

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

ESCUELA DE POSGRADO

Programa de Maestría en Gestión Ambiental



UNS
E S C U E L A D E
POSGRADO

**Impacto de El Niño 2023/24 en la diversidad y estructura
comunitaria de invertebrados asociados a los bosques
submareales de *Eisenia cokeri* (Laminariales) en la
región Ancash, Perú**

**Tesis para obtener el grado de Maestro en
Ciencias en Gestión Ambiental**

Autor:

Bach. Uribe Alzamora, Roberto Alfonso
Código ORCID: 0000-0001-5302-0820

Asesor:

Ms. Sánchez Fernández Baca, Américo Alexander
DNI. N° 43350411
Código ORCID. 0000-0002-1985-8280

Nuevo Chimbote - PERÚ
2026

CERTIFICACIÓN DEL ASESOR

Yo, **Américo Alexander Sánchez Fernández Baca**, mediante la presente certifico mi asesoramiento de la Tesis de maestría titulada: **“Impacto de El Niño 2023/24 en la diversidad y estructura comunitaria de invertebrados asociados a los bosques submareales de *Eisenia cokeri* (Laminariales) en la región Áncash, Perú”**, elaborado por el bachiller **Roberto Alfonso Uribe Alzamora**, para obtener el Grado Académico de Maestro en Ciencias en Gestión Ambiental en la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional del Santa.

Nuevo Chimbote, setiembre de 2026



Mg. Américo Alexander Sánchez Fernández Baca

Asesor

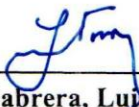
Código ORCID: 0000-0002-1985-8280

DNI N° 43350411

AVAL DEL JURADO EVALUADOR

Tesis de maestría titulada: **“Impacto de El Niño 2023/24 en la diversidad y estructura comunitaria de invertebrados asociados a los bosques submareales de *Eisenia cokeri* (Laminariales) en la región Áncash, Perú”**, elaborado por el bachiller Roberto Alfonso Uribe Alzamora,

Revisado y Aprobado por el Jurado Evaluador:



Dr. Torres Cabrera, Luis Fernando

Presidente

DNI: 26690133

Código ORCID: 0000-0003-4662-5412

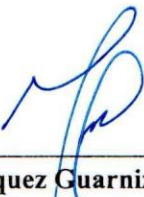


Ms. Yzasiga Barrera, Carmen Gabriela

Secretaria

DNI N° 32739703

Código ORCID: 0000-0003-2430-9945



Ms. Velasquez Guarniz, Mirian Noemi

Vocal

DNI N° 32948162

Código ORCID: 0000-0002-1789-9740



UNS
ESCUELA DE
POSGRADO

ACTA DE EVALUACIÓN DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

A los treinta y un días del mes de julio del año 2026, siendo las 15:00 horas, en el aula P-02 de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional del Santa, se reunieron los miembros del Jurado Evaluador, designados mediante Resolución Directoral N° 512-2026-EPG-UNS de fecha 23.06.2026, conformado por los docentes: Dr. Luis Fernando Torres Cabrera (Presidente), Ms. Carmen Gabriela Yzasiga Barrera (Secretaria), Ms. Américo Alexander Sánchez Fernández Baca (Vocal) y Ms. Mirian Noemi Velasquez Guarniz (Accesitaria); con la finalidad de evaluar la tesis intitulada: **"IMPACTO DE EL NIÑO 2023/24 EN LA DIVERSIDAD Y ESTRUCTURA COMUNITARIA DE INVERTEBRADOS ASOCIADOS A LOS BOSQUES SUBMAREALES DE EISENIA COKERI (LAMINARIALES) EN LA REGIÓN ANCASH, PERÚ"**; presentado por la tesista Roberto Alfonso Uribe Alzamora, egresado del programa de Maestría en Gestión Ambiental.

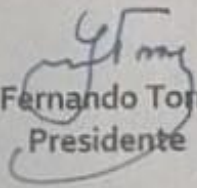
Que, en ausencia del Ms. Américo Alexander Sánchez Fernández Baca (Vocal) asume funciones la Ms. Mirian Noemí Velasquez Guarniz (Accesitaria).

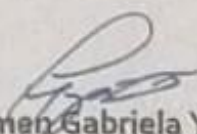
Sustentación autorizada mediante Resolución Directoral N° 666-2026-EPG-UNS de fecha 24 de julio de 2026.

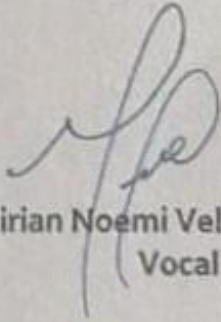
El presidente del jurado autorizó el inicio del acto académico; producido y concluido el acto de sustentación de tesis, los miembros del jurado procedieron a la evaluación respectiva, haciendo una serie de preguntas y recomendaciones al tesista, quien dio respuestas a las interrogantes y observaciones.

El jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo y con las sugerencias pertinentes, declara la sustentación como Aprobada, asignándole la calificación de Excalante.

Siendo las 16:30 horas del mismo día se da por finalizado el acto académico, firmando la presente acta en señal de conformidad.


Dr. Luis Fernando Torres Cabrera
Presidente


Ms. Carmen Gabriela Yzasiga Barrera
Secretaria


Ms. Mirian Noemi Velasquez Guarniz
Vocal



Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por **Turnitin**. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega:	ROBERTO ALFONSO URIBE ALZAMORA
Título del ejercicio:	MAESTRIA 2026
Título de la entrega:	Impacto de El Niño 2023/24 en la diversidad y estructura com...
Nombre del archivo:	Tesis_RobertoUribe.docx
Tamaño del archivo:	14.3M
Total páginas:	69
Total de palabras:	16,934
Total de caracteres:	95,800
Fecha de entrega:	14-may-2026 11:37a.m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega:	2961225015

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL



Impacto de El Niño 2023/24 en la diversidad y estructura
comunitaria de invertebrados asociados a los bosques
submareales de *Eisenia cokeri* (Laminariales) en la región
Áncash, Perú

Tesis para adoptar el grado académico de
Maestro en Ciencias en Gestión Ambiental

Autor

Bach. Roberto Alfonso Uribe Alzamora
Código ORCID: 0000-0001-5302-0820

Asesor

Américo Alexander Sánchez Fernández Baca
Código ORCID: 0000-0002-1985-8280

Nuevo Chimbote – PERÚ

Derechos de autor 2026 Turnitin. Todos los derechos reservados2026

Impacto de El Niño 2023/24 en la diversidad y estructura comunitaria de invertebrados asociados a los bosques submareales de Eisenia cokeri (Laminariales) en la región Áncash, Perú

INFORME DE ORIGINALIDAD

11 % INDICE DE SIMILITUD	10% FUENTES DE INTERNET	4% PUBLICACIONES	2% TRABAJOS DEL ESTUDIANTE
--------------------------------	-------------------------------	---------------------	----------------------------------

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.uns.edu.pe Fuente de Internet	4%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
3	es.wikipedia.org Fuente de Internet	1%
4	repositorio.imarpe.gob.pe Fuente de Internet	<1%
5	Submitted to Universidad Cientifica del Sur Trabajo del estudiante	<1%
6	creativecommons.org Fuente de Internet	<1%
7	www.procapcon.com Fuente de Internet	<1%
8	repository.javeriana.edu.co Fuente de Internet	<1%
9	Submitted to Universidad del Valle de Guatemala Trabajo del estudiante	<1%
10	Submitted to Universidad Nacional del Santa Trabajo del estudiante	<1%
cicese.repositorioinstitucional.mx		

AGRADECIMIENTOS

Al Blgo. Ángel Perea de la Matta, por la coordinación para la realización de las campañas de muestreo. Así mismo, a todo el personal científico que participa en el proyecto Diversidad Biológica y Comunidades Marinas de la Región Áncash, incluyendo al Ms. Ruslan Pastor Cuba (encargado de la colecta de los datos biológicos analizados en la presente tesis), al Ing. Pesq. Solange Aleman Mejía (encargado de la estructura de los bosques), al Dr. Dennis Atoche Suclupe (encargado de la morfología de *E. cokeri*, bitácora de campo y variables ambientales), al Blgo. Lorenzo Flores León (encargado de la diversidad asociada a rizoides), al Blgo. Jonathan Correa Acosta (encargado de la diversidad de organismos planctónicos), y a todos los que apoyaron, y continúan hasta ahora.

Al personal del Laboratorio Costero de Chimbote, del Instituto del Mar del Perú (IMARPE) por el apoyo logístico y administrativo para llevar a cabo los trabajos de campo.

A la Lic. Julissa Rassa Zúñiga por la edición del presente documento, y el desinteresado apoyo en la gestión administrativa.

Al Mag. Américo Sánchez Fernández Baca, Coordinador del Área Funcional de Investigaciones Marino Costeras (AFIMC) del IMARPE por su desinteresado apoyo durante el proceso de asesoramiento de la presente tesis.

A Han Xu, por la amabilidad en brindar la información de temperaturas y anomalías térmicas del mar de Áncash.

ÍNDICE

CERTIFICACIÓN DEL ASESOR.....	ii
AVAL DEL JURADO EVALUADOR	iii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT	x
I. INTRODUCCIÓN.....	11
1.1. Descripción y formulación del problema	12
1.2. Objetivos de la investigación	15
1.3. Formulación de la Hipótesis.....	15
1.4. Justificación e importancia	15
II. MARCO TEÓRICO.....	17
2.1 Antecedentes.....	21
2.2. Marco conceptual.....	23
2.2.1. Especies fundacionales	23
2.2.2. Bosques de macroalgas pardas gigantes o kelps	25
2.2.3. Biodiversidad o diversidad biológica	24
2.2.4. Macroalga parda <i>Eisenia cokeri</i>	25
2.2.5. Dosel.....	26
2.2.6. Estructura de comunidades.....	26
2.2.7. Olas de calor marinas	27
2.2.8. El Niño Oscilación del Sur.....	27
III. METODOLOGÍA.....	29
3.1. Métodos de la investigación.....	29
3.2. Diseño o esquema de la investigación	29
3.3. Población.....	29
3.4. Muestra	29
3.5. Variables e indicadores de la investigación.....	30
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	31
IV. RESULTADOS.....	38
4.1. Variables ambientales	38
4.2. Efecto de El Niño 2023/24 en la diversidad de invertebrados.....	40
4.2.1 Número de individuos.....	40
4.2.2. Riqueza de especies.....	43
4.2.3 Equidad de Pielóu e índice de Shannon	45

4.3.	Estructura comunitaria de invertebrados bajo el dosel de <i>E. cokeri</i>	47
4.4.	Relación entre la estructura comunitaria y los parámetros ambientales	49
V.	DISCUSIÓN.....	51
5.1.	Respuesta del bosque de <i>Eisenia cokeri</i> frente a El Niño 2023/24.....	51
5.2.	Estabilidad de la abundancia y control espacial	51
5.3.	Variabilidad temporal de la riqueza.....	52
5.4.	Variabilidad de la estructura comunitaria.....	55
5.5.	Rol del hábitat en la respuesta comunitaria.....	55
5.6.	Implicancias ecológicas para la gestión ambiental y conservación.....	56
VI.	CONCLUSIÓN	58
VII.	RECOMENDACIONES	59
VIII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62
IX.	ANEXOS	73

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables.....	30
Tabla 2. Análisis de varianza basado en permutaciones (PERMANOVA) de la distribución de la abundancia. Los valores significativos son mostrados en negritas	42
Tabla 3. Análisis de varianza basado en permutaciones (PERMANOVA) de la distribución de la riqueza de especies. Los valores significativos son mostrados en negritas.	44
Tabla 4. Análisis de varianza basado en permutaciones (PERMANOVA) de la distribución de la estructura comunitaria de invertebrados, basado en la abundancia, que habitan bajo el dosel de <i>E. cokeri</i> en la región Áncash. Los valores significativos son mostrados en negritas.	

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Anomalías térmicas en la provincia de Huarmey, región Áncash, en el lapso enero 2015 – febrero 2026, mostrando las categorías asociadas al evento El Niño	14
Figura 2. Bosques de macroalgas pardas en el Perú.....	19
Figura 3. Bosque formado por <i>Eisenia cokeri</i> en Huarmey. Interacción en la comunidad de invertebrados característico de la Corriente de Humboldt dentro del bosque, como caracoles (<i>Thais biserialis</i>) sobre camas de choritos (<i>Semimytilus patagonicus</i>), y esponjas marinas cubriendo los discos de fijación o rizoides de las macroalgas	20
Figura 4. Imágenes del bosque de <i>E. cokeri</i> durante El Niño 2023/24. Pérdida del dosel de <i>E. cokeri</i> (izquierda) en invierno 2023, y acumulación de herbívoros como los caracoles (<i>Tegula</i> spp.) y erizos negros (<i>Arbacia nigra</i>) (derecha) en verano 2024.....	21
Figura 5. Ubicación de los sitios de estudio en la costa de las provincias de Casma y Huarmey.....	32
Figura 6. Buzos científicos realizando el registro de invertebrados bentónicos (izquierda), y de la densidad de <i>E. cokeri</i> (foto derecha)	33
Figura 7. Distribución de los valores de la densidad de <i>E. cokeri</i> , profundidad, temperatura e intensidad de luz, ...	39
Figura 8. Variación de las abundancias promedio (individuos/m ²) de los 30 invertebrados mas abundantes que habitan bajo el dosel de <i>E. cokeri</i> en cada sitio, campaña de muestreo y estación, antes durante y después de El Niño 2023/24 en la región Áncash	40
Figura 9. Variabilidad de la abundancia promedio de invertebrados asociados a los bosques de <i>E. cokeri</i> en la región Áncash a través de El Niño 2023/24	40
Figura 10. Variabilidad del número de por condición, estación y sitio de invertebrados asociados a los bosques de <i>E. cokeri</i> en la región Áncash	42

Figura 11. Variabilidad de la riqueza de especies de invertebrados asociados a los bosques de <i>E. cokeri</i> en la región Áncash a través de El Niño 2023/24	43
Figura. 12. Variabilidad de la riqueza de especies por estación, sitio y condición de invertebrados asociados a los bosques de <i>E. cokeri</i> en la región Áncash	44
Figura 13. Distribución temporal de la equidad de Pielou (J') de invertebrados asociados a los bosques de <i>E. cokeri</i> en la región Áncash.....	45
Figura 14. Distribución temporal de la equidad de Pielou (J') de invertebrados asociados a los bosques de <i>E. cokeri</i> en la región Áncash.....	46
Figura 15. Distribución temporal del índice de Shannon (H') de invertebrados asociados a los bosques de <i>E. cokeri</i> en la región Áncash	46
Figura 16. Distribución temporal de la equidad de Pielou y el índice de Shannon de invertebrados asociados a los bosques de <i>E. cokeri</i> en la región Áncash	457
Figura 17. Análisis no métrico multidimensional mostrando el patrón de distribución de la estructura comunitaria de invertebrados que habitan bajo el dosel de <i>E. cokeri</i> en cada sitio, campaña de muestreo y estación, antes durante y después de El Niño 2023/24 en la región Áncash.....	48
Figura 18. Análisis de redundancia con la distribución de la abundancia de invertebrados asociados a los bosques de <i>E. cokeri</i> en la región Áncash y las principales variables predictoras.....	50
Figura 19. Invertebrados bentónicos, de origen frío y cálido, dentro del bosque de <i>E. cokeri</i> en setiembre 2025, después del evento El Niño 2023/24	54

RESUMEN

La presente investigación evaluó el impacto del evento El Niño 2023/24 sobre la diversidad y estructura comunitaria de invertebrados asociados a los bosques submareales de *Eisenia cokeri* en la región Áncash, Perú. Estos ecosistemas cumplen un rol fundamental como especies fundacionales al proporcionar refugio, alimento y complejidad estructural para numerosas especies bentónicas. El estudio se desarrolló entre los años 2022 y 2025 mediante ocho campañas de muestreo distribuidas antes, durante y después del evento cálido, en cinco localidades de las provincias de Casma y Huarney. Se evaluaron variables biológicas y ambientales mediante buceo científico y análisis estadísticos univariados y multivariados. Se registró un total de 17 037 individuos y 82 especies de invertebrados bajo el dosel de *E. cokeri*. Los resultados evidenciaron un incremento progresivo de la riqueza de especies durante y después del evento El Niño 2023/24, acompañado por una mayor presencia de especies de afinidad cálida. Asimismo, la temperatura y la intensidad de luz aumentaron considerablemente durante el evento, mientras que la estructura del bosque mostró modificaciones espaciales relacionadas con la pérdida parcial del dosel y desplazamientos hacia mayores profundidades. Aunque la abundancia total de individuos no presentó diferencias significativas entre periodos, la riqueza y estructura comunitaria mostraron una marcada variabilidad espacial y temporal, influenciada principalmente por factores locales del hábitat y condiciones oceanográficas. Los análisis multivariados sugieren que el evento El Niño generó cambios en la composición de la comunidad bentónica, incrementando la heterogeneidad ecológica dentro de los bosques de *E. cokeri*. Finalmente, el estudio demuestra que los bosques submareales de *E. cokeri* presentan respuestas dinámicas frente a perturbaciones climáticas extremas, resaltando su importancia ecológica y la necesidad de implementar estrategias de conservación y manejo costero frente al incremento de eventos cálidos en el Pacífico suroriental.

Palabras claves: Biodiversidad, bosques de macroalgas, ensamble bentónico, El Niño Oscilación del Sur (ENOS).

ABSTRACT

This study evaluated the impact of the El Niño 2023/24 event on the diversity and community structure of invertebrates associated with subtidal forests of *Eisenia cokeri* in the Áncash region, Peru. These ecosystems play a fundamental role as foundation species by providing shelter, food resources, and structural complexity for numerous benthic species. The study was conducted between 2022 and 2025 through eight sampling surveys carried out before, during, and after the warm event across five localities in the provinces of Casma and Huarmey. Biological and environmental variables were assessed through scientific diving and univariate and multivariate statistical analyses. A total of 17 037 individuals and 82 invertebrate species were recorded under the canopy of *E. cokeri*. The results showed a progressive increase in species richness during and after the El Niño 2023/24 event, accompanied by a greater presence of warm-affinity species. Likewise, temperature and light intensity increased considerably during the event, while forest structure exhibited spatial modifications associated with partial canopy loss and shifts toward deeper areas. Although total invertebrate abundance did not show significant differences among periods, species richness and community structure displayed marked spatial and temporal variability, mainly influenced by local habitat factors and oceanographic conditions. Multivariate analyses suggest that the El Niño event generated changes in benthic community composition, increasing ecological heterogeneity within *E. cokeri* forests. Finally, the study demonstrates that subtidal forests of *E. cokeri* exhibit dynamic responses to extreme climatic disturbances, highlighting their ecological importance and the need to implement conservation and coastal management strategies in response to the increasing occurrence of warm events in the southeastern Pacific.

Keywords: Biodiversity, Kelp forests, benthic assemblage, El Niño Southern Oscillation (ENSO).

I. INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas marinos costeros del Pacífico sudoriental se caracterizan por una elevada productividad biológica asociada a los procesos de surgencia de la Corriente de Humboldt, uno de los sistemas de surgencia más intensos del mundo (Chavez & Messié 2009). La fertilización de las aguas superficiales por nutrientes provenientes de capas profundas favorece el desarrollo de una gran diversidad de organismos marinos y sustenta importantes pesquerías en la región. Sin embargo, la dinámica de estos ecosistemas está fuertemente influenciada por la variabilidad climática interanual, particularmente por los eventos asociados al El Niño Oscilación del Sur (ENOS) (Cavanaugh et al., 2026). Durante la fase cálida de este evento cíclico, conocida como El Niño, se producen cambios significativos en las condiciones oceanográficas del Pacífico oriental, incluyendo el incremento de la temperatura superficial del mar, la profundización de la termoclina y oxiclina, disminución de los vientos alisios y la reducción de la intensidad de la surgencia costera (Dewitte et al., 2012). Estos procesos generan alteraciones en la disponibilidad de nutrientes y en la productividad primaria, lo que puede desencadenar respuestas ecológicas a diferentes niveles de organización biológica (Espinoza-Morriberón et al., 2017).

