



CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS
DEL NOROESTE, S.C.

Programa de Estudios de Posgrado

**EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE OSTIÓN JAPONÉS
(*Crassostrea gigas*) TRIPLOIDE, EN COMUNIDADES
RIBEREÑAS DE BCS.**

T E S I S

Que para obtener el grado de

Doctor en Ciencias

Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales
(Orientación en Acuicultura)

P r e s e n t a

Luis Eduardo Miranda Domínguez

La Paz, Baja California Sur, enero de 2026.

ACTA DE LIBERACIÓN DE TESIS

En la Ciudad de La Paz, B. C. S., siendo las 10:00 horas del día 15 del Mes de diciembre del 2025, se procedió por los abajo firmantes, miembros de la Comisión Revisora de Tesis avalada por la Dirección de Estudios de Posgrado y Formación de Recursos Humanos del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C., a liberar la Tesis de Grado titulada:

"Evaluación del desempeño de ostión japonés (*Crassostrea gigas*) triploide, en comunidades ribereñas de BCS."

Presentada por el alumno:

Luis Eduardo Miranda Domínguez

Aspirante al Grado de DOCTOR EN CIENCIAS EN EL USO, MANEJO Y PRESERVACIÓN DE LOS RECURSOS NATURALES CON ORIENTACIÓN EN **Acuicultura**

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron su **APROBACIÓN DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA



Dr. Pedro Cruz Hernández
Director de Tesis



Dr. Fausto Valenzuela Quiñonez
Co-Tutor de Tesis



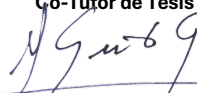
Dr. Héctor Acosta Salmón
Co-Tutor de tesis



Dra. Laura Liliana López Galindo
Co-Tutora de Tesis



Dr. Andrés Granados Amores
Co-Tutor de Tesis



Dra. Alejandra Nieto Garibay,
Directora de Estudios de Posgrado y
Formación de Recursos Humanos



La Paz, Baja California Sur, a 15 de diciembre de 2025.

Los miembros del comité de tesis del (la) estudiante LUIS EDUARDO MIRANDA DOMÍNGUEZ del Programa de Doctorado en Ciencias en el Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales, revisamos el contenido de la tesis y otorgamos el Vo.Bo. dado que la tesis no representa un plagio de otro documento como lo muestra el reporte de similitud realizado:

- Herramienta antiplagio:
iThenticate
- Filtros utilizados:
Base de datos de Internet
Base de datos de Crossref
Base de datos de publicaciones
Base de datos de contenido publicado de Crossref
- Porcentajes de similitud:
5% de similitud general
Se muestra captura de pantalla:

● 5% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 5% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Coincidencia baja (menos de 12 palabras)
- Material citado

Director de Tesis

Dr. Pedro Cruz Hernández

Estudiante

Luis Eduardo Miranda Domínguez

Personal técnico de asesoría en el análisis

Ana María Talamantes Cota

Conformación de Comités

Comité Tutorial

Dr. Pedro Cruz Hernández
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.
Director de Tesis

Dr. Fausto Valenzuela Quiñonez
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.
Co-Tutor de Tesis

Dr. Héctor Acosta Salmón
Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.
Co-Tutor de Tesis

Dra. Laura Liliana López Galindo
Universidad Autónoma de Baja California
Co-Tutora de Tesis

Dr. Andrés Granados Amores
Universidad Autónoma de Baja California Sur
Co-Tutor de Tesis

Comité Revisor de Tesis

Dr. Pedro Cruz Hernández
Dr. Fausto Valenzuela Quiñonez
Dr. Héctor Acosta Salmón
Dra. Laura Liliana López Galindo
Dr. Andrés Granados Amores

Jurado de Examen

Dr. Pedro Cruz Hernández
Dr. Fausto Valenzuela Quiñonez
Dr. Héctor Acosta Salmón
Dra. Laura Liliana López Galindo
Dr. Andrés Granados Amores

Suplentes

Dr. Luis Daniel Espinosa Chaurand
Dr. Ricardo Pérez Enriquez

Resumen

El cultivo del ostión japonés (*Crassostrea gigas*) es una actividad ampliamente practicada y con menor grado de tecnificación en comparación con el cultivo de crustáceos y peces. *C. gigas* se introdujo a México desde 1973 para impulsar la ostricultura en el noroeste del país. Desde el desarrollo de la triploidización en 1982, aplicada a moluscos bivalvos, se ha propuesto el uso de organismos triploides (3n) para incrementar la producción, debido a que son parcialmente estériles, crecen más rápido, presentan mayor supervivencia y alcanzan la talla comercial en menor tiempo que los diploides (2n). El presente estudio evaluó el crecimiento y supervivencia de 2n y 3n de *C. gigas* en dos ambientes contrastantes de Baja California Sur: La Paz (LP) y Santo Domingo (SD). Los ostiones 3n se generaron mediante cruces “biológicas” entre hembras (♀) 2n y machos (♂) tetraploides (4n). En la fase de campo, los ostiones fueron cultivados en camas (LP) y líneas ajustables (SD), iniciando con tres réplicas de 150 organismos/bolsa/sitio/ploidía. Los datos ambientales (temperatura y clorofila) se obtuvieron de la plataforma Copernicus. Se registraron las medidas de la concha y masa, y se recolectaron muestras histológicas para evaluar el desarrollo gonádico y la composición bioquímica (carbohidratos, CHO; proteínas, PT; lípidos, LT). Los resultados mostraron que en la fase larvaria, los 3n crecieron más desde el día 14 y alcanzaron la fase de asentamiento a los 16, 4 días antes que los 2n. Las condiciones ambientales indicaron que SD presentó temperaturas más bajas y mayores concentraciones de clorofila que LP, reflejándose en un mayor crecimiento de los ostiones (2n y 3n) en este sitio. Al finalizar el ciclo de cultivo, el ancho de la concha y el peso del músculo fueron mayores en los 3n que en los 2n en ambos sitios (LP y SD). Al momento de la cosecha se observó una mayor proporción de ♂ (2n, ~33%; 3n, ~29%) que de ♀ (2n, ~16%; 3n, ~12%) y una baja presencia de hermafroditas (2n, ~2%; 3n, ~8%) en ambas ploidías. Los 2n alcanzaron la madurez gonádica (estadio III), mientras que los 3n mostraron un desarrollo retrasado y heterogéneo en ambos sexos y sitios. Algunas de las 3n♀ identificadas alcanzaron el estadio IIIα (~8%), potencialmente funcionales. Al final del ciclo de cultivo, los 2n presentaron una mayor área de cobertura gonádica (ACG) que los 3n en ambas ploidías y sitios. Los análisis bioquímicos mostraron variación temporal asociada al ciclo reproductivo y al medio ambiente. En tejido blando, los CHO (mg g⁻¹) y LT (mg g⁻¹) aumentaron al final del cultivo, especialmente en SD. Los LT mostraron un patrón consistente, con mayor concentración en gónada que en músculo; los 3nLP exhibieron los valores más bajos de LT tanto en el cuerpo entero como en la gónada. El presente estudio denota las ventajas de los 3n desde la etapa larval, lo cual permite una reducción de costos en laboratorio para generar la semilla, así como ostiones de mejor calidad al momento de la cosecha, los cuales tienen un mayor ancho y peso de músculo, y un menor tiempo de cosecha, características deseables en el mercado, además de una buena calidad de su biomasa (CHO) sin el riesgo de reducir su peso a causa del desove, condición a la que están expuestos los organismos 2n, particularmente en condiciones desfavorables como Bahía de La Paz.

Palabras claves: triploidía, músculo, ancho, reproducción, bioquímica

ORCID: 0000-0002-4269-9070



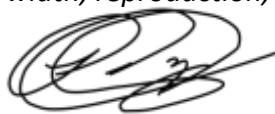
Dr. Pedro Cruz Hernández
Director de Tesis

Summary

The grow-out of the Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) is a widely practiced activity that generally exhibits a lower degree of technological intensification compared with crustacean and finfish aquaculture. *C. gigas* was introduced to Mexico in 1973 to promote oyster farming in the northwestern region of the country. Since the development of triploidization in 1982, primarily applied to bivalve mollusks, the use of triploid (3n) oysters has been proposed to enhance production because they are partially sterile, grow faster, exhibit higher survival, and reach market size more quickly than diploids (2n). The present study evaluated the growth and survival of diploid and triploid *C. gigas* in two contrasting environments of Baja California Sur: La Paz (LP) and Santo Domingo (SD). 3n oysters were produced through “biological” crosses between 2n females (♀) and tetraploid (4n) males (♂). During the field phase, oysters were stoked using on beds (LP) and adjustable longlines (SD), beginning with three replicates of 150 oysters/replicate/ploidy/site. Environmental data (temperature and chlorophyll-a) were obtained from the Copernicus platform. Shell and biomass measurements were recorded, and histological samples were collected to assess gonadal development and biochemical composition (carbohydrates, CHO; proteins, PT; lipids, LT). Results showed that during the larval phase, 3n grew more faster from day 14 onward and reached the settlement stage by day 16, four days earlier than 2n. Environmental conditions indicated that SD exhibited lower temperatures and higher chlorophyll-a concentrations than LP, which was reflected in greater growth of both oysters (2n and 3n) at this site. By the end of the grow-out cycle, shell width and adductor muscle weight were higher in 3n than 2n at both sites. At harvest, a higher proportion of ♂ was observed in both ploidies (2n, ~33%; 3n, ~29%) compared with ♀ (2n, ~16%; 3n, ~12%), along with a low incidence of hermaphrodites (2n, ~2%; 3n, ~8%). 2n reached full gonadal maturity (stage III), whereas 3n exhibited delayed and heterogeneous development across sexes and sites. A small proportion of 3n♀ reached stage IIIα (~8%), suggesting limited functional maturity. By the end of the culture cycle, 2n displayed a greater gonadal coverage area (GCA) than 3n at both sites. Biochemical analyses revealed temporal variation associated with the reproductive cycle and environmental conditions. In soft tissues, CHO (mg g⁻¹) and TL (mg g⁻¹) increased toward the end of the grow-out period, particularly in SD. TL exhibited a consistent pattern, with higher concentrations in gonad than in muscle; 3n from LP showed the lowest TL values in whole-body tissues and gonads. This study highlights the advantages of 3n beginning at the larval stage, enabling reduced hatchery production costs and producing higher-quality oysters at harvest (characterized by greater shell width, higher adductor muscle weight, and a shorter grow-out period) attributes highly desirable in commercial markets. Moreover, 3n maintain good biochemical tissue quality (CHO) without the risk of weight loss associated with spawning, a condition commonly affecting 2n oysters, particularly under unfavorable environmental conditions such as those in La Paz Bay.

Keywords: triploidy, muscle adductor, width, reproduction, biochemistry

ORCID: 0000-0002-4269-9070



Dr. Pedro Cruz Hernández

Director de Tesis

Dedicatoria

Nki su

Ndia dugeki rxu ngiba ngunguri.
(Así lo contamos los chocholtecos.)

Agradecimientos

Al Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. (CIBNOR S.C.), por sus instalaciones y el respaldo académico necesarios para el desarrollo de esta investigación.

A la Dirección de Estudios de Posgrado y Formación de Recursos Humanos del CIBNOR y a todo su personal por todo su apoyo durante la realización de trámites, otorgamiento de apoyo para traslado y beca de manutención para finalizar el doctorado, además les agradezco por resolver todas mis dudas, por su amabilidad y por su disposición siempre para ayudar.

A la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por los apoyos económicos otorgados: Beca Nacional 2021 (N° becario 554310), el proyecto SECIHTI CIB-2025-I-4174. “Organización y regulación genómica entre diploides y triploides de ostión japonés (*Crassostrea gigas*) y su repercusión morfológica y fisiológica en dos ambientes contrastantes de relevancia social y económica en Baja California Sur”, y en especial al Proyecto 20454: “Valoración de tecnología de producción de semilla de bivalvos en el sector social”, que financió el desarrollo inicial del estudio. Y apoyo CCS-CIBNOR-2025-001-BCS.

A mi director de tesis Dr. Pedro Cruz Hernández, le agradezco enormemente por su invaluable orientación, paciencia y compromiso durante todo este proceso. Su guía experta, su apoyo incondicional, su motivación y su confianza en mí fueron fundamentales para el desarrollo de esta investigación.

A mi comité de tutorial, Dr. Fausto Valenzuela Quiñonez, Dr. Héctor Acosta Salmón, Dr. Andrés Granados Amores y Dra Laura Liliana López Galindo, por su apoyo y confianza en el proyecto, así como sus puntuales asesorías que enriquecieron el tema de esta tesis.

A la Dra. Gracia Gómez Anduro, por el apoyo para que continuara con mis estudios de posgrado.

A los técnicos del CIBNOR: M.C. José Luis Ramírez Arce, por su apoyo desde el inicio de la investigación; Dra. Carmen Rodríguez Jaramillo, por su acompañamiento en la parte histológica y el uso de las instalaciones; Ing Octavio Atilano Ramírez por enseñarme la parte técnica del cultivo de moluscos y el suministro de microalgas; B.M. Gabriel González, M.C. Roberto Hernández, M.C. Jessica Elías Castelo, Celina Beltrán, Ma. Eulalia Meza, por su apoyo en sus respectivos laboratorios en los cortes histológicos. Al Dr. Vladimir Bonilla, por su ayuda en los análisis ambientales.

A los futuros doctores Susej y Raúl, y a la M.C. Yeni por ayudarme en esas extenuantes horas de mediciones y cortes de ostiones.

A mis padres, por siempre estar ahí, incluso a km de distancia. A mis hermanos Mari y Rodrigo, por su apoyo. A mi clon de carácter, Gael, por hacer reír y ser la luz en los momentos más oscuros.

A mis padres adoptivos, Rodrigo Rosas y Alma Barajas, a mis hermanas putativas, Paty y Sandy, por los momentos agradables que compartimos cuando logramos coincidir.

A Saúl Hiraes Vázquez por apoyarme, alimentarme, cuidarme y distraerme durante esta investigación.

Al personal de la Dirección de Posgrado del CIBNOR, Dra. Alejandra Nieto Garibay, Lic. Adriana Teresa Franzoni García, Ing. Horacio Sandoval Gómez, Téc. Tania Veronica Núñez Valdez, Mtra. Osvelia Ibarra Morales, C.P. Raquel Emilia Herrera Vega y Mtra Ana María Talamantes Cota por su disposición, amabilidad y apoyo para aclarar mis dudas y gestionar procedimientos académicos.

A la granja La Palizada y su propietario Wilber García; a Las Guardianas del Conchalito: Sras. Chely, Martha, Vero, Lupita, a los Srs. Juan, Uber y Jesús (“el gringo”), por apoyarnos en cada muestreo y facilitarnos sus líneas y camas para evaluar el crecimiento de los ostiones. A OPRE-NOS y a la M.C. Silvia, por el enlace y apoyo para llevar a cabo esta investigación.

A la Dra. Erika Torres Ochoa; así como a sus alumnos, Carlos Castellanos y Francisco Castro; y a las técnicas Isabel y Elizabeth Bravo, pertenecientes de la UABCS, por su tiempo y paciencia en los análisis.

A Sergio Valle Ceseña por invitarme a participar en el PACE y dar a conocer un poco de la investigación y anexos.

Gracias a todos los que de una u otra forma contribuyeron a la realización de este proyecto, nunca podré acabar de agradecer y enunciar palabras que lo expresen, a mi crecimiento académico, profesional y humano.

