas como euglenoides, son un grupo de protistas unicelulares que poseen características tanto de algas como de protozoos. Se caracterizan por su forma alargada y su movimiento mediante uno o dos flagelos que emergen de una estructura llamada reservorio.

Una de las características distintivas de los euglenoides es su capacidad de ser mixótrofos, lo que significa que pueden realizar la fotosíntesis gracias a la presencia de cloroplastos cuando hay luz disponible, y pueden alimentarse de materia orgánica cuando las condiciones de luz son desfavorables. Esta flexibilidad nutricional les permite sobrevivir en una variedad de condiciones ambientales.

Su superficie celular está recubierta por una película proteica que les da flexibilidad y resistencia. Los euglenoides también tienen una estructura única llamada estigma u "ojo rojo", que es un órgano fotosensible que les ayuda a orientarse hacia la luz, optimizando así la fotosíntesis.

Las proliferaciones de euglenophytas en un ecosistema acuático indican desequilibrios en la calidad del agua, generalmente asociados con la eutrofización. Este desequilibrio puede llevar a la disminución del oxígeno disuelto, especialmente durante la noche, causando condiciones de hipoxia o anoxia que pueden ser letales para los

organismos. Además, las proliferaciones de euglenophytas pueden aumentar la susceptibilidad a enfermedades y aumentar los costos de tratamiento del agua debido a la necesidad de controlar estas algas (KYTOS, 2023).

1.23. Cryptophytas

Las Cryptophyta, también conocidas como criptomonas, son un grupo de algas reconocidas por su estructura celular compleja y su capacidad de realizar fotosíntesis en condiciones de baja luminosidad. Se caracterizan por tener una estructura celular compleja que incluye dos flagelos desiguales que les permiten moverse con agilidad en el agua.

Una de las características distintivas de las criptomonas es la presencia de plastos que contienen pigmentos fotosintéticos como clorofilas a y c, así como pigmentos accesorios como las ficobiliproteínas, que les confieren una amplia gama de colores, así como realizar fotosíntesis en condiciones de baja iluminación. Las criptomonas también poseen una estructura denominada nucleomorfo, que es un remanente de un núcleo de un alga eucariótica endosimbiótica, lo que las convierte en organismos interesantes desde el punto de vista evolutivo.

Las algas pertenecientes al phylum Cryptophyta, son microalgas que desempeñan un papel crucial en los ecosistemas acuáticos y en el cultivo de *Penaeus vannamei*. Estas microalgas son fotosintéticas y contribuyen significativamente a la

producción de oxígeno durante el día, mejorando los niveles de oxígeno disuelto en el agua, lo cual es esencial para la salud y el crecimiento de los camarones (Boyd & McNevin, 2015).

Además, las Cryptophytas son ricas en ácidos grasos esenciales, vitaminas y otros nutrientes, convirtiéndose en una fuente valiosa de alimento que mejora la dieta natural de los camarones y promueve su crecimiento saludable (Martínez-Córdova & Peña-Messina, 2017).

Este Phylum de algas también compiten eficientemente por nutrientes como el nitrógeno y el fósforo, ayudando a mantener un equilibrio ecológico en los estanques y previniendo el crecimiento excesivo de algas perjudiciales (Li & Zhou, 2021). La presencia y abundancia de Cryptophytas pueden servir como indicadores de la calidad del agua, reflejando un ambiente acuático bien gestionado.

Estas microalgas son esenciales para mantener un ecosistema equilibrado y saludable en los estanques de cultivo (Globalseafood, 2023). Son indicadores de la calidad del agua y esenciales para un ecosistema equilibrado debido a su capacidad para mejorar la oxigenación del agua, proporcionar nutrientes esenciales a los camarones y mantener el equilibrio de nutrientes en el ecosistema, lo que previene problemas como la eutrofización y el crecimiento excesivo de algas nocivas.

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Descripción del área de estudio

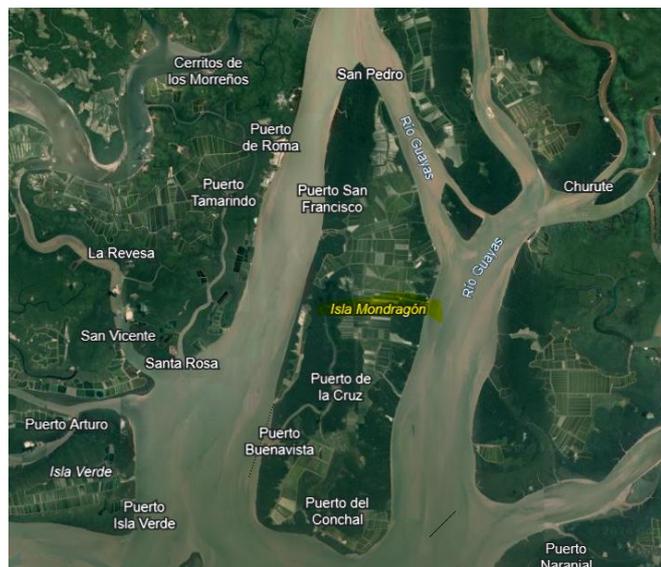
El estudio se realizó en una camaronera denominada X (por motivos de privacidad el cliente solicitó omitir su nombre) ubicada en la Isla de Mondragón, la cual está rodeada por aguas del Golfo de Guayas, manglares y estuarios circundantes (

Figura 2). Lo que le brinda las características propias ambientales del sector debido a la influencia fluctuante de agua estuarina y corrientes marinas.

Se seleccionó 1000 Hectáreas de cultivo con sistema abierto, semi-intensivo. De donde se recopiló información comprendida del periodo enero 2023 - enero 2024. Cabe indicar, que la totalidad de estanques seleccionados tuvieron manejo con tecnología de alimentación sónica en relación de 10.000 Libras/ alimentador automático (A.A.) a peso de cosecha entre 27 a 30 gramos. Además, se sembró los estanques a peso y densidad promedio de 0,31 gramos y 25 animales/m³, respectivamente. Con aireación automática en relación de 1,5 rpm/Hectárea.

Figura 2.

Camaronera ubicada en Isla Mondragón, geolocalización 2°32'52"S 79°50'26"W.



Nota. la imagen es extraída de Google Earth 2024.

2.2. Manejo de cultivo

El agua y suelo de las piscina de engorde se prepararon previamente con Carbonato de Calcio y enzimas descomponedoras de materia orgánica, así como fertilización dirigida con 4 días de anticipación a la siembra, siguiendo la guía de Eco business fund Development Facility et al. (2021). A continuación, se sembró los estanques de engorde con larvas de precría con manejo similar y protocolo de transferencia que se realizó según lo indicado en FAO (2004) y modificado por (Cuellar-Anjel et al., 2010).

Durante el ciclo de cultivo se utilizó protocolos de desinfección, biorremediación y mantenimiento de fertilización, mismos que se aplicaron a necesidad, según las condiciones del medio y el estado de salud de los animales. Para esto, se efectuó análisis de salud *in situ* de manera semanal y patología en fresco cada quince días, obteniendo las prevalencias e incidencias de los parásitos como sugiere (Busht et al., 1997) y se interpreta en la Guía técnica de Patología e inmunología de *Penaeidos* (Cuéllar-Anjel et al., 2014).

Para la colocación de los A.A., se tomó en consideración la batimetría de los estanques, buscando el punto óptimo en que se alimenta el camarón entre 80 a 120cm (Puente, 2009). De igual forma, se colocó en las piscinas el hidrófono tomando en cuenta las consideraciones expuestas en el manual del fabricante (Technologies, 2020). Posterior a la cosecha, se obtuvo los pesos de los animales promedio y las libras totales. Datos con los que se determinó el porcentaje de supervivencia, el peso promedio semana de cultivo y conjunto al alimento acumulado, se calculó el F.C.A., tal como indica (Barraza López, 2012).

Por otro lado, a lo largo de los ciclos se realizaron 2 pesos semanales los cuales tenían el propósito de controlar el crecimiento de los animales, la salud y el alimento suministrado. De igual forma, se corroboró la información con platos muestreadores que se ubicaron en cada A.A. a distancia de 3 y 10 metros, con la finalidad de corroborar que el trabajo de la tecnología sónica se ajuste a los procesos fisiológicos de los animales en las piscinas, así como establecen Armijos-Hurtado & Villafuerte-García (2020).

Finalmente, se calculó el I.E.P. con el conjunto de valores obtenidos durante las cosechas del periodo enero 2023 a enero 2024 (Barraza López, 2012). Es importante indicar que para efecto del análisis se hizo un promedio mensual de los ciclos cosechados y de la información de parámetros fisicoquímicos y fitoplancton.

2.3. Análisis y Muestreo de parámetros

2.3.1. Temperatura y Oxígeno Disuelto en agua

El monitoreo de los parámetros de temperatura (°C) y Oxígeno Disuelto (OD) fueron registrados de manera diaria in situ por medio YSI Pro20. Para ello, se calibró el equipo previamente por compensación de salinidad, como se indica en el manual (YSI, 2016).

A continuación, se procedió a sumergir la sonda lo más cercano al suelo de fondo sin tocar el lodo. Es importante mencionar, que el registro de estos valores se hizo por parte del parametrista de finca, en horario de las 6am en una libreta de campo para posteriormente ser copilados en una base de datos en software Excel 365. Donde, se registró los parámetros por cada unidad de producción y código de ciclo de cultivo.

2.3.2. Recolección y análisis de muestras de calidad de agua y fitoplancton

Para los análisis correspondientes a Compuestos Químicos, pH, Salinidad y Fitoplancton se utilizó un submuestreo (Lurry & Kolbe, 2016). Es decir que se recolectó una porción de agua del estanque en un recipiente que se trasladó a laboratorio de la camaronera.

En cuanto a los análisis de calidad de agua, el submuestreo se realizó a las 6am de manera quincenal por parte de personal de campo, la toma de muestra se efectuó sumergiendo el recipiente cerrado de 50 a 60cm de profundidad en la compuerta de salida del estanque (Chávez Rigaíl, 2013). Donde, se retiró la tapa y se llenó el embace. Mismo que, se cerró bajo el agua.

Seguidamente, se rotuló correspondientemente a la unidad de producción, para finalmente ser trasladado a laboratorio, donde personal a cargo midió el pH por medio de un pH-metro y salinidad (Sal) con refractómetro.

A continuación, se filtró el agua para realizar los diferentes ensayos y se ejecutó los ensayos químicos en fotómetro YSI 9500, que es un equipo que a través de los contrastes de colores y luz que brindan las pastillas de reactivos químicos. Provoca cambio en el matiz óptico de la muestra, detectada en la memoria electrónica del fotómetro mediante el blanco o testigo, que es una muestra sin catalizadores. Brindando un resultado de la cantidad de químicos presentes en el cuerpo de agua en

PPM. Es importante señalar que, las diluciones que se ejecutó en los análisis de calidad de agua estuvieron sujetas al espectro de lectura que tiene el instrumento para las diferentes Pruebas (Tabla 1).

Tabla 1.

Espectro de lectura de los Kits para análisis químicos de YSI 9500.

Test Kits	Rango
Alcalinidad Total	0-500 (CaCO ₃)
Amonia	0-1.0 (N)
Dureza del Calcio	0-500 (CaCO ₃)
Magnesio	0-100
Fosfato LR	0-4.0
Potasio	0-12

Nota. Tabla extraída y modificada del Manual YSI 9500 para los ensayos. Obtenido de YSI Incorporated (2010).

Por otro lado, para los análisis de fitoplancton el muestreo se ejecutó a las 12pm. En el cual se tomó agua de la compuerta de salida a una profundidad de 50 a 60 cm. Para luego, ser llevada la muestra a laboratorio donde se fijó con Lugol. Donde finalmente, se revisó en cámara de Sedgwick Rafter (Vicente et al., 2005).

2.3.3. Amonio Total

Para realizar este análisis se tomó 20mL del total de la muestra previamente filtrada en dos celdas de 10mL cada una. En una de las réplicas se procedió a colocar la pastilla para detección de amonio No.1, se maceró y colocó la siguiente pastilla No.2. Seguidamente, se permitió la reacción de los químicos durante 10 minutos, como dicta el manual de YSI Incorporate (2010).

Con el objetivo de calibrar el fotómetro, se colocó el blanco y se corrió el programa. A continuación, se leyó la réplica con reactivos y se registró los valores de NH_4 en una base de datos Excel.

2.3.4. Fosfato

Se tomó 20mL del total de la muestra filtrada, dividida en 2 celdas con 10mL cada una, el blanco y la muestra. Seguidamente, se colocó la pastilla de Phosphate No.1 y se maceró hasta homogenizar el reactivo. Luego se colocó la pastillas No.2 y se repitió el procedimiento anterior. A continuación, se dejó reposar por 10 minutos como se sugiere en el manual de YSI Incorporate (2010).

Para concluir, se calibró el fotómetro con el testigo y se procedió a leer la muestra. Los datos obtenidos se registraron como PO4 en la base de datos Excel.

2.3.5. Dureza Cálcica y Calcio

Se separó la muestra y el blanco de 10mL, respectivamente. En la muestra se diluyó la pastilla Calcicol No.1 con la ayuda de un pequeño mortero. Seguido se repitió el procedimiento con la pastilla No.2. Se dejó reaccionar durante 2 minutos (YSI Incorporate, 2010).

Por último, en la lectura se registró el blanco y luego se leyó la muestra. Al poco tiempo, el fotómetro nos arrojó un resultado en $CaCO_3$. Mismo que, se incluyó en la data de Excel y donde a continuación, se calculó el Ca iónico por medio de la siguiente constante (Chávez Rigáil, 2013):

$$CaCO_3 \times 0,4008 = ppm Ca^{+2}$$

2.3.6. Magnesio y Dureza Magnésica

De la misma manera al protocolo anterior, se colocó 2 celdas con 10mL de agua de la piscina cada una. En la muestra se maceró una pastilla de Magnecol y se dejó reaccionar durante 5 minutos (YSI Incorporate, 2010).