Entre los ecosistemas costeros potencialmente afectados por estas perturbaciones se encuentran los bosques de macroalgas pardas del orden Laminariales, llamados *kelp*. Estas especies forman extensas estructuras tridimensionales que funcionan como hábitats complejos para una gran diversidad de organismos bentónicos y pelágicos (Carbajal et al., 2022). Los bosques de *kelps* desempeñan un papel ecológico fundamental al actuar como ingenieros ecosistémicos, ya que modifican las condiciones físicas del ambiente y proporcionan refugio, alimento y sustrato para numerosas especies de invertebrados y peces. Como consecuencia, estos sistemas albergan comunidades altamente diversas cuya composición y estructura pueden verse influenciadas por cambios en la biomasa o complejidad estructural del dosel algal (Ortiz 2010). Durante eventos El Niño, el aumento de la temperatura del agua y la reducción de nutrientes pueden afectar el crecimiento, la

supervivencia y la densidad de las macroalgas pardas, provocando modificaciones en su estructura. Estas alteraciones pueden tener efectos indirectos sobre las comunidades de invertebrados asociadas, generando cambios en la riqueza de especies, la diversidad y la estructura comunitaria (Vásquez et al., 2006).

El evento El Niño 2023/24 representó una de las perturbaciones climáticas más recientes en el Pacífico tropical y subtropical, generando condiciones oceanográficas anómalas a lo largo de la costa peruana (Gutiérrez et al., 2025). A pesar de la importancia ecológica de los bosques de *kelp* en esta región, aún existe información limitada sobre cómo las comunidades bentónicas asociadas responden a este tipo de eventos climáticos en escalas temporales y espaciales. Estudios previos mencionan que la disminución de la abundancia de estas especies fundacionales tiene alto impacto en la comunidad y el ecosistema en general debido a su papel fundamental en el mantenimiento de los procesos ecológicos (Graham 2004). Las especies fundacionales, como los *kelps*, se encuentran entre las más importantes de cualquier ecosistema costero, ya que definen su identidad, incluyendo la biodiversidad que sustenta y los servicios que presta. La pérdida de estas especies fundacionales puede provocar el colapso del ecosistema, lo que conlleva cambios generalizados en la estructura y el funcionamiento ecológico (Smith et al., 2024). En la costa del Perú, uno de los *kelp* característicos de ambientes submareales someros es *Eisenia cokeri*, una macroalga endémica que forma bosques discretos y densos sobre sustratos rocosos y constituye un componente estructural clave de los ecosistemas submareales de la costa nor-centro de Perú (Uribe et al. 2022).

1.1. Descripción y formulación del problema

Los bosques *kelps* en la Corriente del Humboldt, como *Lessonia* spp., *Macrocystis pyrifera*, *Eisenia cokeri*, son ecosistemas con condiciones ambientales distintas al medio externo (Uribe et al., 2015a), como la alta tasa de sedimentación de detritus (nutrientes), disminuyen la intensidad de luz hacia el fondo, modifican el flujo de corrientes (recirculación) y alteran el flujo de carbono sobre el fondo marino (Uribe et al., 2015b; Smale et al., 2020;

Stuart et al., 2025), sin embargo, a escala espacial y temporal su estabilidad y resiliencia depende de las condiciones oceanográficas principalmente. Por lo tanto, un drástico cambio en el medio externo podría afectar este escenario y reducir el área ocupada por estos ecosistemas. Las condiciones de estabilidad ecológica de los bosques de macroalgas (en condiciones normales) juegan un importante rol en la estructuración de sus comunidades asociadas, la cual genera fuertes relaciones biológicas (King et al., 2021; Ortiz & Uribe, 2021). Estos ecosistemas dependen del espacio físico (escalas) y condiciones ambientales locales como la profundidad, configuración morfológica de la costa, entre otras (Smale et al., 2016). En ese sentido, eventos anómalos como las olas de calor pueden afectar negativamente su estructura poblacional y la subsecuente pérdida de la biodiversidad que habita bajo su dosel (Leathers et al., 2023).

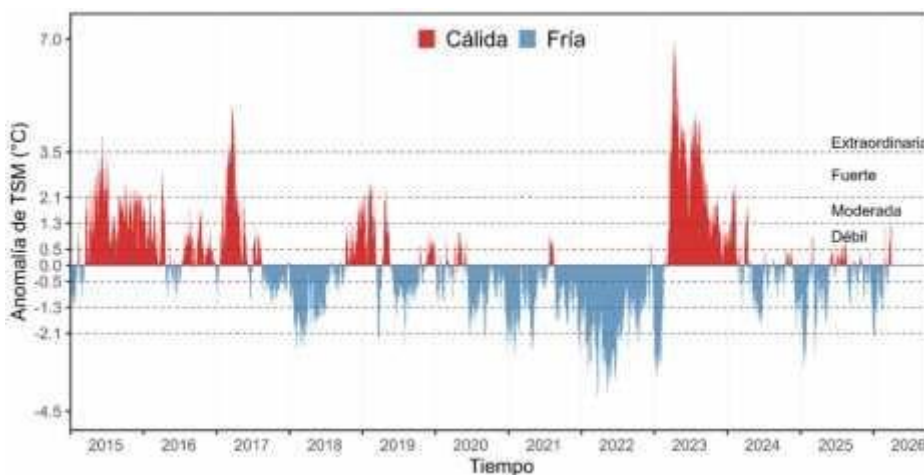
La complejidad estructural generada por *E. cokeri* contribuye a mantener elevados niveles de riqueza de especies y diversidad, así como patrones particulares en la estructura comunitaria de los organismos asociados (Carbajal et al., 2022; Uribe et al., 2024a). Sin embargo, la dinámica de estos ecosistemas puede verse alterada por la variabilidad climática interanual, especialmente durante eventos cálidos asociados al ENOS (Fernández et al., 1999; Lleellish 2020). Similar a otras especies de *kelp*, las condiciones bajo el dosel de *E. cokeri* pueden ser particulares, tales como menor intensidad de luz, modificación del hidrodinamismo y acumulación de materia orgánica. Estas condiciones favorecen el establecimiento de numerosas especies de invertebrados, incluyendo especies comerciales, cuya distribución y abundancia dependen en gran medida de la complejidad estructural del bosque y de las condiciones ambientales en el exterior.

A pesar de la importancia ecológica de los bosques de *kelp* en el Pacífico suroriental, aún existe información limitada sobre cómo las comunidades de invertebrados asociadas responden a eventos El Niño en escalas espaciales y temporales específicas. En particular, en la región de Áncash no existen estudios que evalúen los cambios en la diversidad y estructura comunitaria de invertebrados asociados a bosques submareales de *Eisenia cokeri* durante eventos climáticos extremos. Entre el verano del 2023 y 2024, la costa peruana

estuvo afectada por el evento El Niño 2023/24 generando anomalías térmicas positivas extremas que podrían haber modificado las condiciones ambientales y la estructura de los ecosistemas submareales (Gutiérrez et al., 2026), como los bosques de *kelps*. En la costa de Huarney (región Áncash), este evento llegó a la categoría de “extraordinario” durante los primeros meses del 2023 hasta pasar a la categoría “moderado” durante el primer trimestre del 2024, con picos de hasta casi 7°C (Fuente: Dirección General de Investigaciones en Hidroacústica y Sensoramiento Remoto, IMARPE) (Fig. 1). En este contexto, surge la necesidad de evaluar cómo las comunidades de invertebrados asociadas a bosques submareales de *Eisenia cokeri* responden a las variaciones ambientales generadas por el evento El Niño. Este es el primer estudio en caracterizar el impacto de El Niño sobre la diversidad y estructura comunitaria de invertebrados que habitan bajo el dosel de *E. cokeri* en el Perú.

Figura 1.

Anomalías térmicas en la provincia de Huarney, región Áncash, en el lapso enero 2015 – febrero 2026, mostrando las categorías asociadas al evento El Niño.



Nota: Fuente Dirección general de investigaciones en hidroacústica y sensoramiento remoto, Imarpe. Elaboración: D. Atoche.

Pregunta de investigación:

¿Cómo afectó el evento El Niño 2023/24 en la diversidad y estructura comunitaria de los invertebrados que habitan bajo el dosel de *Eisenia cokeri* en la región Áncash?

1.2. Objetivos de la investigación

Objetivo general

Determinar el impacto de El Niño 2023/24 en la diversidad y estructura comunitaria de invertebrados que habitan bajo el dosel de los bosques submareales de *Eisenia cokeri* en la región Áncash.

Objetivos específicos

- Examinar la variabilidad de las variables ambientales y biológicas.
- Cuantificar la diversidad de invertebrados móviles o sésiles individuales que habita bajo el dosel, incluyendo el número de individuos (N), número de especies (S), diversidad de Shanon (H') y equidad de Pielóu (J').
- Determinar diferencias de la diversidad y estructura de invertebrados móviles o sésiles individuales antes, durante y después de El Niño 2023/24.
- Determinar diferencias estacionales (verano e invierno) de la diversidad y estructura comunitaria de invertebrados móviles o sésiles individuales asociados a *E. cokeri*.
- Relacionar la variabilidad de la comunidad biológica con factores biológicos y ambientales locales.
- Enlazar los resultados con la gestión ambiental y conservación.

1.3. Formulación de la Hipótesis

El Niño 2023/24 modifica la diversidad y altera la estructura de la comunidad de invertebrados bentónicos que habita bajo el dosel de los bosques submareales de *Eisenia cokeri* en la región Áncash.

1.4. Justificación e importancia

Las olas de calor y eventos cálidos cíclicos como El Niño Oscilación del Sur (ENOS) ocasionan extinción local y reducción de poblaciones de bosques de macroalgas, colapsos

de pesquerías artesanales, desaparición y migración de muchas especies asociadas a aguas templadas (Maucieri et al., 2025). Sin embargo, no se conoce el impacto que podría ocasionar la fase cálida del ENOS sobre la biodiversidad asociada a los bosques de macroalgas pardas gigante en el Perú, específicamente en *E. cokeri* en la costa norte del Perú. Por otro lado, la restringida distribución de esta especie en el Perú, requiere del establecimiento de medidas de gestión que permitan garantizar su continuidad, ya que forman ecosistemas frágiles poco conocidos y con altos valores de biodiversidad en el borde costero.

La presente investigación es importante porque va a contribuir al conocimiento del impacto de El Niño sobre los bosques submareales de *E. cokeri* y para futuras gestiones de planes de manejo y conservación costera en la región Áncash. Además, servirá como modelo de estudio para otras especies de *kelp* en el Perú. Esto está específicamente relacionado con el manejo integral del borde costero lo que favorece la condición de estabilidad del ecosistema, por motivos de intervención humana y factores ambientales. Finalmente, este conocimiento ecológico permitirá generar lineamientos a la conservación de la biodiversidad en el Perú, y la potencial creación de un área protegida por el estado en la región Áncash.

II. MARCO TEÓRICO

Variabilidad climática en el Pacífico sureste. La variabilidad climática es uno de los principales factores que modulan la dinámica de los ecosistemas marinos (Smith et al., 2023). Entre los eventos climáticos de mayor relevancia a escala global se encuentra el El Niño Oscilación del Sur, un sistema acoplado océano-atmósfera que genera fluctuaciones periódicas en las condiciones oceanográficas del Pacífico tropical (Chavez & Messié, 2009; Grados et al., 2018). Durante la fase cálida del ENOS, las aguas cálidas del Pacífico occidental se desplazan hacia el este, provocando un debilitamiento de los vientos alisios y alteraciones en los patrones de circulación oceánica (Graco et al., 2007; Grados et al., 2018). En el Pacífico sudoriental, estos cambios se manifiestan principalmente a través del aumento de la temperatura superficial del mar, la reducción de la surgencia costera y modificaciones en la disponibilidad de nutrientes (Graco et al., 2007; Hobday et al. 2016). Estas variaciones pueden afectar los niveles tróficos inferiores del ecosistema, alterando la productividad primaria y generando cascadas ecológicas que impactan la estructura y funcionamiento de las comunidades marinas costeras (Arntz & Tarazona 1990; Gutiérrez et al., 2025).

Bosques de macroalgas (kelps) como hábitats estructurales. Los bosques de *kelp* constituyen uno de los ecosistemas marinos más productivos y estructuralmente complejos de las zonas templadas y subtropicales (Werberg et al. 2024). Las macroalgas del orden Laminariales forman densos doseles que crean microhábitats tridimensionales capaces de albergar una gran diversidad de organismos bentónicos (Teagle et al., 2017). En la costa del Perú, una de las especies dominantes en ambientes submareales es *Eisenia cokeri*, la cual se distribuye principalmente sobre sustratos rocosos expuestos a condiciones de surgencia (Fig. 2). Esta especie puede formar agregaciones densas que incrementan la heterogeneidad estructural del hábitat y favorecen el establecimiento de comunidades asociadas (Atoche-Suclupe et al., 2021). Los bosques de *kelp* influyen en diversos procesos ecológicos, entre ellos provisión de refugio frente a depredadores, oferta de recursos alimenticios, modificación del hidrodinamismo local y generación de sustratos para organismos epibiontes. Debido a

estas características, los *kelp* son considerados ingenieros ecosistémicos, ya que su presencia modifica el ambiente físico y biológico circundante (Uribe et al., 2015a).

El albergue de la biodiversidad es un servicio ecosistémico (intrínseco) de los *kelps*, con muchas dificultades para su cuantificación y valorización (Werberg et al. 2019). Evidencias han demostrado que muchos *kelps* alrededor del mundo presentan altos niveles de biodiversidad, donde la abundancia de invertebrados y otras macroalgas es uno de los indicadores mas importantes (Teagle et al., 2017). Los *kelps* son ecosistemas marinos que proporcionan toda una gama de servicios, los cuales tienen impactos a escala local, regional y global (Werberg et al., 2019; Cuba et al., 2022). Sin embargo, el continuo efecto de las actividades humanas y ambientales sobre estos *kelps* ha demostrado su alta vulnerabilidad, y la subsecuente extinción local de su biodiversidad asociada y alteración de sus comunidades (Stuart et al., 2025).

Las especies fundacionales mantienen altos niveles de biodiversidad y estructuran las comunidades locales donde modifican las condiciones ambientales (Miller et al., 2018). Este es el caso de los *kelps*, los cuales mantienen los patrones de estructuración de las comunidades (Smale 2020), y modifican el ambiente (Miller et al., 2018). Esto aumenta la disponibilidad de alimentos y proporciona directamente hábitat para muchas especies asociadas (Teagle et al., 2017; Thomsen et al., 2022). Sin embargo, los *kelps* están afectados por una serie de factores estresantes mediados por el hombre, como las olas de calor (Thomsen et al., 2019; Sorte et al., 2017), la degradación del hábitat y pesquería (Ortiz & Levins 2017; Gouraguine et al., 2021). Por lo tanto, existe una necesidad de comprender cómo los *kelp* mantienen la biodiversidad y estructuran las comunidades de invertebrados durante eventos cíclicos ambientales, como El Niño, con la finalidad de generar planes de manejo y conservación.

Figura 2.
Bosques de macroalgas pardas en el Perú.



Nota: Las fotografías corresponden a las especies Eisenia cokeri (Huarney, región Áncash), Macrocystis pyrifera (Isla San Lorenzo, región Lima), Lessonia berteroana (Matarani, región Arequipa) y Lessonia trabeculata (Atico, región Arequipa).

Comunidad de invertebrados asociadas a bosques de macroalgas. La teoría de comunidades busca explicar cómo se estructuran, organizan y mantienen las especies que coexisten en un espacio y tiempo determinados, integrando procesos como la competencia, la depredación, la facilitación y la dispersión (Wahl 2009). Este marco conceptual reconoce que la composición y diversidad de las comunidades emergen de la interacción entre factores bióticos y abióticos, así como de procesos estocásticos y deterministas (Clarke & Warwick 2021). En este contexto, conceptos como el nicho ecológico, sucesión y perturbación permiten interpretar patrones de riqueza, abundancia y recambio de especies, proporcionando una base fundamental para entender la dinámica de los ecosistemas y su respuesta frente a perturbaciones naturales y antrópicas.

Las comunidades de invertebrados asociadas a bosques de *kelp* suelen presentar elevados niveles de riqueza y diversidad debido a la complejidad estructural del hábitat. Entre los grupos más comunes se encuentran moluscos, crustáceos, equinodermos y poliquetos, los cuales utilizan las estructuras del *kelp* como refugio, zona de alimentación o sustrato de fijación (Vázquez et al., 2006; Uribe et al., 2024a). La estructura comunitaria de estos organismos puede variar en función de múltiples factores ambientales, incluyendo la disponibilidad de recursos, las interacciones biológicas y las condiciones oceanográficas locales (Villegas et al., 2008). Cambios en la biomasa o densidad del *kelp* pueden generar modificaciones en la composición y abundancia relativa de las especies asociadas (Fig. 3).

Figura 3.

Bosque formado por Eisenia cokeri en Huarney



Nota: Interacción en la comunidad de invertebrados característico de la Corriente de Humboldt dentro del bosque, como caracoles (Thais biserialis) sobre camas de choritos (Semimytilus patagonicus), y esponjas marinas cubriendo los discos de fijación o rizoides de las macroalgas.

Impacto de El Niño en bosques de macroalgas y comunidades bentónicas. Los eventos asociados a El Niño afectan significativamente a los ecosistemas dominados por macroalgas pardas (Vázquez et al., 2006), sin embargo, este efecto puede depender de las condiciones biológicas y ecológicas de cada especie fundacional. El aumento de la temperatura del agua puede generar estrés fisiológico en especies adaptadas a ambientes fríos, mientras que la reducción de nutrientes limita el crecimiento y la productividad de estas macroalgas. Como consecuencia, se pueden producir cambios en la densidad, tamaño o cobertura de los bosques de *kelps* (Fig. 4). Estas modificaciones estructurales pueden repercutir en las comunidades bentónicas asociadas, alterando la riqueza de especies, la diversidad y la composición taxonómica de los organismos presentes. En este contexto, el estudio de los efectos de eventos El Niño sobre comunidades asociadas a bosques de *kelp* resulta fundamental para comprender los mecanismos que regulan la resiliencia y dinámica de estos ecosistemas frente a perturbaciones climáticas.

Figura 4.

Imágenes del bosque de E. cokeri durante El Niño 2023/24.



Nota: Pérdida del dosel de E. cokeri (izquierda) en invierno 2023, y acumulación de herbívoros como los caracoles (Tegula spp.) y erizos negros (Arbacia nigra) (derecha) en verano 2024.

2.1 Antecedentes

Los *kelps* son refugios biogénicos al albergar altos niveles de biodiversidad, principalmente en zonas templadas alrededor del mundo (Teagle et al, 2017; Campos et al.,

2020). Esta preferencia de ciertos organismos, posiblemente emerge a partir de la capacidad tridimensional de estos ecosistemas, y debido a un incremento en la abundancia de depredadores (Bertocci et al., 2015). Además, debido a la creciente pesquería de kelp, muchos investigadores han mostrado interés por conocer la variabilidad de estos ecosistemas marinos, y su efecto sobre la biodiversidad (Pérez-Matus et al., 2017; Campos et al., 2020). Pérez-Matus et al. (2017) mencionan que, a pesar del efecto negativo de la pesquería, otros efectos también impactan sobre estos *kelps*, como la contaminación y las altas temperaturas. Aunque muchas especies tienen preferencias al refugio ofrecido por ciertas especies de macroalgas (Teagle et al., 2017; Carbajal et al., 2022), es necesario conocer como éstas especies varían en función de fuertes impactos externos con el factor humano y el evento cíclico de El Niño en el Perú.

Fernández et al (1999) y Lleellish (2020), mostraron que El Niño 1997-1998 generó un impacto negativo sobre la densidad de los bosques formados por *Lessonia trabeculata* en la costa centro y sur del Perú respectivamente. Recientemente, Cuba et al. (2022) sintetizaron información sobre los servicios ecosistémicos brindados por los bosques de macroalgas pardas que habitan en la Corriente del Humboldt, donde mostraron a las especies *Lessonia* spp. y *Macrocystis pyrifera* con más de 200 especies asociadas bajo el dosel. Lamentablemente, pocos estudios han sido realizados en la costa peruana. Sin embargo, se conoce que los bosques mejoran la habitabilidad de organismos bentónicos, y de la columna de agua, incluso a especies con interés económico (Pérez-Matus et al., 2017). Los *kelp* han sido mencionados como ecosistemas frágiles, y susceptibles a cambios ambientales en el medio marino, siendo más afectado por las altas temperaturas (e.g., olas de calor, El Niño) (Spiecker & Menge, 2022), contaminación (Scheibling et al., 2013) y por la invasión de especies no nativas (Sullaway & Edwards, 2022).