Contenido

Resumen	i
Summary	ii
Dedicatoria	iii
Agradecimientos	iv
Contenido	vi
Lista de figuras	ix
Lista de tablas	xii
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Ostión japonés o del Pacífico (<i>Crassostrea gigas</i>)	2
1.2 Taxonomía	3
2. ANTECEDENTES	5
2.1 Cultivo del ostión	5
2.2 Ostiones triploides en la acuicultura	6
2.3 Desempeño de <i>Crassostrea sp</i> triploide en diferentes condiciones ambientales	8
3. JUSTIFICACIÓN	10
4. HIPÓTESIS	11
5. OBJETIVOS	12
5.1 Objetivo general	12
5.2 Objetivos particulares	12
6. MATERIAL Y MÉTODOS	13
6.1 Etapa larvaria	13
6.1.1 Obtención de semillas triploides (3n) y diploides (2n) de <i>C. gigas</i>	13
6.1.2 Crecimiento larvario	15
6.1.3 Supervivencia larvaria	16
6.2 Etapa de crecimiento en campo	16
6.2.1 Áreas de estudio	16
6.2.2 El Mogote, Bahía de La Paz (LP)	16
6.2.3 Bahía San Vicente, Santo Domingo	17
6.3 Pre engorda en campo	18
6.4 Engorda en campo	18
6.5 Evaluación de supervivencia en campo	20
6.6 Evaluación de crecimiento	20
6.7 Evaluación de ploidía	22
6.8 Datos ambientales	22
6.9 Determinación de estadios reproductivos	23
6.10 Área de cobertura gonádica (ACG)	24
6.11 Composición bioquímica	28
6.11.1 Carbohidratos totales (CHO)	28
6.11.2 Lípidos totales (LT)	28
6.11.3 Proteína total (PT)	29
6.12 Análisis estadístico	30
6.12.1 Etapa larvaria	30
6.12.2 Engorda en campo	30

6.12.3 Análisis reproductivo	30
6.12.4 Análisis bioquímico	31
7. RESULTADOS.....	32
7.1 Crecimiento y supervivencia larvaria	32
7.2 Condiciones ambientales	33
7.3 Supervivencia en campo.....	37
7.4 Crecimiento general en campo	38
7.4.1 Características biométricas de la concha	39
7.4.2 Peso total, biomasa, peso del músculo y masa visceral	40
7.4.3 Índice de condición fisiológica, índice de condición general y rendimiento de carne....	44
7.5 Distribución de sexos.....	46
7.6 Distribución de los estadios gonádicos	47
7.6.1 Desarrollo gonadal masculino y femenino	50
7.7 Área de Cobertura Gonádica	56
7.7.1 Área de cobertura gonádica (ACG) en machos y hembras 2n y 3n.....	57
7.8 Bioquímica en tejidos	61
7.8.1 Bioquímica en tejido blando (ENT)	61
7.8.2 Bioquímica en masa visceral (GON).	64
7.8.3 Bioquímica en músculo aductor (MUS).....	67
8. DISCUSIÓN.....	71
8.1 Supervivencia larvaria	71
8.2 Desarrollo y desempeño larvario	72
8.3 Supervivencia de ostiones en dos ambientes contrastantes	73
8.4 Comparación del crecimiento entre grupos de ploidía en distintos ambientes.....	74
8.5 Índice de condición en diferentes ambientes	78
8.6 Desarrollo Gonádico	80
8.7 Bioquímica en tejidos.	83
8.7.1 Bioquímica en tejido blando.....	83
8.7.2 Bioquímica en masa visceral.....	85
8.7.3 Bioquímica en músculo.....	86
9. CONCLUSIONES.....	88
9.1 Recomendaciones	89
10. LITERATURA CITADA	90
11. ANEXOS	107
ANEXO A. Medias de parametros fisicoquímicos de agua superficial con $\pm$ desviación estándar (σ) en los sitios evaluados, La Paz y Santo Domingo de 2022 a 2024.....	107
ANEXO B. Figuras de variables ambientales $\pm$ desviación estándar (SD) del año 2022 a 2024.	111
ANEXO C. Variaciones en el crecimiento de la concha del ostión japonés diploide y triploide. Se muestran las medianas $\pm$ SE.....	122
ANEXO D. Variación en el peso total y biomasa de <i>C. gigas</i> diploide y triploide. Se muestran las medianas $\pm$ SE.....	123
ANEXO E. Variación en el peso del músculo y masa visceral de los ostiones diploides y triploides del ostión del pacífico. Se muestran las medianas $\pm$ SE, sembrado en el periodo de septiembre 2023 a mayo 2024.	124

ANEXO F. Variación en el porcentaje del índice de condición fisiológica, índice de condición general y rendimiento de carne. Se muestran las medianas $\pm$ SE del estado de condición del ostión japonés.	125
ANEXO G. Artículo Publicado.-Comparative diploid vs. Triploid Japanese oyster (<i>Crassostrea gigas</i>) grow-out performance in two contrasting environments in Baja California Sur.	126
ANEXO H. Artículo Sometido.- Gametogenic development and biochemistry composition differences between diploid and triploid Japanese oyster (<i>Crassostrea gigas</i>), grow-out in Baja California Sur.	141

Lista de figuras

Figura 1. Distribución global de <i>C. gigas</i> (GBIF.org, 2023)	2
Figura 2. Características generales del ostión japonés o del Pacífico (<i>C. gigas</i>).	4
Figura 3. Diagrama de rutas para la producción de ostiones diploides y triploides en laboratorio. La equis (“X”) indica el uso de inductor (generalmente citocalasina B) que inhibe la formación del cuerpo polar (CP). Adaptado de Brianik y Allam (2023) y Qin et al. (2022a).....	7
Figura 4. Procedimiento experimental para la evaluación del desempeño de organismos 2n y 3n de <i>C. gigas</i> en dos localidades de Baja California Sur.	13
Figura 5. Microfotografía de las características evaluadas en la larva veliger de <i>C. gigas</i>	15
Figura 6. Sitios experimentales evaluados para el crecimiento y supervivencia de <i>C. gigas</i> 2n y 3n, localizados en el Golfo de California (Bahía de La Paz) y en el Océano Pacífico (Santo Domingo).	17
Figura 7. Sistemas de cultivo utilizados: A) Sistema de camas fijas (LP). B). Sistema de líneas flotantes (SD).....	19
Figura 8. Periodicidad de ajuste de densidad de cultivo de <i>Crassostrea gigas</i> , en ambos sitios experimentales.....	20
Figura 9. Características biométricas evaluadas en la concha del ostión japonés (<i>C. gigas</i>). a) Longitud (medida antero-posterior), alto (dorso-ventral); b) Ancho (medida intervalvar).	21
Figura 10. Crecimiento larvario en longitud (A) y ancho (B) en larvas de ostión <i>C. gigas</i> 2n y 3n.	32
Figura 11. Supervivencia al día 20 DDF, para larvas 2n y 3n de <i>C. gigas</i>	33
Figura 12. Temperatura (A), salinidad (B) y clorofila-a (C) media mensual de la superficie del mar en LP y SD desde 2022 a 2024.....	35
Figura 13. Biplot de análisis de componentes principales (PCA) de las variables ambientales medidas en los dos sitios de estudio (LP y SD).....	36
Figura 14. Medidas de supervivencia mensual de <i>C. gigas</i> 2n y 3n, durante el periodo de crecimiento en campo (sep 2023 – mayo 2024).....	37
Figura 15. Crecimiento de la concha del ostión japonés diploide y triploide en La Paz y Santo Domingo, con respecto al tiempo (DDS). Medianas de longitud (12A), altura (12B) y ancho (12C).	41
Figura 16. Medianas del peso total y biomasa de los ostiones diploides y triploides crecidos en La Paz y Santo Domingo.....	42
Figura 17. Medianas graficadas del peso del músculo y de la masa visceral (gónada) de los organismos 2n y 3n.	43
Figura 18. Índice de condición fisiológica, índice de condición general y rendimiento de carne a través del tiempo durante el ciclo de cultivo 2023-2024.q	45
Figura 19. Distribución porcentual de sexos en ostiones 2n y 3n de <i>C. gigas</i> a lo largo de seis muestreos consecutivos (T01-T06) en LP y SD. La codificación en escala de grises corresponde a: I=indiferenciado (blanco), M=masculino/macho (negro), F = femenino/hembra (gris oscuro) y H = hermafrodita (gris claro).	48
Figura 20. Distribución de los estadios de desarrollo gonádico (0–V) en <i>C. gigas</i> 2n y 3n durante los periodos de muestreo T01–T06 en LP y SD. Las barras representan la proporción de individuos en cada estadio: 0 (reposo, blanco), I (proliferación, gris), II (desarrollo temprano, gris medio), III (maduración, gris oscuro), IV (desove, gris carbón) y V (reabsorción, gris muy claro).	50

Figura 21. Distribución de los estadios de desarrollo gonadal (I–V) en machos diploides y triploides de <i>Crassostrea gigas</i> a lo largo de T01–T06 en LP y SD. Las barras representan los estadios I (gris claro), II (gris medio) y III (negro), V (gris muy claro).....	51
Figura 22. Microfotografías histológicas de secciones de tejidos gonadales masculinos de <i>C. gigas</i> 2n (izquierda) y 3n (derecha) teñidas con hematoxilina-eosina I. Se muestra de arriba hacia abajo los estadios I (proliferación), II (desarrollo temprano), III (maduración), V (reabsorción). Escala de barra del 50 μ m. Magnificación a 40 $\times$	52
Figura 23. Distribución de los estadios de desarrollo gonadal (I–V) en hembras 2n y 3n <i>C. gigas</i> durante T01–T06 en LP y SD. En 2n, los estadios se representan en escala de grises: I (gris claro), II (gris medio) y III (negro). En 3n, los estadios se dividen en dos tipos histológicos: A (α , relleno sólido) y B (β , tramado). IA/IB: gris claro, IIA/IIB: gris medio, IIIA/IIIB: negro.....	54
Figura 24. Microfotografías histológicas de secciones de tejidos gonadales femeninos de <i>C. gigas</i> 2n (izquierda) y 3n (α , centro; β , derecha) teñidas con hematoxilina-eosina I. Se muestra de arriba hacia abajo los estadios I (proliferación), II (desarrollo temprano), III (maduración), n.d. = no disponible. Escala de barra del 50 μ m. Magnificación a 40 $\times$	55
Figura 25. Microfotografías histológicas de secciones de tejidos gonadales hermafroditas de <i>C. gigas</i> 2n (izquierda) y 3n (derecha) teñidas con hematoxilina-eosina. Escala de barra del 50 μ m. Magnificación a 40 $\times$	56
Figura 26. Variación temporal del área de cobertura gonádica (ACG) de <i>C. gigas</i> 2n y 3n en LP y SD. Las barras representan la mediana $\pm$ rango intercuartil (IQR) en cada muestreo (T01–T06). Los grupos están representados por 2nLP (gris muy claro), 3nLP (gris oscuro), 2nSD (gris medio), 3nSD (negro).....	57
Figura 27. Variación temporal del área de cobertura gonádica (ACG) de <i>C. gigas</i> machos (σ) y hembras (φ) en LP y SD para organismos 2n y 3n. Las barras representan los estadios gonádicos (I–V) registrados en cada periodo de muestreo (T01–T06). Siendo los estadios I (gris claro), II (gris medio) y III (negro), V (gris muy claro).....	59
Figura 28. Variación temporal del área de cobertura gonádica (ACG) en hembras (φ) de <i>C. gigas</i> para 2n y 3n en LP y SD. Las barras representan estadios reproductivos (I–V) y subdivisión por tipo (A/ α y B/ β) en los muestreos T01–T06. En 2n, los estadios se representan en escala de grises: I (gris claro), II (gris medio) y III (negro). En 3n, los estadios se dividen en dos tipos histológicos: A (α , relleno sólido) y B (β , tramado). IA/IB: gris claro, IIA/IIB: gris medio, IIIA/IIIB: negro.....	60
Figura 29. Contenido total de carbohidratos (CHO, mg g ⁻¹) en cuerpo completo durante los muestreos T01–T06 en 2n y 3n <i>C. gigas</i> en LP y SD.	62
Figura 30. Contenido total de lípidos (LT, mg g ⁻¹) en cuerpo completo durante T01–T06 para ostiones 2n y 3n en LP y SD.	63
Figura 31. Contenido total de proteínas (PT, mg g ⁻¹) en cuerpo completo durante T01–T06 para ostiones 2n y 3n en LP y SD. Bioquímica en masa visceral (GON).	64
Figura 32. Contenido total de carbohidratos (CHO, mg g ⁻¹) en masa visceral (GON) durante T01–T06 para ostiones 2n y 3n en LP y SD.	65
Figura 33. Contenido total de lípidos (LT, mg g ⁻¹) en masa visceral (GON) durante T01–T06 para ostiones 2n y 3n en LP y SD.	66
Figura 34. Contenido total de proteínas (PT, mg g ⁻¹) en masa visceral (GON) durante T01–T06 para ostiones 2n y 3n en LP y SD.	67
Figura 35. Contenido total de carbohidratos (CHO, mg g ⁻¹) en músculo aductor (MUS) durante T01–T06 para ostiones 2n y 3n en LP y SD.	68

Figura 36. Contenido total de lípidos (LT, mg g ⁻¹) en músculo aductor (MUS) durante T01–T06 para ostiones 2n y 3n en LP y SD.....	69
Figura 37. Contenido total de proteínas (PT, mg g ⁻¹) en músculo aductor (MUS) durante T01–T06 para ostiones 2n y 3n en LP y SD.....	70
Figura 38. Promedio mensual de la presión parcial de dióxido de carbono ± desviación estándar en LP y SD desde 2022 a 2024.....	111
Figura 39. Promedio mensual del carbono inorgánico disuelto ± desviación estándar en LP y SD desde 2022 a 2024.	112
Figura 40. Promedio mensual de la alcalinidad total ± desviación estándar en LP y SD desde 2022 a 2024.	113
Figura 41. Promedio mensual del pH ± desviación estándar en LP y SD desde 2022 a 2024.	114
Figura 42. Promedio mensual del oxígeno disuelto ± desviación estándar en LP y SD desde 2022 a 2024.....	115
Figura 43. Promedio mensual de la biomasa total del fitoplancton ± desviación estándar en LP y SD desde 2022 a 2024.	116
Figura 44. Promedio mensual de la producción total primario ± desviación estándar en LP y SD desde 2022 a 2024.	117
Figura 45. Promedio mensual del silicato disuelto ± desviación estándar en LP y SD desde 2022 a 2024.....	118
Figura 46. Promedio mensual de nitratos ± desviación estándar en LP y SD desde 2022 a 2024.	119
Figura 47. Promedio mensual de fosfatos ± desviación estándar en LP y SD desde 2022 a 2024.	120
Figura 48. Promedio mensual del hierro disuelto ± desviación estándar en LP y SD desde 2022 a 2024.....	121

Lista de tablas

Tabla 1. Registro de especies de moluscos en las que se ha inducido triploidía	8
Tabla 2. Muestreos realizados durante el periodo de septiembre 2023 a mayo 2024 en los sitios experimentales, para mediciones del ostión japonés.	22
Tabla 3. Fases de los estadios gametogénicos de machos y hembras diploides y triploides de <i>Crassostrea gigas</i> . Adaptado de Ibarra et al. (2017) y Yang et al. (2022a).....	25
Tabla 4. Fases de los hermafroditas gametogénicos diploides y triploides de <i>Crassostrea gigas</i>	27
Tabla 5. Valores promedio de supervivencia larvaria (arcoseno y porcentaje) para el ostión <i>C. gigas</i> 2n y 3n.	32
Tabla 6. Medias de supervivencia (en arcoseno y porcentaje) promedio para los meses de cultivo	38
Tabla 7. Resultados de las pruebas de Kruskal-Wallis aplicadas independientemente a cada variable de crecimiento para evaluar diferencias entre grupos de ploidía, sitios de cultivo y combinaciones de días después de la siembra (DDS).	39
Tabla 8. Composición sexual de ostiones diploides (2n) y triploides (3n) de <i>C. gigas</i> en La Paz y Santo Domingo a lo largo del ciclo de cultivo (T01-T06).....	47

1. INTRODUCCIÓN

La acuicultura comprende el conjunto de actividades, técnicas y conocimientos orientados a la crianza de especies acuáticas, tanto vegetales como animales. Durante los últimos 70 años, la producción pesquera y acuícola mundial ha mostrado un crecimiento sostenido; sin embargo, en 2009 presentó una disminución del 1% (FAO, 2022). En México, la acuicultura ha impulsado diferentes cultivos a escala experimental, tales como pescado blanco, mojarra nativa, abulón, callo de hacha, mejillón, langosta y caracol, así como la producción comercial de especies como bagre, carpa, tilapia, trucha, ostión y camarón (INAPESCA, 2022). Las especies con mayor volumen de producción acuícola en el país son el camarón (215,964 t) y la mojarra (67,983 t), siendo Sinaloa y Sonora los estados líderes en producción acuícola a nivel nacional (Gobierno de México, 2024).

La acuicultura de bivalvos ha tenido un notable desarrollo en las costas del Pacífico de Baja California y en el Golfo de California, donde se cultivan principalmente el ostión japonés (*C. gigas*), el mejillón (*Mytilus galloprovincialis*, Lamarck, 1819), la almeja catarina (*Argopecten ventricosus*, G.B. Sowerby II, 1842) y la ostra perlera (*Pteria sterna*, Gould, 1851). Asimismo, se han incorporado especies emergentes como la almeja mano de león (*Nodipecten subnodosus*, G.B. Sowerby I, 1835) y el callo de hacha (*Atrina maura*, G.B. Sowerby I, 1835) (Maeda-Martínez, 2008). Dentro de este sector, la ostricultura se ha consolidado como una de las actividades más relevantes, siendo el género *Crassostrea* spp. uno de los más cultivados. Entre las especies del género destacan *C. rhizophorae*, *C. virginica*, *C. corteziensis*, *C. angulata* y *C. gigas* (Chávez-Villalba, 2014).

El Plan Estatal de Desarrollo de Baja California Sur (2021-2027), señala que el cultivo de bivalvos ha incrementado en los últimos siete años, representando cerca del 90 % del total de las Unidades de Producción Acuícola (UPA's), con una producción de 4,876 t de ostión japonés (COPLADEBC, 2022). De manera paralela, el Plan Municipal de Desarrollo de La Paz (2021-2024) enfatiza la necesidad de fortalecer la vinculación entre instituciones académicas y centros de investigación para impulsar la producción de semilla de especies acuícolas (Gobierno del Municipio de La Paz, 2021).

Uno de los principales retos para establecer el cultivo comercial del ostión es la calidad y homogeneidad de la semilla (0.5–10 mm de altura de la concha) (Chávez-Villalba *et al.*, 2005). Estas limitaciones pueden manifestarse en altas mortalidades, enanismo y lento crecimiento, independientemente de si la semilla es producida a nivel nacional o internacional, y sin importar si proviene del medio silvestre, de laboratorios o de criaderos certificados (Hoyos-Chairez, 2004).

1.1 Ostión japonés o del Pacífico (*Crassostrea gigas*)

Crassostrea gigas (Thunberg 1793) (syn. *Magallana gigas*) es una especie nativa del noreste de Asia y ha sido introducida en diferentes países como Corea, China, Taiwán, Canadá, México y E.U.A., por lo que actualmente se considera una especie exótica cosmopolita (Mazón-Suástegui, 1996) (Figura 1). Presenta diez pares de cromosomas ($2n = 20$), aunque también pueden ocurrir aneuploidías (17, 18 y 19) (Bonham y Goulletquer, 2017). Es un organismo ovíparo y hermafrodita protándrico, dado que inicia su primera madurez reproductiva como macho y posteriormente como hembra (Héral y Deslous-Paoli, 2018).



Figura 1. Distribución global de *C. gigas* (GBIF.org, 2023).

La introducción de *C. gigas* en México ocurrió en 1973 en los estados de Baja California, Baja California Sur y Sonora (Vásquez-Yeomans *et al.*, 2004), con el objetivo de fortalecer el sector acuícola, debido a que es una de las especies más cultivadas a nivel mundial (Islas-Olivares, 1975). En 1977 se inició un proyecto piloto-comercial utilizando semilla importada de E.U.A. mediante un sistema de cultivo de madera, lo que posteriormente dio origen a la Sociedad Cooperativa de Producción Pesquera de Bahía Falsa (S.C.L.). En 1984 se construyó el Centro Reproductor de Especies Marinas (CREMES) en Sonora, donde comenzaron los cultivos experimentales con organismos producidos localmente (Chávez-Villalba, 2014). La producción acuícola de ostión en México representó ≈70% (30,616 t) provinieron de la acuicultura en 2024; posicionado como la tercera especie más producida en acuicultura, después del camarón y la mojarra. (Gobierno de México, 2024). Baja California Sur ocupó el cuarto lugar en producción de ostión a nivel nacional.