Para finalmente, leer el ensayo en el fotómetro. El programa arroja directamente el Mg en agua, valor que se registró en la data de Excel. Donde, seguidamente se calculó la Dureza Magnésica con la siguiente constante (Chávez Rigáil, 2013):

$$Mg^{+2} \div 0,292 = ppm MgCO_3$$

$$MgCO_3 \div 0,842 = ppm CaCO_3$$

2.3.7. Dureza Total

Para el cálculo de la dureza total se tomó los valores previamente obtenidos en los ensayos de Ca y Mg. Donde la dureza total es el resultado de la suma de las Durezas obtenidas del Ca y Mg, como se expresa a continuación:

$$Dureza Total = ppm CaCO_3(Ca) + ppm CaCO_3 (Mg)$$

2.3.8. Potasio

El análisis de Potasio se empezó tomando 1mL de muestra y diluyéndolo en 9mL de agua desionizada, tanto en muestra como en testigo. Se procedió a macerar una pastilla de Potassium homogéneamente. Finalmente se leyó la muestra, posterior a la calibración con el testigo en el fotómetro (YSI Incorporated, 2010).

El resultado arrojado por la máquina se multiplicó por 10 y se registró en la base de datos Excel 365.

2.3.9. Alcalinidad

El ensayo de alcalinidad se hizo con 10mL de la muestra más el blanco. En el 1 tubo de ensayo se colocó la pastilla Apkaphot, se maceró y se dejó actuar durante 1 minuto (YSI Incorporated, 2010). El resultado arrojado se registró en la data de Excel 365.

2.3.10. Sodio

El Sodio (Na) se obtuvo en base a la salinidad registrada, utilizando los siguientes cálculos estándar:

Salinidad = ppt \rightarrow ppm

Salinidad x 1000 = Sal ppm

Sal ppm x 0,306 = Concentración de Na (ppm)

Tomando en cuenta que en la proporción estándar el sodio es equivalente al 30,6% de la salinidad total en ppt (Laramore et al., 2013).

2.3.11. Fitoplancton

Para el análisis de fitoplancton se recolectó las muestras en los estanques utilizando botellas estériles. Se utilizó el método de la cámara de Sedgwick Rafter, que es una placa rectangular de vidrio con una profundidad fija. Y el microscopio con lentes de aumento de 10x y 40x para la observación (Vicente et al., 2005).

Durante el ensayo, previo a la toma de la alícuota se agitó suavemente la botella para asegurar una distribución homogénea de las algas. Seguido, con una pipeta se tomó 1mL de la muestra y se colocó en la cámara llenando completamente la cámara sin burbujas de aire. Luego, se esperó 5 minutos para permitir que las algas se asienten en el fondo previo a la observación.

A continuación, se colocó la cámara en la platina del microscopio y se realizó un barrido sistemático observando todos los campos de visión. Se contó y registró 10 campos de visión para obtener una muestra representativa. Y se identificó las algas por phylum al que pertenecían en base al manual de algas de la Comisión Oceanográfica Intergubernamental (2003).

Para el cálculo de la densidad de las microalgas se realizó el siguiente ejercicio (Guillard, 1978):

Densidad

$$= \frac{\text{Número total de algas contadas}}{\text{Número de campos de visión contados}} \times \frac{\text{Volumen total de la cámara (ml)}}{\text{Volumen de la muestra (ml)}}$$

2.4. Análisis de Datos

2.4.1. Análisis estadístico ANOVA

Con los resultados de los KPIs finales de los ciclos producidos en el periodo enero 2023 – enero 2024, se realizó análisis de varianza de un factor (ANOVA) con la herramienta Excel. Buscando establecer las diferencias significativas de los valores, como se describe a continuación.

Según Joaquín Amat (2016), ANOVA es una técnica estadística utilizada para determinar si existen diferencias significativas entre las medias de tres o más grupos independientes. Es decir que, te permite identificar si hay al menos una media de grupo que es diferente de las demás.

En el contexto de ANOVA, se formulan dos hipótesis:

- La hipótesis nula (H_0) establece que todas las medias de los grupos son iguales. En otras palabras, cualquier diferencia observada en las medias de los grupos se debe al azar y no a diferencias reales entre los grupos.

- La hipótesis alternativa (H_1) establece que al menos una de las medias de los grupos es diferente. Esto significa que hay una diferencia significativa entre al menos dos de los grupos.

La diferencia entre medias se detecta mediante el análisis de la varianza entre los grupos y dentro de los grupos. Para esto, el ANOVA descompone la varianza de la siguiente manera:

Variabilidad total = variabilidad debida a los diferentes niveles del factor + variabilidad residual

Esto es equivalente a:

variabilidad explicada por el factor + variabilidad no explicada por el factor

O también:

(varianza entre niveles) + (varianza dentro de los niveles)

Para calcular las diferentes varianzas, primero se deben obtener las Sumas de Cuadrados (SS o Sc):

- Suma de Cuadrados Total (TSS): mide la variabilidad total de los datos. Se define como la suma de los cuadrados de las diferencias de cada observación respecto a la media general de todas las observaciones. Los grados de libertad para la suma de cuadrados total son el número total de observaciones menos uno (N-1).
- Suma de Cuadrados del Factor (SST): mide la variabilidad en los datos asociada al efecto del factor sobre la media (la diferencia de las medias entre los diferentes niveles o grupos). Se obtiene como la suma de los cuadrados de las desviaciones de la media de cada grupo respecto a la media general, ponderando cada diferencia al cuadrado por el número de observaciones de cada grupo. Los grados de libertad correspondientes son el número de niveles del factor menos uno (k-1).
- Suma de Cuadrados Residual/Error (SSE): mide la variabilidad dentro de cada nivel, es decir, la variabilidad no atribuible al factor. Se calcula como la suma de los cuadrados de las desviaciones de cada observación respecto a la media del nivel al que pertenece. Los grados de libertad para la suma de cuadrados residual son la diferencia entre los grados de libertad totales y los grados de libertad del factor, o (N-k). En estadística, se emplea el término error o residual porque se considera que esta es la variabilidad debida a errores de medida. Desde un punto de vista biológico, tiene más sentido llamarlo Suma de Cuadrados dentro de Grupos, ya que la variabilidad observada no solo se debe

a errores de medida, sino también a muchos factores no controlados que afectan los procesos biológicos.

$$TSS=SSE+SST$$

Una vez descompuesta la suma de cuadrados, se puede obtener la descomposición de la varianza dividiendo la Suma de Cuadrados entre los respectivos grados de libertad. Estrictamente hablando, el cociente entre la Suma de Cuadrados y sus grados de libertad correspondientes se denomina Cuadrados Medios y se puede usar como estimador de la varianza. ANOVA se define como análisis de varianza, pero en un sentido estricto, es un análisis de los Cuadrados Medios.

- Cuadrados Medios Totales: cuasivarianza total (varianza muestral total)
- Cuadrados Medios del Factor: intervarianza (varianza entre las medias de los distintos niveles)
- Cuadrados Medios del Error: intravarianza (varianza dentro de los niveles, también conocida como varianza residual o de error)

Después de descomponer la estimación de la varianza, se obtiene el estadístico *Fratio* dividiendo la intervarianza entre la intravarianza:

$$F_{ratio} = \frac{\text{Cuadrados Medios del Factor}}{\text{Cuadrados Medios del Error}} = \frac{S_t^2}{S_E^2} = \frac{\text{Intervarianza}}{\text{Intravarianza}} \sim F_{K-1, N-K}$$

Dado que por definición el estadístico *F ratio* sigue una distribución *F de Fisher-Snedecor* con $k-1$ y $N-k$ grados de libertad, se puede determinar la probabilidad de obtener valores iguales o más extremos que los observados.

2.4.2. Análisis de coeficiente de Pearson

Se analizó las correlaciones por medio del coeficiente de correlación de Pearson en el programa analítico Python, ayudando a entender cómo las variaciones en el medio ambiente afectan la distribución de los géneros de fitoplancton por medio de la esquematización de un mapa de calor.

De la misma manera se correlacionó los KPIs con las variables paramétricas por medio del coeficiente de Pearson. Resultados que se sintetizaron en mapas de calor realizados con Software Python que muestra las correlaciones finales por mes a lo largo del periodo de estudio.

El cálculo del coeficiente de correlación se realizó en base a lo descrito en DATAtab Team (2024). Donde, se entiende que el coeficiente de correlación de Pearson, también conocido como Valor r , es una medida estadística que evalúa la fuerza y la dirección de la relación lineal entre dos variables cuantitativas. Este coeficiente puede variar entre -1 y 1. El coeficiente de Pearson se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$r = \frac{\sum(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum(X_i - \bar{X})^2 \sum(Y_i - \bar{Y})^2}}$$

Donde:

- X_i y Y_i son los valores individuales de las dos variables.
- \bar{X} y \bar{Y} son las medias de las variables X y Y .

En cuanto al rango de variables se entiende que si $r = 1$, indica una correlación positiva. A medida que una variable aumenta, la otra también lo hace en una relación lineal “perfecta”. Mientras que, cuando $r = -1$, se trata de una correlación negativa, es decir que a medida que una variable aumenta, la otra disminuye en una relación lineal “perfecta”. Asimismo, cuando $r = 0$ se entiende que no hay correlación lineal entre las dos variables.

Los resultados obtenidos de este cálculo por lo tanto serán un número entero o decimal que se interpreta de la siguiente manera

Tabla 2):

Tabla 2.

Rangos de las variables del Valor r y Fuerza de correlación

Valor r	Fuerza de la correlación
$0.0 < 0.1$	no hay correlación
$0.1 < 0.3$	poca correlación
$0.3 < 0.5$	correlación media
$0.5 < 0.7$	correlación alta
$0.7 < 1$	correlación muy alta

Nota. Tabla De Kuckartz et al: Statistik, Eine verständliche Einführung, 2013, p. 213.

Obtenida en DATAtab Team (2024).

Hay que considerar que el análisis de correlación de Pearson solo mide relaciones lineales entre variables, por ende, las variables deben tener una distribución aproximadamente normal. Además, la variabilidad de una variable debe ser similar a lo largo del rango de la otra variable. Es así como, este análisis estadístico es adecuado para datos continuos.

2.4.3. Análisis Power BI

PBI es una herramienta que permite el análisis de diferentes orígenes de datos que se relacionan entre sí. Para el presente estudio se ejecutó un informe con los resultados finales de KPIs, datos de Calidad de Agua quincenal, Oxígeno diario, Temperatura diaria y Fitoplancton semanal.

Para fines del análisis del presente estudio se realizaron promedios mensuales de cada uno de los registros de los parámetros fisicoquímicos y biológicos. Además, en las tomas de OD diario se procedió a promediar los OD de las 3 am y 6 am, se realizó una interpolación lineal en los datos que no habían sido registrados en el periodo de estudio. Utilizando la siguiente fórmula de Burden, R. L., & Faires, J. D. (2011):

$$y = y_0 + \frac{(x-x_0)(y_1-y_0)}{(x_1-x_0)}$$

Donde:

- x_0 y x_1 son los puntos del eje X conocidos.
- y_0 y y_1 son los puntos correspondientes al eje Y .

- X es el valor para el cual queremos interpolar.
- Y es el valor interpolado que queremos encontrar

Es así, que se cargó las consultas o tablas de datos en el software y fueron procesados y limpiados para poder ser analizados de manera conjunta a los resultados mensuales de pescas pertenecientes al mismo periodo.

Se esquematizó los resultados promedio mensuales de los KPIs de cultivo, la relación del comportamiento de las células totales/mL de Fitoplancton y el Oxígeno disuelto (OD), que se correlacionó con los promedios de KPIs.

Además, se sintetizó el comportamiento del Phylum Fitoplancton promedio mensual, relacionado con los parámetros ambientales y KPIs.

Por otro lado, se graficó la relación N/P con OD y KPIs promedio mensual, buscando establecer la relación fitoplancton, parámetros ambientales y resultados zootécnicos.

De igual manera, se detalló la relación del balance iónico, salinidad, ecuación de vida y KPIs mensuales. Asimismo, se resumió la relación de la proporción Na/Ca y Na/K con el I.E.P. mensual.

Finalmente, se graficó el comportamiento de la alcalinidad y pH con los KPIs promedio mensual de cultivo, estableciendo dichas relaciones.

CAPÍTULO III

3. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

3.4. Análisis estadístico de ANOVA en KPI's de cultivo de *P. vannamei*.

El ANOVA realizado sobre los datos de la cosecha indican que no existen diferencias significativas entre los distintos grupos evaluados. El valor F observado (0.502) es menor que el valor crítico para F (2.010), lo que sugiere que las variaciones observadas entre los grupos no son estadísticamente relevantes. Además, el valor p asociado fue de 0.901, significativamente mayor al umbral de 0.05, reafirmando que no se puede rechazar la hipótesis nula, misma que establece que cualquier variación observada en los datos de la cosecha entre los diferentes grupos es atribuible al azar y no a diferencias en los tratamientos aplicados.

En consecuencia, se concluye que los distintos resultados zootécnicos no tienen un impacto significativo en el rendimiento de la cosecha de *Penaeus vannamei*, lo que implica que no se puede determinar que algún grupo sea superior a los otros basándose en los datos proporcionados, de igual forma sugiere que estos datos están sujetos al azar, es decir que, los resultados finales de cosecha se deben a la interacción propia con

las variaciones ecosistémicas que no pueden ser controladas al ser sistemas de cultivo semi-intensivos con flujo de agua abierto (

Tabla 3 y 4).

Tabla 3.

Resumen de ANOVA Unidireccional en supervivencia, Incremento lineal semanal y Factor de Conversión Alimenticia de las piscinas cosechadas en el periodo enero 2023 – enero 2024.

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
<i>ene-23</i>	4	5.408683192	1.352170798	0.34845837
<i>feb-23</i>	4	4.018668614	1.004667153	0.23874938
<i>mar-23</i>	4	4.961153042	1.240288261	0.35097001
<i>abr-23</i>	4	5.775843733	1.443960933	0.34189123
<i>may-23</i>	4	3.870807132	0.967701783	0.11317741
<i>jun-23</i>	4	4.152957244	1.038239311	0.38987584
<i>jul-23</i>	4	3.438101313	0.859525328	0.34110444
<i>ago-23</i>	4	5.037686428	1.259421607	0.52980581
<i>sep-23</i>	4	5.373300621	1.343325155	0.51011024
<i>oct-23</i>	4	4.581276156	1.145319039	0.25834733

<i>nov-23</i>	4	5.076207919	1.26905198	0.15470435
<i>dic-23</i>	4	6.060658894	1.515164723	0.25185095
<i>ene-24</i>	4	5.569542267	1.392385567	0.33849584

Tabla 4.