La especie de macroalga parda *E. cokeri*, endémica del Perú, habita a lo largo de la costa norte de Perú, hasta la costa centro-sur (observación personal), y pertenecen al mismo grupo de las macroalgas pardas *Lessonia* spp. y *M. pyrifera* que habitan en el centro y sur de Perú (Carbajal et al., 2022). Exploraciones submareales recientes mostraron altos niveles de

biodiversidad de macroinvertebrados que habita los discos de fijación de *E. cokeri* comparado con otros bosques en el sur de Perú (Carbajal et al., 2022). Posteriormente, se mostró la alta variabilidad espacio temporal de estos ensambles de invertebrados macrobentónicos en la región Áncash (Uribe et al., 2024a). Sin embargo, es bien conocido alrededor del mundo que estos ecosistemas albergan una alta diversidad de organismos bajo el dosel como peces, invertebrados, microbioma y macroalgas (Pérez-Matus et al., 2017; King et al., 2023; Campos et al., 2020), pero, poco se conoce sobre los efectos de El Niño en el mar peruano (Fernández et al., 1999).

2.2. Marco conceptual

2.2.1. Especies fundacionales.

Las especies fundacionales son organismos que desempeñan un papel clave en la estructuración y funcionamiento de los ecosistemas, debido a su capacidad para modificar el ambiente físico y generar hábitats que sostienen a otras especies (Fraser 2012). Generalmente se caracterizan por su alta biomasa o dominancia espacial y por su influencia desproporcionada en la diversidad y dinámica de las comunidades. Al formar estructuras complejas, estas especies incrementan la heterogeneidad del hábitat, facilitan procesos ecológicos como el refugio, la alimentación y el reclutamiento de otros organismos, y contribuyen al mantenimiento de la biodiversidad y de múltiples funciones ecosistémicas. En ecosistemas marinos del Perú, por ejemplo, los bosques de macroalgas pardas gigantes en la costa centro y sur del Perú, bosques de corales en el mar tropical de Piura y Tumbes, las camas de algas formadas por especies como *Caulerpa filiformis*, *Rhodymenia* spp., comunidades intermareales de macroalgas rojas (e.g. *Chondracanthus chamissoi*) en la costa centro y norte de Perú, actúan como especies fundacionales al crear estructuras tridimensionales que sustentan una amplia variedad de diversidad marina entre peces, invertebrados, microeucariotas, microorganismos y otras macroalgas (Aguilar et al., 2022; Uribe et al., 2015b).

2.2.2. Bosques de macroalgas pardas gigantes o kelps.

La palabra *Kelp* es usada para referirse a especies de macroalgas del Orden Laminariales, la cual se caracteriza por agrupar taxones de algas pardas gigantes, con un rizoide bien desarrollado (Fraser 2012). Aunque esta definición es considerada como coloquial, es común encontrarla en la literatura primaria para referirse a este grupo de especies. Los bosques de macroalgas pardas gigantes son ecosistemas marinos altamente productivos dominados por grandes macroalgas del orden Laminariales, que forman densas estructuras tridimensionales en zonas costeras rocosas de aguas frías y templadas. En el Pacífico sudeste, este grupo está representado por especies como *Macrocystis pyrifera*, *Lessonia* spp., *Eisenia cokeri*, y pueden alcanzar varios metros de longitud y conforman un dosel submarino que modifica las condiciones ambientales locales, como la disponibilidad de luz, el movimiento del agua y la estructura del hábitat (Uribe et al., 2015b). Debido a esta complejidad estructural, los bosques de *kelps* funcionan como especies fundacionales, o llamados también “ingenieros ecosistémicos” (Jones et al. 1997), proporcionan refugio, zonas de alimentación y áreas de reproducción para una gran diversidad de peces, invertebrados y otros organismos marinos, además de contribuir significativamente a la productividad primaria y a los ciclos biogeoquímicos en los ecosistemas costeros (Cevallos et al., 2024).

2.2.3. Biodiversidad o diversidad biológica

La definición mas clara de biodiversidad o diversidad biológica es acuñada por Magurrán (2003), quien la define como la abundancia (el número o peso) de especies en un área determinada, que puede ser medida a través de la riqueza y la equidad. Según la Convención sobre la Diversidad Biológica (tratado internacional adoptado en 1992 en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo bajo el auspicio del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente), la biodiversidad comprende la variabilidad de los organismos vivos de cualquier fuente, incluidos los ecosistemas terrestres, marinos y otros ecosistemas acuáticos, así como los complejos ecológicos de los que forman parte; esto incluye la diversidad dentro de las especies (diversidad genética), entre especies

y de los ecosistemas (Convenio sobre la Diversidad Biológica 1992). El concepto suele utilizarse como una forma abreviada y de uso más común para referirse a la diversidad biológica, término que es esencialmente equivalente desde el punto de vista científico y normativo. Sin embargo, mientras diversidad biológica se emplea con mayor frecuencia en contextos formales, técnicos o legales, biodiversidad se ha popularizado en la literatura científica y en el discurso de conservación por su carácter más sintético y comunicativo, aunque ambos conceptos describen la misma amplitud de variación de la vida en el planeta.

2.2.4. *Macroalga parda Eisenia cokeri*

Esta especie es una macroalga parda de gran tamaño perteneciente al orden Laminariales que forma bosques submareales en la costa centro y norte del Perú (Howe 1914). Esta especie se caracteriza por presentar un talo robusto compuesto por un disco de fijación que se adhiere a sustratos rocosos, un estipe rígido y láminas coriáceas que pueden formar densos parches o praderas submarinas (Atoche-Suclupe et al., 2021). Al igual que otros *kelps* estructurales, *E. cokeri* actúa como una especie formadora de hábitat del ecosistema marino, incrementando la complejidad del hábitat y proporcionando refugio, alimento y áreas de reproducción para numerosas especies de peces e invertebrados (Uribe et al., 2024a). Es endémica del Perú (Carbajal et al., 2026), y su distribución se asocia principalmente a zonas submareales rocosas expuestas a la influencia del sistema de surgencia de la Corriente de Humboldt, donde las aguas frías y ricas en nutrientes favorecen su crecimiento y productividad, convirtiéndola en un componente clave de la estructura y funcionamiento de los ecosistemas costeros del Perú. Las poblaciones de esta especie pueden ser ubicada desde un rango de 3 a 12 m de profundidad (Uribe et al., 2024a), sin embargo, se han observado ejemplares en el intermareal expuesto (marea baja), y a los 15 m de profundidad (Observación personal). Su distribución actual va desde la Bahía Sechura (región Piura) hasta Bahía Independencia (región Ica).

2.2.5. Dosel

En ecología marina, el dosel, o *canopy* en inglés, se refiere a la capa superior formada por las frondas o estructuras fotosintéticas de organismos dominantes que se elevan sobre el sustrato, generando una cobertura tridimensional que modifica las condiciones ambientales del hábitat (Atoche-Suclupe et al., 2021). En ecosistemas dominados por macroalgas, como los bosques de *kelps*, el dosel está constituido por las frondas de especies estructuradoras que se extienden hacia la columna de agua, creando zonas de sombra, reduciendo la energía del oleaje y proporcionando refugio y áreas de alimentación para numerosos organismos asociados. Esta estructura cumple un papel clave en la organización de la comunidad, ya que regula factores como la disponibilidad de luz, el flujo de agua y la complejidad del hábitat, influyendo directamente en la diversidad y abundancia de especies que habitan bajo el dosel (Attridge et al., 2025).

2.2.6. Estructura de comunidades

El concepto de estructura de comunidades proviene de la teoría de comunidades, y se define como un grupo de poblaciones de diferentes especies que coexisten en mismo hábitat (Wahl 2009). La estructura de comunidades se refiere a la organización y composición de las especies que coexisten en un ecosistema, incluyendo su diversidad, abundancia relativa y patrones de distribución espacial y temporal. Este concepto integra distintos atributos ecológicos, como la riqueza de especies, la diversidad, la equidad en la distribución de abundancias, etc, los cuales permiten describir cómo se organizan las comunidades biológicas y cómo interactúan sus componentes. La estructura comunitaria está determinada por la interacción entre factores bióticos como competencia, depredación y reclutamiento; y factores abióticos como temperatura, disponibilidad de nutrientes, hidrodinamismo o características del hábitat, que en conjunto regulan la dinámica, estabilidad y funcionamiento de los ecosistemas (Menge & Olson 1990). El análisis de la estructura de comunidades es fundamental para comprender los efectos de perturbaciones naturales o antropogénicas sobre la biodiversidad y los procesos ecológicos (Riascos et al., 2016).

2.2.7. *Olas de calor marinas*

Las olas de calor marinas se definen como eventos de calentamiento anómalo y prolongado del océano, en los cuales la temperatura superficial del mar supera un umbral climatológico elevado, generalmente el percentil 90 de la temperatura histórica para una región y época del año, durante al menos cinco días consecutivos (Hobday et al., 2016). Estos eventos pueden persistir durante semanas o incluso meses y se caracterizan por su duración, intensidad y extensión espacial, generando perturbaciones significativas en los ecosistemas marinos, como mortalidad masiva de organismos bentónicos, cambios en la distribución de especies y alteraciones en las redes tróficas (Smith et al., 2023). En las últimas décadas, diversos estudios han documentado un aumento en la frecuencia, intensidad y duración de estas anomalías térmicas, asociado principalmente al calentamiento global y a la variabilidad climática oceánica (Oliver et al., 2021). En ecosistemas dominados por kelp, las olas de calor marinas pueden generar efectos negativos significativos, ya que muchas especies de macroalgas pardas presentan rangos térmicos relativamente estrechos, restringidos a zonas templadas (Smale et al., 2020). Incrementos sostenidos de temperatura pueden reducir las tasas de crecimiento, afectar los procesos reproductivos y provocar mortalidad masiva, lo que a su vez disminuye la cobertura y la complejidad estructural de los bosques de macroalgas pardas gigantes. La pérdida o degradación de estos hábitats puede tener efectos en cascada sobre la biodiversidad asociada, como por ejemplo en la estructura de invertebrados marinos, y los servicios que estos sistemas proveen en zonas costeras (Smale et al., 2019; Smith et al., 2023).

2.2.8. *El Niño Oscilación del Sur*

El evento cíclico El Niño Oscilación del Sur (ENOS) es un sistema de variabilidad climática interanual del océano-atmósfera que se origina en el Pacífico tropical y se caracteriza por fluctuaciones periódicas entre fases cálidas (El Niño) y frías (La Niña), asociadas a cambios en la temperatura superficial del mar, la circulación atmosférica y la intensidad de la surgencia costera (Espinoza-Morriberón et al., 2025). En el sistema de la

corriente de Humboldt, estos eventos pueden modificar significativamente las condiciones oceanográficas que regulan la dinámica de los bosques de *kelp*. Durante eventos El Niño, el debilitamiento de la surgencia y el aumento de la temperatura superficial del mar reducen la disponibilidad de nutrientes, lo que puede provocar disminuciones en la biomasa, cobertura y reclutamiento de macroalgas estructurales como *Macrocystis pyrifera*, *Lessonia trabeculata* y *Eisenia cokeri*. Estas alteraciones pueden generar cambios en la estructura y funcionamiento de los ecosistemas asociados, afectando la biodiversidad y las interacciones ecológicas que dependen de estos hábitats formadores de estructura (Gutiérrez et al.,2025).

III. METODOLOGÍA

3.1. Métodos de la investigación

Descriptivo cuantitativo

3.2. Diseño o esquema de la investigación

El diseño es descriptivo longitudinal

3.3. Población

La población fue compuesta por toda la comunidad de invertebrados que habita bajo el dosel de los bosques de *E. cokeri* en la región Áncash durante el presente estudio.

3.4. Muestra

La muestra fue compuesta por los invertebrados dentro de las cuadratas y transectos dispuestas en los bosques de *E. cokeri* en la región Áncash durante el tiempo de muestreo.

3.5. Variables e indicadores de la investigación

Tabla 1.

Operacionalización de variables.

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores
Independientes				
Condición	Estado ambiental asociado a la ocurrencia del evento El Niño 2023/24.	Clasificación temporal del estudio en tres periodos: Antes, Durante y Después de El Niño 2023/24.	Temporal	Antes, Durante, Después
Estación	Periodo climático que caracteriza la variabilidad estacional de la costa peruana.	Muestreos realizados durante verano e invierno.	Temporal	Verano, Invierno
Sitio	Localidad geográfica donde se desarrolló el muestreo.	Cinco bosques submareales de <i>Eisenia cokeri</i> en Áncash.	Espacial	Huaro, Gramita, Río Seco, Patillos y Tuquillo
Variables ambientales	Factores físicos y biológicos que pueden influir sobre la comunidad bentónica.	Variables medidas in situ durante cada campaña y utilizadas como variables predictoras en DistLM.	Físicas	Temperatura (°C), profundidad (m), intensidad lumínica (lux)
			Biológicas	Densidad de juveniles y adultos (ind·m ⁻²) de <i>E. cokeri</i> .
Dependientes				
Abundancia	Número de individuos presentes en una comunidad.	Número total de individuos de invertebrados registrados por unidad de muestreo.	Densidad	Individuos por cuadrante
Riqueza específica	Número de especies presentes en una comunidad.	Total de especies registradas por unidad de muestreo.	Composición taxonómica	Número de especies
Diversidad	Diversidad de especies	Distribución de la equidad y diversidad de especies por unidad de muestreo.	Equidad y diversidad	Equidad y diversidad de especies
Estructura comunitaria	Organización de una comunidad determinada por la composición y abundancia relativa de sus especies.	Matriz de abundancias de especies analizada mediante PERMANOVA, nMDS, SIMPER y DistLM.	Composición	Abundancia relativa de cada especie en la comunidad

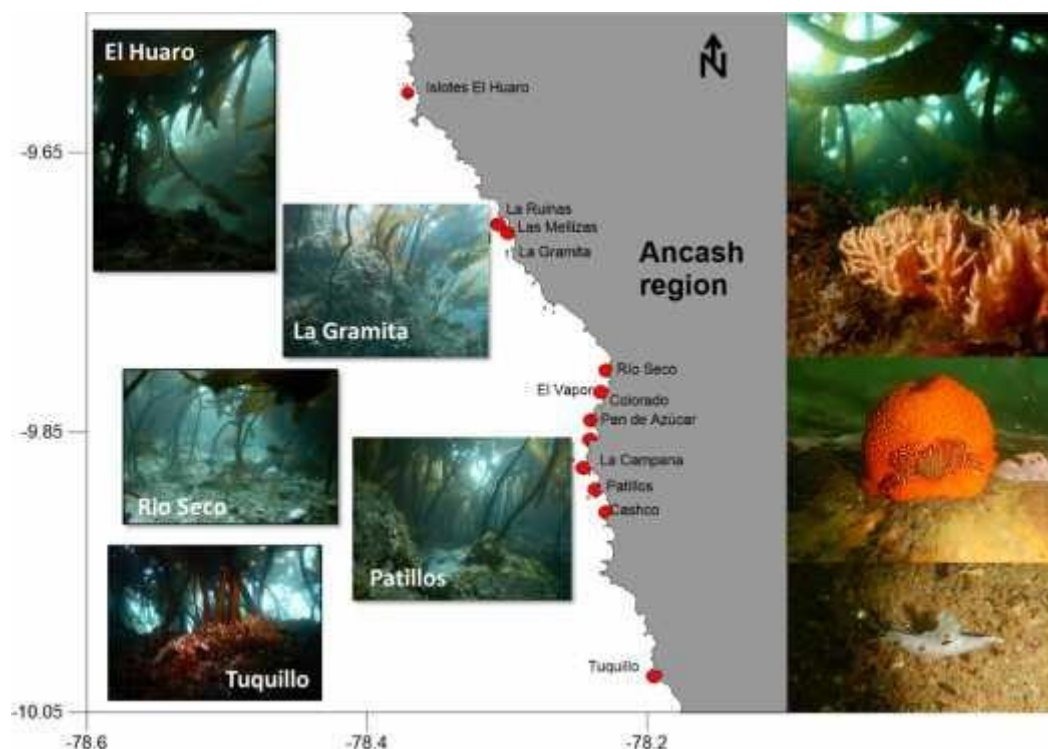
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

- Sitio de estudio.** El estudio se realizó a lo largo de la costa sur de la región de Áncash en el norcentro de Perú (Fig. 5). El sitio de estudio abarcó un rango de 60 km aproximadamente. Este lugar es específico de la costa peruana por sus características geomorfológicas y por su cercanía a la zona tropical. Esta zona se caracteriza por tener extensos acantilados, continuas ensenadas pequeñas, zonas de rompientes (puntas y bajeríos), islotes, y abundantes arrecifes poco profundos distribuidos en áreas semi-expuestas y protegidas al oleaje. El fondo rocoso es muy irregular y forma una proyección tipo plataforma de rocas volcánicas intermareales con presencia de ripiales, canto rodado, piedras y bloques, interrumpidos por parches de arena, acumulación de conchuela partida y guijarros molidos hasta aproximadamente los 20 m de profundidad (Uribe et al., 2022; Morales 2023). Estas condiciones son importantes para el desarrollo de poblaciones de especies formadoras de hábitat o fundacionales como la macroalga parda gigante *Eisenia cokeri*. La determinación de las localidades de estudio fue definida con base en exploraciones previas y en el conocimiento de los pescadores artesanales (Uribe et al., 2024a). Estos ecosistemas han sido poco estudiados, sin embargo, son conocidos por ser importantes zonas de extracción de peces, invertebrados y algas marinas para el consumo humano directo.
- Colecta de datos.** Se llevaron a cabo ocho campañas de muestreo intensivo antes (verano2022, invierno2022), durante (verano2023, invierno2023, verano2024) y después (invierno2024, verano2025, invierno2025) de El Niño 2023/24, considerando al menos cinco sitios por campaña. Los sitios fueron El Huaro y La Gramita, en la provincia de Casma, y Rio Seco, Patillos y Tuquillo en la provincia de Huarmey. Para la recolección de los datos se utilizó el método observacional (no destructivo) a través del buceo científico (SCUBA y HOOKA) con el uso de la técnica del transecto (Fig. 5). Con la ayuda de un bote, y con el conocimiento de los pescadores y exploraciones

previas, se fijó un transecto de 100 m en cada sitio. Con un posicionamiento satelital (GPS) se registró el inicio y fin de cada transecto ubicado en la zona media del bosque de *E. cokeri*. La posición de cada transecto y el conocimiento previo del pescador artesanal fueron elementos referenciales para ubicar la posición del bosque en la siguiente campaña. En cada sitio, cada buzo dispuso de una tablilla subacuática y un lápiz de carbón para realizar el registro de datos y cuadratas de un metro cuadrado distribuidas cada 10 m a lo largo de cada transecto. Adicionalmente, se utilizó una filmadora GoPro y una cámara fotográfica Nikon W300 para el registro de organismos y paisaje. Las especies que fueron difícil de identificar bajo el agua fueron colectadas en mallas y tubos Falcon (50 ml) para su posterior análisis e identificación. Diferentes claves taxonómicas fueron utilizadas de acuerdo al tipo de taxa (por ejemplo, Rozbaczylo 1980, Moscoso 2013, Uribe et al. 2013) y el expertiz personal.

Figura 5.

Ubicación de los sitios de estudio en la costa de las provincias de Casma y Huarvey.



Nota: Los puntos rojos indican algunos de sitios de distribución de Eisenia cokeri conocidos hasta la fecha en Ancash. La distancia entre El Huaro y Tuquillo es de 60 km aproximadamente. A la derecha fotos parte de la fauna que habita dentro del bosque.

- **Variables ambientales.** Un rango de factores biológicos y físicos fueron medidos para definir las condiciones ambientales en cada sitio y para cada campaña de muestreo. Previo a la colecta de organismos invertebrados, un buzo científico especializado realizó el registro de la densidad de *E. cokeri*, con el uso del mismo método anterior (unidad observacional, cuadrata de 1 m²) (Fig. 6). Adicionalmente, se registró la profundidad (m) en cada cuadrata. El registro de parámetros ambientales locales se realizó con la ayuda de sensores como el registro de la temperatura de fondo (HOBO TidBid V2 UTBI001; 0 a 50°C) y la intensidad de luz (HOBO UA-002-64; 0 a 320 000 lux). El sensor de luz quedó suspendido en una boya colocada a 1 metro sobre el fondo dentro de cada bosque, y el sensor de temperatura se colocó dentro un codo PVC y atado al ancla de la boya durante todo el tiempo de muestreo para evitar la pérdida o robo (~3 h).

Figura 6.