1.2 Taxonomía

El orden Ostreida incluye aproximadamente 7,500 especies de organismos bivalvos, entre ellos mejillones (Mytilidae), almejas (Pectinidae) y ostiones (Ostreidae) (Gosling, 2008). Dentro del género *Crassostrea* se encuentran diversas especies de importancia comercial, tales como *C. gigas*, *C. rizophorae*, *C. sikamea*, *C. rivularis*, *C. virginica* y *C. corteziensis* (Cabrera Rodríguez *et al.*, 1997; Pérez-Enríquez *et al.*, 2008). Las especies del género se diferencian principalmente por las características anatómicas de sus valvas. En particular, *C. gigas* presenta valvas robustas, desiguales, rugosas y laminadas (FAO, 2006) (Figura 2).

Filo: Mollusca

Clase: Bivalvia

Orden: Ostreida

Familia: Ostreidae

Género: *Crassostrea*

Especie: *C. gigas* (Thunberg, 1973)

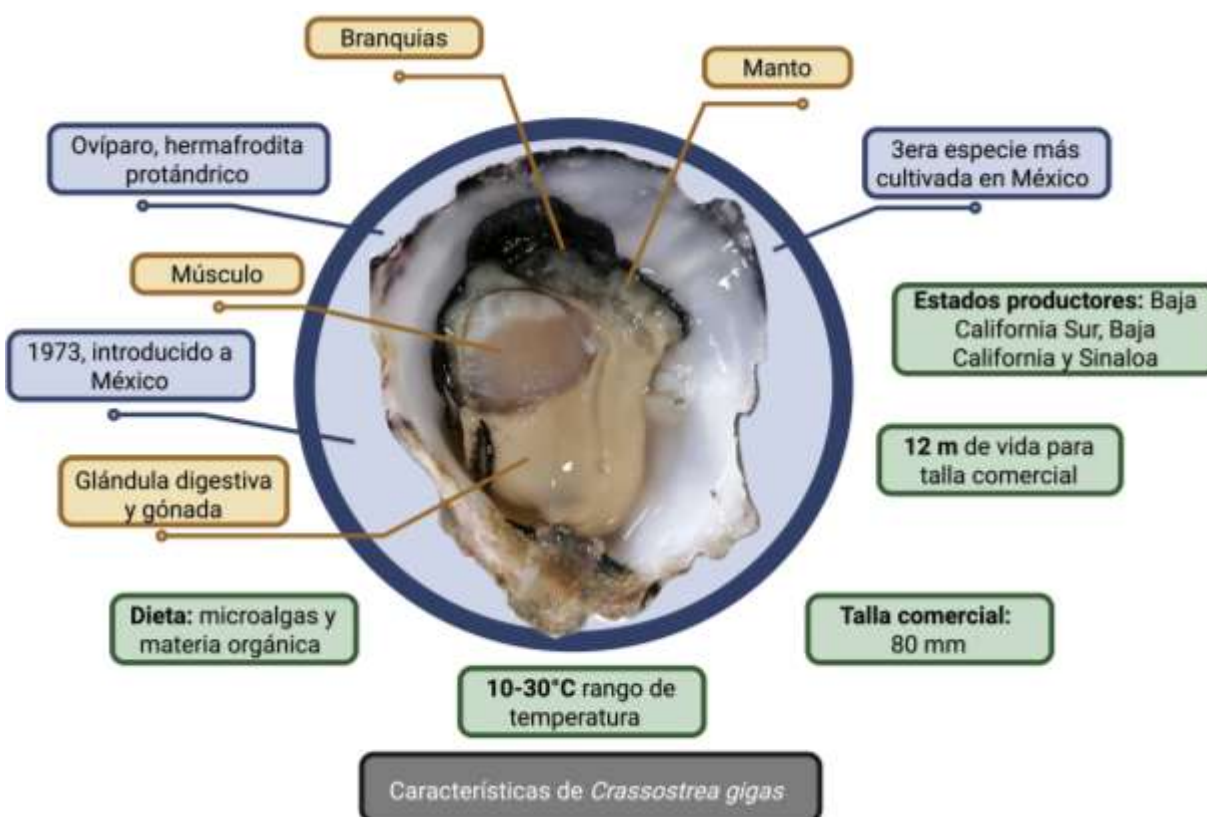


Figura 2. Características generales del ostión japonés o del Pacífico (*C. gigas*).

2. ANTECEDENTES

La implementación de granjas ostrícolas ha contribuido de manera significativa el desarrollo socioeconómico de las comunidades costeras. La producción de *Crassostrea gigas* fue exitosa en Japón desde inicios de la década de 1960, mostrando alta aclimatación, rápido crecimiento y elevada productividad (Gutierrez *et al.*, 2017).

2.1 Cultivo del ostión

La introducción del ostión japonés en Sonora se promovió como alternativa frente a la disminución de poblaciones naturales de *C. corteziensis* (Hertlein, 1951), las cuales mostraban agotamiento (Chávez-Villalba *et al.*, 2005). Los ostiones son organismos euritermos, capaces de tolerar amplios intervalos térmicos (10 a 30 °C); sin embargo, esta tolerancia no implica un desempeño fisiológico óptimo en todo el rango. La temperatura regula la tasa metabólica, incrementando el movimiento ciliar, el volumen de agua filtrada y las tasas respiratoria y cardíaca a medida que se eleva, lo que favorece la capacidad de alimentación dentro de rangos adecuados (Polanco *et al.*, 2002).

El establecimiento exitoso del cultivo depende de la ocurrencia de condiciones ambientales óptimas, particularmente de temperatura y salinidad, los cuales influyen directamente en la fisiología, el crecimiento y el asentamiento de los ostiones (Shumway, 1996; Lannig *et al.*, 2006; Cunningham *et al.*, 2025). Se ha documentado que la temperatura afecta el crecimiento de *C. gigas*, reduciéndose en verano y aumentando durante el invierno (Córdova y Robles, 1986; Castillo-Durán *et al.*, 2010). También influye en la diferenciación gonádica y la gametogénesis, lo cual ofrece información relevante sobre los mecanismos reproductivos de la especie (Santerre *et al.*, 2013). Otros parámetros ambientales relacionados con reproducción y supervivencia en etapas tempranas son la materia orgánica e inorgánica particulada, clorofila-a (Castillo-Durán *et al.*, 2010; Villanueva Fonseca *et al.*, 2017; Reynaga-Franco *et al.*, 2019), pH, salinidad, oxígeno disuelto y transparencia del agua (Mazón-Suástegui, 1996).

La supervivencia larvaria de invertebrados marinos bajo condiciones naturales es extremadamente baja (Thorson, 1950). Los estudios sobre fases tempranas en condiciones controladas aportan información valiosa sobre las causas de mortalidad (Taris *et al.*, 2006). El

estudio biológico y el mejoramiento genético en ambientes controlados han facilitado el cultivo de especies de interés comercial (Piferrer *et al.*, 2009). Los criaderos han logrado desarrollar larvas hasta el asentamiento, lo cual asegura la supervivencia y permite la producción comercial a gran escala (Taris *et al.*, 2006; Rico-Villa *et al.*, 2008). En el CIBNOR, el cultivo larvario de bivalvos sigue un protocolo estándar (Helm *et al.*, 2004), empleando un sistema estático con recambio completo de agua tres veces por semana y alimentación dos veces al día. Este método ha demostrado resultados satisfactorios de crecimiento ($13\text{-}14\ \mu\text{m día}^{-1}$ a 25°C y $5\ \text{larvas mL}^{-1}$) (Rico-Villa *et al.*, 2006).

La investigación en poliploidía ha permitido mejorar los recursos de germoplasma, optimizando el uso de energía y la calidad de organismo acuáticos (Piferrer *et al.*, 2009). Desde 1982, se desarrolló la tecnología para producir ostiones poliploides, obteniéndose triploides ($3n$) mediante métodos de inducción química y física, y actualmente mediante la cruce entre tetraploides ($4n$) y diploides ($2n$) (Guo *et al.*, 1992; Guo y Allen, 1994a; Guo *et al.*, 1996). Los organismos $3n$ ofrecen ventajas sobre los $2n$, como mayor crecimiento en menor tiempo, mayor tasa de supervivencia, mayor contenido de glucógeno y esterilidad parcial, lo que les permite alcanzar el tamaño comercial en menor tiempo (Nell y Perkins, 2005; Qin *et al.*, 2023a). Además, se ha registrado una reducción significativa de la mortalidad en $3n$ (Takeuchi *et al.*, 1960; Gagnaire *et al.*, 2006; Wadsworth *et al.*, 2019). Su condición de esterilidad disminuye la probabilidad de dispersión de especies exóticas, reduciendo su riesgo de impacto ambiental (Reyes-Bonilla *et al.*, 2024). Por ello, los ostiones $3n$ representan una alternativa eficiente para incrementar la producción de la acuicultura (Qin *et al.*, 2024).

2.2 Ostiones triploides en la acuicultura

Los organismos triploides poseen tres juegos de cromosomas homólogos ($3n$), a diferencia de los dos presentes en los organismos diploide ($2n$) (Beaumont, 1991). La inducción a la triploidía puede lograrse mediante métodos químicos (citocalasina B, calcio, cafeína, 6-DMP, etc.), físicos (choques térmicos o presión hidrostática) (Benfey y Sutterlin, 1984; Desrosiers *et al.*, 1993; Eudeline *et al.*, 2000; Varela-Mejías y Alfaro-Mora, 2021), o mediante cruzamientos “biológicos” entre $2n$ y tetraploides ($4n$) (Figura 3) (Guo *et al.*, 1996). La inducción de la triploidía ha sido registrada exitosamente en múltiples especies de moluscos pertenecientes a las familias

Ostreidae, Pectinidae, Veneridae y Haliotidae, evaluando principalmente su efecto sobre el crecimiento, la madurez sexual y la composición bioquímica (Tabla 1).

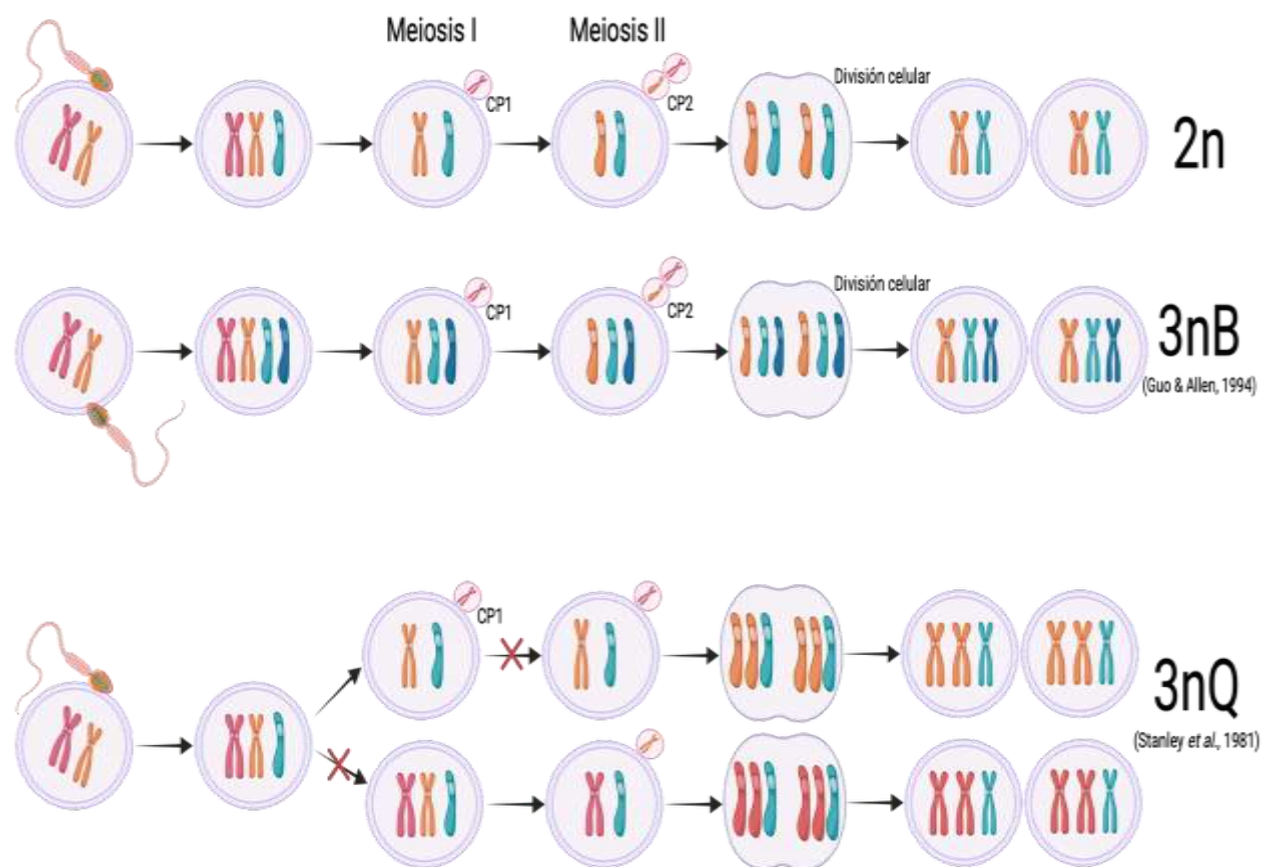


Figura 3. Diagrama de rutas para la producción de ostiones diploides y triploides en laboratorio. La equis ("X") indica el uso de inductor (generalmente citocalasina B) que inhibe la formación del cuerpo polar (CP). Adaptado de Brianik y Allam (2023) y Qin et al. (2022a).

La triploidía puede alcanzarse hasta en un 100% en especies como *C. gigas* (Houssin et al., 2019), *C. hongkongensis* (Qin et al., 2018), *C. virginica* (Callam et al., 2016), *Haliotis rubra* (Liu et al., 2004, 2009), *Mya arenaria* (Allen et al., 1982) y *Pinctada fucata* (Wada et al., 1989). Los organismos 3n pueden llegar a ser hasta 99 % estériles, como ocurre en la almeja mano de león *N. subnodosus* (Maldonado-Amparo et al., 2004). En *C. gigas*, la esterilidad se relaciona con una mejor calidad de la "carne" (Nell y Perkins, 2005), ya que la energía que normalmente se destina a la reproducción se redirige al crecimiento (Villanueva Fonseca, Gongora Gomez, et al., 2017). No obstante, el desempeño de los 3n depende de las condiciones ambientales del sitio de cultivo (Gagnaire et al., 2006).

Tabla 1. Registro de especies de moluscos en las que se ha inducido triploidía

Familia	Especies	Referencia
Ostreidae	<i>Crassostrea virginica</i>	Stanley et al. (1981)
	<i>Crassostrea gigas</i>	Allen y Downing (1986)
	<i>Crassostrea talienwhanensis</i>	Liang et al. (1994)
	<i>Saccostrea commercialis</i>	Nell et al. (1994, 1996)
	<i>Crassostrea madrasensis</i>	Mallia et al. (2006)
	<i>Crassostrea hongkongensis</i>	Zhang et al. (2017)
	<i>Crassostrea sikamea</i>	Wu et al. (2019)
Pectinidae	<i>Argopecten irradians</i>	Tabarini (1984)
	<i>Pecten maximus</i>	Beaumont (1986)
	<i>Chlamys nobilis</i>	Komaru y Wada (1989)
	<i>Chlamys varia</i>	Baron et al. (1989)
	<i>Argopecten ventricosus</i>	Ruiz-Verdugo et al. (2000)
	<i>Chlamys farreri</i>	Yang et al. (2000)
	<i>Placopecten magellanicus</i>	Jackson et al. (2003)
	<i>Nodipecten subnodosus</i>	Maldonado-Amparo et al. (2004)
	<i>Argopecten nucleus</i>	Barreto-Hernández et al. (2018)
Veneridae	<i>Patinopecten yessoensis</i>	Meng et al. (2012); Ma et al. (2019)
	<i>Tapes semidecussatus</i>	Gosling y Nolan (1989)
	<i>Ruditapes philippinarum</i>	Diter y Dufy (1990)
	<i>Tapes dorsatus</i>	Nell et al. (1995)
	<i>Mercenaria mercenaria</i>	Eversole et al. (1996)
	<i>Tapes philippinarum</i>	Shpigel y Spencer (1996)
Haliotidae	<i>Haliotis discus hannai</i>	Zhang et al. (1998)
	<i>Haliotis rubra</i>	Liu et al. (2004)
	<i>Haliotis laevigata</i>	Dunstan et al. (2007)
	<i>Haliotis midae</i>	Schoonbee (2007)

2.3 Desempeño de *Crassostrea sp* triploide en diferentes condiciones ambientales

Las investigaciones sobre el desempeño de los ostiones 3n en diferentes ambientes son esenciales para determinar su potencial para mejorar la ostricultura en México (Ibarra et al., 2017). Factores ambientales como temperatura, salinidad, oxígeno, clorofila-*a* y seston influyen directamente en la supervivencia, crecimiento, condición fisiológica, sitio de cultivo y fecha de siembra de *C. gigas* 3n (Ascencio-Michel et al., 2022).

El rápido crecimiento de los organismos 3n permite alcanzar el tamaño comercial antes que los 2n, reduciendo la mortalidad e incrementando la producción (Qin et al., 2019). Por ejemplo, en *C. virginica*, los 3n alcanzaron el tamaño comercial cinco meses antes que los 2n (Barber y Mann,

1991). Asimismo, se ha observado mayor supervivencia y crecimiento de ostiones 3n en ambientes contaminados en comparación que los 2n (Maldonado-Amparo, 1998).