Análisis de Varianza entre en supervivencia, Incremento lineal semanal y Factor de Conversión Alimenticia de las piscinas cosechadas en el periodo enero 2023 – enero 2024.

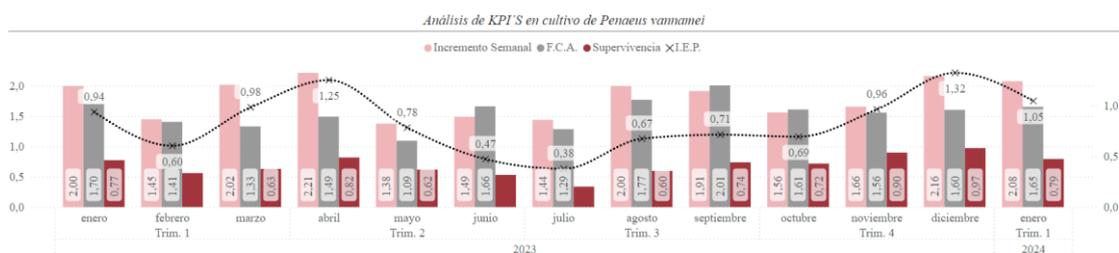
ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
<i>Entre grupos</i>	1.93025034	12	0.160854195	0.50175978	0.900797134	2.01018266
<i>Dentro de los grupos</i>	12.5026236	39	0.320580092			
<i>Total</i>	14.43287394	51				

3.5. Análisis de KPI's en cultivo de *P. vannamei*.

Figura 3

Análisis del promedio del I.E.P., F.C.A., Incremento lineal y supervivencia promedio, por piscina - ciclo de manera mensual



Nota. El gráfico representa el promedio mensual de los KPIs obtenidos de cosecha en el periodo enero 2023 – enero 2024.

El análisis de los KPI's muestra que existe una variabilidad significativa en el Índice de Eficiencia Productiva (I.E.P.), el Factor de Conversión Alimenticia (F.C.A.), el porcentaje de supervivencia y el incremento lineal semanal a lo largo del tiempo. En general, se observa que un I.E.P. más alto, indica una mejor eficiencia productiva, tiende a asociarse con un mayor porcentaje de supervivencia y un F.C.A. más bajo. Por ejemplo, en abril 2023, diciembre 2023 y enero 2024, los I.E.P. más altos (1.25, 1.32 y 1.05) coinciden con los porcentajes de supervivencia más altos (82%, 97% y 79%) y F.C.A. relativamente bajos (Figura 3).

Los datos analizados con el coeficiente de Pearson revelan varias relaciones importantes entre el I.E.P., el F.C.A., el porcentaje de supervivencia y el incremento lineal semanal. En primer lugar, el I.E.P. muestra una correlación muy fuerte con la

Supervivencia (0.864) y el Incremento Semanal (0.778). Lo que corrobora, lo antes mencionado sobre la relación del I.E.P. con la supervivencia final de cultivo y el crecimiento de los animales. Además, se observa que el F.C.A. tiene una correlación moderada con el Incremento Semanal (0.453) y la Supervivencia (0.370), pero una correlación baja con el I.E.P. (0.058).

Estos resultados sugieren que el F.C.A. presenta una tendencia moderada a aumentar a medida que aumenta el crecimiento en el cultivo, así como la supervivencia. Esto indica que los animales no están convirtiendo el alimento balanceado de manera efectiva, ya que están utilizando la energía obtenida del alimento para cubrir otros requerimientos dentro de procesos metabólicos para la compensación de variables ambientales lo que no permite que expresen su máximo potencial de crecimiento. A su vez, dicho crecimiento se encuentra sujeto a expresiones genéticas.

Además, también incrementa el crecimiento semanal esto se atribuye al aumento en la salud animal que está estrechamente relacionado con el alimento, es decir que, una mejor alimentación mantiene la supervivencia del cultivo y por ende hay mayor crecimiento. Por lo tanto, el F.C.A. si bien tiene una correlación baja con el I.E.P. Por otro lado, el Incremento lineal semanal muestra una correlación positiva fuerte con el I.E.P. (0.778), lo que implica que un mayor incremento lineal semanal podría estar relacionado con una mejor eficiencia productiva.

Finalmente, la Supervivencia presenta una fuerte correlación positiva con el I.E.P. (0.864), indicando que una mayor supervivencia está fuertemente asociada con un mayor I.E.P. En resumen, estos resultados destacan la importancia de mantener un F.C.A. bajo y una alta supervivencia para optimizar el I.E.P. en los sistemas de cultivo.

3.6. Análisis del I.E.P. promedio en base a Alimento balanceado.

El análisis de los resultados del I.E.P. por proveedor de alimento balanceado revela que Alimento C se destaca con el promedio más alto de I.E.P., alcanzando un valor de 1.055. Esto sugiere que los cultivos que utilizan el Alimento C presentan una mayor eficiencia productiva en comparación con los otros proveedores. Seguido por Alimento B, con un promedio de 0.995, también muestra un buen desempeño, aunque ligeramente inferior al de Alimento C.

Finalmente, Alimento A tiene el promedio de I.E.P. más bajo, con un valor de 0.892, lo que indica que, aunque su rendimiento es menor, todavía puede ser una opción viable dependiendo de otros factores como el costo y las condiciones específicas del cultivo. En resumen, Alimento C parece ser la mejor opción en términos de eficiencia productiva, seguido de cerca por Alimento B, mientras que Alimento A presenta áreas potenciales de mejora (Tabla 5).

De igual manera, si comparamos los resultados finales por proveedor de Alimento Balanceado, se destaca que la variación de los KPIs se encuentra sujeta también a la calidad de alimento proporcionado durante el engorde de camarón.

Tabla 5

Tabla de promedios mensuales de I.E.P. por proveedor de alimento balanceado.

Proveedor Alimento	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Alimento A	0.882	0.657		1.706	1.139	0.531	0.561		0.850		1.278	1.423
Alimento B	1.264	0.825	1.231	1.430	1.322	0.595	0.642	0.778	0.692	0.842	1.046	1.271
Alimento C	0.884		1.027	1.160	1.034	0.570						1.655

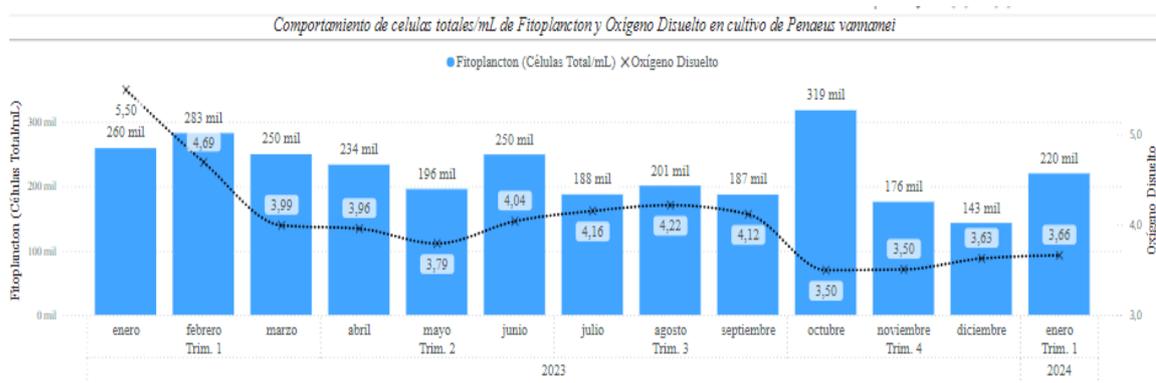
Nota: Se detalla 3 tipos diferentes de alimentos durante el cultivo de engorde de P. vannamei.

Mismos que fueron nominados como Alimento A, B y C por privacidad de la información.

3.7. Análisis del comportamiento de Células totales/mL Fitoplancton, Oxígeno Disuelto y KPI's en cultivo de *P. vannamei*.

Figura 4

Comportamiento de Células totales/mL de fitoplancton y oxígeno disuelto promedio mensual en cultivo de *P. vannamei*.



Nota: Se establece el promedio mensual del total de células cuantificadas de fitoplancton y comportamiento de OD en agua.

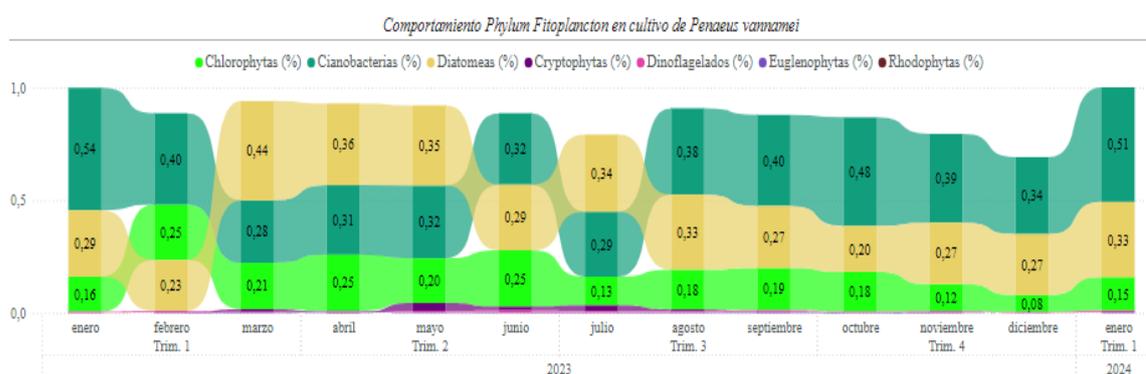
Los datos muestran que la densidad del fitoplancton varía entre 319mil cel/mL y 143 mil cel/mL, mientras que los niveles de oxígeno disuelto oscilan entre 3.50 ppm y 5.50 ppm (Figura 4). Adicional, el análisis de correlación realizado entre las variables de OD, concentración de fitoplancton (células totales/mL) e I.E.P. en el cultivo de *Penaeus vannamei* reveló una correlación positiva moderada (0.297) entre el oxígeno disuelto y la concentración de fitoplancton, lo que sugiere que niveles más altos de oxígeno disuelto están asociados con una mayor cantidad de fitoplancton en el agua.

Por otro lado, la relación entre el oxígeno disuelto y el I.E.P. fue negativa y débil (-0.212), indicando que un aumento en el oxígeno disuelto podría estar relacionado con una ligera disminución en la I.E.P. Asimismo, se observó una correlación negativa moderada (-0.273) entre la concentración de fitoplancton y el I.E.P., sugiriendo que mayores niveles de fitoplancton pueden estar asociados con una disminución en la eficiencia productiva de los camarones. Estableciendo la relación entre OD y Fitoplancton, la cual fue alta. Podemos determinar que el I.E.P. se ve afectado por la cantidad de células/mL de fitoplancton y otros parámetros como el N y P. Más no por el OD el cual se mantiene alto gracias a la implementación de aireación mecánica dentro del sistema de cultivo.

3.8. Análisis del comportamiento por phylum fitoplancton, parámetros ambientales y KPIs en cultivo de *P. vannamei*.

Figura 5

Análisis del comportamiento de familias de fitoplancton a través del tiempo.



Nota. Se detalla los Phylum de algas Chlorophyta, Cyanophyta, Diatomeas, Cryptophyta, Dinoflagelados, Euglenophyta y Ochrophytas en porcentaje de distribución de las muestras analizadas.

La Figura 5, nos muestra que en los meses de enero y febrero 2023 existió mayor incidencia de algas Cianobacterias en el medio. Por otro lado, en los meses de marzo, abril y mayo 2023 se observa dominancia de algas Diatomeas, seguidas de algas Cianobacterias. Mismas que tienen un repunte en el mes de junio y volviendo a descender en el mes de julio. Para mantenerse constantes como phylum predominante por el resto de los mes a partir de agosto 2023 a enero 2024. De igual manera se observa un repunte de los phylum Cryptophytas, Euglenophytas y Ochrophytas en el periodo abril 2023 a agosto 2024.

En el mapa de calor de las correlaciones de Pearson (Figura 6) se observó que las Chlorophytas tiene una correlación positiva fuerte el Fosfato (0.790) lo que sugiere que niveles más altos de fosfato en el agua están asociados con un aumento en la cantidad de Chlorophytas. Este hallazgo indica que el fosfato es un nutriente clave para este phylum de fitoplancton. Por otro lado, el análisis mostró correlación positiva moderada con el OD (0.383), indicando que un mayor OD en el agua puede estar relacionado con una mayor presencia de Chlorophytas. Además, se evidenció una correlación positiva moderada (0.440) con la °T, mostrando que temperaturas más altas podrían favorecer el crecimiento de Chlorophytas

Por otro lado, las Cianobacterias tiene una correlación positiva muy fuerte con el Mg (0.924). Esto indica que la presencia de cianobacterias aumenta significativamente con niveles más altos de Mg. De la misma manera, se encontró correlación positiva fuerte con el Ca (0.827) y correlación positiva muy fuerte con el K (0.903). Destacando la importancia de estos mineral en su proliferación. A su vez, se estableció correlación positiva débil con el OD (0.194), mostrando una leve relación de este Phylum con la cantidad de OD presente en el agua.

En oposición, las Algas Diatomeas arrojaron correlación positiva moderada con OD (0.391) y correlación negativa fuerte (-0.622) con las Cianobacterias. Mostrando una competencia significativa entre estos Phylum que participan antagónicamente en el ecosistema. Lo que propone que las Cianobacterias y Diatomeas, aunque tienen un gran impacto en ciclos biogeoquímicos globales, son algas adversarias que compiten

por recursos. Las Diatomeas contribuyen significativamente al ciclo del carbono y del silicio. En contraste, las Cianobacterias son esenciales para el ciclo del nitrógeno y pueden prosperar en condiciones extremas por lo que se entiende porque su correlación con el OD, aunque positiva es débil.

En cuanto a la correlación por KPIs, se observa que las Chlorophytas presentan correlación negativa moderada (-0.273). Esto sugiere que un aumento en la cantidad de Chlorophytas está asociado con una ligera disminución en la eficiencia productiva. De igual manera, existe correlación negativa débil con la supervivencia (-0.375). Indica que mayores niveles de Chlorophytas podrían estar asociados con mayor mortalidad. De igual forma, se presenta correlación negativa débil con el F.C.A. (-0.090) y Correlación prácticamente nula con el Incremento semanal (0.010).