*Buzos científicos realizando el registro de invertebrados bentónicos (izquierda), y la densidad de *E. cokeri* (foto derecha).*



- **Procedimiento de la investigación.** Los datos fueron digitados en hojas de cálculo Excel y procesados en programas computacionales especializados para el estudio de biodiversidad como el PRIMER v7 + PERMANOVA (PRIMER-e Ltd., Plymouth, UK). Tipo de licencia: sector público; titular: Instituto del Mar del Perú (IMARPE).

- **Análisis univariado.** Para la descripción de la diversidad biológica que habita bajo el dosel del bosque se utilizó como variable respuesta el número de individuos (N), riqueza de especies (S), equidad de Pielou (d) y el índice de diversidad de Shannon (H). Los valores fueron mostrados en gráficos para una mejor visualización. Luego, para interpretar el impacto de El Niño se realizó un análisis de varianza basado en permutaciones (PERMANOVA) al número de individuos y la riqueza de especies. El modelo estadístico es de tres factores, tipo cruzado ortogonal. La condición El Niño fue tratada como un factor fijo con tres niveles (antes, durante y después). Con la finalidad de determinar si hubo un efecto en estaciones cálidas y frías, la estación fue tratada como un factor fijo con dos niveles (verano e invierno). Finalmente, el sitio fue incluido como un factor aleatorio con cinco niveles incluyendo El Huaro, La Gramita, Rio Seco, Patillos y Tuquillo. El análisis de varianza basado en permutaciones (PERMANOVA) es un método muy utilizado en ecología de comunidades debido a la naturaleza de la distribución de los organismos (Anderson et. al. 2008). Este método es robusto si los datos no se distribuyen normalmente porque esta prueba es semi paramétrica y puede ser utilizada para realizar análisis univariados cuando se aplica a una matriz de distancia Euclidiana. Las Sumas de Cuadrados y la relación F son exactamente iguales a las del estadístico F univariado de Fisher en ANOVA, pero los valores de probabilidad se calculan mediante permutaciones (Anderson et al. 2008; Uribe et al. 2015b).

Descriptores univariados.

- ✓ **Abundancia (Número de especies, N):** Es el número total de individuos obtenidos en cada cuadrata. Este valor es promediado por sitio para realizar los análisis de comparación.
- ✓ **Riqueza de especies (S):** Es el número total de especies obtenido en cada cuadrata. Este valor es promediado por sitio para realizar los análisis de comparación.

Adicionalmente, se estimó la diversidad de Shannon (H') y la equidad de Pielou (d) para tener un claro entendimiento sobre las características de la comunidad. Ambos indicadores fueron interpretados junto a los anteriores.

✓ **Diversidad de Shannon (H'):**

Este índice fue usado para medir la incertidumbre de predecir a qué especie pertenece un individuo seleccionado al azar de la comunidad. Cuanto mayor es el valor de H' , la comunidad es mas diversa y con abundancias relativamente equilibradas. Por el contrario, un bajo indica una comunidad dominada por pocas especies (Winkler et al., 2017).

$$H' = - \sum p_i \ln p_i$$

Donde p_i es la proporción de individuos de la especie i .

✓ **Equidad de Pielou (J'):**

Fue usado para evaluar qué tan uniformemente se distribuyen los individuos entre las especies de una comunidad. Es decir, mide el grado de equidad o balance en las abundancias relativas de las especies (Help, 1974; Hune et al., 2021). Valores cercanos a 1 indican que las especies que conforman la comunidad estudiada tienden a tener valores similares.

$$J' = H'/H_{\max}$$

Donde H' es el índice de Shannon y $H_{\max}$ es el valor máximo de H'

- **Análisis multivariado.** Se realizó una exploración de la distribución espacial y temporal de la comunidad de organismos que habitan bajo el dosel de *E. cokeri* a través de un Análisis de Escalamiento Multidimensional métrico (MDS). Para esto se realizó transformaciones (raíz cuadrada) y se aplicó la medida de similaridad Bray-Curtis para crear una matriz de semejanza. El modelo estadístico fue similar al

análisis univariado. Tanto para los análisis univariados como multivariados, se realizaron pruebas post hoc por pares (comparables a la prueba *t* de Student por pares) para determinar dónde se encontraban las diferencias significativas entre la condición, estación y los sitios ($p < 0,05$). Si bien los sitios se eligieron inicialmente al azar para que fueran representativos de un conjunto más amplio (por lo tanto, se consideraron un factor aleatorio), también era de interés, por razones ecológicas y biogeográficas, comparar estas ubicaciones específicas, por lo que se realizaron pruebas post hoc por pares cuando fue apropiado.

Para evaluar la relación de las variables predictoras (biológicas y ambientales) a la variabilidad temporal y espacial de la abundancia de invertebrados se llevó a cabo un análisis de regresión múltiple multivariada basada en distancia (DISTLM) (Anderson et al., 2008). En esta rutina, una matriz de semejanza de datos multivariados de abundancia de especies se compara con un conjunto de variables explicativas (biológicas y ambientales) como fue la densidad de *E. cokeri* en cada cuadrata y sitio, la temperatura local de fondo, la profundidad y la intensidad de luz sobre el fondo. Las variables ambientales se analizaron de forma individual y secuencial para obtener el modelo más parsimonioso, y se usó un procedimiento de selección especificado basado en el criterio de selección Akaike (AICc) (Teagle et al., 2018; Smale et al., 2020). Los resultados del modelo se visualizaron a través de una rutina de análisis de redundancia basada en la distancia (dbRDA). Previamente, las variables predictoras fueron normalizadas para eliminar sus unidades físicas, y a través de un *Draftsman plot* se visualizó si existió multicolinealidad.

Descriptores multivariados. Todos los análisis estuvieron basados en el índice de similitud de Bray-Curtis:

$$BC_{jk} = 1 - \frac{2C_{jk}}{S_j + S_k} = 1 - \frac{2 \sum_{i=1}^p \min(N_{ij}, N_{ik})}{\sum_{i=1}^p (N_{ij} + N_{ik})}$$

Donde N_{ij} es el número de especímenes de la especie i en el sitio j , N_{jk} es el número de especímenes de la especie i en el sitio k , y p es el número total de especies en las muestras. En la notación abreviada alternativa C_{jk} es la suma de los recuentos menores de cada especie. S_j y S_k son el número total de especímenes contados en ambos sitios. El índice se puede simplificar a $1-2C/2 = 1-C$ cuando las abundancias en cada sitio se expresan como proporciones, aunque las dos formas de la ecuación solo producen resultados coincidentes cuando el número total de especímenes contados en ambos sitios es el mismo. La disimilitud de Bray-Curtis está limitada entre 0 y 1, donde 0 significa que los dos sitios tienen la misma composición (es decir, comparten todas las especies) y 1 significa que los dos sitios no comparten ninguna especie.

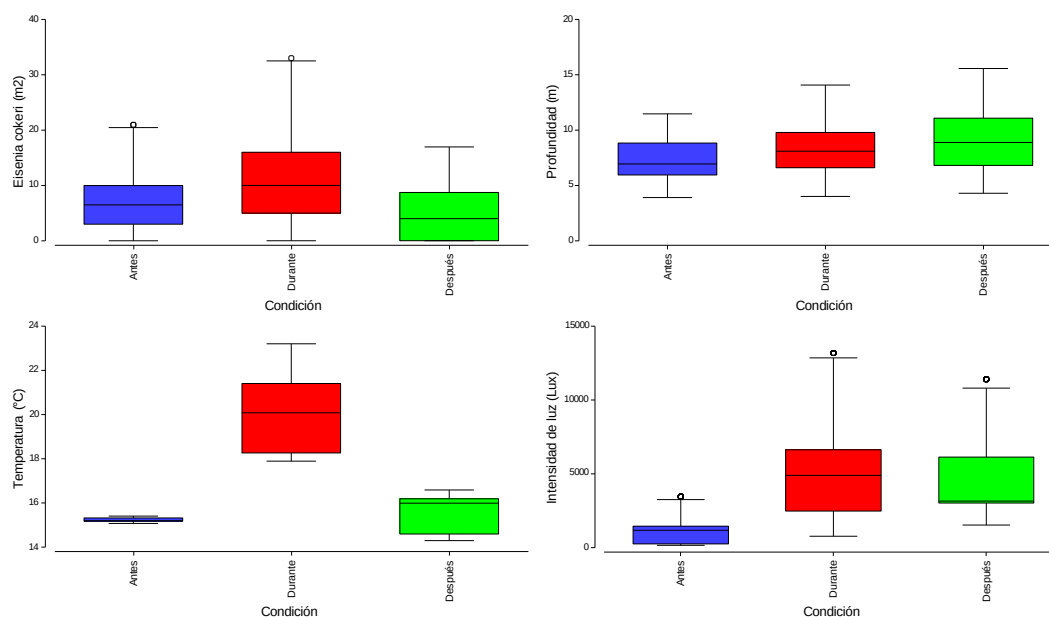
IV. RESULTADOS

4.1. Variables ambientales

La densidad promedio de *Eisenia cokeri* (m²) presentó valores relativamente bajos antes del evento (rango de 3.0 hasta 23.3 ind/m²), incrementándose durante la fase de El Niño 2023/24 (rango de 2.2 hasta 25.0 ind/m²) y disminuyendo nuevamente en el periodo posterior. Sin embargo, la alta dispersión observada durante la fase del evento indica una marcada variabilidad espacial en la estructura del bosque. Esto posiblemente a la dinámica del bosque, ya que durante el evento se observaron muchos lugares sin algas, y lugares con altas densidades donde antes no había algas. Debido a esta dinámica temporal y espacial del bosque, la profundidad (m) varió entre campañas y mostró un incremento gradual desde la condición previa hacia el periodo posterior al evento, donde los muestreos posteriores se concentraron en sectores ligeramente más profundos ya que la distribución del bosque evaluado se desplazó hacia estos estratos, y junto a ella la comunidad de invertebrados asociada. Por otro lado, la temperatura (°C) de fondo presentó el patrón más claro asociado al evento climático, con valores considerablemente más altos durante El Niño 2023/24 (20.0 ± 1.8 °C) y una disminución posterior, retornando a condiciones cercanas a las registradas antes del evento (15.6 ± 0.8 °C). Este comportamiento refleja la anomalía térmica característica de estos eventos en el Pacífico suroriental. Finalmente, la intensidad de luz (lux) también mostró un aumento notable durante el evento, con valores máximos y mayor variabilidad en comparación con la condición previa (hasta 13175.1 lux). Después del evento, los niveles de luz permanecieron relativamente altos, aunque con una dispersión menor que durante la fase de El Niño 2023/24. Estos resultados tienen mucho sentido en relación a la densidad ya que el bosque, aunque menos densos antes del evento, presentaron una mejor condición biológica, incluido el dosel y menor capacidad de disponibilidad de luz. Contrariamente, durante el evento El Niño 2023/24, *E. cokeri* presentó una mayor densidad, pero menor área cubierta por el dosel, y los subsecuentes elevados valores de intensidad de luz (Fig. 7).

Figura 7.

Distribución de los valores de la densidad de *E. cokeri*, profundidad, temperatura e intensidad de luz.



Nota: antes (azul), durante (rojo) y después (verde) de El Niño 2023/24.

Respecto a la estación, los mayores valores fueron registrados durante las campañas de verano, pero con mayor dispersión en los valores de densidad de *E. cokeri* e intensidad de luz. Contrariamente, la distribución de la comunidad estuvo mas asociada a mayores profundidades durante el invierno. La distribución de las variables ambientales por sitio mostró que densidades de *E. cokeri* y la temperatura fueron mayores en Patillos y El Huaro, mientras que la distribución de la comunidad estuvo asociada a mayores profundidades en Rio Seco y El Huaro (Tabla A1).

4.2. Efecto de El Niño 2023/24 en la diversidad de invertebrados

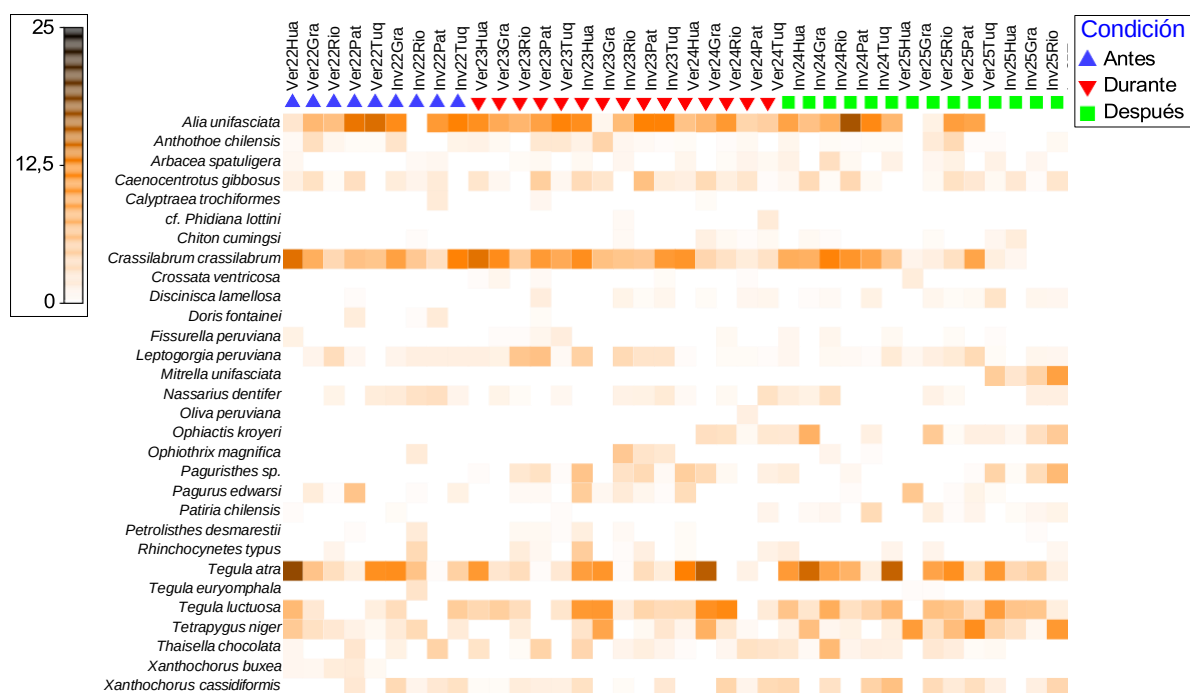
4.2.1 Número de individuos.

La abundancia expresada en número total de individuos registrados durante todo el periodo de estudio fue de 17 037. Las especies mas abundantes fueron *Alia unifasciata* (2 728 ind.), *Crassilabrum crassilabrum* (2 398 ind.), *Tegula atra* (2 358 ind.), *Tegula luctuosa* (21 572 ind.) y *Tetrapygyus niger* (*Arbacia nigra*) (1 068 ind.) (Fig. 8). Después del evento El

Niño2023/24 se presentó la mayor abundancia promedio (48.14 ind/m²), seguido por la condición Durante (44.32 ind/m²) y Antes (41.35 ind/m²) (Fig. 9).

Figura 8.

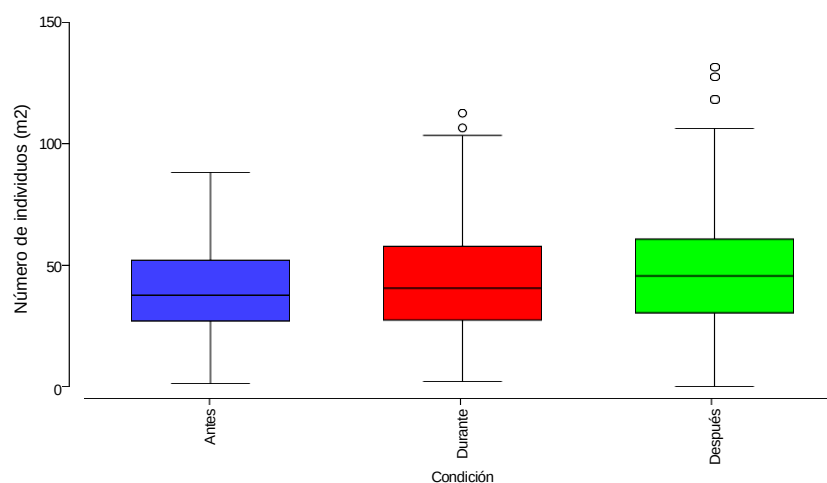
Mapa de calor que indica la variación de las abundancias promedio (individuos/m²) de los 30 invertebrados mas abundantes que habitan bajo el dosel de *E. cokeri* en cada sitio.



Nota: campaña de muestreo y estación, antes durante y después de El Niño 2023/24 en la región Áncash. Los sitios mostrados son El Huaro (Hua), La Gramita (Gra), Rio Seco (Rio), Patillos (Pat) y Tuquillo (Tuq). El color mas intenso indica mayor abundancia.

Figura 9.

Variabilidad de la abundancia promedio de invertebrados asociados a los bosques de *E. cokeri* en la región Áncash a través de El Niño 2023/24.



Nota: Antes (azul), durante (rojo) y después (verde).

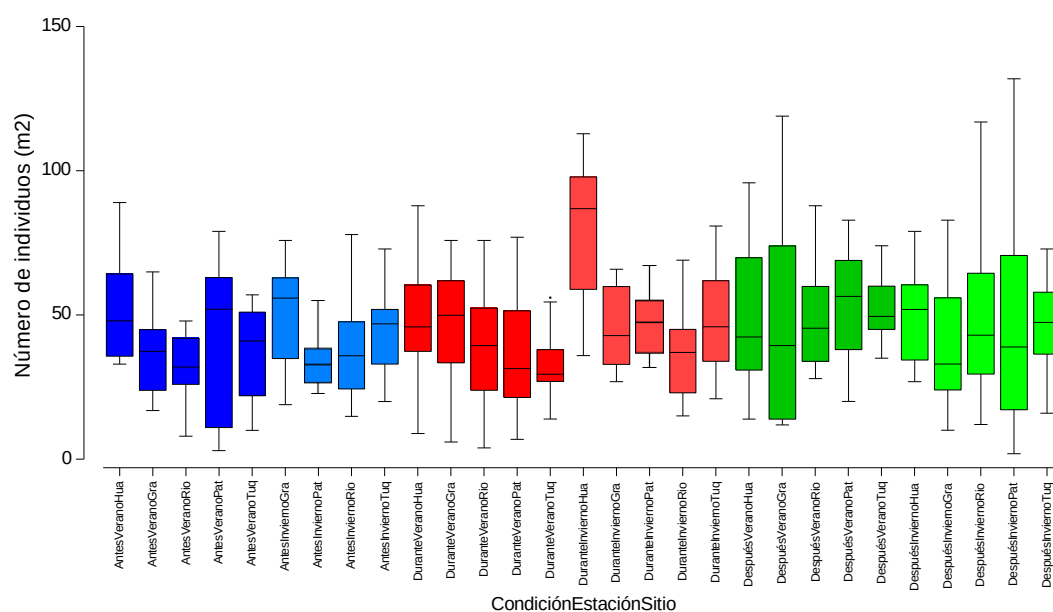
La figura 9 muestra un incremento progresivo en la abundancia de individuos desde antes hacía después. La mediana es menor en la condición antes, aumenta ligeramente durante, y alcanza su valor más alto después, lo que sugiere una tendencia hacia mayores densidades en el periodo posterior. La variabilidad también parece incrementarse a lo largo del tiempo. Las cajas y los rangos intercuartílicos son más amplios en durante y después, indicando mayor heterogeneidad en el número de individuos entre las muestras (Fig. 8). Además, en estas dos condiciones aparecen valores atípicos con densidades relativamente altas (superiores a ~ 100 individuos por m^2), indicando que en otros sitios se registraron concentraciones particularmente elevadas (Fig. 10). El patrón de distribución temporal de la abundancia de organismos muestra un aumento gradual en la densidad de individuos durante El Niño 2023/24 y una mayor variabilidad espacial o temporal en periodos posteriores. Durante el evento se registró la mayor abundancia promedio de especies de afinidad calidad con $6.1 \text{ ind}/m^2$ y un total de 475 individuos

La figura 10 muestra un diagrama de cajas considerando además las estaciones y sitios de muestreo. En general, la abundancia presenta alta variabilidad entre sitios y estaciones, sin evidenciar un patrón temporal claro asociado a las condiciones del evento. Aunque en algunos casos se observan valores máximos más altos durante (e.g., Huaro, invierno) o después del evento, las medianas de abundancia son relativamente similares entre condiciones. En general, la abundancia total de individuos se mantuvo relativamente estable en el tiempo, mientras que la principal variación ocurrió a escala espacial entre sitios y cuadratas.