Estudios previos han demostrado que a 30 °C, los 3n presentan mayor crecimiento y niveles más altos de carbohidratos y proteínas (Shpigel *et al.*, 1992; Guo y Allen, 1994b). En México, existen pocos estudios que comparen del crecimiento entre ploidías. Ibarra *et al.* (2017) reportaron un mayor crecimiento y supervivencia de ostiones 3n en ambientes tropicales, mientras que en ambientes templados ambas ploidías mostraron longitudes de concha similares. En el noroeste de México (Las Guásimas, Sonora), 2n de *C. gigas* mostraron mayor crecimiento en invierno y elevada mortalidad (Castillo-Durán *et al.*, 2010). Estos resultados destacan la importancia de las condiciones locales al optimizar la producción de ostiones (Ibarra *et al.*, 2017; Chi *et al.*, 2024).

Tradicionalmente, la altura y longitud de la concha han sido parámetros morfométricos utilizados como indicadores de crecimiento. Recientemente, la forma de la concha se ha convertido en un objetivo de selección debido a su relevancia para los consumidores (Mizuta *et al.*, 2021). La apariencia atractiva de la concha se relaciona con proporciones entre rasgos primarios (dimensiones), como el ancho (grosor) de la concha (Kube *et al.*, 2011). La variación heredable en rasgos morfométricos constituye una estrategia útil para estandarizar características en especies como *O. edulis* (Peñaloza *et al.*, 2022). La consistencia estructural es crucial en acuicultura, ya que influye en el rendimiento de la carne y la resiliencia bajo condiciones de cultivo (Eversole *et al.*, 1996). La integridad física de la concha está estrechamente vinculada al ancho de la concha y el peso del músculo aductor, ambos factores clave para la calidad comercial (Palacios *et al.*, 2004). Los bivalvos 3n presentan mayor altura de la concha y un desarrollo muscular superior en comparación con los 2n, como se ha observado en pectínidos (Palacios *et al.*, 2004; De La Rosa *et al.*, 2020) y veneridos (Eversole *et al.*, 1996). La hipertrofia del músculo aductor contribuye a un mayor rendimiento de carne (biomasa), debido a la mayor asignación de energía al crecimiento somático en lugar de la reproducción (Palacios *et al.*, 2004). Además, en 3n de *Mytilus edulis* se ha observado un incremento en la longitud de la concha, el peso del tejido e índice de condición (consistencia morfológica) como respuesta al estrés ambiental (Brake *et al.*, 2004). En conjunto, estos hallazgos destacan el ancho de la concha y el peso del músculo aductor como índices críticos de la resiliencia estructural en ostiones (Eversole *et al.*, 1996).

3. JUSTIFICACIÓN

Baja California Sur cuenta con una línea costera de aproximadamente 2,131 km, de los cuales 1,400 km corresponden al Océano Pacífico y 820 km al Golfo de California. El estado ocupa el tercer lugar en actividad acuícola, siendo esta una de las principales actividades de la región. En los últimos años, el cultivo de ostión ha aumentado un 400%, impulsado por la elevada demanda del mercado. No obstante, la producción ostrícola se ha visto limitada por la escasa capacitación técnica, la falta de organización y cultura empresarial en el sector productor, así como por el desabasto de semilla proveniente de laboratorios. El cultivo de ostión japonés (*C. gigas*), está proyectado a incrementarse en los próximos años; sin embargo, el cambio climático y, particularmente, el aumento de la temperatura ha afectado su crecimiento. Debido a ello, la ostricultura podría fortalecerse mediante la incorporación de ostiones triploides, los cuales presentan ventajas biológicas y productivas. El presente estudio se enfoca en la evaluación y comparación del desempeño de ostiones diploides y triploides en dos comunidades ribereñas con ambientes contrastantes dedicadas a la actividad ostrícola de Baja California Sur. Las variables evaluadas incluyen crecimiento, supervivencia e indicadores bioquímicos y reproductivos hasta alcanzar la talla de cosecha. Esta comparación permitirá aportar información científica que contribuya a optimizar la producción y apoyar el desarrollo del sector ostrícola en la región.

4. HIPÓTESIS

La inducción a la triploidía influirá en el desempeño de las larvas triploides producidas. Se espera que las larvas triploides obtenidas mediante inducción biológica (cruzamiento $4n \times 2n$) presenten supervivencia y crecimiento similares a los de larvas diploides, garantizando una producción suficiente de larva fijadora.

Los ostiones cultivados en la costa del Océano Pacífico presentarán un mejor desempeño que aquellos cultivados en el Golfo de California, independientemente de la ploidía, debido a que las condiciones de temperatura y productividad de la costa del Pacífico son más favorables para *C. gigas*.

Los ostiones triploides presentarán mayor crecimiento que los diploides, debido a su esterilidad parcial, lo que permite redirigir la energía destinada a la reproducción hacia el crecimiento somático, particularmente bajo condiciones ambientales más estresantes.

5. OBJETIVOS

5.1 Objetivo general

Evaluar el desempeño productivo comparativo del ostión japonés (*Crassostrea gigas*) diploide y triploide, desde su cultivo larval en condiciones de laboratorio hasta el periodo de engorda en dos localidades con condiciones ambientales contrastantes en Baja California Sur.

5.2 Objetivos particulares

1. Comparar el desempeño (crecimiento y supervivencia) de ostión japonés (*C. gigas*) diploide y triploide desde la fase pelágica hasta su asentamiento.
2. Comparar el desempeño productivo (crecimiento y supervivencia) del ostión (*C. gigas*) diploide y triploide durante el periodo de engorda en dos sitios de cultivo con características contrastantes
3. Comparar el desempeño reproductivo de ostiones diploides y triploides (*C. gigas*) cultivados en dos ambientes contrastantes de B.C.S., mediante el análisis de la proporción de sexos, la distribución de estadios reproductivos y el área de cobertura gonádica.
4. Comparar la variación temporal de las proteínas, carbohidratos y lípidos totales en cuerpo blando, masa visceral y músculo aductor de ostiones diploides y triploides (*C. gigas*) durante la etapa de engorda en campo.

6. MATERIAL Y MÉTODOS

En la Figura 4, se muestra el esquema general del desarrollo experimental empleado en esta tesis, el cual se detalla en las siguientes secciones.

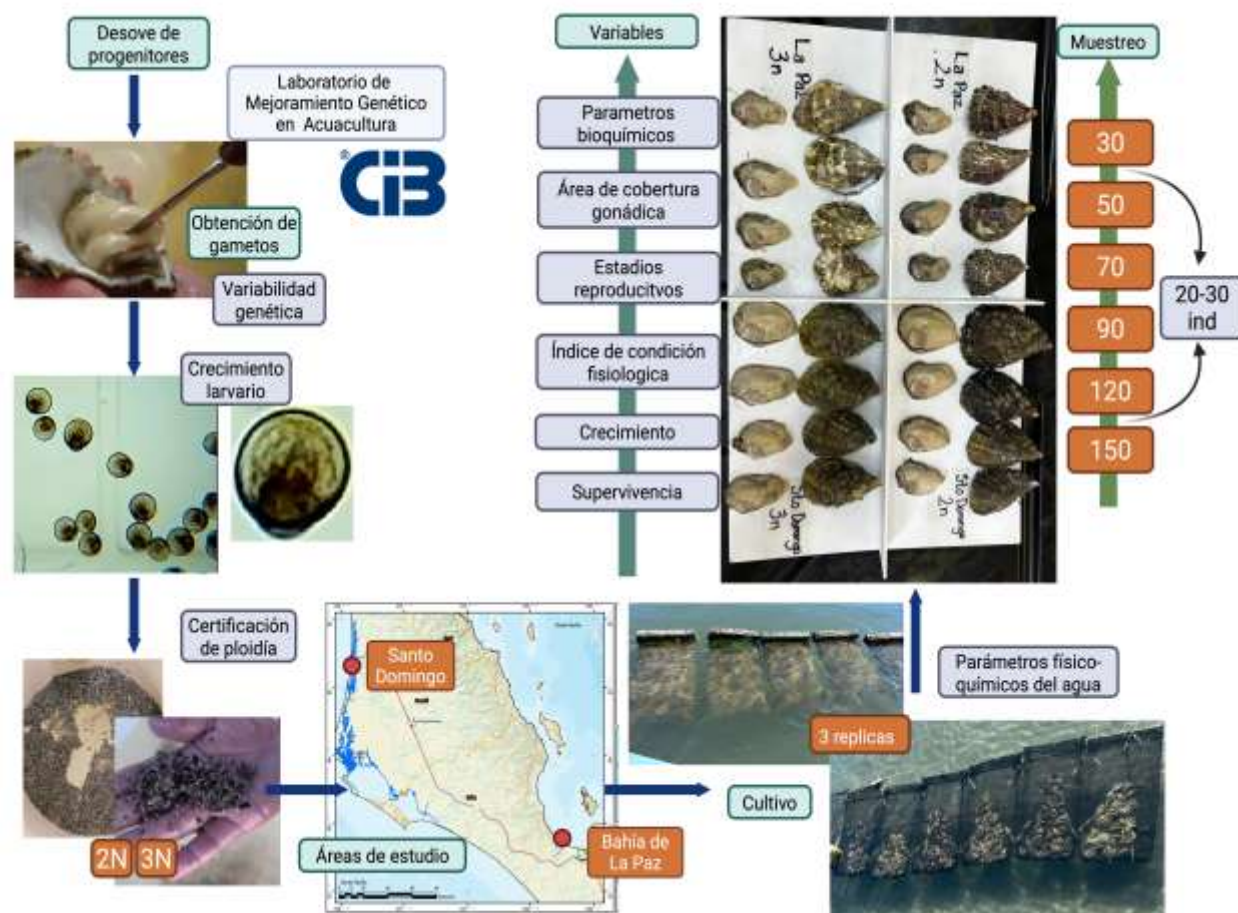


Figura 4. Procedimiento experimental para la evaluación del desempeño de organismos 2n y 3n de *C. gigas* en dos localidades de Baja California Sur.

6.1 Etapa larvaria

6.1.1 Obtención de semillas triploides (3n) y diploides (2n) de *C. gigas*

Se recolectaron trece ostiones adultos maduros de *C. gigas*, provenientes de una granja ostrícola ubicada en el Estero San Vicente, Santo Domingo, B.C.S., México (25.44° N, 112.08° O). Se seleccionaron diez organismos diploides (hembras ♀ y machos ♂) de un año de edad y tres organismos tetraploides (4n, ♂) de dos años. La producción de los progenitores experimentales

(2n y 4n) de *C. gigas* se realizó en el laboratorio de Mejoramiento Genético en Acuicultura (LGMA) del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. (CIBNOR), ubicado en la costa de El Comitán (24° 08' N, 110° 24' O), 17 km al noroeste de la ciudad de La Paz, B.C.S. Los organismos 2n se obtuvieron mediante cruce natural entre machos 2n y hembras 2n. Los organismos 4n fueron producidos mediante la cruce de hembras 3n con machos 2n, inhibiendo el primer cuerpo polar, utilizando citocalasina B (CB) (Allen y Downing, 1986). Los ostiones se mantuvieron durante una semana en un sistema de circulación cerrado (20 °C, 38 PSU salinidad) para acondicionamiento gonádico, alimentados diariamente con *Chaetoceros calcitrans* (2×10^9 células organismos⁻¹ día⁻¹).

Posteriormente los ostiones fueron abiertos cuidadosamente con un cuchillo y los gametos se identificaron mediante observación directa en microscopio óptico. Se establecieron dos grupos de ploidías de *C. gigas*: 2n = 2n ♂ x 2n ♀, 3n = 4n ♂ x 2n ♀. Para la producción larvaria 2n, se utilizaron espermatozoides de cinco machos diploides (2n, ♂) y ovocitos de cinco hembras diploides (2n, ♀). Adicionalmente, para la obtención de organismos triploides “biológicos” (3n), se realizaron cruces entre los ovocitos de las cinco hembras diploides (2n, ♀) fertilizados con una mezcla de espermatozoides provenientes de tres machos tetraploides (4n, ♂) de *C. gigas*. Los ovocitos se dividieron en proporciones iguales en cubetas de 5 L y fertilizadas con una mezcla de espermatozoides 2n y 4n para producir larvas 2n y 3n, respectivamente. Después de la fertilización, los gametos fueron filtrados para remover el exceso de esperma e incubados en tanques de 1,000 L a una densidad inicial de 20 larvas mL⁻¹. A las 24 h post fertilización, cada tanque se drenó individualmente a través de un tamiz de 30 µm. Se tomó una muestra de 0.5 mL para estimar el número total de larvas tipo “D”. Se registraron 4.36×10^7 larvas 2n y 3.38×10^7 larvas 3n.

El cultivo larvario inició con una densidad de siembra de 5 larvas mL⁻¹ para cada ploidía. Se utilizaron contenedores de 1,500 L para una réplica diploide (2n) y dos réplicas triploides (3n), manteniéndose a 26 °C en el Laboratorio de Bioensayos (Lab. 1). Adicionalmente, se emplearon tanques de 1,000 L para una réplica 2n y una 3n en el LMGA (Lab. 2), mantenidos a 24 °C. El crecimiento larvario se llevó a cabo según los procedimientos estándar para moluscos bivalvos (Li *et al.*, 2011). Se realizaron cambios de agua del 100% cada tercer día. La alimentación consistió

inicialmente en *Isochrysis galbana*, incrementando la concentración conforme el crecimiento larvario (día 6), y posteriormente en una mezcla 1:1 de *I. galbana* y *C. calcitrans* (Rico-Villa *et al.*, 2006). Cuando aproximadamente el 60% de las larvas presentó mancha ocular, se colocaron en contenedores circulares (0.6 cm de diámetro) de fibra de vidrio con malla de 180 μm , preparados con una capa de 1 mm de concha triturada (180-300 μm). Se mantuvieron tres días en esta fase para favorecer el asentamiento. Posteriormente, la semilla fue transferida a un sistema de surgencia para la etapa de pre-engorda en laboratorio, hasta alcanzar una talla de aproximadamente 3mm.

6.1.2 Crecimiento larvario

Se colectaron 50 mL de muestra de cada tanque los días 1, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16 y 20 después de la fertilización (DDF). Las muestras fueron fijadas en formol (10%). Para el análisis morfométrico, se fotografiaron 30 larvas por réplica, utilizando un microscopio óptico y se obtuvieron mediciones de longitud y altura (μm) (Gadomski *et al.*, 2015). El procesamiento de imágenes se realizó en programa de libre acceso ImageJ (v1.53t, 1.8.0_322, EUA) (Figura 5).

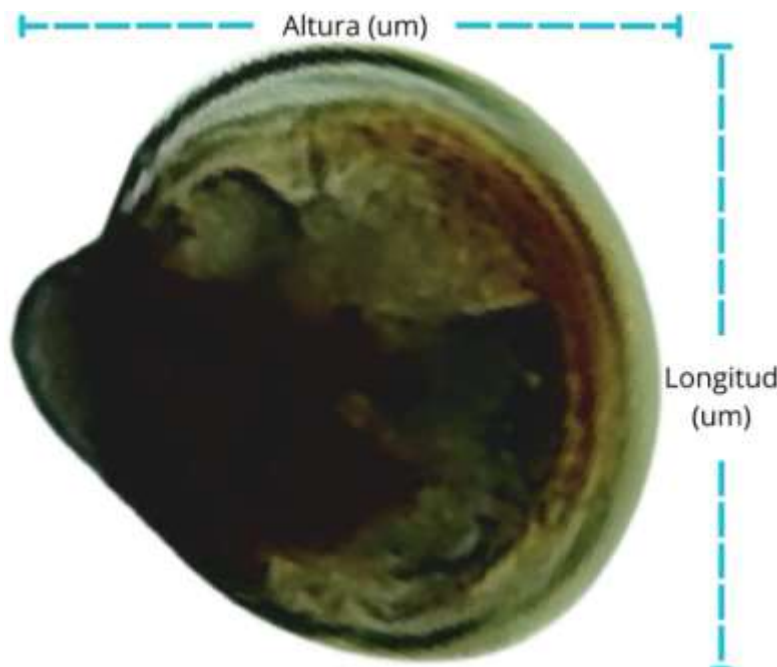


Figura 5. Microfotografía de las características evaluadas en la larva veliger de *C. gigas*.

6.1.3 Supervivencia larvaria

La supervivencia acumulada se estimó al día 20 DDF mediante el conteo del número total de larvas vivas por réplica y extrapolación al volumen total, aplicando la ecuación 1 (Ferreira-Arrieta *et al.*, 2015):

$$S_a = \frac{Nt*100}{N_0} \quad (1)$$

donde Nt es el número de larvas registradas en el día de evaluación y N₀ es el número inicial de larvas presentes al comienzo del experimento.

Los valores de supervivencia fueron transformados mediante la función arcoseno para estabilizar la varianza de los errores (Sokal y Rohlf, 1995).

6.2 Etapa de crecimiento en campo

6.2.1 Áreas de estudio

El desempeño en campo de los organismos 2n y 3n de *C. gigas* se evaluó septiembre 2023 a mayo 2024 en dos comunidades ribereñas de la península de B.C.S., caracterizadas por condiciones ambientales contrastantes (Figura 6).

6.2.2 El Mogote, Bahía de La Paz (LP)

El Mogote, se ubica en el extremo sur de la Bahía de La Paz (LP), en el municipio de La Paz, y mantiene comunicación permanente al Golfo de California (24°08'50" N, 110°22'33" O). El clima local es seco o semidesértico (BW(h')hw(x')), según la clasificación Köppen modificado por García (1973). Predomina la vegetación de manglar y se registran temperaturas de cálidas a muy cálidas, con una media anual superior a 22 °C y 180 mm de precipitación pluvial promedio (Romero-López *et al.*, 2006). La zona presenta influencia de fenómenos como "El niño", con recurrencia de 7.7 años (Jiménez-Illescas, 1997).

6.2.3 Bahía San Vicente, Santo Domingo

Bahía San Vicente, en Santo Domingo (SD), forma parte del sistema lagunar Bahía Magdalena-Almejas, ubicado en la costa del Océano Pacífico ($25^{\circ}26'36''$ N, $112^{\circ}05'18''$ O). El clima es seco semicálido tipo BW_{hs}(x') (García, 2004), con un extenso bosque de manglar. Presenta una temperatura media anual superior a 18°C y una precipitación pluvial promedio de 100 mm (Rodríguez-Meza *et al.*, 2007).