Por otro lado, las Cianobacterias arrojan correlación prácticamente nula con el I.E.P. (0.013). Esto indica que no hay una relación significativa entre la cantidad de cianobacterias y la eficiencia productiva. En cuanto a la supervivencia, se obtiene correlación positiva débil (0.333). Sugiriendo que niveles más altos de cianobacterias pueden estar ligeramente asociados con una mejor supervivencia.

Además, existe correlación positiva moderada con F.C.A. (0.489) y correlación positiva moderada con el Incremento semanal (0.484). Sugiere que un aumento en cianobacterias está relacionado con un incremento semanal ligeramente mayor. Lo que indica que un mayor contenido de cianobacterias puede estar relacionado con un mayor crecimiento.

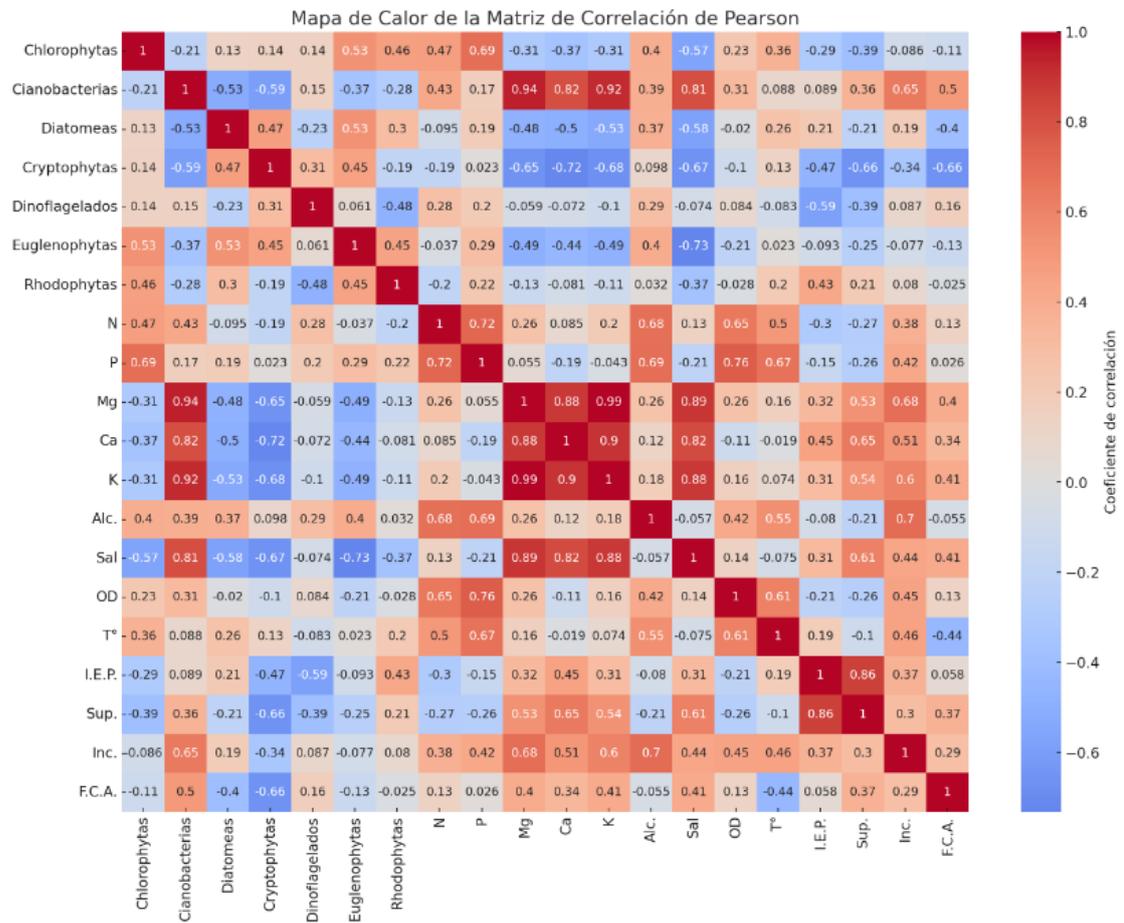
En cuanto a las Diatomeas la correlación de Pearson muestra correlación positiva moderada con el I.E.P. (0.322). Esto sugiere que el aumento de este Phylum está asociado con mayor eficiencia. De la misma manera, se observó correlación negativa débil hacia el F.C.A. (-0.342), así como correlación positiva débil hacia el Incremento semanal (0.242) Esto sugiere que un aumento en diatomeas está relacionado con un menor consumo de alimento por hectárea y mayor crecimiento Lineal semanal en cultivo. Sin embargo, se evidencia correlación negativa débil con la supervivencia (-0.223). De hecho, en la figura 5 se aprecia la presencia conjunta de Phylum de Criptophytas, Euglenophytas y Dinoflagelados en las mismas fechas. Lo que indicaría la baja supervivencia en cultivo y la correlación con las Diatomes.

En conclusión, las algas Diatomeas tienen una correlación positiva moderada con el I.E.P., sugiriendo que pueden contribuir a una mayor eficiencia productiva. Además, las Cianobacterias muestran una relación positiva moderada con el F.C.A. y el incremento semanal, sugiriendo que pueden contribuir un mayor crecimiento, aunque el F.C.A. se ve afectado.

De igual manera, las Criptophytas presentan correlaciones negativas moderadas con el I.E.P. y supervivencia. Lo que indica que su presencia podría ser perjudicial para estos KPIs. Es así como, estos hallazgos subrayan la importancia de gestionar adecuadamente los diferentes tipos de fitoplancton y calidad de agua para optimizar los indicadores clave de desempeño en el cultivo de *Penaeus vannamei*.

Figura 6

Mapa de calor de la correlación de Pearson entre variables de parámetros ambientales (Oxígeno Disuelto, Temperatura, Salinidad, Nitrógeno Total, Fósforo, Magnesio, Calcio, Potasio y Alcalinidad), variables ecológicas (Chlorophytas, Cianobacterias, Cryptophytas, Dinoflagelados, Euglenophytas, Diatomeas) e I.E.P.

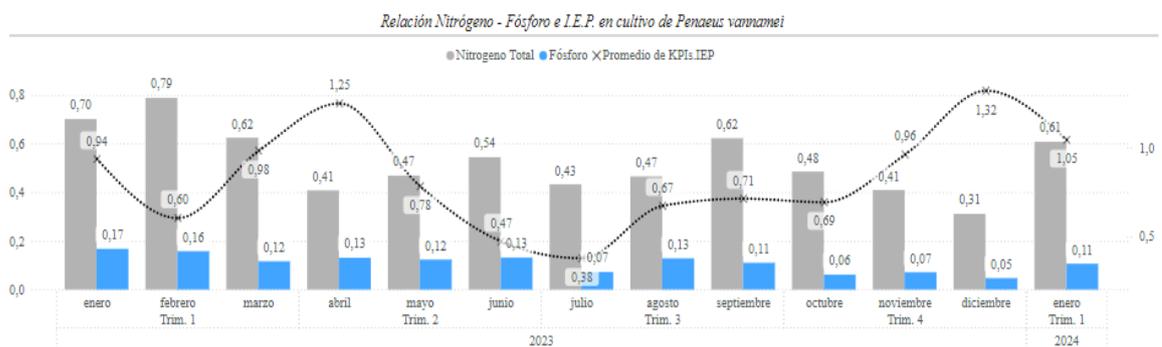


Nota. Se establece dentro de la figura escala de color donde el color azul representa los coeficientes de correlación de Pearson más bajos. Mismos que, progresivamente aumentan hasta llegar al rojo indicando mayor correlación.

3.9. Análisis de la relación Nitrógeno y Fósforo en cultivo de *P. vannamei*

Figura 7

Análisis de relación nitrógeno, fósforo e I.E.P. promedio mensual en el cultivo de *P. vannamei*.



El análisis de la relación del N y P muestra la variación que existe de estos parámetros (

Figura 7), conjunto a la matriz de correlación de Pearson nos proporciona información sobre la relación lineal entre las diferentes variables (Figura 8). El estudio analizó la influencia de las concentraciones de nitrógeno total y fósforo, en el rendimiento zootécnico de *P. vannamei*, evaluando su relación con el I.E.P. y el fitoplancton (células totales/mL).

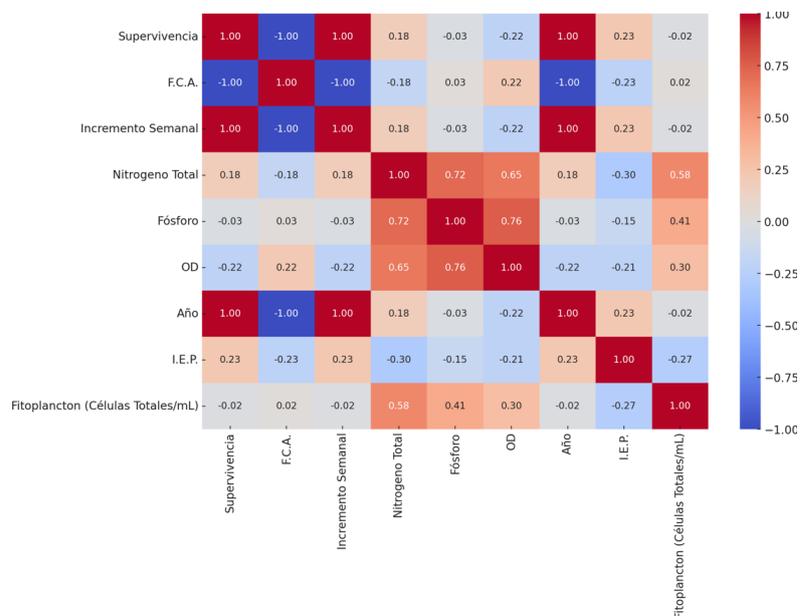
Se observa una correlación negativa moderada entre el nitrógeno total y el IEP (-0.35), así como entre el fósforo y el IEP (-0.39). La cantidad de fitoplancton muestra una correlación positiva moderada con el nitrógeno total (0.66) y el fósforo (0.57), sugiriendo una posible influencia de estos nutrientes en la proliferación de fitoplancton.

Adicional, El N y P tienen correlación extremadamente alta (0.96). Esto sugiere que estas dos variables varían de manera muy similar. Así como, correlación moderada positiva del Fitoplancton con el I.E.P. (0.32).

Lo que indica mayor cantidad de fitoplancton tiende a ser más alto el I.E.P. En conclusión, los resultados indican que ni el nitrógeno total ni el fósforo tienen un impacto directo y significativo en el I.E.P. o en el fitoplancton según los datos analizados, destacando la necesidad de considerar otros factores en la gestión de estos cultivos para mejorar la eficiencia productiva.

Figura 8

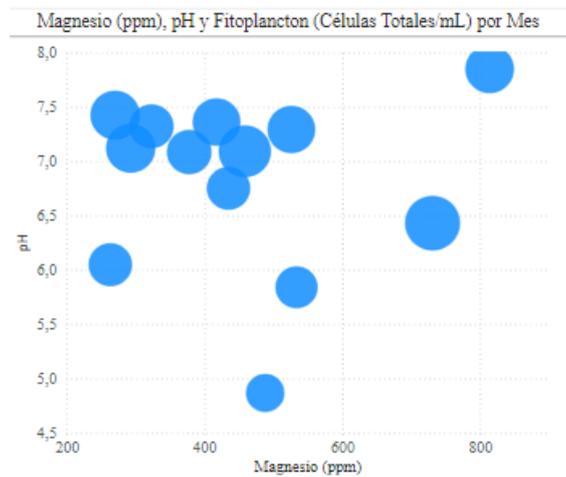
Mapa de calor de la matriz de correlación de Pearson relación Nitrógeno, Fósforo, OD, Fitoplancton y KPIs en cultivo de *P. vannamei*.



3.10. Análisis de la Influencia del Magnesio y pH en la proliferación del Fitoplancton

Figura 9

Influencia del Magnesio y pH en la proliferación de Fitoplancton (Células Totales/mL) promedio mes.



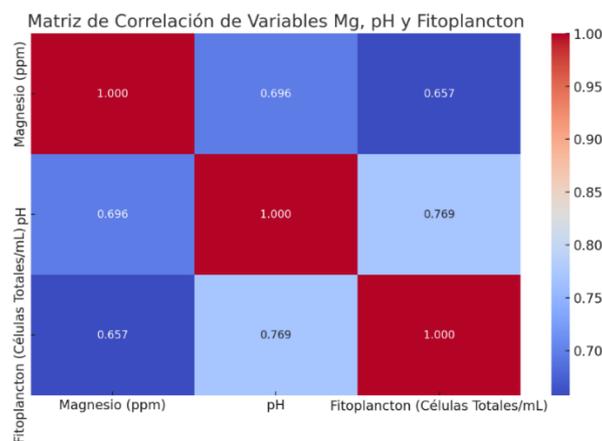
La Figura 9 muestra una mayor afinidad a la proliferación de fitoplancton en rangos de 7,5 a 8,0 pH con Mg entre 300 a 400 ppm. En otras instancias, el análisis de la relación entre el magnesio (ppm), el pH y la cantidad de fitoplancton (células totales/mL) en el cultivo de *Penaeus vannamei* revela que el magnesio tiene una influencia moderada en la proliferación del fitoplancton, con una correlación positiva de 0.270.

Esto sugiere que un aumento en la concentración de magnesio en el agua está asociado con un incremento en la cantidad de fitoplancton. Por otro lado, el pH del agua muestra una correlación positiva baja (0.180) con el fitoplancton, indicando una ligera relación entre estas variables. Adicionalmente, existe una correlación positiva moderada (0.220) entre el magnesio y el pH, sugiriendo que niveles más altos de magnesio están ligeramente asociados con un pH más elevado.

Concluyendo, el magnesio parece tener una mayor influencia en la cantidad de fitoplancton en comparación con el pH, aunque ambas relaciones no son muy fuertes, destacando la necesidad de considerar otros factores en la gestión de estos cultivos para optimizar la eficiencia productiva (Figura 10).

Figura 10

Mapa de calor de la matriz de Correlación de Pearson en Variables de Mg, pH y Fitoplancton en cultivo de *P. vannamei*.



3.11. Análisis de Calcio, Magnesio y Potasio en cultivo de *P. vannamei*

Figura 11

Análisis del promedio mensual de la relación de Calcio, Magnesio, Potasio y Salinidad en cultivo de *P. vannamei*.