Los resultados del análisis de varianza indican que la abundancia total de invertebrados asociados al bosque de *E. cokeri* no presentó diferencias significativas entre las fases del evento El Niño 2023/24 ni entre estaciones (Tabla 2). Sin embargo, se observó una marcada variabilidad espacial entre sitios, así como interacciones significativas entre condición y sitio, y entre estación y sitio, lo que sugiere que las respuestas de la abundancia de invertebrados estuvieron fuertemente moduladas por factores locales

Figura 10.

Variabilidad del número de por condición, estación y sitio de invertebrados asociados a los bosques de *E. cokeri* en la región Áncash.



Nota: Antes (azulado), durante (rojizo) y después (verdoso) de El Niño 2023/24. Los colores mas oscuros corresponden a la estación de verano y los mas claros a la estación de invierno. Los sitios mostrados son El Huaro (Hua), La Gramita (Gra), Rio Seco (Rio), Patillos (Pat) y Tuquillo (Tuq).

Tabla 2.

Análisis de varianza basado en permutaciones (PERMANOVA) de la distribución de la abundancia. Los valores significativos son mostrados en negritas.

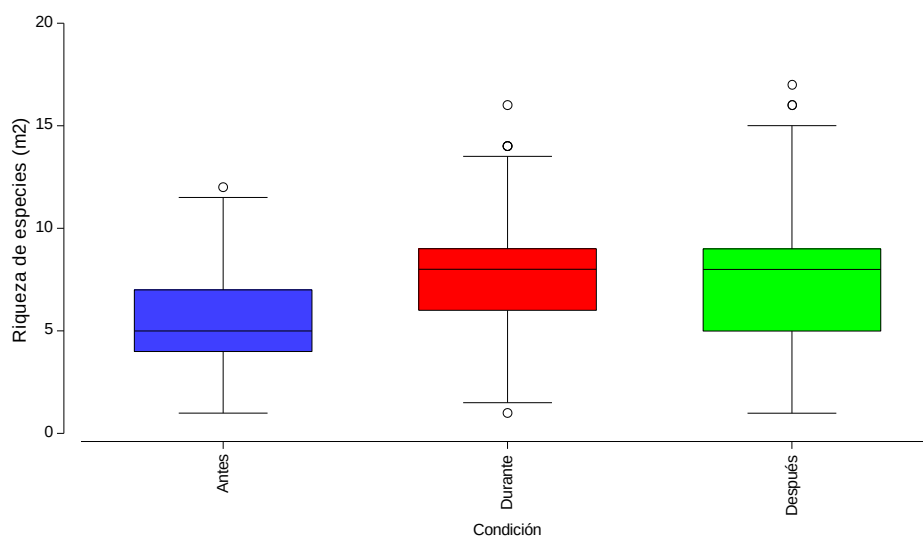
Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Pseudo-F	<i>n</i>	Número de permutaciones
Condición (Co)	2	481.21	240.6	2.7762	0.1276	9955
Estación (Es)	1	421.08	421.08	2.999	0.1122	9891
Sitio (Si)	4	719.78	179.95	5.7995	0.0002	9947
Co x Es	2	201.77	100.88	2.4744	0.1539	9950
Co x Si	8	714.48	89.31	2.8784	0.0034	9926
Es x Si	4	589.09	147.27	4.7465	0.0013	9946
Co x Es x Si	7	286.73	40.962	1.3202	0.245	9943
Residual	344	10674	31.028			
Total	372	14060				

4.2.2. Riqueza de especies

Durante el estudio se registró un total de 82 especies/taxas. Antes del evento El Niño 2023/24 (verano e invierno 2022) se registró un total de 44 especies, de las cuales 4 fueron de afinidad cálida. Este valor se incrementó a 61 especies durante el evento (12 de afinidad cálida) y a 66 especies después del evento (15 de afinidad cálida) (Fig. 11). Este incremento de especies de afinidad cálida se debe, posiblemente, a la sinuosa geomorfología de la zona, llena de ensenadas e islotes, donde muchas de las especies que arribaron durante El Niño (en diferentes estadíos), permanecen y encuentran refugio en la zona. El diagrama de cajas entre sitios muestra que la riqueza de especies de invertebrados (m^2) asociados al bosque de *E. cokeri* presenta una tendencia a incrementarse desde la fase antes del evento hacia las fases durante y después del evento El Niño 2023/24 (Fig. 12). Antes del evento se registran los valores en la mediana más bajos de riqueza, mientras que durante y después se observa un aumento en la mediana y en la variabilidad de los datos, con algunos valores máximos más elevados (e.g., El Huaro, Rio Seco). El patrón de distribución temporal de la riqueza muestra una mayor heterogeneidad en la comunidad y un incremento en el número de especies presentes durante y después del evento El Niño 2023/24.

Figura 11.

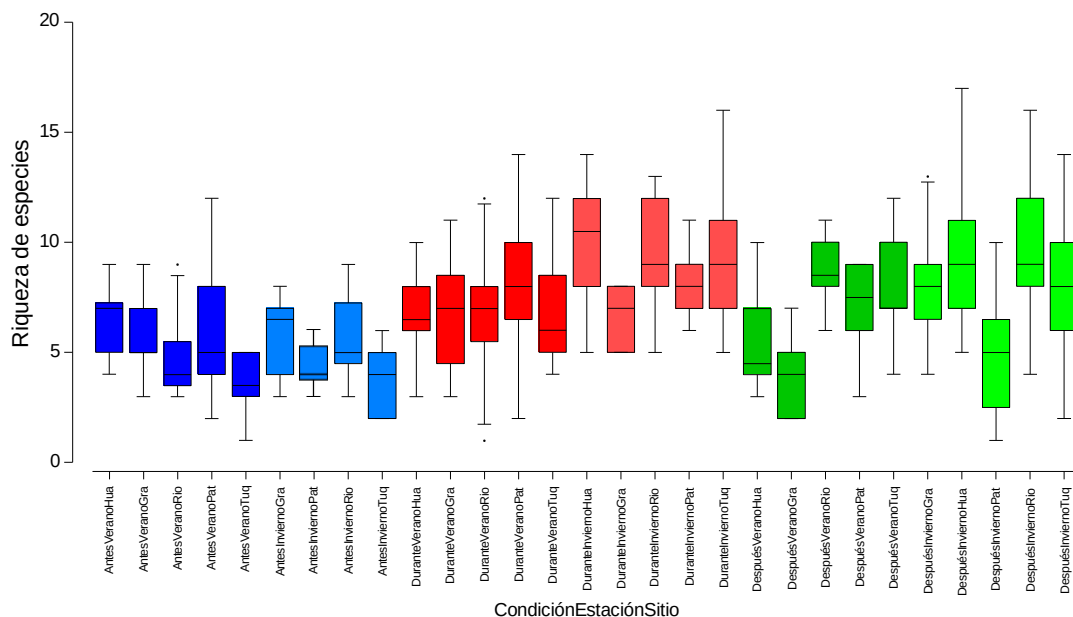
*Variabilidad de la riqueza de especies de invertebrados asociados a los bosques de *E. cokeri* en la región Áncash a través de El Niño 2023/24.*



Nota: Antes (azul), durante (rojo) y después (verde).

Figura 12.

Variabilidad de la riqueza de especies por estación, sitio y condición de invertebrados asociados a los bosques de *E. cokeri* en la región Áncash.



Nota: Antes (azulado), durante (rojizo) y después (verdoso) de El Niño 2023/24. Los colores mas oscuros corresponden a la estación de verano y los mas claros a la estación de invierno. Los sitios mostrados son El Huaro (Hua), La Gramita (Gra), Rio Seco (Rio), Patillos (Pat) y Tuquillo (Tuq).

Tabla 3.

Análisis de varianza basado en permutaciones (PERMANOVA) de la distribución de la riqueza de especies. Los valores significativos son mostrados en negritas.

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Pseudo-F	<i>n</i>	Número de permutaciones
Condición (Co)	2	251.36	125.68	4.5188	0.0542	9952
Estación (Es)	1	107.82	107.82	2.844	0.1685	9702
Sitio (Si)	4	126.92	31.73	5.3899	0.0006	9954
Co x Es	2	13.956	6.9779	0.52885	0.6076	9955
Co x Si	8	230.83	28.854	4.9015	0.0001	9934
Es x Si	4	159.69	39.922	6.7815	0.0002	9946
Co x Es x Si	7	93.365	13.338	2.2657	0.0289	9938
Residual	344	2025.1	5.8869			
Total	372	3141.9				

El análisis inferencial indica que la riqueza de especies de invertebrados en el bosque de *Eisenia cokeri* presentó una tendencia a variar entre las fases del evento El Niño 2023/24, aunque este efecto fue marginalmente significativo (Tabla 3). En contraste, se observó una marcada variabilidad espacial entre sitios, así como interacciones significativas entre los

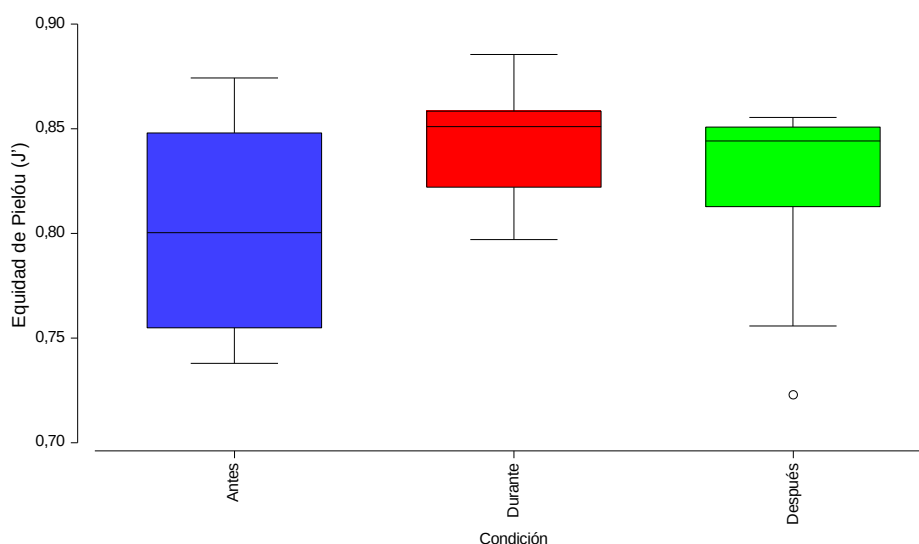
factores temporales y espaciales. Este patrón muestra que la riqueza de especies estuvo fuertemente modulada por condiciones locales del hábitat, donde la biodiversidad de invertebrados bajo el dosel de *E. cokeri* responde de manera heterogénea a las perturbaciones ambientales, dependiendo del contexto espacial y temporal de cada sitio.

4.2.3 Equidad de Pielou e índice de Shannon

El análisis de estos dos indicadores de diversidad muestra que durante el evento El Niño 2023/24 la comunidad de invertebrados asociada al bosque submareal de *E. cokeri* experimentó una distribución más equitativa de las especies y un aumento en la diversidad.

Figura 13.

*Distribución temporal de la equidad de Pielou (J') de invertebrados asociados a los bosques de *E. cokeri* en la región Áncash.*

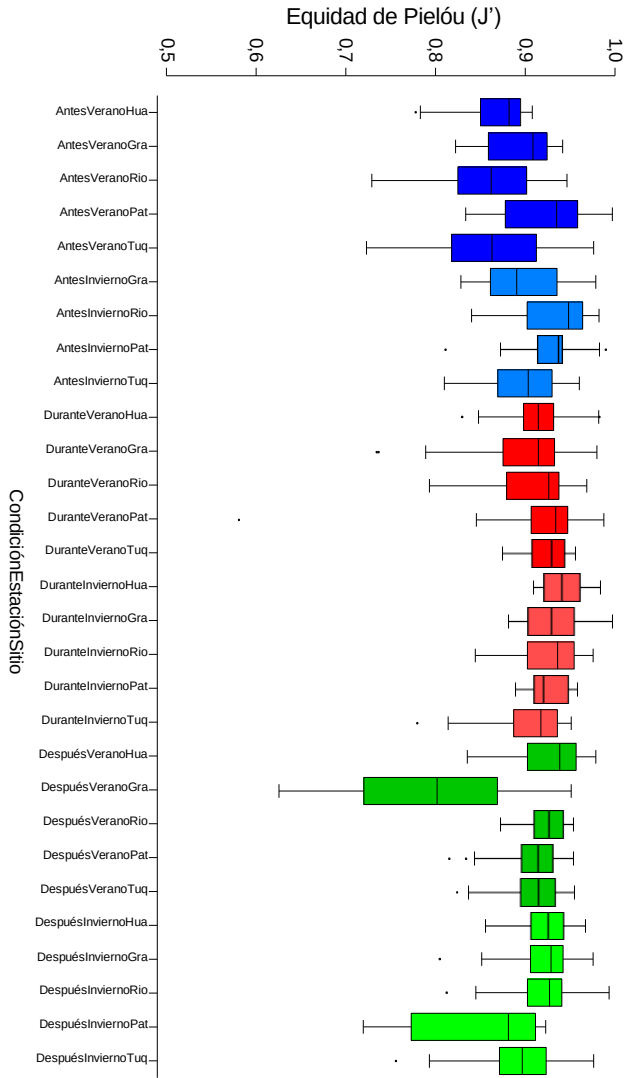


Nota: Antes (azulado), durante (rojizo) y después (verdoso) de El Niño 2023/24.

La equidad de Pielou (J') se mantuvo generalmente alta y estable durante El Niño (Fig. 13), aunque algunos sitios mostraron una disminución y mayor variabilidad, indicando episodios puntuales de mayor dominancia de algunas especies (Fig. 14). Por otro lado, se observó diferencias claras en el Índice de Shannon (Fig. 15), mostrando que algunos sitios mantienen mayor diversidad, mientras otros presentan valores más bajos y dispersos, principalmente después de El Niño 2023/24 (Fig. 16).

Figura 14.

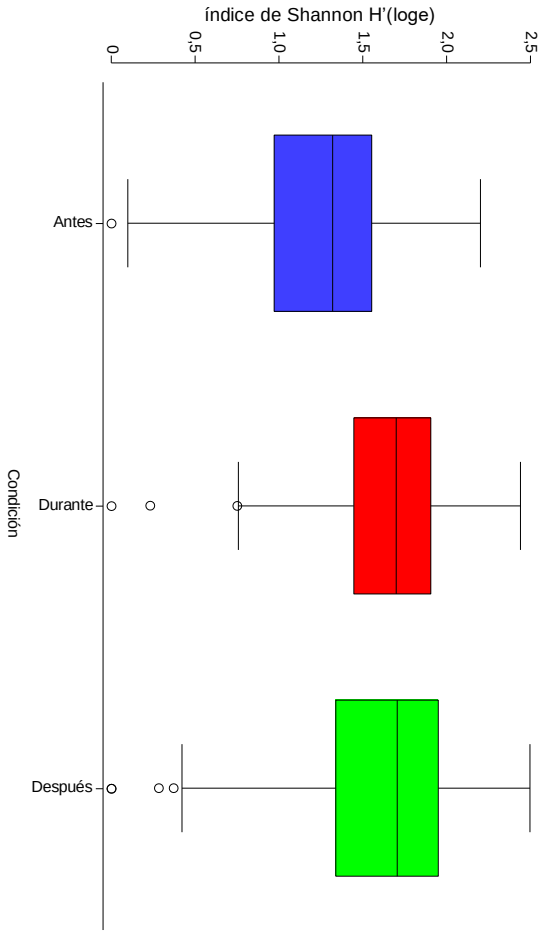
Distribución temporal de la equidad de Pielou (J') de invertebrados asociados a los bosques de *E. cokeri* en la región Áncash.



Nota: Antes (azulado), durante (rojizo) y después (verdoso) de El Niño 2023/24.

Figura 15.

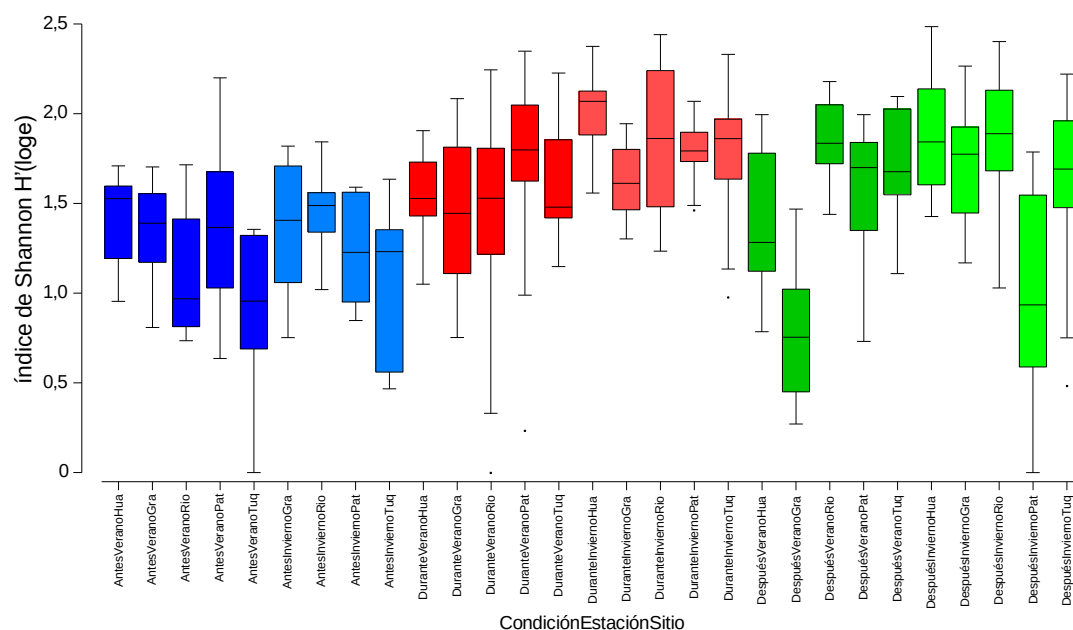
Distribución temporal del índice de Shannon (H') de invertebrados asociados a los bosques de *E. cokeri* en la región Áncash.



Nota: Antes (azulado), durante (rojizo) y después (verdoso) de El Niño 2023/24.

Figura 16.

*Distribución temporal del índice de Shannon (H') de invertebrados asociados a los bosques de *E. cokeri* en la región Áncash.*



Nota: Antes (azulado), durante (rojizo) y después (verdoso) de El Niño 2023/24.

4.3. Estructura comunitaria de invertebrados bajo el dosel de *E. cokeri*

El análisis nMDS muestra un cambio progresivo en la estructura comunitaria a lo largo del evento climático, pasando de una composición característica antes de El Niño 2023/24 hacia una comunidad desorganizada durante y en proceso de organización después del evento (Fig. 17). La variabilidad intra-grupo indica que antes del evento hay menor dispersión, lo que sugiere una comunidad más homogénea espacialmente con algunos desfases entre estaciones. En contraste, durante el evento las muestras se dispersan ligeramente más, indicando mayor disimilitud entre comunidades. Aunque el nMDS distingue entre verano e invierno, ambas estaciones aparecen relativamente mezcladas dentro de cada condición. Los cambios observados en el espacio de ordenación reflejan variaciones en la composición y abundancia relativa de las especies, posiblemente relacionadas con modificaciones ambientales típicas de estos eventos, como el incremento de la temperatura del agua, cambios en la disponibilidad de nutrientes y alteraciones en la estructura del hábitat. Estos resultados son apoyados por PERMANOVA que indica que la estructura comunitaria de los

invertebrados asociados al bosque submareal de *E. cokeri* varió significativamente entre las fases del evento El Niño 2023/24 (Tabla 4). No obstante, estos cambios no fueron homogéneos en todo el sistema, ya que se observó una marcada heterogeneidad espacial entre sitios y una interacción significativa entre los factores temporales y espaciales.

Figura 17.

*Análisis no métrico multidimensional mostrando el patrón de distribución de la estructura comunitaria de invertebrados que habitan bajo el dosel de *E. cokeri* en cada sitio.*



Nota: Campaña de muestreo y estación, antes durante y después de El Niño 2023/24 en la región Áncash.

Tabla 4.

Análisis de varianza basado en permutaciones (PERMANOVA) de la distribución de la estructura comunitaria de invertebrados.