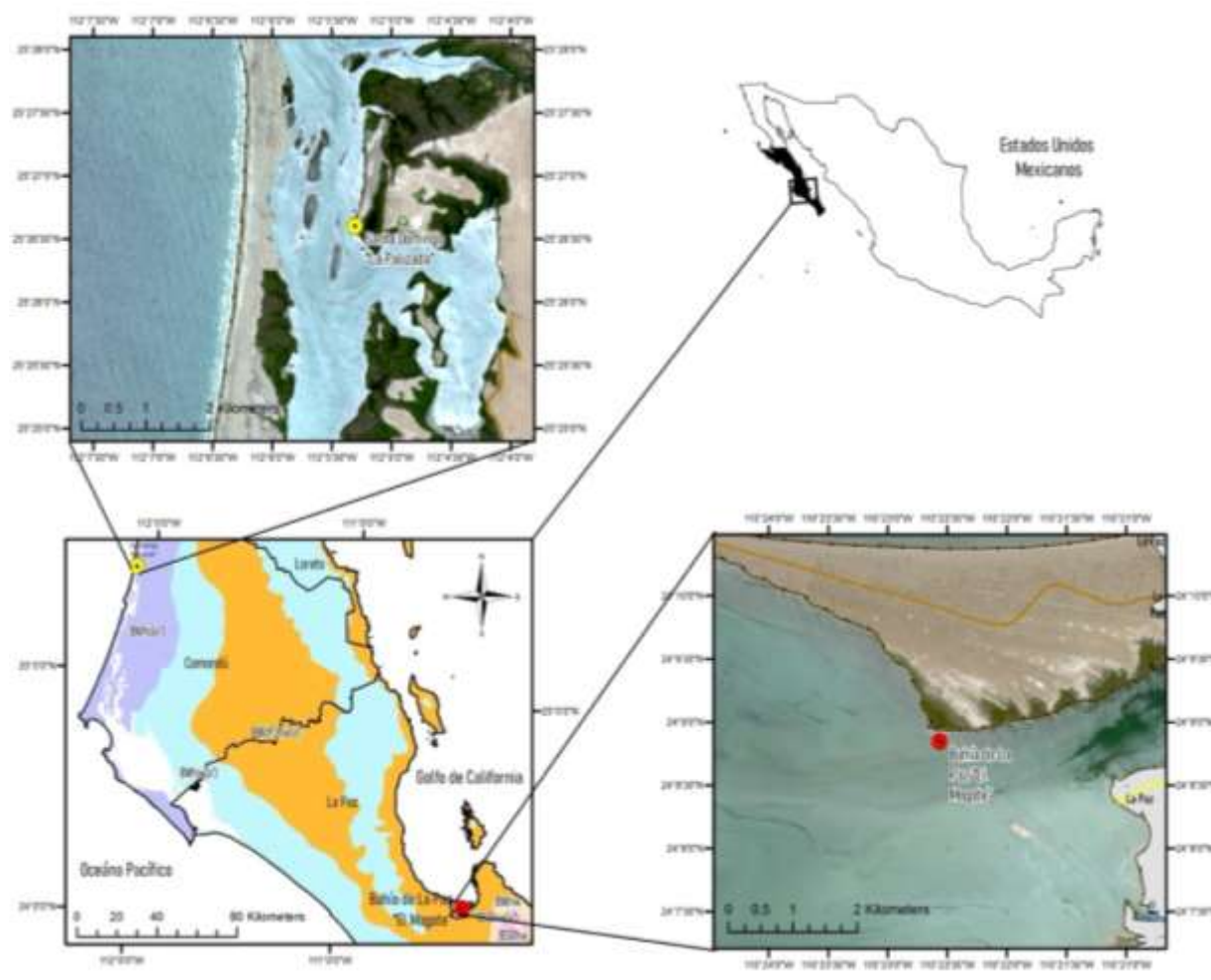


Figura 6. Sitios experimentales evaluados para el crecimiento y supervivencia de *C. gigas* 2n y 3n, localizados en el Golfo de California (Bahía de La Paz) y en el Océano Pacífico (Santo Domingo).

6.3 Pre engorda en campo

En julio de 2023 se trasladaron 15,000 semillas (>3 mm de alto de la concha) de cada ploidía ($2n$ y $3n$) hacia los dos sitios de estudio (LP y SD) para la etapa de pre-engorda en campo. El traslado se efectuó el 13 de julio en LP (56 DDF) y el 18 de julio en SD (61 DDF). Las semillas se colocaron en tubos cilíndricos (marca DM Plast; capacidad 39 L; polietileno de alta densidad (HDPE) estabilizado con UV y de estructura rígida) con una luz de malla de 1.5 mm, manteniendo ambas ploidías completamente separadas mediante el método de línea ajustable. A los 80 DDF, las semillas mayores a 6 mm (talla grande) fueron transferidas a tubos cilíndricos con luz de malla de 3 mm, mientras que aquellas menores a 5 mm (talla pequeña) fueron regresadas a los tubos de 1.5 mm (Villanueva-Fonseca *et al.*, 2017). El primer tamizado correspondió al grupo experimental principal, mientras que el segundo funcionó como respaldo. Ambos grupos permanecieron aproximadamente un mes en cada sitio de cultivo.

6.4 Engorda en campo

El 18 de agosto de 2023, tras 62 días en pre-engorda, el huracán Hilary causó una mortalidad significativa en La Paz (96 % en ambas ploidías). En Santo Domingo se perdió totalmente la semilla $3n$ de talla grande y la semilla $2n$ de talla pequeña. Posteriormente, se inició la etapa de engorda en las fechas programadas, con el material sobreviviente.

La etapa de engorda comenzó el 12 de septiembre de 2023 en LP, sembrando en base a las existencias de semilla, permitiendo 150 semillas de talla grande para cada tratamiento ($2n$ y $3n$) en tres costales (marca DM Plast; tamaño 50 cm $\times$ 85 cm; HDPE; malla de 9 mm). Estos fueron colocados de manera horizontal y distribuidas aleatoriamente sobre camas fijas en la zona intermareal (Figura 7A).

En SD, la etapa de engorda inició el 19 de septiembre 2023, sembrando de igual manera 150 semillas de talla grande para $2n$ y semillas $3n$ de talla pequeña (debido a la pérdida de la semilla grande). Los costales se instalaron en camas ajustables sobre un sistema tipo long-line, conformado por líneas con flotadores y un peso muerto (Figura 7B).

Las artes de cultivo fueron las existentes en cada sitio, en LP por la Organización de Pescadores Rescatando la Ensenada-Noroeste del Pacífico (OPRE-NOS) en colaboración a Las Guardianas del Conchalito; y en SD por la empresa La Palizada (Propietario Wilbert García).

Los tratamientos constaron de tres réplicas (450 semillas/ploidía). Las unidades experimentales se distribuyeron al azar (Ibarra *et al.*, 2017). Se tomó una muestra inicial al azar de 30 organismos por ploidía ($2n$ y $3n$) y sitio (SD y LP) para las mediciones morfológicas iniciales. Después de cinco meses, los ostiones fueron colocados en bolsas de malla de 9 mm (Figura 8).

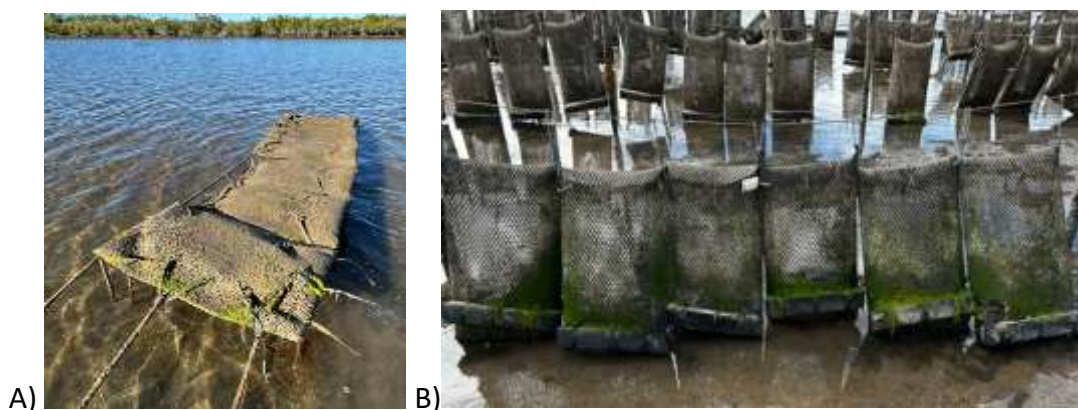


Figura 7. Sistemas de cultivo utilizados: A) Sistema de camas fijas (LP). B). Sistema de líneas flotantes (SD).

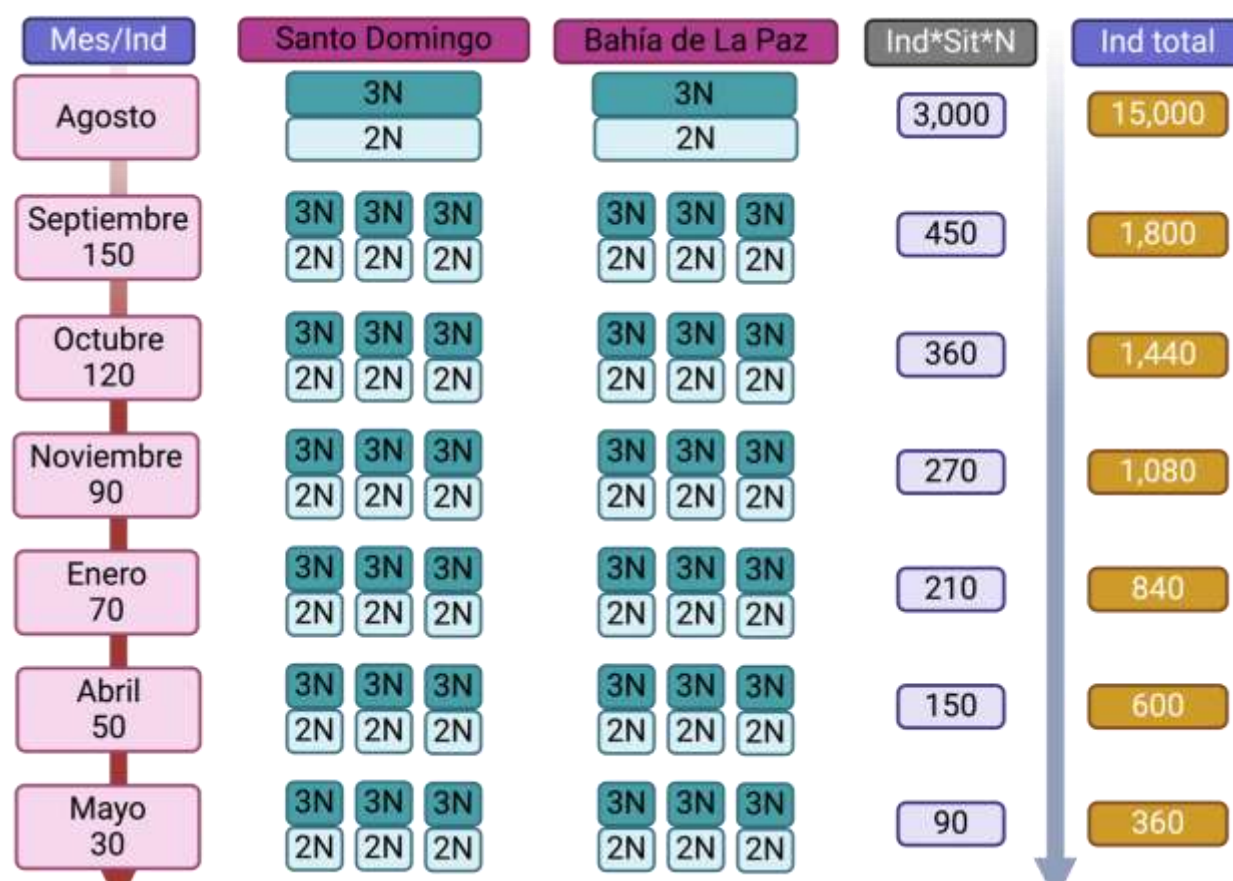


Figura 8. Periodicidad de ajuste de densidad de cultivo de *Crassostrea gigas*, en ambos sitios experimentales.

6.5 Evaluación de supervivencia en campo

La supervivencia de los organismos durante la etapa de engorda se determinó mediante conteos de individuos vivos y muertos en cada muestreo (Ecuación 2) (Tan *et al.*, 2023).

$$\% \text{ Supervivencia} = \frac{\# \text{ de organismo finales}}{\# \text{ de organismos iniciales}} * 100 \quad (2)$$

6.6 Evaluación de crecimiento

El crecimiento de los organismos en la etapa de engorda se evaluó mediante muestreos periódicos en ambos sitios experimentales, realizados entre julio 2023 a mayo 2024, con una frecuencia de cada 4-5 semanas (Figura 9, Tabla 2). En cada muestreo se seleccionaron al azar de 20 y 30 individuos de cada réplica y sitio (120-180 ostiones por tratamiento/sitio).

Una vez recolectados, los organismos fueron transportados al Laboratorio LMGA del CIBNOR, en La Paz, donde se midió la longitud de la concha (cm), desde la parte anterior a la parte posterior; la altura de la concha (cm), de la parte dorsal (umbo) a la ventral (Figura 9a); y el ancho (grosor) de la concha (cm), mediante una línea recta perpendicular al eje concha (Figura 9b) (Galtsoff, 1964). Las variables morfométricas se registraron utilizando un vernier. Asimismo, se evaluó el peso total (g) y la biomasa (g).

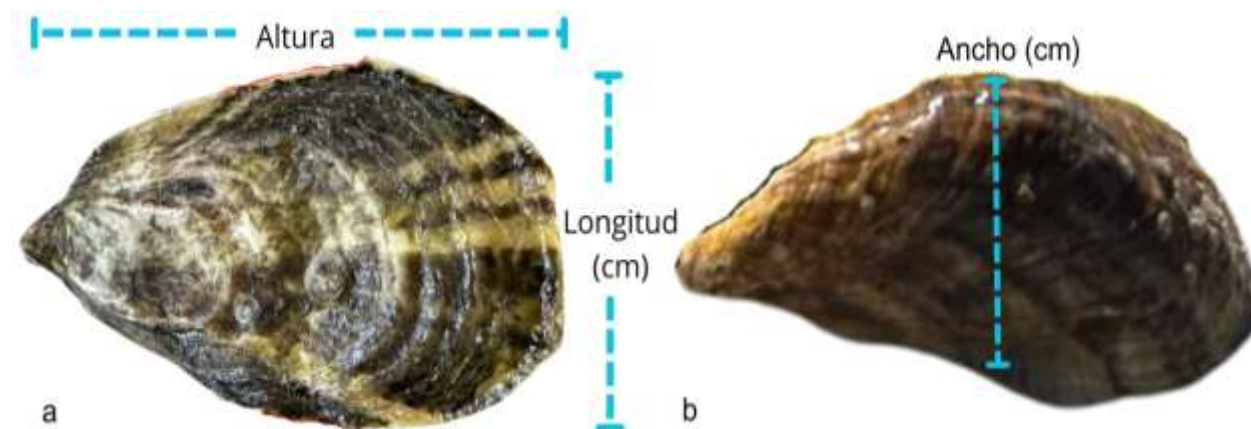


Figura 9. Características biométricas evaluadas en la concha del ostión japonés (*C. gigas*). a) Longitud (medida antero-posterior), alto (dorso-ventral); b) Ancho (medida intervalvar).

A partir del cuarto muestreo, se incorporaron los datos del peso del músculo (MUS, g) y de la masa visceral (GON, g), compuesta por la gónada y la glándula digestiva, utilizando una balanza digital (OHAUS SP401 Scout Pro) (Tabla 2).

Para calcular el índice de condición fisiológica (ICF, Ecuación 3) (Hickman y Illingworth, 1980), el índice de condición general (ICG, Ecuación 4) (Nascimento y Pereira, 1980) y el rendimiento de carne (RC, Ecuación 5) (Lenz y Boehs, 2009), se utilizaron cinco ostiones previamente pesados y sacrificados; en seguida la biomasa fue pesada y secada (24 h, 80°C). Los índices se obtuvieron con las siguientes fórmulas:

$$\text{ICF (\%)}: (P_S * 100) / P_H \quad (3)$$

$$\text{ICG (\%)}: (P_S * 100) / P_T \quad (4)$$

$$\text{RC (\%)}: (P_H * 100) / P_T \quad (5)$$

Donde P_H es peso húmedo del tejido blando, P_T es el peso total del ostión, P_S es peso seco del tejido blando. La biomasa fue secada a 80 °C por 24 h en un horno (ECOCEL MMM GROUP, Alemania) y pesadas con una balanza analítica (AND HR-120, Japón).

Tabla 2. Muestreos realizados durante el periodo de septiembre 2023 a mayo 2024 en los sitios experimentales, para mediciones del ostión japonés.

Muestreo	Días de muestreo		Número de ostiones	
	La Paz	Santo Domingo	Dimensión de la concha, peso total y biomasa (n)	Peso del músculo aductor y masa visceral (n)
T01	12/09/23	19/09/23	30	-
T02	11/10/23	24/10/23	30	-
T03	28/11/23	12/12/23	30	-
T04	05/02/24	30/01/24	20	5
T05	01/04/24	08/04/24	20	5
T06	21/05/24	21/05/24	20	5

6.7 Evaluación de ploidía

El nivel de ploidía se detectó a los 8 y 16 DDF en la etapa larvaria y, durante la etapa de crecimiento en campo, se evaluó en cada muestreo realizado (Barnes y Blackstock, 1973). Para confirmar la ploidía ($2n$ y $3n$), se cortó un fragmento de branquia, el cual se mezcló con el colorante fluorescente DAPI (4',6'-diamidino-2-fenilindol); posteriormente, la muestra se tamizó a 30 μm y analizó mediante citometría de flujo (Sysmex) (Allen *et al.*, 1982).