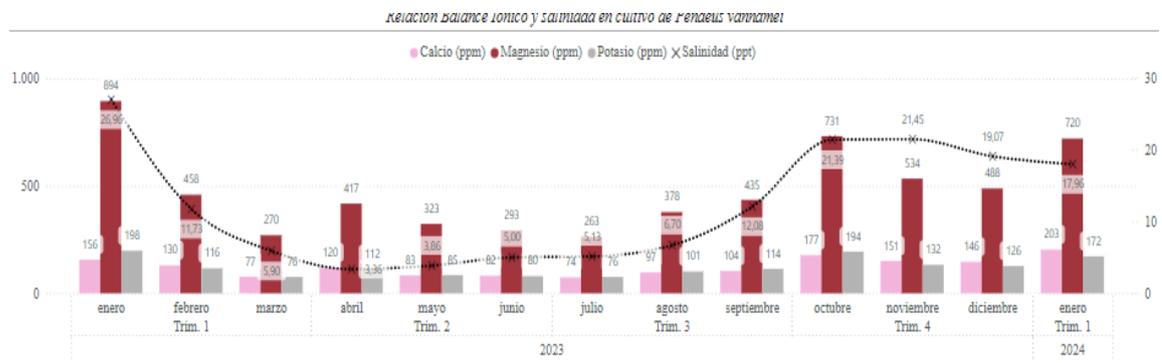
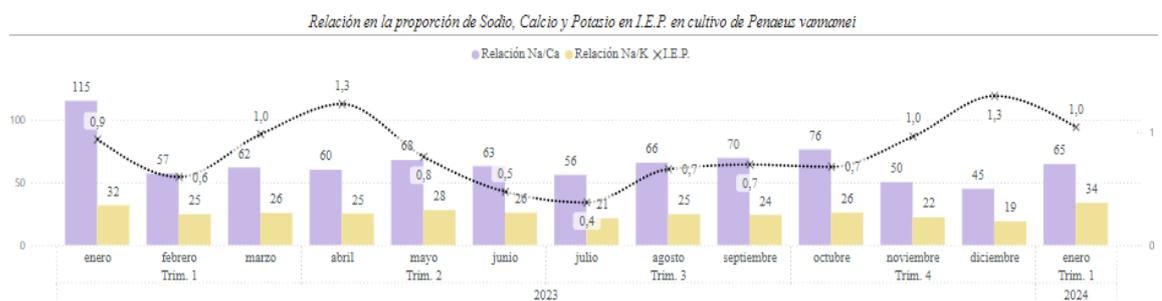


Figura 12

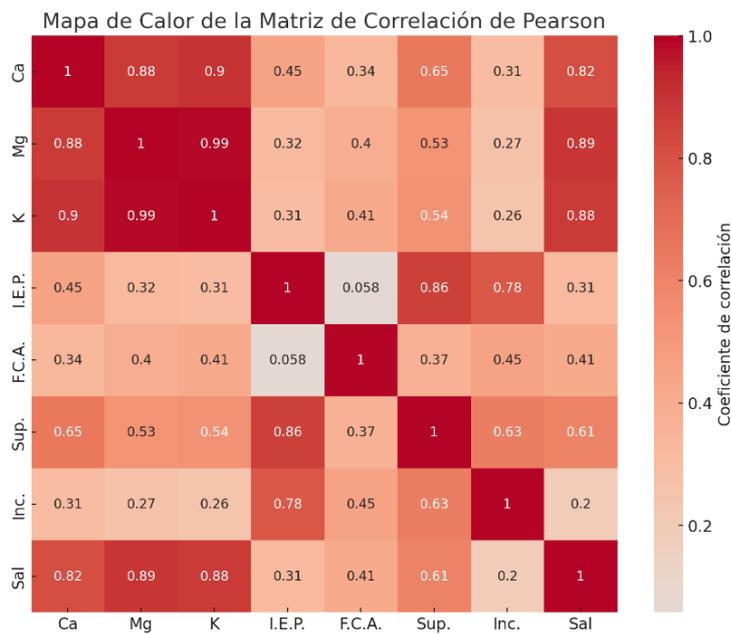
Relación de Sodio/Calcio (Na/Ca) y Sodio/Potasio (Na/K) en el I.E.P. del cultivo de *P. vannamei*.



Como se observa en Figura 11, los valores de Ca y Mg muestran variaciones significativas a lo largo del tiempo, con ascensos y descensos notables en diferentes meses. Por ejemplo, el Ca alcanza su máximo en octubre de 2023 (177 ppm) y su mínimo en marzo de 2023 (77 ppm), mientras que el Mg tiene su valor más alto en enero de 2023 (894 ppm) y el más bajo en marzo de 2023 (270 ppm). De la misma forma, la salinidad muestra la tendencia al ascenso y descenso conjunto al balance de iones.

Figura 13

Mapa de calor de la matriz de correlación de Pearson entre las variables Balance iónico, Salinidad y KPIs en cultivo de *P. vannamei*.



En otras instancias, la matriz de correlación de Pearson muestra una visión detallada de las relaciones del medio, donde existe una correlación positiva moderadamente fuerte entre el Ca y Mg (0.644), lo que indica que estos dos elementos tienden a variar juntos. Esta relación puede ser indicativa de procesos geológicos o biológicos que afectan a ambos elementos de manera similar.

Además, la correlación entre la Sal y K es positiva moderadamente fuerte (0.597), sugiriendo que el contenido de potasio está relacionado con la salinidad. Esto puede ser debido a que ambos parámetros se ven influenciados por las mismas fuentes o procesos, como la evaporación del agua que concentra estos compuestos.

Las variables químicas muestran relaciones positivas con la supervivencia de los organismos en el ecosistema estudiado. El Ca presenta una correlación positiva moderada (0.214) con la supervivencia, indicando que niveles más altos de calcio pueden favorecer la supervivencia, aunque su impacto no es tan pronunciado. El Mg tiene una correlación positiva más fuerte (0.269), subrayando su importancia en funciones biológicas críticas que pueden mejorar la salud y la supervivencia de los organismos.

Por otro lado, el K muestra una relación positiva significativa (0.335) con la supervivencia, destacando su papel crucial en la regulación celular y el equilibrio osmótico. La Sal, con una correlación de 0.494, también tiene una influencia positiva, lo que sugiere que mantener un nivel adecuado de salinidad es esencial para la homeostasis y la supervivencia en ambientes acuáticos.

Las variables ambientales muestran relaciones negativas con F.C.A., indicando que niveles más altos de estos elementos se asocian con una mayor eficiencia de cultivo. El Ca presenta una correlación positiva insignificante (0.030) con el F.C.A., sugiriendo que mayores niveles de calcio mejoran la conversión del alimento en biomasa. El Mg tiene una correlación negativa más fuerte (-0.137), lo que resalta su papel crucial en los procesos metabólicos que optimizan el uso del alimento.

El K también muestra una correlación negativa (-0.026) con el F.C.A., indicando que es esencial para la eficiencia alimenticia debido a su influencia en la función celular. La Sal, con una correlación de -0.181, subraya la importancia del equilibrio osmótico y la homeostasis en la conversión eficiente del alimento. Aunque dichas correlaciones no son significativas, lo que sugiere la participación de otras variables en los KPIs finales, como por ejemplo la calidad del alimento balanceado que se suministró durante el periodo 2023-2024.

De igual manera, las variables paramétricas muestran relaciones positivas con el incremento lineal semanal, indicando que niveles más altos de estos elementos se asocian con un mayor crecimiento semanal de *P. vannamei*. El Ca presenta una correlación positiva moderada (0.326) con el incremento lineal semanal, sugiriendo que niveles elevados de calcio favorecen el crecimiento.

Adicional, el Mg también muestra una correlación positiva significativa (0.312), lo que resalta su importancia en la activación de enzimas y la estabilidad de las membranas celulares, contribuyendo al crecimiento. El K, con una correlación positiva (0.441), es esencial para la función celular y la regulación de la presión osmótica, lo que impulsa el crecimiento semanal. La Sal, con una correlación de 0.450, subraya la importancia del equilibrio osmótico y la homeostasis en el crecimiento óptimo de los organismos.

Finalmente, el análisis de la matriz muestra que el balance iónico revela relaciones positivas con el I.E.P., indicando que niveles más altos de estos elementos se asocian con una mayor eficiencia productiva de los organismos acuáticos. El Ca presenta una correlación positiva moderada (0.109) con el I.E.P., sugiriendo que niveles elevados de calcio favorecen la eficiencia productiva al mejorar el crecimiento y la supervivencia del cultivo. El Mg también muestra una correlación positiva, aunque casi insignificante (0.073). El K, con una correlación positiva (0.200), es vital para las funciones fisiológicas de *P. vannamei*. Así como, la Sal con una correlación de 0.305 subraya la misma relación (

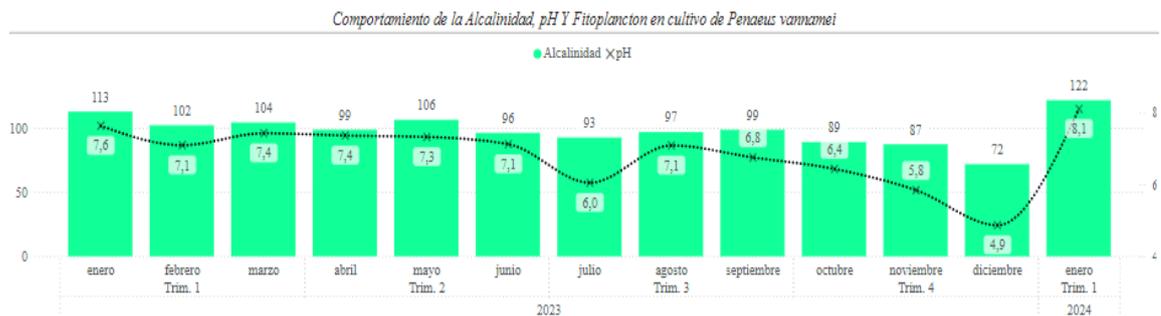
Figura 13).

La Figura 12 muestra que las proporciones de Na/Ca y Na/K indican relaciones significativas con el I.E.P. Un mayor ratio de Na/Ca está asociado con un mejor I.E.P., debido a que el Na desempeña un papel crucial en diferentes funciones biológicas. De manera similar, una mayor proporción de Na/K también mejora el I.E.P., subrayando la importancia del equilibrio entre estas proporciones para la función celular y el metabolismo.

3.12. Análisis de relación de alcalinidad y pH en cultivo de *P. vannamei*

Figura 14

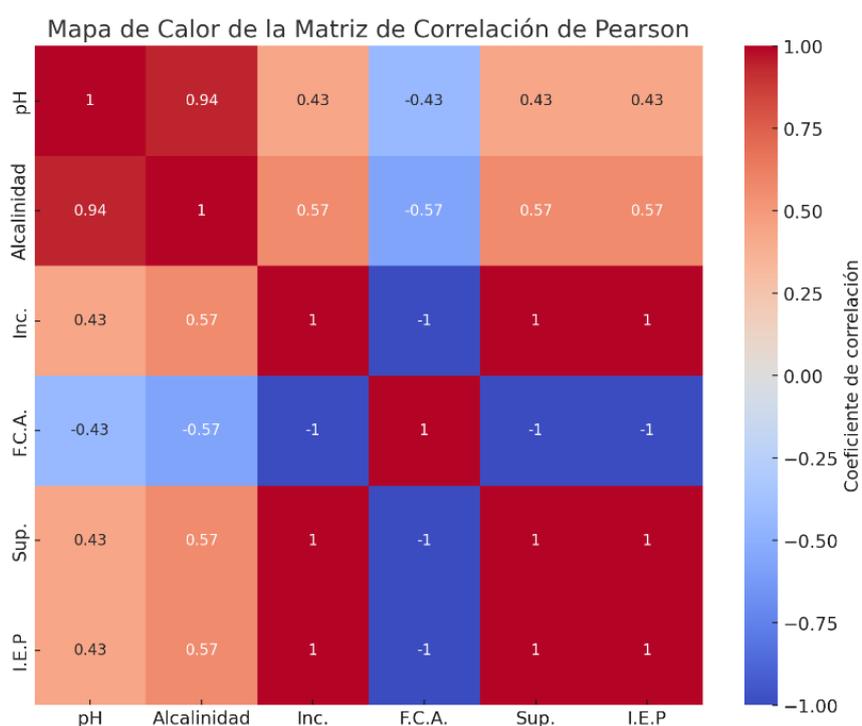
Comparación del promedio mensual de la alcalinidad y pH en el cultivo de *Penaeus vannamei*.



La Figura 14, muestra un comportamiento conjunto de las variables de Alcalinidad ($CaCO_3$) y pH en el agua de cultivo. Es decir que presentan la tendencia de variar en conjunto. Esto se explica debido a que el pH que a medida que aumenta la concentración de $CaCO_3$, el pH del agua también tiende a aumentar. El $CaCO_3$ ayudando a mantener el pH del agua estable al liberar iones carbonato que neutralizan los ácidos presentes. Esta capacidad de amortiguación del $CaCO_3$ contribuye a una mayor alcalinidad del agua.

Figura 15

Mapa de calor de la matriz del coeficiente de Pearson de Alcalinidad, pH y KPIs en cultivo de *P. vannamei*.



El análisis de la relación entre la alcalinidad, el pH y los indicadores clave de desempeño (KPIs) en el cultivo de *Penaeus vannamei* revela que la alcalinidad tiene una influencia significativa en el rendimiento del cultivo. Se observa una correlación positiva moderada entre la alcalinidad y el crecimiento semanal (0.568), la supervivencia (0.568) y el índice de eficiencia productiva (IEP) (0.568), sugiriendo que niveles más altos de alcalinidad están asociados con mejores resultados en estos KPIs.

Además, la alcalinidad muestra una correlación negativa moderada con el factor de conversión alimenticia (FCA) (-0.568), indicando que una mayor alcalinidad está asociada con una mejor eficiencia de conversión alimenticia. Por otro lado, el pH presenta correlaciones positivas bajas con el crecimiento semanal (0.435), la supervivencia (0.435) y el IEP (0.435), y una correlación negativa baja con el FCA (-0.435), lo que sugiere una influencia menos pronunciada pero aún relevante en el rendimiento del cultivo. Estos hallazgos resaltan la importancia de gestionar adecuadamente la alcalinidad y el pH del agua para optimizar el desempeño productivo en el cultivo de *P. vannamei* (Figura 15).