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Pseudo-F	n	Número de permutaciones
Condición (Co)	2	4.19E+04	20968	2.542	0.0054	9911
Estación (Es)	1	6733.9	6733.9	0.93651	0.5102	9897
Sitio (Si)	4	8.01E+04	20029	8.1767	0.0001	9899
Co x Es	2	1.90E+04	9502.8	1.5381	0.121	9932
Co x Si	8	6.83E+04	8537.2	3.4853	0.0001	9817
Es x Si	4	29884	7471	3.05	0.0001	9885
Co x Es x Si	7	43712	6244.6	2.5493	0.0001	9839
Residual	347	8.50E+05	2449.5			
Total	375	1.16E+06				

Nota: Basado en la abundancia, que habitan bajo el dosel de *E. Cokeri* en la Región Áncash. Los valores significativos son mostrados en negritas.

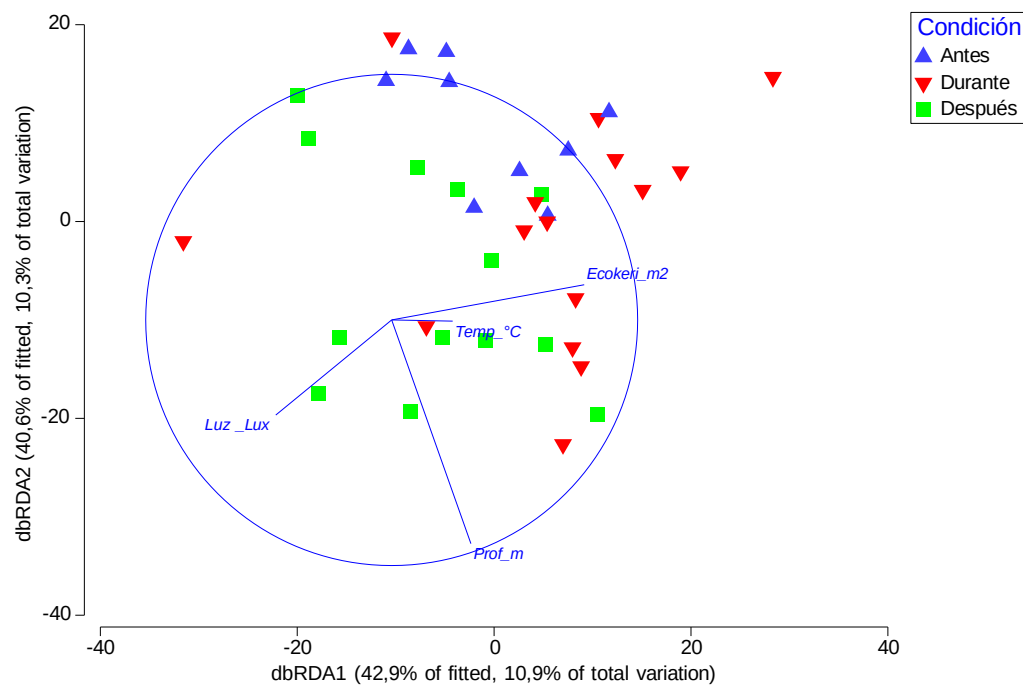
4.4. Relación entre la estructura comunitaria y los parámetros ambientales

El análisis de Regresión Lineal Múltiple Multivariada basa en distancia (DistLM) y el Análisis de Redundancia (RDA) permitieron evaluar la relación entre la distribución de la abundancia de invertebrados (ind/m²) asociados al bosque submareal de *Eisenia cokeri* y las variables predictoras (densidad de *E. cokeri*, profundidad, temperatura e intensidad de luz). En las pruebas marginales, las variables profundidad (Pseudo-F = 3.83; p = 0.0001) y densidad de *E. cokeri* (Pseudo-F = 3.31; p = 0.0013) mostraron los efectos más importantes y significativos, explicando aproximadamente 9,8 % y 8,6 % de la variación, respectivamente. La intensidad de luz presentó un efecto no significativo (marginal) (Pseudo-F = 1.867; p = 0.0524; 5.1 % de la variación), y también la temperatura no resultó significativa (p = 0.0638). En los análisis secuenciales, la inclusión inicial de la densidad de *E. cokeri* y posteriormente de la profundidad permitió explicar en conjunto cerca del 18.4 % de la variación en la abundancia, mientras que la incorporación de la temperatura y la intensidad de luz elevó la explicación acumulada a aproximadamente 25.45 % del total de la variabilidad.

El análisis de redundancia refleja estos resultados al mostrar que el gradiente asociado a la profundidad se orienta hacia el sector inferior derecho del diagrama a asociados a la comunidad formada después de evento El Niño. La intensidad de luz se proyecta hacia el sector inferior izquierdo, indicando un gradiente ambiental opuesto entre ambas variables. La densidad de *E. cokeri* y la temperatura se orientan en direcciones relativamente similares en el cuadrante superior derecho, mostrando cierta asociación entre estas variables y la abundancia de invertebrados en ese sector del espacio multivariado. La distribución de las muestras evidencia además diferencias entre las condiciones temporales (antes, durante y después del evento), con una mayor concentración de observaciones posteriores al evento en el sector asociado a mayores niveles de luz y profundidad, mientras que la mayor distribución se agrupan en zonas relacionadas con mayor densidad de *E. cokeri* (Fig. 18).

Figura 18.

*Análisis de redundancia con la distribución de la abundancia de invertebrados asociados a los bosques de *E. cokeri* en la región Áncash y las principales variables predictoras.*



Nota: Antes (azulado), durante (rojizo) y después (verdoso) de El Niño 2023/24.

V. DISCUSIÓN

5.1. Respuesta del bosque de *Eisenia cokeri* frente a El Niño 2023/24

Los cambios observados en la estructura y densidad de *Eisenia cokeri* durante el evento de El Niño 2023/24 son consistentes con la respuesta documentada para bosques de *kelp* en el Pacífico suroriental (Fernández et al., 1999; Vásquez et al., 2006; Lleellish 2020) y en otras partes de mundo (Smale 2020). Similar a las respuestas de los ecosistemas dominados por *Lessonia* spp. y *Macrocystis pyrifera* en Chile y Perú durante eventos cálidos (Arafeh-Dalmau et al., 2025), los bosques de *E. cokeri* pueden generar mortalidad parcial del dosel, fragmentación del bosque y redistribución espacial de los parches, más que una desaparición total del hábitat (Tabla A1). En este contexto, el patrón de alta variabilidad espacial en la densidad de *E. cokeri*, con coexistencia de zonas sin algas y parches densos, sugiere una dinámica de tipo “mosaico”, ampliamente descrita en bosques de *kelps* sometidos a estrés térmico (Bell et al., 2023). Este comportamiento ha sido atribuido a diferencias locales en exposición al oleaje, topografía y resiliencia fisiológica de las algas, lo que genera respuestas altamente heterogéneas a escala de sitio (Salland et al., 2024). Asimismo, el incremento en la intensidad de luz durante El Niño 2023/24, asociado a una menor cobertura efectiva del dosel, coincide con estudios que muestran que la pérdida de estructura tridimensional en bosques de *kelps* incrementa la irradiancia en el fondo (Smale et al. 2016), alterando las condiciones microambientales y la disponibilidad de refugio para la fauna asociada (Salland et al., 2024).

5.2. Persistencia de la abundancia y control espacial

A pesar de las alteraciones ambientales locales y espaciales, la ausencia de cambios significativos en la abundancia total de invertebrados coincide con estudios realizados en la costa de Chile central, donde se observó que la densidad total puede mantenerse relativamente estable durante eventos de El Niño (Vásquez et al., 2006). Esto ocurre mientras ocurren cambios importantes en la composición de especies. Este patrón puede ser

interpretado como resultado de mecanismos compensatorios, donde la disminución de algunas especies es contrarrestada por el aumento de otras, particularmente especies oportunistas o de rápido crecimiento (Uribe et al., 2015b), y de especies de afinidad cálida que habitan dentro del bosque de *E. cokeri*, o arribaron durante el evento. En este caso, el incremento en la variabilidad y la presencia de valores extremos de abundancia, como *A. unifasciata*, *C. crassilabrum* y *T. atra* (especies de afinidad fría), sugieren procesos de agregación local y redistribución espacial, más que cambios uniformes en la densidad. Tuquillo y Rio Seco son los sitios con mayor protección física, con mayor disponibilidad de albergar especies no nativas que los otros sitios (Uribe et al., 2024b). La fuerte influencia del factor sitio y de las interacciones espacio-temporales refuerza la idea de que otros ecosistemas de *kelps* del Pacífico suroriental están altamente estructurados por condiciones locales (Friedlander et al., 2023). Este control espacial ha sido documentado en Chile, donde variables como la rugosidad del sustrato, la hidrodinámica y la conectividad larval determinan patrones de abundancia a escalas finas (González et al., 2023). Además, la modificación de las características estructurales relacionadas a especies formadoras de hábitat durante las condiciones sin El Niño (e.g., extensas camas de choritos), inducen cambios en la comunidad (Firstater, et al. 2010). A pesar de estos resultados, futuros estudios son necesarios para integrar un mayor conocimiento sobre la variabilidad de la abundancia de invertebrados bentónicos asociados a sustratos duros frente a perturbaciones ambientales cíclicas como El Niño (Valqui et al., 2021).

5.3. Variabilidad temporal de la riqueza de especies

Antes del evento, solo se registró tres especies de afinidad cálida a lo largo de los transectos de muestreo, *Actinia* sp., *Ophiothrix magnifica* y *Paguristhes* sp. El aumento en la riqueza de especies durante y después del evento es consistente con patrones reportados en el norte de Chile (Villegas et al., 2008), donde las olas de calor o los eventos de El Niño pueden causar extinciones locales (Thomsen et al., 2019). Esto facilita la llegada de especies de afinidad cálida provenientes de latitudes menores, como el molusco hallado en Rio Seco

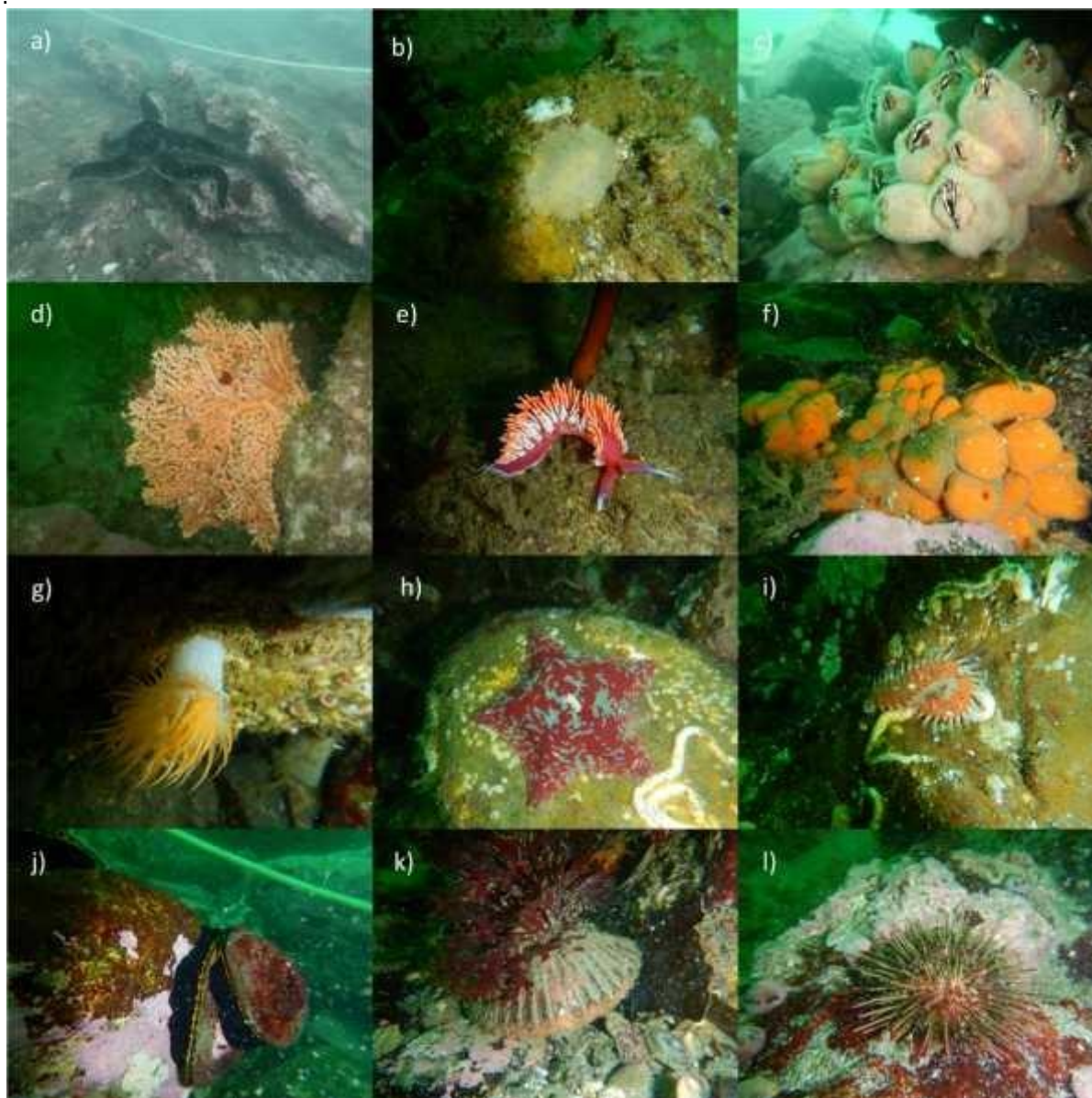
en el 2023 *Trapania huarmeyana*, causando cambios en la dominancia de especies residentes y alteración en las relaciones tróficas locales (Uribe et al., 2024b). Otras especies de afinidad tropical observadas durante el evento El Niño fueron los moluscos *Flabellinopsis* sp., *Anteaeolidiella chromosoma*, *Bajaeolis bertschi*, el crustáceo Portunidae y el poliqueto *Eurythoe* sp. comúnmente habitando zonas tropicales. Las nuevas condiciones ambientales determinan un estado alterno del bosque de *E. cokeri*, denominado “tropicalización”, lo que activa un proceso de adaptación y redirección de sus trayectorias ecológicas durante y después el evento. Aunque este proceso ha sido documentado en varios lugares alrededor del mundo considerando diferentes trayectorias (Vergés et al., 2014; Lepoint & Hyndes 2022), en los bosques de *E. cokeri* en la región Áncash no se observó una extinción local y total reemplazo por otras especies formadoras de hábitat como las denominadas “césped” marino.

La persistencia de una mayor riqueza en el periodo posterior al evento sugiere que algunas de estas especies pueden mantenerse en el sistema, especialmente en áreas con alta complejidad geomorfológica, como ensenadas (e.g. Tuquillo, Rio Seco, La Gramita) e islotes (e.g. Patillos, El Huaro), que actúan como refugios (observación personal). Especies de afinidad cálida como los moluscos *Flabellinopsis* sp., *Lima pacífica*, *Simnia* sp., el artrópodo *Stenorhynchus debilis*, el poliqueto *Eurythoe* sp han sido registrados ocasionalmente durante y después de El Niño (Fig. 19). Adicionalmente, el incremento en la equidad y diversidad de Shannon indican una reducción en la dominancia de especies típicamente abundantes, lo que sugiere una redistribución de la abundancia entre taxa. Similares resultados mostrados en otras latitudes sugieren que El Niño genera cambios en la diversidad, reduciendo la dominancia de algunas especies y favoreciendo una mayor participación relativa de otras (Maucieri et al., 2025). Posteriormente, durante la fase posterior al evento, los niveles de diversidad se mantuvieron relativamente altos, aunque con mayor variabilidad. Esto puede también estar asociado a perturbaciones intermedias que reducen la competitividad de especies dominantes y permiten la coexistencia de un mayor número de especies (Blanchette & Menge 2026). Futuros estudios son necesarios donde se planteen

hipótesis ecológicas que ayuden a comprender el reemplazo de especies dentro de los bosques de *E. cokeri* en la región Áncash a diferentes niveles tróficos durante procesos de calentamiento del agua de mar.

Figura 19.

Invertebrados bentónicos, de origen frío y cálido, dentro del bosque de E. cokeri en setiembre 2025, después del evento El Niño 2023/24



Nota: (a) *Luidia magellanica* (estrella negra), (b) *Baptodoris peruaviana* (babosa marina), (c) *Austromegabalanus psittacus* (cirripedio), (d) *Leptogorgia peruviana* (coral gorgónido), (e) *Flabellinopsis* sp. (babosa marina, origen cálido), (f) *Desmospongiae* (esponja naranja), (g) *Anthothoe chilensis* (anémona), (h) *Patiria chilensis* (estrella), (i) *Eurythoe* sp (gusano de fuego, origen cálido), (j) *Fissurella latimarginata* (lapas), (k) *Argopecten purpuratus* (concha de abanico, origen cálido), (l) *Caenocentrotus gibbosus* (erizo común).

5.4. Variabilidad de la estructura comunitaria

Los resultados del PERMANOVA sugieren que la respuesta de las comunidades de invertebrados al evento climático estuvo modulada por condiciones locales del hábitat (factor Sitio), lo que genera patrones complejos de variabilidad comunitaria en los bosques de *kelps* de la región de Áncash, y en otras latitudes (Velasco-Charpentier et al., 2020). Los cambios detectados mediante los análisis de ordenación confirman que el evento generó una posible reorganización en la estructura comunitaria. El aumento en la dispersión de las muestras durante el evento sugiere un incremento en el recambio de especies, lo que indica una mayor heterogeneidad entre comunidades. Este patrón puede interpretarse como resultado de respuestas diferenciadas entre sitios, donde factores locales modulan la magnitud del impacto del evento (Valqui et al., 2021). La superposición parcial entre periodos observada en el espacio de ordenación sugiere que la respuesta de la comunidad no fue abrupta, sino gradual y posiblemente reversible. Similares resultados han documentado una alta resiliencia en comunidades asociadas a fondos someros, caracterizadas por su capacidad de reorganización tras perturbaciones como El Niño (Pacheco et al., 2012; Hermosillo-Núñez et al., 2023).

5.5. Rol del hábitat en la respuesta comunitaria

Los resultados indican que la abundancia de invertebrados asociados al bosque de *E. cokeri* está principalmente estructurada por gradientes de profundidad y por la disponibilidad de hábitat proporcionada por la densidad de esta especie, mientras que variables como la luz contribuyen de manera secundaria y la temperatura local presenta una influencia menor. La baja variación explicada por el modelo ($R^2 = 0.25$) sugiere que, aunque estas variables ambientales son relevantes, una proporción importante de la variabilidad en la abundancia también está determinada por otros factores ecológicos no considerados, como interacciones biológicas, heterogeneidad microhábitat o procesos de reclutamiento (Hermosillo-Núñez et al., 2023). Este patrón es consistente con la alta variabilidad espacial observada en comunidades bentónicas asociadas a bosques de *kelps* en sistemas costeros del Pacífico

suroriental (Vásquez et al., 2006). Aunque el evento El Niño 2023/24 generó cambios significativos en la estructura comunitaria de los invertebrados, DistLM mostró que la variación en la abundancia estuvo principalmente asociada a gradientes ambientales locales, particularmente la profundidad y la densidad de *Eisenia cokeri*, sugiriendo que estos factores modulan espacialmente la respuesta de la comunidad frente a perturbaciones climáticas. Similares resultados han sido evidenciados en ecosistemas dominados por *Lessonia* y *Macrocystis* donde la complejidad del hábitat es uno de los principales determinantes de la biodiversidad bentónica (Fernández et al., 1999). La importancia de la densidad de *kelp* refleja su función como especie ingeniera del ecosistema, proporcionando refugio, sustrato y recursos tróficos (Teagle et al., 2017). Por su parte, la profundidad actúa como un gradiente ambiental integrador, relacionado con variables como luz, temperatura y energía del oleaje. La baja contribución directa de la temperatura sugiere que sus efectos sobre la comunidad son principalmente indirectos, mediando cambios en la estructura del hábitat. Este patrón ha sido reportado en estudios donde la respuesta biológica a El Niño está más fuertemente vinculada a la modificación del hábitat que a la temperatura (Fernández et al., 1999; Vásquez et al., 2006).