6.8 Datos ambientales

La caracterización de las diferencias ambientales entre los dos sitios de estudio consideró los parámetros que influyen en el rendimiento de los moluscos bivalvos, en particular aquellos identificados como factores clave para *C. gigas*: temperatura, salinidad, clorofila-a, pH y carbono disuelto (Shumway, 1996; Sarà y Mazzola, 1997; Reynaga-Franco *et al.*, 2019; Saavedra *et al.*, 2024). Los datos se obtuvieron de MARSPEC (Sbrocco y Barber, 2013) y de Copernicus Marine Service (2025). Los puntos georreferenciados de muestreo fueron ajustados al punto más cercano disponibilidad de datos. Las variables de salinidad y temperatura superficial del mar se conservaron de MARSPEC debido a su mayor resolución espacial. En contraste, las variables

derivadas de Copernicus se extrajeron como series temporales mensuales desde enero de 2022 hasta diciembre de 2024, a partir de las cuales se calcularon los valores promedios y las desviaciones estándar para representar la tendencia central y la variabilidad durante el período (S

ANEXO A).

Para profundizar en la caracterización ambiental y detectar diferencias entre sitios, se realizó un Análisis de Componentes Principales Ambientales (ePCA). Las variables ambientales fueron estandarizadas y analizadas mediante la función PCA del paquete FactoMineR en el software R (Lê *et al.*, 2008). Para la selección de variables se conservaron aquellas con mayor contribución a los componentes principales 1 y 2 (PC1 y PC2), y se descartaron las altamente colineales ($r > 0.8$), utilizando la función `find.Correlation` del paquete Caret versión V 7.0-1 (Kuhn, 2008). El conjunto final de variables seleccionadas se empleó para visualizar los gradientes ambientales mediante el ePCA, utilizando funciones base de R (R Core Team, 2024). Finalmente, se aplicó una prueba de Kruskal-Wallis sobre las puntuaciones de los componentes principales para evaluar estadísticamente las diferencias entre sitios a lo largo de los ejes de variación ambiental.

6.9 Determinación de estadios reproductivos

Se realizó un análisis histológico de 10 organismos/tratamiento/sitio en cada muestreo (Tabla 2). En los tres primeros muestreos, se incluyó el organismo completo en un cassette Leica Jet II (Leica Microsystems, Wetzlar, Germany). A partir del cuarto muestreo se realizó un corte transversal de la sección media del ostión, colocado en un casete para su fijación en solución de Davidson (Howard y Smith, 1983). Las muestras se sometieron a una deshidratación progresiva con concentraciones crecientes de alcohol etílico (70, 80, 90, 100 %), posteriormente a una mezcla alcohol etílico absoluto-xilol (1:1) y finalmente a xilol absoluto. Después fueron infiltradas en parafina (Paraplast), se realizaron corte de 4 μm en un microtomo rotatorio y se montarlo en portaobjetos de vidrio. Cada portaobjeto fue teñido con hematoxilina de Harris y eosina-floxina (Humason, 1962).

Los cortes histológicos se examinaron a 40× utilizando un analizador de imágenes (Image Pro Plus v. 4). A cada organismo se le asignó un estadio de desarrollo gametogénico (0-V) con base en la escala de seis fases propuestas para ostiones hembras y machos diploides, así como para machos triploides (Ibarra *et al.*, 2017), y para hembras triploides y hermafroditas (Yang *et al.*, 2022b), como se muestra en las 3 y 4. De acuerdo a la clasificación de Yang *et al.* (2022b), las 3n♀ de *C. gigas* presentan dos trayectorias reproductivas: tipo α , caracterizada por proliferación gonádica activa y gametogénesis parcialmente funcional; y tipo β , definida por una detención mitótica temprana, cromatina condesada y baja fecundidad (Jouaux *et al.*, 2010).

6.10 Área de cobertura gonádica (ACG)

El área ocupada por la gónada se determinó utilizando un analizador de imágenes (Image Pro Plus v. 4) a 10×, promediando tres secciones distintas de cada espécimen en cada muestreo (Tabla 2). El análisis se basó en la intensidad del color específico del tejido, y tanto el área de la gónada como el área visceral se calcularon automáticamente en píxeles y se expresaron en mm² (Ec. 6) (Rodríguez-Jaramillo *et al.*, 2008, 2025).

$$ACG = \frac{G}{AT} * 100 \quad (6)$$

Donde G es el área de la cobertura del tejido gonádico y AT es el área total del tejido (gónada y masa visceral).

Tabla 3. Fases de los estadios gametogénicos de machos y hembras diploides y triploides de *Crassostrea gigas*. Adaptado de Ibarra et al. (2017) y Yang et al. (2022a).

Estadio	Diploides		Triploides	
	Machos	Hembras	Machos	Hembras
0 (Inactivo)	Epitelio germinal no diferenciado, ninguno o pocos folículos.			
I (Proliferación)	Folículos alargados y aislados dentro del tejido conectivo; gran número de espermatogonias y presencia limitada de espermatocitos.	Folículos alargados y aislados dentro del tejido conectivo; gran número de ovogonias y presencia limitada de ovocitos previtelogénicos.	Folículos alargados y aislados dentro del tejido conectivo; gran número de espermatogonias y presencia limitada de espermatocitos	α : Foliculos con ovogonias y algunos ovocitos en desarrollo temprano, estructura poco organizada. β : Foliculos dominados por β -gonia, con muy pocos ovocitos o ausencia total, con presencia de mayor tejido conjuntico interfolicular.
II (Crecimiento)	Presencia de espermatogonias, así como gran cantidad de espermatocitos, espermátides y espermatozoides.	Mayor intervalo de células gaméticas con presencia de ovogonias, ovocitos previtelogénicos y predominantemente vitelogénicos. Se observan también algunos ovocitos posvitelogénicos.	Abundantes espematogonias, espermatocitos primarios, pocos espermatocitos secundarios y espermátides, y ningún espermatozoide	α : Ovocitos visibles; actividad gametogénica parcial. β : Foliculos con abuntes β -gonias, ovocitos escasos o ausnetes; tejido conjuntivo predominante en el espacio interfolicular
III (Maduración)	Se observan numerosos espermatozoides presentes en el lumen del folículo.	Los folículos están llenos de ovocitos postvitelogénicos de tamaño similar, permaneciendo pocos	Mayor frecuencia de gametos en desarrollo (ovocitos vitelogénicos y espermatozoides), pocos	α : Folículos con pocos ovocitos maduros. β : Ausencia de ovocitos maduros, foliculos

		ovocitos previtelogénicos y vitelogénicos.	gametos maduros (postvitelogénicos y espermatozoides) dispersos en el folículo. Ovogonias y espermatogonias presentes en la pared del folículo.	incompletos, con presencia de β -gonias; el tejido conjuntivo predomina, con desarrollo limitado.
IV (Desove)	Folículos distendidos, con espermatogonias en la pared del folículo. A veces se observan numerosos gametos.	Folículos distendidos, con presencia de ovogonias en la pared folicular. Gonoductos con ovocitos postvitelogénicos y degenerados.	Gametos residuales (espermatozoides) se observan en los conductos gonadales de individuos con bajo grado de esterilidad. Las gónadas tampoco se vacían completamente en cada evento de desove, persistiendo numerosos gametos inmaduros.	Gametos maduros residuales (ovocitos postvitelogénicos o espermatozoides) en los conductos gonadales de individuos con bajo grado de esterilidad. Desove parcial con numerosos gametos inmaduros.
V (Reabsorción)	Folículos casi vacíos, con células fagocíticas.			

Tabla 4. Fases de los hermafroditas gametogénicos diploides y triploides de *Crassostrea gigas*.

Estadio	Diploides	Triploides
Mixto	Muy raro; coexistencia de gametos masculinos y femeninos.	Tipo I: Presencia simultánea de ovocitos y células espermatogénicas. Tipo II: Tejido gonadal degenerado; con pocos ovocitos, sin β -gonias observadas, identidad ambigua.

6.11 Composición bioquímica

Durante los tres primeros muestreos, se recolectaron tres organismos enteros por unidad experimental (Tabla 2). En los tres muestreos siguientes se recolectaron músculo y tejido gonádico, almacenados a $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ para el análisis de carbohidratos totales (CHO, mg mL^{-1}), lípidos totales (LT, mg mL^{-1}) y proteínas totales (PT, mg mL^{-1}), (Tabla 2). Antes del procesamiento, los tejidos fueron liofilizados a $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ y 100 mTorr durante 6 h, y posteriormente pulverizados en un homogeneizador (Qin *et al.*, 2018).

6.11.1 Carbohidratos totales (CHO)

Del tejido homogeneizado se tomaron 200 μL de cada muestra y se adicionaron 50 μL de ácido tricloroacético (TCA, 20 %) en tubos eppendorf (0.65 mL). Las muestras se centrifugaron a 3,600 rpm durante 10 min a $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Eppendorf 5810 R). Se recolectó una alícuota de 25 μL del sobrenadante y se transfirió a un tubo de vidrio con 250 μL de antrona (0.1%) diluida con H_2SO_4 (72%). Las muestras fueron calentadas en baño María a $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 5 min y enseguida se enfriaron en baño de hielo. Luego, se efectuó la lectura de absorbancia a 620 nm utilizando un espectrofotómetro de placas (Thermo multiskan spectrum). Para cuantificar los carbohidratos, se preparó una curva estándar de 5 mg mL^{-1} de glucosa (Sigma-Aldrich) en 500 μL de TCA, a concentraciones de 5.0, 2.5, 1.25, 0.625, 0.3125, 0.15625, 0.078125 mg mL^{-1} (Roe, 1955).

La concentración de carbohidratos se calculó con la siguiente relación:

$$\text{Carbohidratos (mg g}^{-1}\text{)} = \frac{\text{Absorción de la solución} \times \text{Factor de dilución}}{\text{pendiente de la curva} \times \text{peso de la muestra}} \quad (7)$$

6.11.2 Lípidos totales (LT)

Se utilizó el método de sulfafosfovainillina (Barnes y Blackstock, 1973). Una alícuota de 0.025 mL (25 μL) de cada muestra se colocó en tubos de vidrio y se agregaron 0.25 mL de ácido sulfúrico concentrado. Las muestras se incubaron en baño María a $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 10 minutos y, posteriormente, los tubos se enfriaron en un baño de hielo. Se tomaron 20 μL de cada tubo y se depositaron en el fondo de los pozos de una microplaca ELISA de 96 pozos. A cada pozo se le añadió una solución reactiva para lípidos (fosfovainillina al 0.2% en ácido sulfúrico al 80%) y la

placa se dejó incubar a temperatura ambiente durante 40 min. Las lecturas se realizaron en un espectrofotómetro de microplacas (Thermo Multiskan Spectrum) a 540 nm.

De manera paralela se preparó una curva de calibración. La solución estándar de lípidos (Lin-Trol Sigma L2648) contenía 20 mg/mL. Se realizaron diluciones 1:2 en 1 mL de solución salina, obteniendo concentraciones de 10, 5, 2.5, 1.25, 0.625, 0.3125 y 0.15625 mg/mL de lípidos. Se empleó solución salina como blanco.

La cantidad de lípidos se calculó mediante:

$$\text{Lípidos (mg g}^{-1}\text{)} = \frac{\text{Absorción de la solución} \times \text{Factor de dilución}}{\text{pendiente de la curva} \times \text{peso de la muestra}} \quad (8)$$

6.11.3 Proteína total (PT)

Las muestras liofilizadas fueron rehidratadas utilizando 0.1 g de muestra por cada 1 mL de agua destilada. Para la cuantificación de PT, se empleó la técnica de ácido bicinconínico (BCA), utilizando una solución reactiva de Sigma (ácido bicinconínico B9643 y sulfato de cobre II C2284). Se realizó a la digestión de una alícuota de 25 µL de tejido en 500 µL de NaOH durante 120 min; posteriormente se tomó una alícuota de 25 µL y se añadió a una microplaca junto con 200 µL de BCA. La incubación se realizó por 15 min a 60 °C, y se efectuó la lectura de absorbancia a 562 nm utilizando un espectrofotómetro de placas (Thermo multiskan spectrum). En paralelo se preparó una curva estándar utilizando una solución de 2 mg mL⁻¹ de albumina bovina, diluida en solución salina (1:2), con concentraciones de 2.0, 1.0, 0.5, 0.25, 0.0625 y 0.03125 mg mL⁻¹, la solución salina se empleó como blanco (Bradford, 1976).

La concentración de proteínas se calculó:

$$\text{Proteínas (mg g}^{-1}\text{)} = \frac{\text{Absorción de la solución} \times \text{Factor de dilución}}{\text{pendiente de la curva} \times \text{peso de la muestra}} \quad (9)$$

6.12 Análisis estadístico

6.12.1 Etapa larvaria

Para los datos de crecimiento y supervivencia de la etapa larvaria, se comprobó la distribución normal y la homocedasticidad mediante un análisis de varianza (ANOVA) de una vía para cada día. A continuación, se aplicó una prueba de comparaciones múltiples de Tukey para identificar diferencias significativas entre los tratamientos de ploidía. Los porcentajes de supervivencia larvaria fueron transformados a arcoseno previo al análisis estadístico (Sokal y Rohlf, 1995).

6.12.2 Engorda en campo

Los datos de supervivencia en la etapa de crecimiento, así como los índices de condición (IC, ICG) y el rendimiento de carne (RC), se transformaron mediante arcoseno antes del análisis (Sokal y Rohlf, 1995). Para evaluar las diferencias significativas en los parámetros biológicos entre sitios, se utilizaron distintos métodos estadísticos dependiendo del tipo de variable (mediciones o frecuencias) y de la normalidad de los datos (Scherrer, 1984). En el caso de la supervivencia se aplicó un ANOVA de una vía, previa verificación de los supuestos de normalidad (prueba de Shapiro-Wilk) y homogeneidad de varianzas (prueba de Levene). Cuando los datos no cumplieron con estos supuestos, se empleó a la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, como en los casos de altura, longitud y ancho de la concha; peso total de tejido, peso del músculo aductor, masa visceral; así como para IC, ICG y RC. Para estos casos se realizaron pruebas post hoc de comparaciones múltiples para identificar diferencias significativas entre grupos. Todos los análisis fueron realizados en el entorno RStudio (R Core Team, 2024).

6.12.3 Análisis reproductivo

Las proporciones de frecuencia reproductiva por sexo y estadio (sexo, estadio, sexo $\times$ estadio)) se analizaron mediante análisis multinivel tipo logístico ordinal con función de enlace logit, estructura apropiada para categorías ordenadas de madurez gonádica y frecuencias comparativas entre ploidías y tiempo (Ibarra *et al.*, 2017). El modelo se ajustó considerando efectos fijos de ploidía, sitio y tiempo (muestreo); la significancia de factores se evaluó mediante chi-cuadrada (χ^2) y residuos estandarizados.

Debido a que los supuestos de normalidad y homocedasticidad no se cumplieron para el área de cobertura gonádica (ACG), las diferencias entre ploidías y muestreos se evaluaron mediante pruebas no paramétricas de Kruskal–Wallis, seguidas de comparaciones post hoc de Dunn con corrección de Holm/Benjamini–Hochberg y síntesis de los resultados mediante letras compactas sobre las medianas ($\pm$ IQR). La progresión del desarrollo gonádico se interpretó integrando la frecuencia por estadio la proporción por sexo y los cambios de ACG dentro de cada estadio, para distinguir desfasamientos reproductivos entre ostiones 2n y 3n (Normand *et al.*, 2008; Yang *et al.*, 2022b). Los análisis estadísticos se realizaron en el entorno RStudio (R Core Team, 2024).

6.12.4 Análisis bioquímico

Las variables bioquímicas (carbohidratos totales, proteínas y lípidos; mg g^{-1}) se analizaron como datos continuos en R-Studio (R Core Team, 2024). La verificación de supuestos estadísticos mediante Shapiro–Wilk (normalidad) y Levene/Bartlett (homogeneidad de varianzas) indicó distribución no normal; por lo anterior, se emplearon pruebas no paramétricas. Las diferencias entre ploidía, sitio y periodo de muestreo se evaluaron mediante Kruskal–Wallis, con comparaciones posteriores a través de pruebas de Dunn y corrección Benjamini–Hochberg para ajuste por comparaciones múltiples (Ferreira-Arrieta *et al.*, 2020).

7. RESULTADOS

7.1 Crecimiento y supervivencia larvaria

En el crecimiento comparativo de larvas 2n y 3n no se observaron diferencias significativas en longitud y altura, durante los primeros doce días de cultivo larval. La altura promedio de la concha en día uno (larva tipo D) fue de 65.57 μm en 2n y 63.2 μm en 3n, mientras que la longitud promedio fue de 76.7 μm en 2n y 76.8 μm en 3n (Fig. 10A). Al día 14, la altura promedio de la concha en 3n (258.2 μm) fue significativamente mayor que en 2n (245.9 μm); este mismo patrón se observó en la longitud de la concha (243.1 μm en 3n vs 227.8 μm en 2n) (Fig. 10). Las manchas oculares se presentaron en más del 60 % de las larvas 3n desde el día 16, mientras que en las larvas 2n esto ocurrió cuatro días después.