DISCUSIÓN

El ANOVA realizado no mostró diferencias significativas entre los grupos evaluados, lo que sugiere que las variaciones observadas son atribuibles al azar y no a los tratamientos aplicados. Este hallazgo coincide con estudios previos que indican que, en sistemas de cultivo semi-intensivos con flujo de agua abierto, las variaciones ecosistémicas no controladas pueden tener un impacto significativo en los resultados de cultivo (Valenti et al., 2011; García & Hernández, 2016; Martínez-Córdova & Peña-Messina, 2017). De la misma manera, estudios previos sugieren que en sistemas de cultivo semi-intensivos, los factores ambientales y las condiciones del ecosistema tienen impacto en la producción (Páez-Osuna & Ruiz-Fernández, 2005).

En el análisis de KPIs el I.E.P. mostró variaciones significativas en el I.E.P., F.C.A., porcentaje de supervivencia e incremento lineal semanal a lo largo del tiempo. Se

encontró una fuerte correlación negativa entre el F.C.A. e I.E.P., lo que indica que una mayor eficiencia en la conversión del alimento en biomasa está asociada con una mejor eficiencia productiva.

Estudios similares han encontrado que la supervivencia es un factor determinante en la eficiencia de producción en acuicultura, ya que afecta directamente la biomasa total y la conversión alimenticia (Jory et al., 2001; Tacon & Metian, 2015). De igual forma, la correlación positiva entre la supervivencia y el I.E.P. destaca la importancia de mantener altos niveles de supervivencia para optimizar los resultados finales de cosecha, así como las ganancias económicas (Martínez-Córdova & Peña-Messina, 2017).

En contraste, Los resultados del I.E.P. en función del proveedor de alimento balanceado revelaron que el Alimento C tiene el promedio más alto de I.E.P., lo que podría deberse a una formulación nutricional más adecuada. La literatura sugiere que los alimentos balanceados de alta calidad, que incluyen ingredientes de alta digestibilidad y balance adecuado de nutrientes, mejoran significativamente la eficiencia productiva en cultivos acuícolas (Cuzon et al., 2004).

Según Iwama (1991), en la acuicultura, la principal fuente de desechos son los alimentos manufacturados que son necesarios para aumentar la producción más allá de los niveles naturales, como se cita en (Kumar-Ghosh et al., 2020). Haciendo hincapié en la necesidad de tener un control detallado de la eficiencia que presentan las distintas

fuentes de alimento. Las cuales conjunto a las variables ambientales serán ejes primordiales para una eficiencia productiva óptima en el cultivo de *P. vannamei*.

Una parte primordial en los procesos digestivos involucra descomposición mecánica, solubilización y absorción de nutrientes, el cual depende de la anatomía y fisiología del sistema digestivo del organismo. Nutrientes como proteínas, carbohidratos y lípidos son componentes esenciales de una dieta balanceada e inciden sobre aspectos como la palatabilidad del alimento, la digestibilidad (acceso de enzimas digestivas a sitios de hidrólisis en el alimento) y la absorción (Molina-Poveda et al., 2002).

Se conoce que el OD en el sistema es un factor importante no solo para la respiración de los organismos acuáticos, sino también para mantener un ambiente químico e higiénico favorable (Kumar-Ghosh et al., 2020). Es así como, se establece la correlación positiva moderada entre el OD y la concentración de fitoplancton, lo que sugiere que una mayor densidad de fitoplancton mejora la eficiencia alimenticia, probablemente debido a la nutrición adicional proporcionada por el fitoplancton (Nguyen & Le, 2019).

Adicional, la correlación negativa débil entre el OD y el I.E.P., sugieren que el OD puede influir en la disponibilidad de nutrientes y el metabolismo del fitoplancton, afectando indirectamente la eficiencia productiva. La literatura confirma que niveles óptimos de OD son esenciales para el metabolismo y la salud de los organismos acuáticos, pero niveles excesivamente altos pueden generar estrés oxidativo (Boyd & Tucker, 1998).

Sumado que, La temperatura es un factor ecológico que influye en los parámetros hidrológicos, que a su vez influyen en el metabolismo, crecimiento y otros procesos bioquímicos (Kumar-Ghosh et al., 2020). Se establece que el fitoplancton revela que la temperatura influye significativamente en la dinámica de diferentes phylum de fitoplancton y sus efectos en los KPIs. Las Chlorophytas muestran una correlación positiva moderada con la temperatura, lo que sugiere que temperaturas más altas favorecen su crecimiento.

Este hallazgo está en línea con estudios previos que indican que las algas verdes proliferan rápidamente en ambientes cálidos (Raven & Geider, 1988). Por otro lado, las cianobacterias, conocidas por su capacidad de prosperar en condiciones de alta temperatura, dominan en cuerpos de agua más cálidos debido a su adaptabilidad y ventaja competitiva (Paerl & Huisman, 2008).

Aunque no se detalla la correlación específica entre las diatomeas y la temperatura, se sabe que prefieren temperaturas más frescas comparadas con las cianobacterias y Chlorophytas, y su ciclo de vida está fuertemente influenciado por la temperatura (Falkowski et al., 1998). En conjunto, estos resultados destacan la importancia de un control preciso de la temperatura en el agua de cultivo para maximizar el rendimiento y mantener un equilibrio saludable en la comunidad fitoplanctónica.

De la misma manera, el análisis del fitoplancton en el cultivo de *P. vannamei* revela diferencias significativas en cómo diferentes phylum de fitoplancton influyen en los indicadores clave de desempeño (KPIs). Cabe señalar que, las necesidades básicas en relación con cada uno de los elementos químicos no son iguales para los diferentes grupos algales. Las Chlorophytas, con una correlación positiva fuerte con el fosfato, demuestran que este nutriente es crucial para su crecimiento, coincidiendo con estudios previos que subrayan el papel del fosfato en la proliferación de algas verdes (Smith et al., 1999).

Sin embargo, la correlación negativa moderada entre las Chlorophytas y el I.E.P., sugiere que su aumento puede estar asociado con una disminución en la eficiencia productiva, posiblemente debido a la competencia por nutrientes y oxígeno. Por otro lado, las Cianobacterias, que muestran correlaciones positivas muy fuertes con el Mg, Ca y K, indican que estos minerales son esenciales para su proliferación, alineándose con la literatura que destaca la capacidad de las cianobacterias para prosperar en condiciones extremas y su impacto en la dinámica de los nutrientes (Paerl et al., 2001).

Las Diatomeas, con una correlación positiva moderada con el oxígeno disuelto y negativa fuerte con las Cianobacterias, sugieren una competencia significativa entre estos phylum, lo que puede influir en la estructura de la comunidad fitoplanctónica y la eficiencia productiva. La correlación positiva moderada entre las Diatomeas y el I.E.P. sugiere que su presencia puede mejorar la eficiencia productiva, posiblemente debido a su contribución al ciclo del carbono y la disponibilidad de nutrientes (Falkowski et al., 1998). De igual manera, Chamberlain (1995) detalla que La presencia y abundancia de diatomeas en los estanques de cultivo, favorece a los acuicultores debido a que las diatomeas son elementos altamente nutritivos dado su alto contenido en ácidos grasos no saturados, alta permeabilidad de la pared silíceas lo que facilita la asimilación de enzimas, tamaño apropiado de sus células lo que permite la fácil ingestión y la ausencia de toxinas asociadas como se cita en Chow (2000).

En contraste, se establece la correlación negativa entre el nitrógeno total y el fósforo con el I.E.P., junto con la alta correlación entre estos nutrientes, sugiere que una gestión inadecuada de estos elementos puede llevar a una proliferación excesiva de fitoplancton y a la disminución de la eficiencia productiva. Estudios han demostrado que el exceso de nutrientes en sistemas acuáticos puede causar eutrofización, afectando negativamente la calidad del agua y la salud de los organismos acuáticos (Smith et al., 1999).

Asimismo, El magnesio mostró una correlación moderada con la proliferación de fitoplancton, mientras que el pH tuvo una correlación positiva baja. Estos resultados son consistentes con la literatura que indica que el magnesio es un nutriente esencial para el crecimiento de fitoplancton y otros organismos acuáticos, mientras que el pH afecta la disponibilidad de nutrientes y la toxicidad de ciertos compuestos (Goldman & Horne, 1983).

Las variaciones en las concentraciones de N y P pueden influir en la composición de especies de algas. Por ejemplo, ciertas especies de diatomeas pueden prosperar en condiciones de alta disponibilidad de silicio y P, mientras que las cianobacterias pueden dominar en ambientes con niveles elevados de N y bajos de P (Nguyen & Le, 2019). Sin embargo, Smith et al. (2018), encontraron que la adición de fertilizantes no siempre resulta en un incremento significativo en la biomasa de diatomeas en sistemas acuáticos debido a la alta variabilidad ambiental.

Del mismo modo, Johnson y Lee (2020) señalaron que, en ambientes con niveles fluctuantes de silicio, las respuestas de crecimiento de diatomeas a fertilizantes pueden ser impredecibles, ya que como se detalló en el trabajo actual estas algas están altamente correlacionadas con la temperatura ambiental. De la misma manera, una correlación negativa entre el N, P y supervivencia indica que la supervivencia aumenta a medida que disminuye el N, sugiriendo que concentraciones elevadas de dicho compuesto pueden estar asociadas con condiciones adversas para los organismos de cultivo (Martínez-Córdova & Peña-Messina, 2017).

Además, la alta correlación positiva entre el N y el P muestra que estos elementos suelen variar conjuntamente, impactando de manera significativa la dinámica del fitoplancton y, consecuentemente, la calidad del agua y la eficiencia productiva del sistema de cultivo. Por otro lado, las relaciones entre las variables Ca, Mg, K y Sal, muestran correlaciones positivas con la supervivencia y el crecimiento semanal, subrayando la necesidad de mantener niveles adecuados de estos elementos para asegurar supervivencia y crecimiento óptimos (Li & Zhou, 2021).

Además, la salinidad es el factor más importante que influye en muchas respuestas funcionales del organismo, como el metabolismo, crecimiento, migración, comportamiento osmótico y reproducción. Las fluctuaciones repentinas en la salinidad afectarán las funciones osmorreguladoras del organismo en crecimiento y pueden conducir a la mortalidad (Kumar-Ghosh et al., 2020). La correlación positiva entre Ca, Mg, K y salinidad con la supervivencia y el crecimiento semanal resalta la importancia de un balance iónico adecuado para la homeostasis y el metabolismo de *P. vannamei*.

Estudios han mostrado que el balance iónico y la salinidad son cruciales para la osmorregulación, un proceso vital para la salud y el crecimiento de los camarones (Ferraris et al., 1987).

El balance iónico, representado por las proporciones de Mg/Ca y K/Ca, también muestra correlaciones positivas con el I.E.P., indicando que una mayor proporción de Mg y K en relación con Ca, es decir entre más cercano o mayor este el Mg a proporción 3 y más cercano de K a 1, se favorecen los resultados productivos (García & Hernández, 2016). Esto sugiere que la gestión del balance iónico en el agua de cultivo es crucial para optimizar la producción de *P. vannamei*. Por lo tanto, composiciones iónicas ajustadas brindarán un mejor crecimiento, indicando que la manipulación de la composición iónica puede mitigar los efectos negativos de la baja salinidad (do Rêgo Oliveira et al., 2022)

Además, el análisis de la relación entre Na, Ca y K en el cultivo de *P. vannamei* mostró as correlaciones bajas entre las proporciones con los KPIs sugieren que estas relaciones no tienen un impacto significativo en la eficiencia productiva. Sin embargo, el equilibrio adecuado de estos iones sigue siendo importante para diversas funciones fisiológicas y metabólicas (Parry, 2003). La proporción Na/Ca cumplen la función de regular del balance osmótico y el transporte de nutrientes a través de las membranas celulares (Boyd & McNevin, 2015). Además, la relación Na/K, aunque baja favorece el crecimiento y la supervivencia de los organismos.

Esto puede deberse a la mejora en la regulación osmótica y el mantenimiento de la homeostasis celular (Li & Zhou, 2021). La proporción Na/K muestra una correlación positiva con el I.E.P. indicando que el equilibrio entre sodio y potasio es esencial para la función celular y el metabolismo, incluyendo la regulación del potencial de membrana y el transporte de nutrientes (Martínez-Córdova & Peña-Messina, 2017).

De la misma forma, la relación con el incremento lineal semanal y supervivencia sugieren que el equilibrio de estos compuestos es crucial para el funcionamiento adecuado de las bombas de Na/K en las células, que mantienen la homeostasis iónica (Nguyen & Le, 2019). Sumado que, la correlación negativa con el F.C.A. (-0.279) indica que una mayor proporción de Na/K está asociada con una mayor eficiencia en la conversión del alimento, reflejando una menor necesidad de energía para mantener la homeostasis (García & Hernández, 2016).

Por último, la relación entre la alcalinidad, el pH y los KPIs en el cultivo de *P. vannamei* revela que la alcalinidad tiene una influencia significativa en el rendimiento del cultivo. Se observa una correlación positiva moderada entre la alcalinidad y el crecimiento semanal. Lo que sugiere que una mayor capacidad tampón del agua está asociada con una mejor eficiencia productiva. Esto puede deberse a la mayor estabilidad del pH, que reduce el estrés en los camarones y optimiza su crecimiento y conversión alimenticia (Boyd & McNevin, 2015).

En el presente estudio el pH se mantuvo entre 8,0 y 8.5, similar a lo expuesto en el estudio de Huang et al. (2024), donde se menciona que dicho rango es ideal para el

crecimiento de los camarones. Es así como, se establece que el pH es uno de los parámetros ambientales importantes que determina los procesos fisiológicos de los camarones (Kumar-Ghosh et al., 2020). Por otro lado, aunque la relación entre el pH y el I.E.P. es más débil, se establece que mantener el pH dentro del rango óptimo es crucial para maximizar los resultados de producción. Fluctuaciones en el pH pueden afectar la disponibilidad de nutrientes y la eficiencia de la alimentación (Li & Zhou, 2021).