5.6. Implicancias ecológicas para la gestión ambiental y conservación

En general, los resultados de esta tesis indican que los bosques de *Eisenia cokeri* presentan una respuesta característica de los ecosistemas de bosques de macroalgas del Pacífico suroriental frente a eventos de El Niño: una modificación comunitaria sin colapso estructural. Esta respuesta se caracteriza por la estabilidad en la abundancia total, incremento en la riqueza de especies, cambios en la dominancia y diversidad, aumento en la heterogeneidad espacial y reconfiguración de la estructura comunitaria. Estos patrones sugieren una alta resiliencia de los invertebrados, aunque fuertemente dependiente de la heterogeneidad espacial y de la persistencia del hábitat estructurante. En este contexto, la conservación de la integridad del bosque de *Eisenia cokeri* en la costa de Áncash es clave

para mantener la estabilidad y capacidad de recuperación de las comunidades asociadas frente a futuros eventos climáticos.

Finalmente, Los resultados obtenidos en este estudio tienen implicancias relevantes para la gestión ambiental y la conservación de los ecosistemas submareales de la región Áncash. Los cambios observados en la diversidad y estructura comunitaria de los invertebrados asociados a los bosques de *Eisenia cokeri* durante el periodo El Niño 2023/24 evidencian la importancia de incorporar la variabilidad climática y la ocurrencia de eventos extremos en los programas de monitoreo y evaluación de estos ecosistemas costeros. A escala regional, el establecimiento de programas de seguimiento ecológico de largo plazo permitiría evaluar la recuperación y persistencia de estos bosques y sus comunidades, generando información útil para identificar áreas prioritarias para la conservación. A escala nacional, esta información puede contribuir al fortalecimiento de estrategias de gestión basadas en ecosistemas y a la incorporación de los bosques de *Eisenia cokeri* en políticas de conservación y adaptación al cambio climático, especialmente al considerar su importancia como hábitat para una alta diversidad de organismos marinos. En este contexto, el monitoreo integrado de variables ambientales y biológicas constituye una herramienta fundamental para anticipar los efectos de futuros eventos climáticos extremos y orientar medidas de manejo y conservación más adaptativas.

VI. CONCLUSIÓN

Los resultados indican que la comunidad de invertebrados que habita bajo el dosel de los bosques submarinos dominados por *Eisenia cokeri* en la región Áncash experimentó cambios significativos en su estructura comunitaria antes, durante y después del evento El Niño 2023/24, evidenciados por análisis inferenciales y patrones de ordenación. Estos cambios reflejan un proceso de reestructuración comunitaria, caracterizado por variaciones en la composición y en la dominancia relativa de las especies más que por cambios marcados en la abundancia total. Sin embargo, el análisis de regresión mostró que una parte importante de la variabilidad en la abundancia de invertebrados estuvo asociada principalmente a gradientes ambientales locales, particularmente la profundidad y la densidad del *kelp*, mientras que variables como la intensidad de luz tuvieron una contribución secundaria y la temperatura local de fondo no presentó un efecto significativo. Estos resultados sugieren que, aunque el evento El Niño 2023/24 actuó como un factor de perturbación que modificó la organización de la comunidad, donde la respuesta ecológica de los invertebrados estuvo modulada por la heterogeneidad ambiental y la estructura del hábitat proporcionada por el bosque de *E. cokeri*, después del evento, la comunidad puede reestablecerse. Finalmente, se resalta la capacidad de respuesta que tienen la comunidad de invertebrados que habitan en estos bosques en la región Áncash frente a perturbaciones climáticas como eventos El Niño, y su capacidad de refugio al estructurar una comunidad con especies de diferentes orígenes.

VII. RECOMENDACIONES

A partir de la limitada información disponible sobre *Eisenia cokeri* en el Perú, particularmente en la región Áncash, y considerando la influencia recurrente del evento El Niño en los ecosistemas costeros del Pacífico suroriental, se pueden proponer varias recomendaciones de investigación y gestión para fortalecer el conocimiento y la conservación de estos bosques de macroalgas:

- Fortalecer los programas de monitoreo ecológico de largo plazo. Se recomienda fortalecer los programas sistemáticos de monitoreo ecológico de los bosques de *Eisenia cokeri* en la región Áncash incluyendo mas muestreos estacionales (i.e, verano, otoño, invierno, primavera) para una mejor resolución e interpretación de la estacionalidad. Además, estos deben integrar variables biológicas/funcionales (e.g., densidad, biomasa, estructura poblacional, fauna asociada, hábitos tróficos), ambientales (e.g., nutrientes, tipo de sustrato) y antropogénicas (e.g., intensidad pesquera, contaminación). Este tipo de series temporales permitiría evaluar con mayor precisión los efectos de eventos climáticos extremos como El Niño sobre la dinámica del ecosistema.
- Realizar experimentos de recuperación del bosque. Es necesario y urgente, realizar estudios experimentales donde se propongan hipótesis basadas en las estrategias de recuperación de los bosques de *E. cokeri*, y considerar las variables bio-ambientales. Estos estudios pueden ser realizados *in situ* con ayuda de experiencias realizadas en otras latitudes, y estudios en laboratorio a través de técnicas de tolerancia térmica.
- Desarrollar un programa intensivo de estudio antes–durante–después de eventos El Niño, incluyendo experimentación en laboratorio. La mayoría de los estudios en macroalgas en el Perú carecen de diseños temporales que permitan evaluar respuestas ecológicas frente a perturbaciones climáticas. Se recomienda promover investigaciones que comparen periodos previos, durante y posteriores a eventos El Niño, lo que permitiría comprender los procesos de resiliencia y recuperación de estos ecosistemas tanto en el norte como en el centro del Perú. El diseño, debería estar acompañado de experimento

de tolerancia térmica en laboratorio, con la manipulación de las principales variables ambientales (e.g., temperatura, luz, nutrientes)

- Evaluar el rol funcional del *E. cokeri* como especie biogénica. Es importante profundizar en el rol de *E. cokeri* como especie fundacional, particularmente en su función como hábitat para comunidades de peces, invertebrados y otras macroalgas bentónicas, y como sustrato biogénico para comunidades poco estudiadas. Estudios enfocados en las interacciones tróficas y en la diversidad asociada permitirían comprender mejor cómo los cambios en la densidad del *kelps* afectan el ensamble de estas comunidades.
- Integrar variables oceanográficas regionales. Se recomienda incorporar información oceanográfica de mayor escala, como intensidad de surgencia, anomalías de temperatura superficial del mar, olas de calor, disponibilidad espacial de nutrientes, variabilidad de zonas poco oxigenadas, etc. para entender cómo los procesos físico-químicos asociados a El Niño influyen en la dinámica de los bosques de macroalgas en la costa de Áncash, y su diversidad asociada.
- Fortalecer la gestión y conservación de los bosques de macroalgas. Dado el rol ecológico de *E. cokeri* como hábitat clave en ecosistemas submareales, se recomienda incorporar estos bosques en estrategias regionales de manejo costero, promoviendo su consideración dentro de planes de conservación y monitoreo frente a escenarios de variabilidad climática.
- Promover la investigación multidisciplinaria regional y colaborativa. Es necesario fortalecer redes de investigación entre universidades, institutos científicos y organismos de gestión pesquera para generar información comparable a lo largo de la costa peruana, lo que permitiría evaluar patrones latitudinales en la respuesta de los bosques de *E. cokeri* habitando otras regiones frente a eventos El Niño, y estructurar un modelo de estudio que sea replicable para otras especies.

En conjunto, estas recomendaciones contribuirían a mejorar el conocimiento ecológico de *E. cokeri* en el Perú y a comprender cómo la variabilidad climática asociada a El Niño

puede afectar la estructura y funcionamiento de los ecosistemas de bosques de macroalgas formado por especies endémicas del Perú. Dado que ninguna otra especie de macroalga formadora de hábitat, *tipo kelp*, persiste en bajas latitudes con *E. cokeri* en el centro-norte de Perú, la falta de redundancia funcional sugiere que la gestión y conservación efectiva de esta especie sean vitales para el mantenimiento de los procesos ecosistémicos, como la subsistencia de la biodiversidad.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, S., Moore, P. J., & Uribe, R. A. (2022). Habitat formed by the invasive macroalga *Caulerpa filiformis* (Suhr) Hering (Caulerpales, Chlorophyta) alters benthic macroinvertebrate assemblages in Peru. *Biological Invasions*, 24(10), 3305-3319.
- Anderson, M.J., Gorley, R.N., Clarke, K.R., (2008). PERMANOVA+ for PRIMER: guide to software and statistical methods. PRIMER-E, Plymouth, UK.
- Arafeh-Dalmau, N., Villaseñor-Derbez, J. C., Schoeman, D. S., Mora-Soto, A., Bell, T. W., Butler, C. L., ... & Cavanaugh, K. C. (2025). Global floating kelp forests have limited protection despite intensifying marine heatwave threats. *Nature communications*, 16(1), 3173.
- Arntz, W. E., & Tarazona, J. (1990). Effects of El Niño 1982-83 on benthos, fish and fisheries off the South American Pacific coast. *Elsevier oceanography series*, 52, 323-360.
- Atoche Suclupe, D., Alemán Mejía, S. A., Perea de la Matta, Á., & Uribe, R. A. (2021). Variabilidad espacio temporal de la estructura poblacional, morfología y morfometría de *Eisenia cokeri* MA Howe, 1914 (Phaeophyceae: Laminariales) en el nor-centro de Perú.
- Attridge, C. M., Cox, K. D., Maher, B., Lim, E. G., Bickell, A., Juanes, F., & Côté, I. M. (2025). Kelp canopy species and forest structure foster distinct faunal assemblages. *Limnology and Oceanography*, 70(12), 3798-3814.
- Avila-Peltroche, J., Avalos, M. L., & Scholl Chirinos, J. (2024). Concise review of the kelp genus *Eisenia* Areschoug. *Journal of Applied Phycology*, 36(5), 2397-2416.
- Arntz, W. E., & Tarazona, J. (1990). Effects of El Niño 1982-83 on benthos, fish and fisheries off the South American Pacific coast. *Elsevier oceanography series*, 52, 323-360.
- Bell, T. W., Cavanaugh, K. C., Saccomanno, V. R., Cavanaugh, K. C., Houskeeper, H. F., Eddy, N., ... & Gleason, M. (2023). Kelpwatch: A new visualization and analysis tool to explore kelp canopy dynamics reveals variable response to and recovery from marine heatwaves. *Plos one*, 18(3), e0271477.
- Bertocci, I., Araújo, R., Oliveira, P., & Sousa-Pinto, I. (2015). Potential effects of kelp species on local fisheries. *Journal of Applied Ecology*, 52(5), 1216-1226.

- Biológica, S. L. D. (1992). Convenio sobre la diversidad biológica. Texto y Anexos.
- Blanchette, C. A., & Menge, B. A. (2026). The intermediate disturbance hypothesis underlies community structure in rocky intertidal forests. *Scientific Reports*.
- Campos, L., Ortiz, M., Rodríguez-Zaragoza, F. A., & Oses, R. (2020). Macrobenthic community establishment on artificial reefs with *Macrocystis pyrifera* over barren-ground and soft-bottom habitats. *Global Ecology and Conservation*, 23, e01184.
- Carbajal, P., Gamarra, A., Moore, P. J., & Pérez-Matus, A. (2022). Different kelp species support unique macroinvertebrate assemblages, suggesting the potential community-wide impacts of kelp harvesting along the Humboldt current system. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 32(1), 14-27.
- Carbajal, P., Arakaki, N., Márquez-Corigliano, D., & Tellier, F. (2026). Unraveling the Genetic and Morphological Boundaries of the Kelp *Eisenia cokeri* and *E. gracilis* (Laminariales, Phaeophyceae) from Peru, and Their Phylogenetic Relationship with *Eisenia* from the Desventuradas Islands (Chile). *Phycology*, 6(1), 16.
- Casas, G., Piriz, M., & Parodi, E. (2008). Population features of the invasive kelp *Undaria pinnatifida* (Phaeophyceae: Laminariales) in Nuevo Gulf (Patagonia, Argentina). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 88(1), 21-28.
- Cavanaugh, K. C., Cavanaugh, K. C., Berberian, L. A., Ortiz-Villa, E. M., Callahan, M. C., & Leung, M. (2026). High-resolution planet Dove data identify local drivers of kelp canopy persistence. *Communications Earth & Environment*.
- Cevallos, B., Aller-Rojas, O., Aponte, H., & Moreno, B. (2024). Carbon capture by stipitate kelp forests in Peru: insights from population assessment of *Lessonia trabeculata* at 15° S. *Journal of Applied Phycology*, 36(5), 3057-3076.
- Chavez, F. P., Bertrand, A., Guevara-Carrasco, R., Soler, P. & Csirke, J. (2008). The northern Humboldt Current System: Brief history, present status and a view towards the future. *Progress in Oceanography*, 79, 95–105.
- Chavez, F. P., & Messié, M. (2009). A comparison of eastern boundary upwelling ecosystems. *Progress in Oceanography*, 83(1-4), 80-96.

- Clarke, K. R., & Warwick, R. M. (2001). Change in marine communities. An approach to statistical analysis and interpretation, 2, 1-168.
- Cuba, D., Guardia-Luzon, K., Cevallos, B., Ramos-Larico, S., Neira, E., Pons, A., & Avila-Peltroche, J. (2022). Ecosystem services provided by kelp forests of the Humboldt current system: A comprehensive review. *Coasts*, 2(4), 259-277.
- Dewitte, B., Vazquez-Cuervo, J., Goubanova, K., Illig, S., Takahashi, K., Cambon, G., ... & Ortlieb, L. (2012). Change in El Niño flavours over 1958–2008: Implications for the long-term trend of the upwelling off Peru. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 77, 143-156.
- Epstein, G. & Smale, D. (2018). Between-habitat variability in the population dynamics of a global marine invader may drive management uncertainty. *Marine pollution bulletin*, 137, 488-500.
- Espinoza-Morriberón, D., Echevin, V., Colas, F., Tam, J., Ledesma, J., Vásquez, L., & Graco, M. (2017). Impacts of El Niño events on the Peruvian upwelling system productivity. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 122(7), 5423-5444.
- Espinoza-Morriberón, D., Mogollón, R., Velasquez, O., Yabar, G., Villena, M., & Tam, J. (2025). Dynamics of surface chlorophyll and the asymmetric response of the high productive zone in the peruvian sea: effects of El Niño and La Niña. *International Journal of Climatology*, 45(5), e8764.
- Fernández, E., Córdova, C., & Tarazona, J. (1999). Condiciones de la pradera submareal de *Lessonia trabeculata* en la Isla Independencia durante El Nino 1997–98. *Rev. Perú. Biol.* Vol. extraordinario, 47-59.
- Firstater, F. N., Hidalgo, F. J., Lomovasky, B. J., Ramos, E., Gamero, P., & Iribarne, O. O. (2011). Habitat structure is more important than nutrient supply in modifying mussel bed assemblage in an upwelling area of the Peruvian coast. *Helgoland Marine Research*, 65(2), 187-196.

- Fowler-Walker, M., Wernberg, T., & Connell, S. (2006). Differences in kelp morphology between wave sheltered and exposed localities: morphologically plastic or fixed traits? *Marine Biology*, 148(4), 755-767.
- Fraser, C. I. (2012). Is bull-kelp kelp? The role of common names in science. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 46(2), 279-284.
- Friedlander, A. M., Ballesteros, E., Caselle, J. E., Hüne, M., Adler, A. M., & Sala, E. (2023). Patterns and drivers of benthic macroinvertebrate assemblages in the kelp forests of southern Patagonia. *PLoS One*, 18(1), e0279200.
- González, J. E., Yannicelli, B., Rodríguez-Zaragoza, F., & Ortiz, M. (2023). Biogenic habitats as drivers of invertebrate benthic community variability in Tongoy Bay (SE Pacific coast): implications of macroalga harvesting. *Scientia Marina*, 87(1), e057-e057.
- Gotelli, N. J., Moyes, F., Antão, L. H., Blowes, S. A., Dornelas, M., McGill, B. J. & Magurran, A. E. (2022). Long-term changes in temperate marine fish assemblages are driven by a small subset of species. *Global Change Biology*, 28(1), 46-53.
- Gouraguine, A., Moore, P., Burrows, M. T., Velasco, E., Ariz, L., Figueroa-Fábrega, L., ... & Pérez-Matus, A. (2021). The intensity of kelp harvesting shapes the population structure of the foundation species *Lessonia trabeculata* along the Chilean coastline. *Marine Biology*, 168(5), 66.
- Gutiérrez, D., Espinoza-Morriberón, D., Aguilar-Arakaki, R., Aguirre-Velarde, A., Anculle, T., Asto, C., et al. (2025). El Niño 2023-2024: Características físicas, dinámica e impactos biológico-pesqueros en el mar peruano. *Inf Inst Mar Perú*, 52(4), 341-420.
- Graco, M. I., Ledesma, J., Flores, G. & Girón, M. (2007). Nutrientes, oxígeno y procesos biogeoquímicos en el sistema de surgencias de la corriente de Humboldt frente a Perú. *Rev. peru. Biol.*, 14(1), 117-28.
- Grados, C., Chaigneau, A., Echevin, V. & Domínguez, N. (2018). Upper ocean hydrology of the Northern Humboldt Current System at seasonal, interannual and interdecadal scales. *Progress in Oceanography*, 165, 123-144.

- Graham, M. H. (2004). Effects of local deforestation on the diversity and structure of southern California giant kelp forest food webs. *Ecosystems*, 7(4), 341-357.
- Heip, C. (1974). A new index measuring evenness. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 54(3), 555-557.
- Hermosillo-Núñez, B. B., Campos, L., Berrios, F., & Ortiz, M. (2023). Spatial and temporal changes of subtidal benthic communities in Antofagasta Bay (SE Pacific) stressed by permanent human disturbances. *Regional Studies in Marine Science*, 63, 102990.
- Hobday, A. J., Alexander, L. V., Perkins, S. E., Smale, D. A., Straub, S. C., Oliver, E. C., Benthuyssen, J. A., Burrows, M. T., Donat, M. G., Feng, M., Holbrook, N. J., Moore, P. J., Scannell, H. A., Gupta, A. S. & Wernberg, T. (2016). A hierarchical approach to defining marine heatwaves. *Progress in oceanography*, 141, 227-238.
- Hüne, M., Friedlander, A. M., Ballesteros, E., Caselle, J. E., & Sala, E. (2021). Assemblage structure and spatial diversity patterns of kelp forest-associated fishes in Southern Patagonia. *PloS one*, 16(9), e0257662.
- Howe, M. A. (1914). *The marine algae of Peru* (Vol. 15). Press of the New era printing Company.
- Jones, C. G., Lawton, J. H., & Shachak, M. (1997). Positive and negative effects of organisms as physical ecosystem engineers. *Ecology*, 78(7), 1946-1957.
- King, N. G., Moore, P. J., Wilding, C., Jenkins, H. L., & Smale, D. A. (2021). Multiscale spatial variability in epibiont assemblage structure associated with stipes of kelp *Laminaria hyperborea* in the northeast Atlantic. *Marine Ecology Progress Series*, 672, 33-44.
- Leathers, T., King, N. G., Foggo, A., & Smale, D. A. (2023). Marine heatwave duration and intensity interact to reduce physiological tipping points of kelp species with contrasting thermal affinities. *Annals of Botany*, mcad172.
- Lepoint, G., & Hyndes, G. A. (2022). Tropicalization of seagrass macrophytodebris accumulations and associated food webs. *Frontiers in Marine Science*, 9, 943841.
- Llellish, M. (2020). Impacto del evento El Niño (ENSO) 1997-1998 en las praderas de *Lessonia trabeculata* en Punta Coles, Ilo (Tesis de maestría, Programa de Recursos

- Acuáticos con mención en Ecología Acuática, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima).
- Lotze, H. K. (2021). Marine biodiversity conservation. *Current Biology*, 31(19), R1190-R1195.
- Maucieri, D. G., Kushner, D. J., & Bates, A. E. (2025). Enduring a major marine heatwave: the role of local cool refugia and kelp forests in the resilience of marine invertebrates. *Diversity and Distributions*, 31(6), e70044.
- Menge, B. A., & Olson, A. M. (1990). Role of scale and environmental factors in regulation of community structure. *Trends in Ecology & Evolution*, 5(2), 52-57.
- Miller, R.J., Lafferty, K.D., Lamy, T., Kui, L., Rassweiler, A. & Reed, D.C. (2018) Giant kelp, *Macrocystis pyrifera*, increases faunal diversity through physical engineering. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 285:20172571
- Morales Araujo, R. N. (2023). Variabilidad de la estructura comunitaria de macroinvertebrados asociados a los rizoides de *Eisenia cokeri* MA Howe (Laminariales: Phaeophyceae) en la región Áncash, Perú. Tesis pregrado, Universidad Nacional del Santa.
- Moscoso, V. (2013). Clave para identificación de crustáceos decápodos y estomatópodos del Perú. *Boletín Instituto del Mar del Perú*, 28: 8–135.
- Oliver, E. C., Benthuyssen, J. A., Darmaraki, S., Donat, M. G., Hobday, A. J., Holbrook, N. J., ... & Sen Gupta, A. (2021). Marine heatwaves. *Annual review of marine science*, 13(1), 313-342.
- Ortiz, M. (2010). Dynamic and spatial models of kelp forest of *Macrocystis integrifolia* and *Lessonia trabeculata* (SE Pacific) for assessment harvest scenarios: short-term responses. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 20(5), 494-506.
- Ortiz, M., & Levins, R. (2017). Self-feedbacks determine the sustainability of human interventions in eco-social complex systems: Impacts on biodiversity and ecosystem health. *PloS one*, 12(4), e0176163.
- Ortiz, M., & Uribe, R. A. (2021). Comparing the stability of successional transient models in kelp forests and barrens (south-east Pacific): Implications for conservation monitoring. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 31(6), 1297-1310.