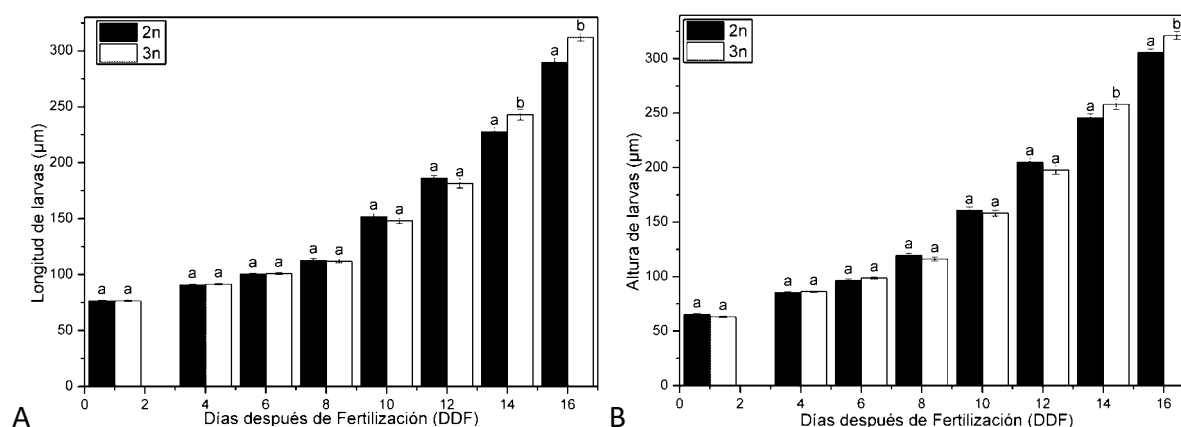


Figura 10. Crecimiento larvario en longitud (A) y ancho (B) en larvas de ostión *C. gigas* 2n y 3n.

Al final de la etapa larval planctónica, no se detectaron diferencias significativas en la supervivencia entre grupos ($p > 0.05$), con tasas de 15% en 2n y 14.3% en 3n (Tabla 5, Figura 11). Además, la verificación de ploidía se realizó en cada punto de muestreo, confirmando que todos los individuos pertenecían correctamente a sus respectivas ploidías 2n o 3n.

Tabla 5. Valores promedio de supervivencia larvaria (arcoseno y porcentaje) para el ostión *C. gigas* 2n y 3n.

Ploidía	Supervivencia (arcsen, rad)	Supervivencia (%)
2n	0.1506	15
3n	0.1440	14.3

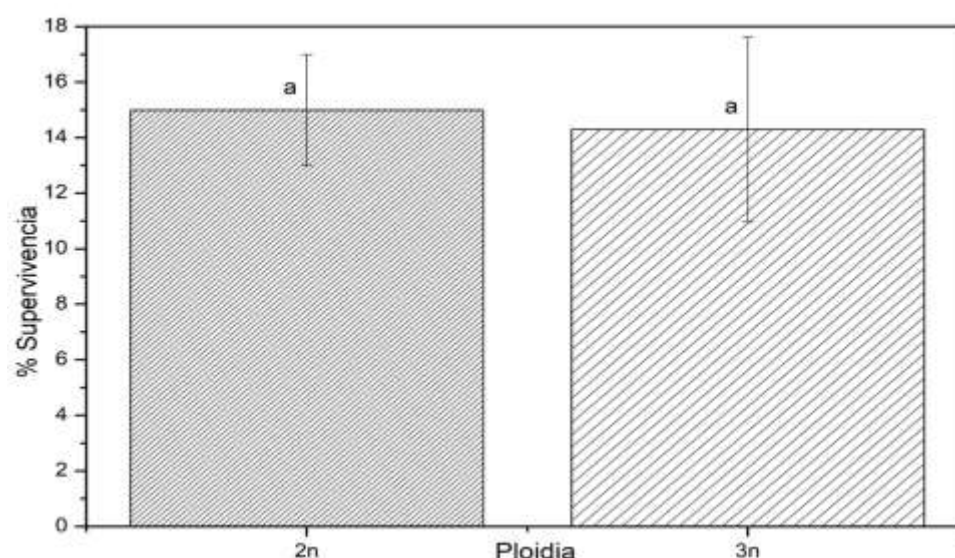


Figura 11. Supervivencia al día 20 DDF, para larvas 2n y 3n de *C. gigas*.

7.2 Condiciones ambientales

Las variables ambientales mostraron diferencias entre Bahía de La Paz (LP) y Santo Domingo (SD) a lo largo del año, observándose variaciones en los parámetros fisicoquímicos entre ambos sitios (S

ANEXO A). La temperatura fue sistemáticamente más alta en LP, se registraron las mayores discrepancias entre marzo y octubre (Fig. 12A). En el mes de agosto, LP alcanzó temperaturas cercanas a los 30 °C, mientras que en SD el valor máximo fue de aproximadamente 27 °C. Este patrón térmico estuvo acompañado por una salinidad más elevada en LP (34.4–34.8 PSU) durante todos los meses, siendo más marcada entre agosto y diciembre (Figura 12B). En contraste, la concentración de clorofila-a (Chl-a) fue consistentemente mayor en SD entre marzo y junio, alcanzando un pico de aproximadamente $2.0 \pm 0.8 \text{ mg m}^{-3}$ en mayo, mientras que en LP los valores se mantuvieron por debajo de $1.3 \pm 0.4 \text{ mg m}^{-3}$ (Fig. 12C).

La presión parcial de dióxido de carbono ($p\text{CO}_2$) se mantuvo más elevada en Bahía de La Paz (LP) durante todos los meses del año, con las diferencias más marcadas entre junio y octubre, cuando los valores superaron los $60.1 \pm 1.8 \text{ Pa}$, en comparación con $54 \pm 1.3 \text{ Pa}$ registrados en SD (ANEXO

B, Fig. 38). El carbono inorgánico disuelto (CID) fue ligeramente superior en LP ($2.1 \pm 0.0 \text{ mol m}^{-3}$) respecto a SD ($2.1 \pm 0.0 \text{ mol m}^{-3}$) (ANEXO B, Figura 39), mientras que la alcalinidad total (TA) también fue más alta en LP ($2.4 \pm 0.0 \text{ mol m}^{-3}$) en comparación con SD ($2.3 \pm 0.0 \text{ mol m}^{-3}$) (ANEXO B, Figura 40). En cuanto al pH, se observaron valores más bajos y mayor variabilidad en LP (7.9 ± 0.0), mientras que en SD los valores fueron más elevados y relativamente estables (7.9 ± 0.0 – 8.0 ± 0.0) (ANEXO B, Figura 41).

El oxígeno disuelto (OD) mostró un comportamiento similar, con concentraciones más altas en SD, especialmente entre marzo y agosto (ANEXO B, Figura 42), periodo en el que los niveles de DO superaron los $256.7 \text{ mmol m}^{-3}$, frente a un máximo de aproximadamente $231.8 \pm 3.8 \text{ mmol m}^{-3}$ en LP. De igual manera, el fitoplancton total (FitT) y el potencial de producción primaria total (PPFitT) fueron mayores en SD, con un claro florecimiento durante mayo y junio ($11 \pm 2.9 \text{ mmol m}^{-3}$ y $59.2 \pm 27.8 \text{ mg m}^{-3} \text{ día}^{-1}$, respectivamente), mientras que en LP estos parámetros se mantuvieron consistentemente por debajo de $5.6 \pm 1.3 \text{ mmol m}^{-3}$ (FitT) y $11.1 \pm 2.9 \text{ mg m}^{-3} \text{ día}^{-1}$ (PPFitT) durante todo el año (ANEXO B, Figura 43 y Figura 44).

Las concentraciones de silicato disuelto (SiD) y nitrato (NO_3^-) fueron notablemente superiores en SD durante la primavera y principios del verano (marzo a junio) (ANEXO B, Figura 45 y Figura 46). El silicato alcanzó un máximo de aproximadamente $2.9 \pm 0.9 \text{ mmol m}^{-3}$ en mayo, mientras que en LP se mantuvo por debajo de $2.0 \pm 0.2 \text{ mmol m}^{-3}$.

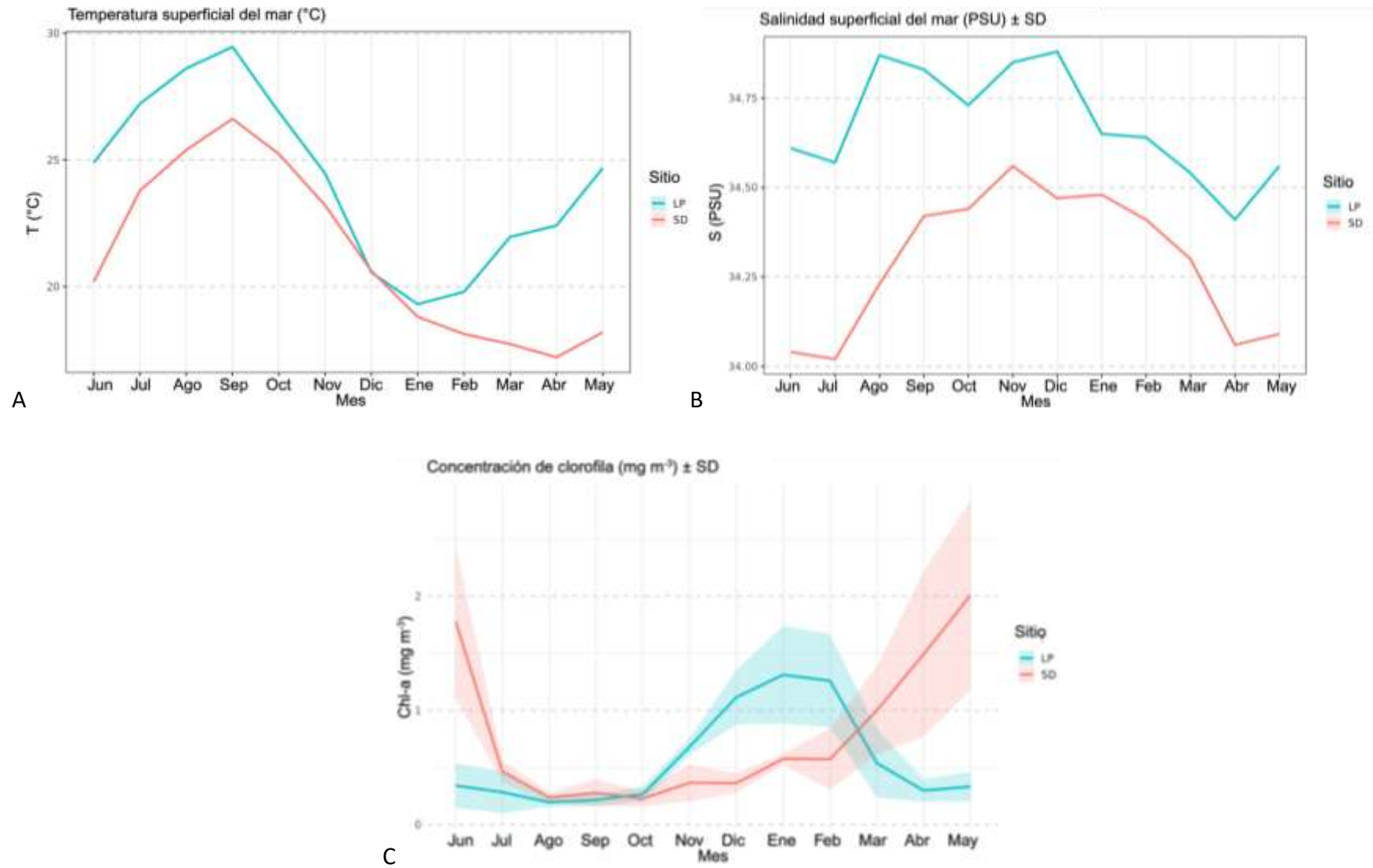


Figura 12. Temperatura (A), salinidad (B) y clorofila-a (C) media mensual de la superficie del mar en LP y SD desde 2022 a 2024.

De forma similar, el nitrato en SD alcanzó $0.3 \pm 0.1 \text{ mmol m}^{-3}$ entre abril y mayo, en tanto que en LP los niveles fueron casi nulos en el mismo periodo. En oposición a esto, el fosfato (PO_4^{3-}) fue más elevado en LP entre marzo y julio ($0.7 \pm 0.0 \text{ mmol m}^{-3}$), en comparación con valores ligeramente menores en SD ($0.6 \pm 0.07 \text{ mmol m}^{-3}$) (ANEXO B, Figura 47). Por otro lado, el hierro disuelto (Fe_d) mostró un patrón estacional inverso, con un marcado aumento en LP entre junio y agosto, superando los $0.004 \text{ mmol m}^{-3}$, mientras que en SD las concentraciones se mantuvieron relativamente estables durante todo el año (ANEXO B, Figura 48).

Se realizó un análisis de componentes principales (PCA) con seis variables ambientales para evaluar las diferencias entre ambos sitios. Los dos primeros componentes explicaron el 87.4 % de la varianza total (PC1 = 48.5 %, PC2 = 38.9 %) (Figura 13), revelando una clara diferenciación ambiental entre LP y SD. Se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los sitios a lo largo de ambos ejes principales. La prueba de Kruskal-Wallis mostró diferencias significativas en los puntajes de PC1 ($\chi^2 = 6.5$, gl = 1, $p = 0.01$) y diferencias altamente significativas en PC2 ($\chi^2 = 17.3$, gl = 1, $p < 0.001$), lo que indica una clara separación multivariada entre ambos sitios.

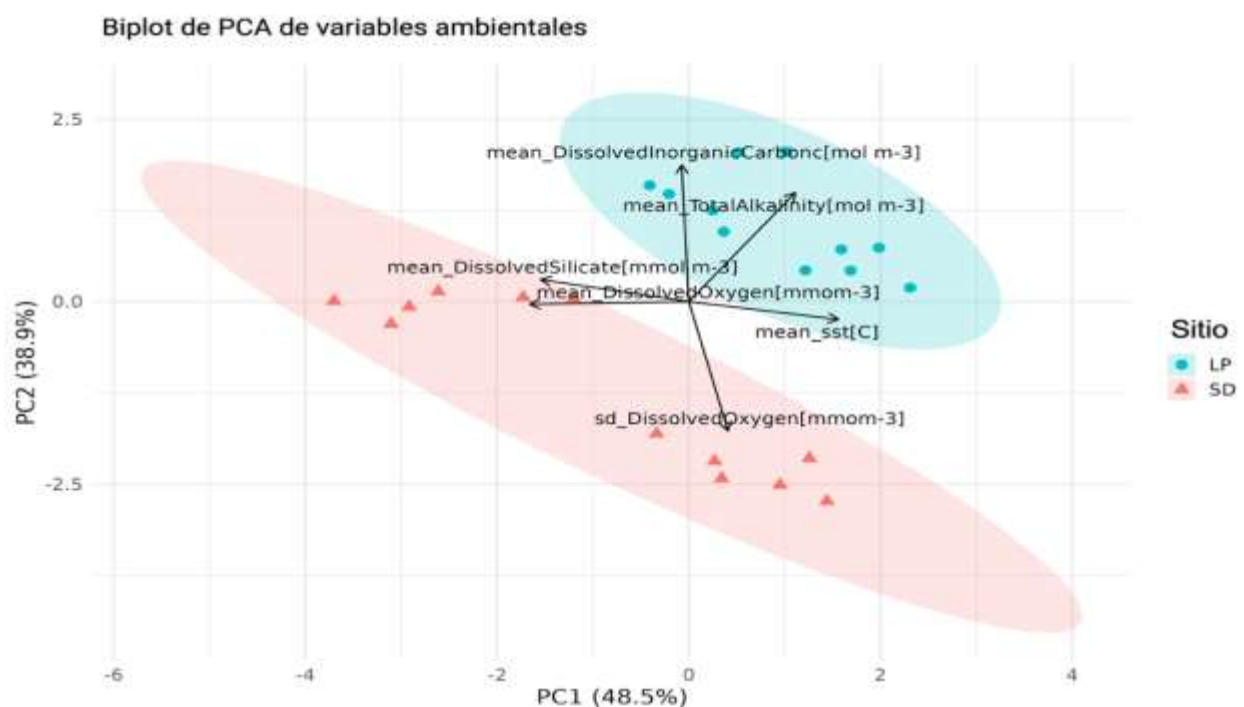


Figura 13. Biplot de análisis de componentes principales (PCA) de las variables ambientales medidas en los dos sitios de estudio (LP y SD).

7.3 Supervivencia en campo

Las semillas tamizadas de un tamaño de 3 mm y colocadas en la etapa de preengorda en campo (3,000 semillas ploidía⁻¹), fueron afectadas por el huracán Hillary en agosto 2023, resultando en una supervivencia de alrededor de 4.5% por cada ploidía en Bahía de La Paz. En Santo Domingo se registró una pérdida de semillas del primer tamizado para los 3n, por lo que se utilizó semilla de menor tamaño (segundo cribado), mientras que, en el caso de los 2n, se perdió la semilla de menor tamaño (<3 mm). Ambas ploidías fueron posteriormente colocadas en las unidades experimentales para continuar con la evaluación de la engorda en campo.

La supervivencia en etapa de crecimiento fue similar en ambos ambientes. Los ostiones crecidos en SD presentaron la mayor supervivencia (99%) en comparación con los LP (95%), excepto en el último muestreo, donde los organismos triploides de La Paz (3nLP) mostraron una supervivencia significativamente menor (76 %) respecto a las demás ploidías de ambos sitios (Figura 14, Tabla 6).