Además, la alcalinidad presenta una correlación negativa moderada con el F.C.A., indicando que una mayor alcalinidad, y por ende una mayor estabilidad del pH, mejora la eficiencia alimenticia. Esto se debe a que los camarones pueden metabolizar mejor los nutrientes en condiciones de pH estable (Tacon & Metian, 2015). En base a la bibliografía revisada y los resultados finales que acompañan el estudio se establece que se acepta la H_0 que expresa que los resultados de índices productivos están estrechamente relacionados a los parámetros fisicoquímicos y biológicos del cultivo de *P. vannamei*.

CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio indican que los factores zootécnicos evaluados no tienen un impacto significativo en el rendimiento de la cosecha de *P. vannamei* en sistemas de cultivo semi-intensivos. Sin embargo, la gestión adecuada de los parámetros ambientales y químicos, así como el balance iónico del agua, son esenciales para mejorar la eficiencia productiva y la supervivencia de los organismos.

A través del análisis de la correlación entre los KPIs y los parámetros ambientales, se identificó que factores como el OD, la T°, Alcalinidad, Sal, pH y Phylum de Fitoplancton juegan un papel crucial en la supervivencia, crecimiento y eficiencia alimenticia de los camarones. Además, la presencia y dominancia de ciertos grupos de fitoplancton, como las Chlorophytas y las Bacillariophytas, están estrechamente relacionadas con la salud y el crecimiento de los camarones.

El N y el P juegan roles cruciales en la dinámica de las comunidades de fitoplancton en sistemas de cultivo de *P. vannamei*. Mientras que la disponibilidad de estos nutrientes puede estimular el crecimiento de algas beneficiosas, también puede favorecer la proliferación de especies competitivas que impactan negativamente la supervivencia y la eficiencia productiva del cultivo. La gestión adecuada de estos nutrientes es esencial para optimizar las condiciones de cultivo y mejorar la productividad.

El análisis estadístico de ANOVA y el coeficiente de correlación de Pearson revelaron que un manejo adecuado de estos parámetros puede mejorar significativamente la eficiencia productiva. Los resultados sugieren que mantener niveles óptimos de las variables ecosistémicas y controlar la densidad de fitoplancton pueden llevar a una mayor supervivencia y un mejor factor de conversión alimenticia. Así como el uso de piensos de alta calidad que favorecen en los KPIs de cultivo a nivel general.

RECOMENDACIONES

El monitoreo Constante de Parámetros Ambientales es esencial implementar un sistema de monitoreo continuo para parámetros críticos como el oxígeno disuelto, la temperatura, el pH y la salinidad. Esto permitirá realizar ajustes en tiempo real para mantener condiciones óptimas de cultivo.

De igual manera, el control de la densidad de Fitoplancton, promover el crecimiento de fitoplancton beneficioso, como las Diatomeas, mientras se controla la proliferación de cianobacterias, puede mejorar la calidad del agua, el crecimiento y asimilación nutricional de los camarones.

Optimizar el régimen de alimentación utilizando dietas balanceadas y técnicas de alimentación automática para asegurar un suministro constante y adecuado de nutrientes, minimizando el desperdicio y mejorando el factor de conversión alimenticia.

Adoptar tecnologías avanzadas de monitoreo y manejo, como sensores automáticos y sistemas de alimentación inteligente, para mejorar la eficiencia y la sostenibilidad del cultivo.

Finalmente se recomienda, fomentar la investigación continua sobre las interacciones entre los parámetros ambientales y el rendimiento zootécnico para desarrollar prácticas de manejo más precisas y adaptativas.

BIBLIOGRAFÍA

Abad-Rosales, S. M., Betancourt-Lozano, M., & Vargas-Albores, F. (2011). Interacción de factores físicos, químicos y biológicos en el cultivo de camarón. En *Avances en acuicultura y manejo ambiental* (pp. 151-164). Trillas.

Aguardo García, N. (2013). Prevalencia y enfermedades y parásitos de camarones de Caño Mánamo, estado Delta Amacuro, Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico*, 52(1), 145-153.

Anderson, J. L., Valderrama, D., & Jory, D. E. (2019). GOAL 2019: Revisión de la producción mundial de camarones. *Global Aquaculture Advocate*.

Araujo Mejía, R. A. (2000). El ciclo lunar y retención de sulfitos con relación a la textura del exoesqueleto en *Penaeus vannamei*. PEG-CPA 40.

Armijos-Hurtado, D. A., & Villafuerte-García, M. J. (2020). Optimización del hidrófono en alimentación de camarones (*Litopenaeus vannamei*) [Proyecto Integrador]. Escuela Superior Politécnica del Litoral.

Ayub, Z. (2010). Effect of temperature and rainfall as a component of climate change on fish and shrimp catch in Pakistan. *The Journal of Transdisciplinary Environmental Studies*, 9(1), 1-9.

Barraza López, J. S. (2012). Análisis de variables predictivas para el índice de eficiencia de producción utilizando alimentos comerciales para camarón blanco

Litopenaeus vannamei. Instituto Politécnico Nacional Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Sinaloa.

Boyd, C. & Tucker, C. S. (1998). *Pond aquaculture water quality management*. Springer.

Boyd, C. (2009). Consideraciones sobre la calidad del agua y del suelo en cultivos de camarón. Recuperado de http://www.cesasin.com.mx/CentroAmerica/1Calidad_del_agua.pdf

Boyd, C. (2009). Fitoplancton en estanques acuícolas. *Global Aquaculture Advocate*, 37(9), 422. <https://doi.org/10.1080/03632415.2012.724639>

Boyd, C. (2013). Phosphorus and Nitrogen Budgets for Inland, Saline Water Shrimp Ponds in Alabama. *Fisheries and Aquaculture Journal*, 04(02). <https://doi.org/10.4172/2150-3508.1000080>

Boyd, C. E., & McNevin, A. A. (2015). *Aquaculture resource use and the environment*. Wiley-Blackwell.

Boyd, C. (2016). Phytoplankton a crucial component of aquaculture pond ecosystems *Responsible Seafood Advocate*. Recuperado de <https://www.globalseafood.org/advocate/phytoplankton-a-crucial-component-of-aquaculture-pond-ecosystems/>

Busht, A. O., Lafferty, K. D., Lotz, J. M., & Shostak, A. W. (1997). PARASITOLOGY MEETS ECOLOGY ON ITS OWN TERMS: MARGOLIS ET AL. REVISITED*. *In J. Parasitology* (Vol. 83, Issue 4).

Camposano, J. A. (2020). *AQUACULTURA #133*. Revista Acuicultura Cámara Nacional de Acuicultura. Recuperado de <https://issuu.com/revista-cna/docs/aquacultura133>

Canales Machado, M. L., Cáceres Quiroz, O. J., & Flores Romero, J. J. (2017). Comparación de crecimiento de Camarón Blanco *Litopenaeus vannamei* en condiciones de salinidad óptima y salinidad cercana a cero.

Carchipulla, V. (2018). Importancia del oxígeno disuelto para mejorar la calidad de agua en estanques de camarón blanco *Litopenaeus vannamei*. Recuperado de http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/13852/3/DE00006_TRABAJOD ETITULACION2.pdf

Carneiro Silva, G., Catharina Limeira, A., de Almeida Costa, G. K., Bezerra Cabral da Silva, S. M., Campagnoli de Oliveira Filho, P. R., & Otavio Brito, L. (2022). Effects of different forms of artificially salinized in low-salinity water of *Penaeus vannamei* in the grow-out phase in a symbiotic system. *Aquaculture International*, 31(2023), 1303–1324. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10499-022-01025-z>

Cuellar-Anjel, J., Lara, C., Morales, V., De García, A., & García, O. (2010). *Manual de Buenas Prácticas de Manejo para el Cultivo de Camarón* (OIRSA & OSPESCA, Eds.). New Concept Publication, Inc.

Cuéllar-Anjel, J., Almanza Abud, M. J., Barranco, M. A., Leghtner, D. v., Mendes, E. S., Lemos Pereira, A. M., Morales Covarrubias, M. S., Pantoja, C., Perazzolo, L. M., Rosa, R. D., Sacorio Coze, A., & Vasconcelos Gesteira, T. C. (2014). Patología e Inmunología de Camarones Penaeidos.

Cuzon, G., Lawrence, A., Gaxiola, G., Rosas, C., & Guillaume, J. (2004). Nutrition of *Litopenaeus vannamei* reared in tanks or in ponds. *Aquaculture*, 235(1-4), 513-551.

Comisión Oceanográfica Intergubernamental. (2003). Manual on harmful marine microalgae (G. M. Hallegraeff, D. M. Anderson, A. D. Cembella, & H. O. Enevoldsen, Eds.). UNESCO.

Cuéllar-Anjel, J., Almanza Abud, M. J., Barranco, M. A., Leghtner, D. V., Mendes, E. S., Lemos Pereira, A. M., Morales Covarrubias, M. S., Pantoja, C., Perazzolo, L. M., Rosa, R. D., Sacorio Coze, A., & Vasconcelos Gesteira, T. C. (2014). *Patología e inmunología de camarones penaeidos* (V. Morales & J. Cuéllar-Anjel, Eds.).

Chávez Rigaíl, J. (2013). “Análisis químicos usados en la acuicultura; influencia del balance iónico en la producción.”

Cheng, K. M., Hu, C. Q., Liu, Y. N., Zheng, S. X., & Qi, X. J. (2006). Effects of dietary calcium, phosphorus and calcium/phosphorus ratio on the growth and tissue mineralization of *Litopenaeus vannamei* reared in low-salinity water. *Aquaculture*, 251(2-4), 472-483. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.06.022>

Chow, N. (2000). Fitoplancton y productividad primaria en sistemas de cultivo extensivo tecnificados de camarones del género *Litopenaeus*. *Estudios en Medio*

Ambiente. CIEMA_UNI, Centro de Investigaciones. Universidad Nacional de Ingeniería. Managua, Nicaragua.[acceso: 22/3/2017].

DATAtab Team. (2024). *DATAtab: Online statistics calculator*. DATAtab e.U., Graz, Austria. Recuperado de <https://datatab.es>

do Rêgo Oliveira, C. R., Queiroz de Oliveira, V., Lacerda Ferreira Pimentel, O. A., Pereira dos Santos, E., Campagnoli de Oliveira Filho, P. R., Olivera Gálvez, A., & Otavio Brito, L. (2022). Growth performance and proximate composition of *Penaeus vannamei* reared in low-salinity water with different ionic compositions in a synbiotic system. *Aquaculture International*, 30, 3123–3141. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10499-022-00952-1>

Echeverría, F., Otero, V., Cornejo, F., & Rodríguez, J. (2002). WSSV y ciclo de muda en el camarón blanco *Litopenaeus vannamei*. *Centro Nacional de Acuicultura e Investigaciones Marinas - CENAIM*, 8(1), 43-46. Recuperado de <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/8743/1/11.pdf>

Eco business fund Development Facility, Centro Ecuatoriano de Eficiencia de Recursos, & Asobanca. (2021). *Guía para laboratorio y cultivo de camarón*.

FAO. (2006). Programa de información de especies acuáticas - *Penaeus vannamei* (Boone, 1931). *FAO Fisheries and Aquaculture Technical*. Recuperado de http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Penaeus_vannamei/es

FAO. (2020). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2020. La sostenibilidad en acción*. The State of World Fisheries and Aquaculture (SOFIA). <https://doi.org/10.4060/ca9229es>

FAO. (2022). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2022. Hacia la transformación azul*. <https://doi.org/10.4060/cc0461es>

Falkowski, P. G., Barber, R. T., & Smetacek, V. (1998). Biogeochemical controls and feedbacks on ocean primary production. *Science*, 281(5374), 200-206.

Ferraris, R. P., Parado-Esteba, F. D., & de Jesus, E. G. (1987). Osmoregulation in the tiger prawn *Penaeus monodon* Fabricius. *Aquaculture*, 64(2), 203-208.

Goldman, J. C., & Horne, A. J. (1983). *Limnology*. McGraw-Hill.

Gonzabay-Crespin, A., Vite-Cevallos, H., Garzón-Montealegre, V., & Quizhpe-Cordero, P. (2021). *Análisis de la producción de camarón en el Ecuador para su exportación a la Unión Europea en el período 2015-2020*. [Artículos de investigación]. Universidad Técnica de Machala.

Gross, A., & Zilberc' N. A. (2004). Acute and chronic effects of nitrite on white shrimp *Litopenaeus vannamei* cultured in low-salinity brackish water. *Journal of the World Aquaculture Society*, 35(3).

Huang, C., Jiang, T., Shan, H., & Wang, F. (2024). Composition, Dynamic Changes, and Carbon Sequestration Effects of Organic Carbon in the Water of a *Penaeus*

vannamei Culture Pond. *Water (Switzerland)*, 16(5).

<https://doi.org/10.3390/w16050721>

Jackson, L. (2023). Después de un 2023 turbulento, se avecinan “signos de optimismo” para la producción mundial de productos pesqueros. *Responsible Seafood Advocate*.

<https://www.globalseafood.org/advocate/despues-de-un-2023-turbulento-se-avecinan-signos-de-optimismo-para-la-produccion-mundial-de-productos-esqueros/#:~:text=Los%20resultados%20de%20la%20encuesta,4%20por%20ciento%20en%202023.>

Jenny Rodríguez, Ricardo Cedeño, César Molina, Víctor Otero, E., & Valenzuela y María Auxiliadora Sotomayor. (2000). *Efecto de la calidad de la dieta sobre la respuesta inmune del camarón*. 57–71.

Joaquín Amat, R. (2016, January). *ANOVA análisis de varianza para comparar múltiples medias*. Recuperado de https://www.cienciadedatos.net/documentos/19_anova.html

Jory, D. E., Cabrera, T. R., Dugger, D. M., & Foster, S. A. (2001). A global review of shrimp feed management: status and perspectives. *The Advocate*, 4(2), 45-48.

Kavitha, K., & Krishna, P. V. (2020). *Sustainable Growth and Survival of Litopenaeus Vannamei Through Wastewater Recycling. Recent Trends in Waste Water Treatment and Water Resource Management*, Springer, Singapore, 77–84.
https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-15-0706-9_8

Kumar, M., Chadha, N. K., Prakash, S., Pavan-Kumar, A., Vungarala, H., Gireesh-Babu, P., & Krishna, G. (2023). *Salinity, stocking density, and their interactive effects on growth performance and physiological parameters of white-leg shrimp, Penaeus vannamei (Boone, 1931)*. *Aquaculture International*, 32, 675–690. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10499-023-01181-w>

Kumar-Ghosh, S., Das-Saha, P., & Francesco Di, M. (2020). *Recent Trends in Waste Water Treatment and Water Resource Management*. <https://doi.org/10.1007/978-981-15-0706-9>

KYTOS. (2023). *Detecting Euglenophyta (Tảo mắt) Algae for Improved Aquaculture Management*. Recuperado de <https://kytos.be/2023/11/06/detecting-euglenophyta-tao-mat-algae-for-improved-aquaculture-management/>

Laramore, S., Laramore, C. R., & Scarpa, J. (2001). Effect of low salinity on growth and survival of postlarvae and juvenile *Litopenaeus vannamei*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 32(4).