- Pacheco, A. S., Riascos, J. M., Orellana, F., & Oliva, M. E. (2012). El Niño-Southern Oscillation cyclical modulation of macrobenthic community structure in the Humboldt Current ecosystem. *Oikos*, 121(12), 2097-2109.
- Pérez-Matus, A., Carrasco, S. A., Gelcich, S., Fernandez, M., & Wieters, E. A. (2017). Exploring the effects of fishing pressure and upwelling intensity over subtidal kelp forest communities in Central Chile. *Ecosphere*, 8(5), e01808.
- Peteiro, C. (2018). Alginate production from marine macroalgae, with emphasis on kelp farming. *Alginates and their biomedical applications*, 27-66.
- Riascos, J. M., Uribe, R. A., Donayre, S., Flores, D., Galindo, O., Quispe, C., & Gonzalez, J. (2016). Human footprints on benthic communities in marine reserves: a study case in the most productive upwelling system worldwide. *Marine Ecology Progress Series*, 557, 65-75.
- Rozbaczylo, N. (1980). Clave para el reconocimiento de familias de anélidos poliquetos del mar chileno. *Studies on Neotropical Fauna and Environment*, 15(3-4), 167-196.
- Salland, N., Jensen, A., & Smale, D. A. (2024). The structure and diversity of macroinvertebrate assemblages associated with the understudied pseudo-kelp *Saccorhiza polyschides* in the Western English Channel (UK). *Marine Environmental Research*, 198, 106519.
- Spiecker, B. J., & Menge, B. A. (2022). El Niño and marine heatwaves: Ecological impacts on Oregon rocky intertidal kelp communities at local to regional scales. *Ecological Monographs*, 92(2), e1504.
- Scheibling, R. E., Feehan, C. J., & Lauzon-Guay, J. S. (2013). Climate change, disease and the dynamics of a kelp-bed ecosystem in Nova Scotia. *Climate change perspectives from the Atlantic: past, present and future*. Servicio de Publicaciones, Universidad de La Laguna, 361-387.
- Smale, D. A., Burrows, M. T., Evans, A. J., King, N., Sayer, M. D., Yunnice, A. L., & Moore, P. J. (2016). Linking environmental variables with regional-scale variability in ecological

- structure and standing stock of carbon within UK kelp forests. *Marine Ecology Progress Series*, 542, 79-95.
- Smale, D. A., Wernberg, T., Oliver, E. C., Thomsen, M., Harvey, B. P., Straub, S. C., ... & Moore, P. J. (2019). Marine heatwaves threaten global biodiversity and the provision of ecosystem services. *Nature Climate Change*, 9(4), 306-312.
- Smale, D. A. (2020). Impacts of ocean warming on kelp forest ecosystems. *New Phytologist*, 225(4), 1447-1454.
- Smith, K. E., Burrows, M. T., Hobday, A. J., King, N. G., Moore, P. J., Sen Gupta, A., ... & Smale, D. A. (2023). Biological impacts of marine heatwaves. *Annual review of marine science*, 15(1), 119-145.
- Sorte, C. J., Davidson, V. E., Franklin, M. C., Benes, K. M., Doellman, M. M., Etter, R. J., ... & Menge, B. A. (2017). Long-term declines in an intertidal foundation species parallel shifts in community composition. *Global change biology*, 23(1), 341-352.
- Spiecker, B. J., & Menge, B. A. (2022). El Niño and marine heatwaves: Ecological impacts on Oregon rocky intertidal kelp communities at local to regional scales. *Ecological Monographs*, 92(2), e1504.
- Stuart, E., King, N., & Smale, D. (2025). The influence of subtidal *Laminaria* canopies on local environmental conditions and the structure of understory communities. *Marine Environmental Research*, 204, 106957.
- Sullaway, G. H., & Edwards, M. S. (2020). Impacts of the non-native alga *Sargassum horneri* on benthic community production in a California kelp forest. *Marine Ecology Progress Series*, 637, 45-57.
- Teagle, H., Hawkins, S. J., Moore, P. J., & Smale, D. A. (2017). The role of kelp species as biogenic habitat formers in coastal marine ecosystems. *Journal of experimental marine biology and ecology*, 492, 81-98.

- Thomsen, M. S., Mondardini, L., Alestra, T., Gerrity, S., Tait, L., South, P. M., ... & Schiel, D. R. (2019). Local extinction of bull kelp (*Durvillaea* spp.) due to a marine heatwave. *Frontiers in Marine Science*, 6, 84.
- Thomsen, M. S., Altieri, A. H., Angelini, C., Bishop, M. J., Bulleri, F., Farhan, R., ... & Zotz, G. (2022). Heterogeneity within and among co-occurring foundation species increases biodiversity. *Nature communications*, 13(1), 581.
- Thomsen, M. S., Alestra, T., Brockerhoff, D., Lilley, S. A., South, P. M., & Schiel, D. R. (2018). Modified kelp seasonality and invertebrate diversity where an invasive kelp co-occurs with native mussels. *Marine Biology*, 165(10), 173.
- Uribe, R., Rubio, J., Carbajal, P., Berrú, P. (2013). Invertebrados marinos bentónicos del litoral de la Región Áncash, Perú. *Boletín del Instituto del Mar del Perú*, 28: 136-293.
- Uribe, R. A., Ortiz, M., Macaya, E. C., & Pacheco, A. S. (2015a). Successional patterns of hard-bottom macrobenthic communities at kelp bed (*Lessonia trabeculata*) and barren ground sublittoral systems. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 472, 180-188.
- Uribe, R. A., Ortiz, M., Pacheco, A. S., & Araya, R. (2015b). Early succession of micro-periphyton communities in kelp bed and barren ground ecological systems. *Marine Ecology*, 36(4), 1415-1427.
- Uribe, R. A., Perea, Á., & Ortiz, M. (2022). Determining ecosystem properties and short-term dynamical simulations in *Eisenia cokeri* kelp forest (north-center of Peru): Implications for conservation and monitoring. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 269, 107813.
- Uribe, R. A., Smale, D. A., Morales, R., Aleman, S., Atoche-Suclupe, D., Burrows, M. T., & Moore, P. J. (2024a). Spatiotemporal variability in the structure and diversity of understory faunal assemblages associated with the kelp *Eisenia cokeri* (Laminariales) in Peru. *Marine Biology*, 171(2), 1-12.
- Uribe, R. A., Mendivil, A., Pastor, R., Atoche-Suclupe, D., Aleman, S., Flores, L., & Sepulveda, F. (2024b). Unveiling a new species of *Trapania* (Gastropoda: Nudibranchia:

- Goniodorididae) from the South-eastern Pacific using anatomical and molecular tools. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 104, e121.
- Valqui, J., Ibañez-Erquiaga, B., Pacheco, A. S., Wilbur, L., Ochoa, D., Cardich, J., ... & Carré, M. (2021). Changes in rocky intertidal communities after the 2015 and 2017 El Niño events along the Peruvian coast. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 250, 107142.
- Vergés, A., Steinberg, P. D., Hay, M. E., Poore, A. G., Campbell, A. H., Ballesteros, E., ... & Wilson, S. K. (2014). The tropicalization of temperate marine ecosystems: climate-mediated changes in herbivory and community phase shifts. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 281(1789).
- Vásquez, J. A., Vega, J. A., & Buschmann, A. H. (2006). Long term variability in the structure of kelp communities in northern Chile and the 1997–98 ENSO. *Journal of Applied Phycology*, 18(3), 505-519.
- Vásquez, J. A., Piaget, N., & Vega, J. A. (2012). The *Lessonia nigrescens* fishery in northern Chile: “how you harvest is more important than how much you harvest”. *Journal of Applied Phycology*, 24, 417-426.
- Vásquez, J. A., Zuñiga, S., Tala, F., Piaget, N., Rodríguez, D. C. & Vega J. A. 2014. Economic valuation of kelp forests in northern Chile: values of goods and services of the ecosystem. *Journal of Applied Phycology*, 26(2), 1081-1088.
- Velasco-Charpentier, C., Pizarro-Mora, F., Navarro, N. P., & Valdivia, N. (2021). Disentangling the links between habitat complexity and biodiversity in a kelp-dominated subantarctic community. *Ecology and Evolution*, 11(3), 1214-1224.
- Villegas, M. J., Laudien, J., Sielfeld, W., & Arntz, W. E. (2008). *Macrocystis integrifolia* and *Lessonia trabeculata* (Laminariales; Phaeophyceae) kelp habitat structures and associated macrobenthic community off northern Chile. *Helgoland Marine Research*, 62(Suppl 1), 33-43.
- Wernberg, T., Krumhansl, K., Filbee-Dexter, K., & Pedersen, M. F. (2019). Status and trends for the world's kelp forests. In *World seas: An environmental evaluation* (pp. 57-78). Academic Press.

- Wernberg, T., Thomsen, M. S., Baum, J. K., Bishop, M. J., Bruno, J. F., Coleman, M. A., ... & Vanderklift, M. A. (2024). Impacts of climate change on marine foundation species. *Annual review of marine science*, 16(1), 247-282.
- Winkler, N. S., Pérez-Matus, A., Villena, Á. A., & Thiel, M. (2017). Seasonal variation in epifaunal communities associated with giant kelp (*Macrocystis pyrifera*) at an upwelling-dominated site. *Austral Ecology*, 42(2), 132-144.
- Wahl, M. (Ed.). (2009). *Marine hard bottom communities* (pp. 61-72). Berlin, Germany: Springer.

IX. ANEXOS

Tabla A1. Valores promedio por sitio, estación y condición de las variables utilizadas en el análisis de relación con la distribución de la abundancia de invertebrados que habitan bajo el dosel de *E. cokeri* en Áncash.

Condición El Niño	Estación	Sitio	Variables			
			Densidad de <i>E. cokeri</i> (m ²)	Profundidad (m)	Temperatura (°C)	Intensidad de luz (lux)
Antes	Verano 2022	Gramita	6,6	5,7	15,3	3432,2
Antes	Verano 2022	Huaro	6,1	6,5	15,2	1445,7
Antes	Verano 2022	Patillos	9,3	8,2	15,4	253,9
Antes	Verano 2022	Rio Seco	14,7	7,9	15,1	157,2
Antes	Verano 2022	Tuquillo	3,0	6,2	15,2	1168,3
Antes	Invierno 2022	Gramita	23,3	5,9	15,3	3432,2
Antes	Invierno 2022	Patillos	7,3	9,1	15,4	253,9
Antes	Invierno 2022	Rio Seco	4,0	8,6	15,1	157,2
Antes	Invierno 2022	Tuquillo	7,6	8,2	15,2	1168,3
Durante	Verano2023	Gramita	17,7	7,0	22,5	7447,2
Durante	Verano2023	Huaro	21,9	7,1	21,4	2776,1
Durante	Verano2023	Patillos	25,0	7,9	21,9	4682,3
Durante	Verano2023	Rio Seco	14,7	8,2	21,0	1168,6
Durante	Verano2023	Tuquillo	12,7	7,2	23,2	6763,7
Durante	Invierno2023	Gramita	5,0	4,9	19,1	2478
Durante	Invierno2023	Huaro	11,6	9,4	20,6	5173,3
Durante	Invierno2023	Patillos	11,5	7,1	20,1	771,4
Durante	Invierno2023	Rio Seco	6,8	10,8	19,8	890
Durante	Invierno2023	Tuquillo	10,2	8,2	20,5	3724,3
Durante	Verano2024	Gramita	2,2	6,3	18,5	13175,1
Durante	Verano2024	Huaro	12,1	10,4	18,3	6627,4
Durante	Verano2024	Patillos	10,2	8,5	17,9	4893,2
Durante	Verano2024	Rio Seco	10,5	9,4	17,9	4893,2
Durante	Verano2024	Tuquillo	9,3	11,9	17,9	5752,8
Después	Invierno2024	Gramita	1,3	5,9	14,6	3913,8
Después	Invierno2024	Huaro	7,3	11,0	14,4	2594,1
Después	Invierno2024	Patillos	7,4	8,1	14,7	4342
Después	Invierno2024	Rio Seco	3,4	11,1	14,3	6132,4
Después	Invierno2024	Tuquillo	6,4	10,1	14,5	6545,6
Después	Verano2025	Gramita	0,0	7,5	16,3	3021
Después	Verano2025	Huaro	7,5	12,2	16,0	1529,9
Después	Verano2025	Patillos	6,9	9,1	16,6	3398
Después	Verano2025	Rio Seco	4,3	9,8	15,8	11401,2
Después	Verano2025	Tuquillo	4,8	7,4	16,2	3151,6
Después	Invierno2025	Gramita	0,2	6,4	16,3	3021
Después	Invierno2025	Huaro	3,6	10,5	16,0	1529,9
Después	Invierno2025	Rio Seco	6,2	9,1	15,8	11401,2
Después	Invierno2025	Tuquillo	10,0	8,4	16,2	3151,6

Tabla A2. Número de individuos (Ind/m²) y abundancia relativa (%) de los invertebrados móviles y sésiles individuales asociados a los bosques de *E. cokeri* en la región Áncash durante el evento El Niño 2023/24.

	Antes		Durante		Después	
	Ind/m ²	%	Ind/m ²	%	Ind/m ²	%
Cnidario (actinia)	7.0	3.2			2.7	1.3
<i>Alia unifasciata</i>	21.1	9.6	15.8	5.4	12.5	6.2
<i>Alpheus inca</i>	2.0	0.9				
Annelida					1.0	0.5
<i>Antholoba achates</i>	4.0	1.8				
<i>Anthothoe chilensis</i>	5.5	2.5	3.8	1.3	4.3	2.1
<i>Aplysia</i> sp.			1.0	0.3		
<i>Arbacea spatuligera</i>	2.4	1.1	2.4	0.8	1.9	1.0
<i>Argopecten purpuratus</i>			1.2	0.4	1.0	0.5
<i>Caenocentrotus gibbosus</i>	4.7	2.1	3.3	1.1	4.0	2.0
<i>Calyptrea trochiformes</i>	9.5	4.3			1.9	0.9
cf. <i>Itaxia falklandica</i>					2.0	1.0
cf. <i>Phidiana lottini</i>					3.0	1.5
cf. <i>Spurilla brasiliana</i>					2.0	1.0
<i>Chama pellucida</i>			1.5	0.5		
<i>Chiton cumingsi</i>	3.0	1.4	2.1	0.7	2.9	1.5
<i>Chiton</i> sp.			1.5	0.5		
Cnidario n.d.			3.0	1.0		
<i>Conus</i> sp.			1.0	0.3		
<i>Crassilabrum crassilabrum</i>	11.4	5.2	9.0	3.1	9.5	4.7
<i>Crepidula dilatata</i>			2.8	0.9	3.2	1.6
<i>Crossata ventricosa</i>	1.7	0.8	5.0	1.7	1.6	0.8
<i>Crucibulum spinosum</i>			1.9	0.7		
<i>Discinisca lamellosa</i>	3.0	1.4	3.9	1.3	3.3	1.6
<i>Doris fontainei</i>	3.4	1.6	2.0	0.7	1.2	0.6
<i>Eurythoe</i> sp.			8.0	2.7	3.4	1.7
<i>Fissurella crassa</i>	2.0	0.9			1.0	0.5
<i>Fissurella latimarginata</i>	2.8	1.3	3.6	1.2	2.4	1.2
<i>Fissurella limbata</i>			1.0	0.3		
<i>Fissurella peruviana</i>	2.2	1.0	2.0	0.7	2.2	1.1
<i>Fissurella</i> sp.	2.0	0.9				
<i>Flabellina cynara</i>			1.2	0.4	1.1	0.6
<i>Gary solida</i>	3.0	1.4			1.0	0.5
Gastropodo n.d.			1.0	0.3		
<i>Gaudichaudia gaudichaudia</i>	2.4	1.1	2.0	0.7	1.0	0.5
<i>Heliaster helianthus</i>	1.2	0.5	1.3	0.4	1.3	0.6
<i>Hiatella solida</i>					1.0	0.5
<i>Homalacantha multicrispata</i>			1.0	0.3		
<i>Leptogorgia peruviana</i>	5.6	2.6	2.6	0.9	5.4	2.7
<i>Luidia magellanica</i>	1.1	0.5	1.1	0.4	1.4	0.7
Majidae			1.8	0.6		
<i>Megalobrachium</i> sp.			2.0	0.7		
<i>Mitra orientalis</i>	1.0	0.5	2.0	0.7	1.0	0.5

<i>Nassarius dentifer</i>	9.8	4.4	6.9	2.3	4.7	2.3
<i>Neothyone</i> sp.			1.0	0.3		
<i>Felicioliva peruviana</i>					15.0	7.5
<i>Ophiactis kroyeri</i>			7.9	2.7	5.5	2.7
<i>Ophiothrix magnifica</i>	9.5	4.3	6.5	2.2	6.3	3.1
<i>Ophiotryx</i> sp.			3.0	1.0		
<i>Oulactis</i> sp.			1.5	0.5	2.0	1.0
<i>Pachycheles grossimanus</i>	3.5	1.6	3.0	1.0	3.0	1.5
<i>Paguristhes</i> sp.	1.0	0.5	5.8	2.0	6.0	3.0
<i>Pagurus edwardsi</i>	8.5	3.9	7.2	2.4	5.7	2.8
<i>Paraxanthus barbiger</i>					1.0	0.5
<i>Patiria chilensis</i>	2.0	0.9	3.2	1.1	2.7	1.3
<i>Petrolisthes angulosus</i>					1.0	0.5
<i>Petrolisthes desmarestii</i>	4.4	2.0	3.0	1.0	2.4	1.2
<i>Phidiana lottini</i>	2.0	0.9	1.8	0.6		
<i>Phymanthea pluvia</i>	1.2	0.5	1.4	0.5	1.2	0.6
<i>Pilumnoides perlatus</i>	3.0	1.4			1.5	0.7
Plathyhelminthes					2.0	1.0
Porcellanidae					1.0	0.5
Portunidae					1.0	0.5
<i>Prisogaster niger</i>			4.6	1.6	3.0	1.5
<i>Pseudochama</i> sp.			1.0	0.3		
<i>Rhynchocinetes typus</i>	9.2	4.2	7.3	2.5	6.7	3.3
<i>Romaleon setosus</i>	1.6	0.7			1.0	0.5
<i>Stenorhynchus debilis</i>			2.2	0.7	1.6	0.8
<i>Synalpheus spinifrons</i>	2.0	0.9			1.8	0.9
<i>Tegula atra</i>	15.1	6.9	12.2	4.1	10.6	5.3
<i>Tegula euryomphala</i>	8.3	3.8	2.0	0.7		
<i>Tegula luctuosa</i>	11.9	5.4	9.1	3.1	10.6	5.3
<i>Tegula quadricostata</i>			2.0	0.7		
<i>Tegula tridentata</i>			39.3	13.4		
<i>Tetrapyrgus niger</i>	9.0	4.1	7.4	2.5	6.0	3.0
<i>Thais biserialis</i>			5.3	1.8	4.2	2.1
<i>Thaisella chocolate</i>	4.4	2.0	5.6	1.9	3.7	1.8
<i>Tonicia chilensis</i>			2.0	0.7	1.0	0.5
<i>Tonicia elegans</i>	1.8	0.8	2.2	0.7	1.4	0.7
<i>Trapania huarmeyana</i>					1.5	0.7
<i>Xanthochorus buxea</i>	3.4	1.5			1.0	0.5
<i>Xanthochorus cassidiformis</i>	6.4	2.9	6.0	2.0	4.3	2.1