Laramore, S., Tursi, R., & Lin, J. (2013). The effect of different water quality parameters on the survival and growth of *Litopenaeus vannamei* postlarvae. *Journal of Aquaculture Research & Development*, 44(5), 789-796.

Lee, G., Lawrence, L., Strawn, K., & Aransas, Q. P. (1985). *Growth And Digestibility By Three Sizes Of Penaeus Vannamei Boone : Effects Of Dietary Protein Level And Protein Source*. *Methods*, 46.

Li, Q., & Zhou, X. (2021). Phytoplankton community dynamics in aquaculture ponds: Implications for management. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(12), 15045-15058. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-12853-4>

Lino, J., & Gimenez, A. F. (2004). Acción de las vitaminas en la dieta de camarones penaeoideos. 126-144.

Llomitoa Cadena, E. (2001). Relación entre el ciclo de muda y la actividad de las enzimas digestivas y su efecto en la tasa de alimentación y el crecimiento del juvenil *Penaeus vannamei*.

López, N., Cuzon, G., Gaxiola, G., Taboada, G., Valenzuela, M., Pascual, C., Sánchez, A., & Rosas, C. (2003). Physiological, nutritional and immunological role of dietary β 1-3 glucan and ascorbic acid 2-monophosphate in *Litopenaeus vannamei* juveniles. *Aquaculture*, 224(1-4), 223-243. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00214-X](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00214-X)

López-Elías, J. A., Medina-Félix, D., Campa-Córdova, Á. I., Martínez-Córdova, L. R., Hernández-López, J., Mendoza-Cano, J. F., & Rivas-Vega, M. E. (2016). Optimización de la supervivencia y respuesta inmune de *Litopenaeus vannamei* alimentado con dietas ricas en carotenos e infectado con el Síndrome de Mancha Blanca. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 44(2), 305-312. <https://doi.org/10.3856/vol44-issue2-fulltext-11>

Lurry, D., & Kolbe, C. (2016). INTERAGENCY FIELD MANUAL FOR THE COLLECTION OF WATER-QUALITY DATA. USGS, U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey. <https://pubs.usgs.gov/of/2000/of00-213/>

Martínez-Córdova, L. R., & Peña-Messina, E. (2017). Key performance indicators in shrimp aquaculture: Evaluating growth and survival rates. *Aquaculture International*, 25(5), 1317-1330. <https://doi.org/10.1007/s10499-017-0135-8>

Mera, K., Haro, D., Pazos, F., Quispe, M., & Molina-Poveda, C. (2021). Uso de alimentación automática para un mayor rendimiento en la fase de pre-cría del camarón. *Aquacultura #141*. Recuperado de <https://issuu.com/revista-cna/docs/edicion141>

Melgar, C., Barba, E., Álvarez-González, C., Tovilla, C., & Sánchez, A. (2012). Efecto de microorganismos con potencial probiótico en la calidad del agua y el crecimiento de camarón *Litopenaeus vannamei* en cultivo intensivo.

Mohammadi, G., Rohani-Ghadikolaei, K., & Abdolalian, E. (2023). Water quality and growth performance of *Litopenaeus vannamei* at different stocking densities in a chemoautotrophic-based system with limited organic carbon supplementation during the nursery phase. *Aquaculture International*. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10499-023-01357-4>

Molina, C., Cadena, E., & Orellana, F. (2000). *Alimentación de camarones en relación a la actividad enzimática como una respuesta natural al ritmo circadiano y ciclo de muda*. *Cenaim*, 358–380.

Molina-Poveda, C., Escobar, V., Gamboa-Delgado, J., Cadena, E., Orellana, F., & Piña, P. (2002). *Estrategia de alimentación de acuerdo a la demanda fisiológica del juvenil Litopenaeus vannamei (Boone)*. *Avances En Nutrición Acuícola*, 6, 98–113.

Morales-Covarrubias, M. S. (2014). *Montajes en fresco*. OIRSA (Morales V). Panamá.

Nguyen, D. T., & Le, H. Q. (2019). Nutrient dynamics and phytoplankton assemblages in shrimp ponds. *Aquatic Ecology*, 53(4), 553-564. <https://doi.org/10.1007/s10452-019-09710-8>

Paerl, H. W., Pinckney, J. L., & Fear, J. M. (2001). Ecosystem responses to internal and watershed organic matter loading: consequences for hypoxia in the eutrophying Neuse River Estuary, North Carolina, USA. *Marine Ecology Progress Series*, 228, 29-42.

Pandey, A., Pathan, M. A., Ananthan, P. S., Sudhagar, A., Krishnani, K. K., Sreedharan, K., Kumar, P., Thirunavukkarasar, R., & Harikrishna, V. (2023). Stocking for sustainable aqua-venture: optimal growth, yield and economic analysis of *Penaeus vannamei* culture in inland saline water (ISW) of India. *Environment, Development and Sustainability*, 26, 6913–6942. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10668-023-02993-9>

Parry, G. (2003). Osmoregulation and excretion. En *Crustacean Issues* (Vol. 3, pp. 1-38). CRC Press.

Pedrazzoli, A., Molina, C., Montoya, N., Townsend, S., León-Hing, A., Parades, Y., & Calderón, J. (1998). Recent advances on nutrition research of *penaeus vannamei* in Ecuador. *Reviews in Fisheries Science*, 6(1–2), 143–151. <https://doi.org/10.1080/10641269891314258>

Piedrahita, Y. (2019). El manejo de las enfermedades en los cultivos de camarón desde la perspectiva de los especialistas. *Aquacultura - Cámara Nacional de Acuicultura*, 22-25. Recuperado de https://issuu.com/revista-cna/docs/revista_edicion130

Piedrahita, Y. (2020). *AQUACULTURA #137*. Revista Acuicultura Cámara Nacional de Acuicultura. Recuperado de https://issuu.com/revista-cna/docs/revista_edicion_137/4

Puente, E. (2009). *Respuestas fisiológicas de juveniles de camarón blanco Litopenaeus vannamei* (Issue Tesis Doctoral. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional, La Paz B.C.S, Mexico).

Reis, J., Novriadi, R., Swanepoel, A., Jingping, G., Rhodes, M., & Davis, D. A. (2019). Optimizing feed automation: Improving timer-feeders and on-demand systems in semi-intensive pond culture of shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Aquaculture*, 519. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734759>

Roy, L. A., Davis, D. A., Saoud, I. P., & Henry, R. P. (2007). Effects of varying levels of aqueous potassium and magnesium on survival, growth and respiration of the Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* reared in low salinity waters. *Aquaculture*, 262(2-4), 461-469. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.10.011>

Sánchez-Fernández, J. J., & Hernández-Bautista, I. (2017). Modelo basado en redes neuronales artificiales para la evaluación de la calidad del agua en sistemas de cultivo extensivo de camarón. *VIII*, 71-89. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2017-05-05>

Sedano Vera, F., & Anguis Climent, V. (2016). *Calidad del agua en sistemas de recirculación para la acuicultura marina*. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera, 1-18. Recuperado de <https://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/-/action/90004fc0-93fe-11df-8d8b-f26108bf46ad/e5747030-1bb8-11df-b7e2-35c8dbbe5a83/es/02f9e190-faff-11e0-929f-f77205134944/alfrescoDocument?i3pn=contenidoAlf&i3pt=S&i3l=es&i3d=e5747030-1bb8-11df-b7e2>

Serrano Bermúdez, L. M., Ramírez Landínez, D. M., Sierra Sáenz, E. R., Scott Carvajal, O. M., Álvarez Sierra, C. A., Torres Parra, J. M., Narváez Rincón, P. C., & Godoy Silva, R. D. (2011). *Efecto del hierro en el crecimiento y acumulación de lípidos en la microalga colombiana Chlorella Vulgaris LAUN 0019*. *Iteckne*, 8(1), 15–22. <https://doi.org/10.15332/iteckne.v8i1.257>

Smith, V. H., Tilman, G. D., & Nekola, J. C. (1999). Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. *Environmental Pollution*, 100(1-3), 179-196.

Smith, J. A., Brown, L. P., & Johnson, K. M. (2018). Impact of nutrient-enriched fertilizers on algal biomass production in aquatic systems. *Journal of Aquatic Sciences*, 45(3), 210-225. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2018.03.005>

Somiya, I., & Fujii, S. (1984). Material balances of organics and nutrients in an oxidation pond. *Water Research*, 18(3), 325–333. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(84\)90107-6](https://doi.org/10.1016/0043-1354(84)90107-6)

Tacon, A. G. J., & Metian, M. (2015). Feed matters: Satisfying the requirements for sustainable aquaculture. *Animal Feed Science and Technology*, 205, 1-10.

<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.05.013>

Technologies, E. (2020). ShrimpTalk. 1–20.

Valenti, W. C., New, M. B., Salin, K. R., & Ye, Y. (2011). Grow-out systems–monoculture. En *The Shrimp Book* (pp. 290-319). Nottingham University Press

Valenzuela-Quiñónez, W., Rodríguez-Quiroz, G., Ponce-Palafox, J. T., & Esparza-Leal, H. M. (2011). Efecto de diferentes combinaciones de temperatura y salinidad sobre el consumo específico de oxígeno en el camarón blanco *Litopenaeus vannamei*.

Revista de Biología Marina y Oceanografía, 46(3), 303-311.

<https://doi.org/10.4067/s0718-19572011000300002>

Varas-Chiquito, M. A., León-Bassantes, L., Villacis-Chancay, U., & Alcívar-Aray, C. A. (2017). Alimentación sistematizada vs alimentación tradicional en la producción de camarón *Vannamei*. *Polo del Conocimiento*, 2(7), 442.

<https://doi.org/10.23857/pc.v2i7.253>

Vicente, E., de Hoyos, C., Sánchez, P., & Cambra, J. (2005). Protocolos de Muestreo y Análisis para Fitoplancton. *Metodología Para El Establecimiento Del Estado Ecológico Segun La Directiva Marco Del Agua*, 43.

YSI. (2016, September). YSI Pro20 manual. Rev C.

<https://www.manual.ec/ysi/pro20/manual?p=2>

YSI Incorporated. (2010). YSI 9300 and 9500 Photometers User Manual ®. [Item #
xxxxxx \(ysi.com\)](#)

ANEXOS:

ANALISIS FINAL

[View in Power BI](#)

Last data refresh:
09/07/2024 3:58:46 UTC

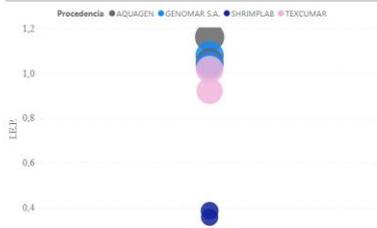
Downloaded at:
09/07/2024 4:05:07 UTC



Análisis de KPI'S en cultivo de *Penaeus vannamei*



Análisis de I.E.P. en base a la procedencia de Larva de *Penaeus vannamei*

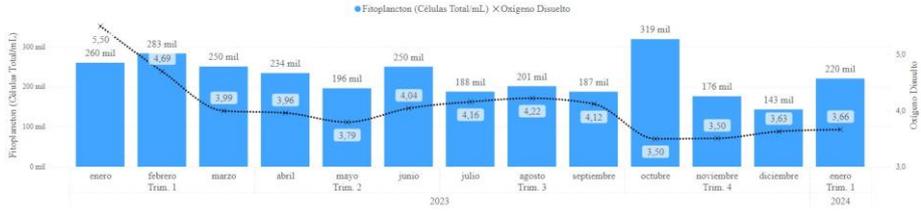


Análisis de I.E.P. en base al Proveedor de Alimento Balanceado

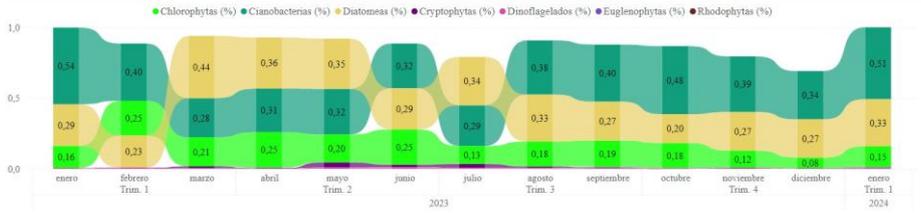


Fecha
Todas

Comportamiento de células totales/mL de Fitoplancton y Oxígeno Disuelto en cultivo de *Penaeus vannamei*



Comportamiento Phylum Fitoplancton en cultivo de *Penaeus vannamei*

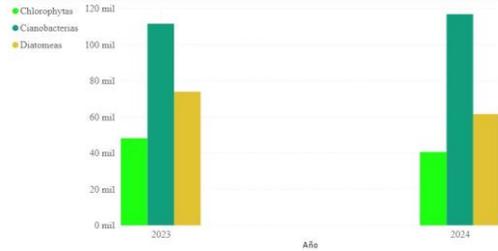


Fecha
Todas

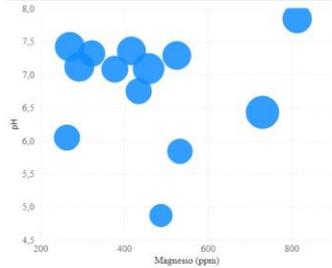
Relación Nitrógeno - Fósforo e I.E.P. en cultivo de *Penaeus vannamei*



Phylum de Fitoplancton



Magnesio (ppm), pH y Fitoplancton (Células Totales/mL) por Mes



Fecha
Todas

Relación Balance Iónico y salinidad en cultivo de *Penaeus vannamei*



Fecha
Todas

Relación en la proporción de Sodio, Calcio y Potasio en I.E.P. en cultivo de *Penaeus vannamei*



Comportamiento de la Alcalinidad, pH Y Fitoplancton en cultivo de *Penaeus vannamei*