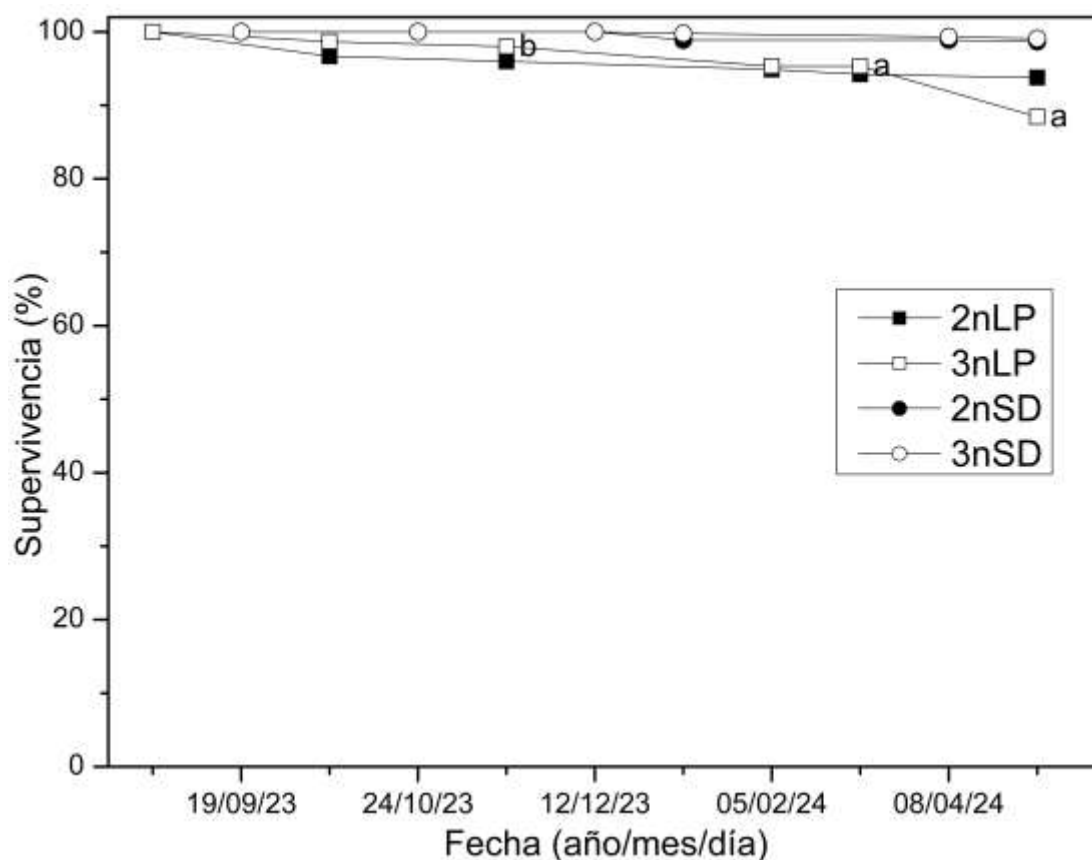


Figura 14. Medidas de supervivencia mensual de *C. gigas* 2n y 3n, durante el periodo de crecimiento en campo (sep 2023 – mayo 2024).

Tabla 6. Medias de supervivencia (en arcoseno y porcentaje) promedio para los meses de cultivo

Localidad	Mes de cultivo	Supervivencia (arcoseno, rad)		Supervivencia (%)	
		2n	3n	2n	3n
Bahía de La Paz	Sep-Oct	1.38	1.48	97	99
	Oct-Nov	1.47	1.42	99	99
	Nov-Feb	1.46	1.28	98	95
	Feb-Abr	1.47	1.57	99	100
	Abr-May	1.47	0.88	99	76
Santo Domingo	Sep-Oct	1.57	1.57	100	100
	Oct-Dic	1.57	1.57	100	100
	Dic-Ene	1.42	1.52	98	100
	Ene-Abr	1.57	1.46	100	99
	Abr-May	1.50	1.50	99	99

7.4 Crecimiento general en campo

A continuación, se presentan los resultados de las características biométricas de longitud, altura y ancho de la concha, peso total, biomasa, peso del músculo y peso de la masa visceral (gónada). Se realizó una prueba de Kruskal-Wallis que reveló diferencias altamente significativas ($p < 0.001$) en todos los parámetros de crecimiento analizados (Tabla 7), incluyendo las características morfológicas del ostión, los índices de condición fisiológicas y general, así como el rendimiento de carne, al comparar los grupos de ploidía, los sitios de cultivo y los días después de la siembra (DDS) en un periodo de cultivo de septiembre 2023 a mayo 2024. En estos resultados destacan la influencia constante de la ploidía y de las condiciones ambientales sobre el crecimiento del ostión a lo largo del ciclo del cultivo. Las variables mejor explicadas por el modelo fueron el peso total (χ^2 : 1489), el ancho (χ^2 : 1380) y la biomasa (χ^2 : 1371).

Las pruebas *post hoc* identificaron diferencias significativas relacionadas tanto con el sitio de cultivo como con la ploidía, especialmente al momento de la cosecha. Los ostiones cultivados en SD mostraron características de crecimiento superiores (como mayor altura y ancho de la concha) en comparación con los de LP, independientemente de la ploidía.

Tabla 7. Resultados de las pruebas de Kruskal-Wallis aplicadas independientemente a cada variable de crecimiento para evaluar diferencias entre grupos de ploidía, sitios de cultivo y combinaciones de días después de la siembra (DDS).

Variable	χ^2	gl	p
Longitud de concha	1283	23	<0.001
Altura de concha	1063	23	<0.001
Ancho de concha	1380	23	<0.001
Peso total	1409	23	<0.001
Biomasa	1371	23	<0.001
Peso del músculo aductor	139	11	<0.001
Masa visceral	150	11	<0.001
Índice de condición fisiológica	215	23	<0.001
Índice de condición general	207	23	<0.001
Rendimiento de carne	182	23	<0.001

Donde χ^2 corresponde al estadístico de prueba, gl representa los grados de libertad y p es el valor de significancia.

7.4.1 Características biométricas de la concha

Se realizó una prueba de rangos múltiples para identificar las diferencias específicas entre sitios de cultivo y ploidías para las variables de crecimiento de la concha (ANEXO), observándose diferencias significativas entre sitios y ploidías desde el cuarto muestreo, en longitud, altura y ancho de la concha, así como el peso total y la biomasa, siendo el día de la cosecha el más contrastante y significativo.

La longitud de los diploides de Santo Domingo (2nSD) fue mayor y presentó diferencias significativas con respecto a las demás ploidías (Figura 15A), mientras que los triploides de Santo Domingo (3nSD) fueron superiores en ancho y estadísticamente diferentes del resto (Figura 15C). La altura no mostró diferencias significativas entre 2nSD y 3nSD durante todo el ciclo de cultivo (Figura 15B). Por su parte los 3nLP fueron mayores en altura y ancho, mostrando diferencias significativas con respecto a los 2nLP (Figura 15B, C), aunque en la longitud no se detectaron diferencias significativas entre ploidías de LP (Figura 15A).

En el último muestreo, los 2nSD presentaron mayor longitud y fueron estadísticamente diferentes del resto de las ploidías, las cuales no mostrando diferencias significativas entre sí. En el ancho de la concha se observaron diferencias significativas entre todos los grupos, siendo los 3nSD los de mejor desempeño, seguidos en orden descendente por 2nSD, 3nLP, y 2nLP.

7.4.2 Peso total, biomasa, peso del músculo y masa visceral

En el estudio del peso total, biomasa, peso del músculo y masa visceral (gónada) de los ostiones, se encontraron diferencias significativas entre los distintos ambientes y niveles de ploidía (ANEXO D y ANEXO E). Los ostiones 3nLP presentaron un mayor peso total (Figura 16A), biomasa (Figura 16B) y peso del músculo (Figura 17A) en comparación con los 2nLP. En SD, no se encontraron diferencias significativas durante la mayor parte del ciclo de engorda entre ploidías en términos de peso total (Figura 16A), biomasa (Figura 16B), peso del músculo (Figura 17A) y masa visceral (Figura 17B).

No obstante, al momento de la cosecha en Santo Domingo, los 2nSD fueron mayores y mostraron diferencias significativas en biomasa y peso de gónada en comparación con los 3nSD (Figura 16B,

Figura 17B). Además, los ostiones 3n mostraron consistentemente un mayor peso del músculo en ambos sitios de cultivo (Figura 17A), siendo los 3nSD estadísticamente superiores respecto a las demás ploidías. Cabe mencionar que los 3nLP mostraron un peso de músculo aductor comparable al de los 2nSD, a pesar de que las condiciones ambientales en LP fueron más estresantes.

El mayor desarrollo del músculo en los ostiones 3n podría estar relacionado con el mayor ancho de la concha, ya que este órgano está sujeto a ambas valvas y se desarrolla justamente en la dirección del ancho de la concha. Y el mayor desarrollo de la masa visceral en los 2n, podría estar asociado a un mayor desarrollo gonádico.

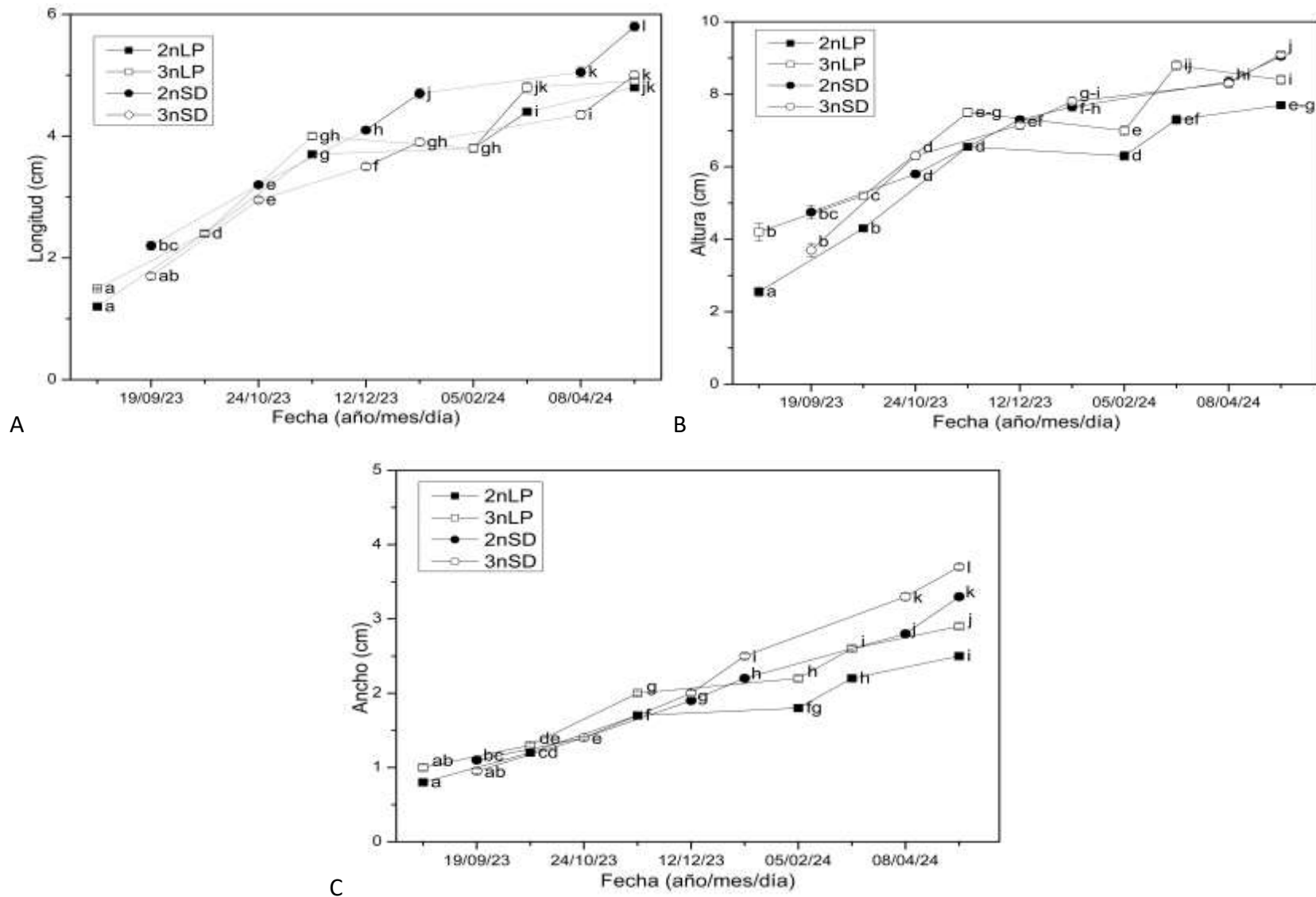


Figura 15. Crecimiento de la concha del ostión japonés diploide y triploide en La Paz y Santo Domingo, con respecto al tiempo (DDS). Medianas de longitud (12A), altura (12B) y ancho (12C).

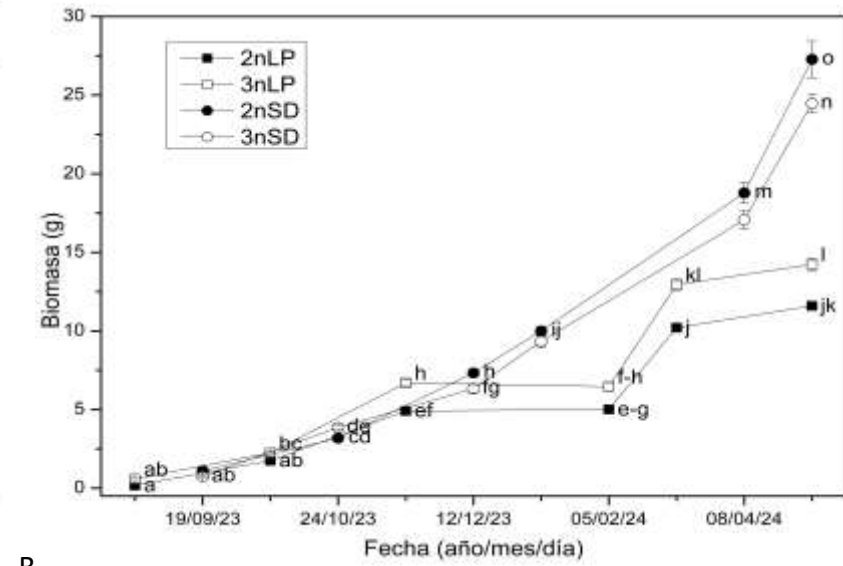
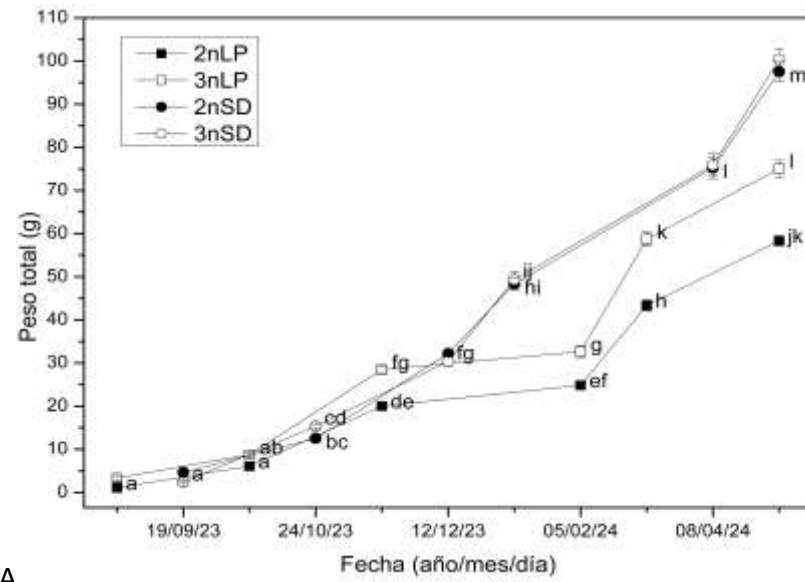
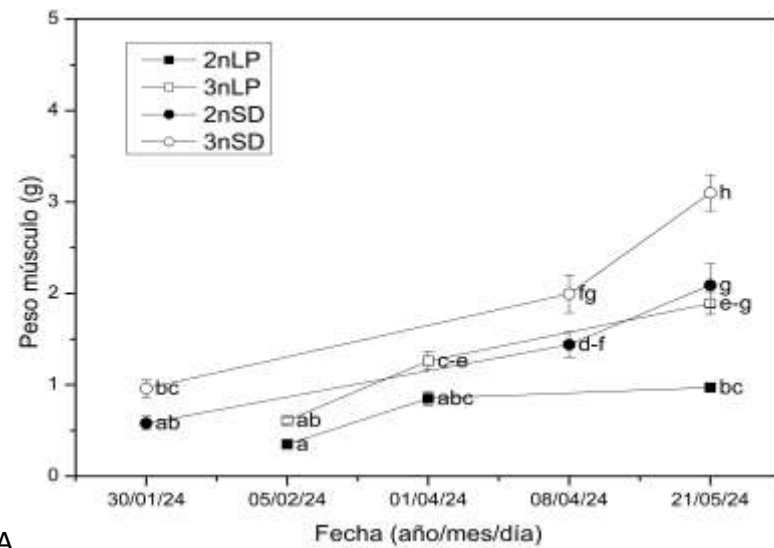
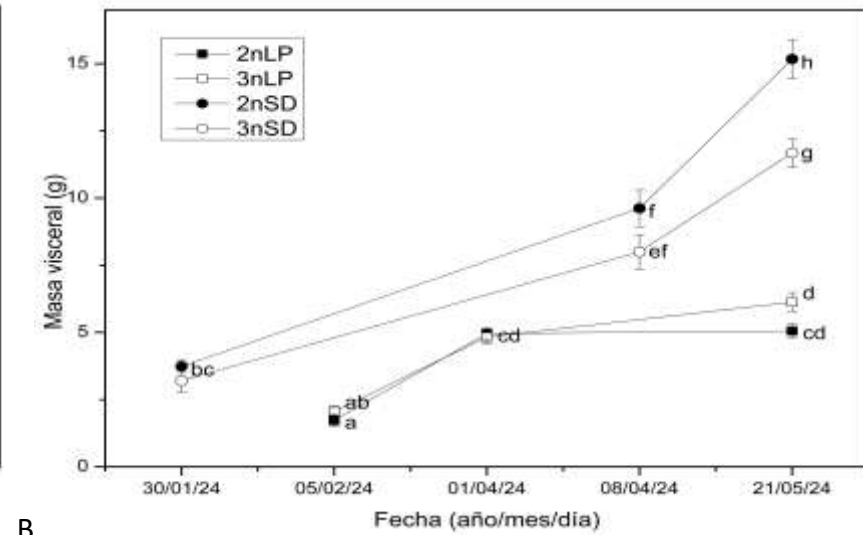


Figura 16. Medianas del peso total y biomasa de los ostiones diploides y triploides crecidos en La Paz y Santo Domingo.



A



B

Figura 17. Medianas graficadas del peso del músculo y de la masa visceral (gónada) de los organismos 2n y 3n.

7.4.3 Índice de condición fisiológica, índice de condición general y rendimiento de carne

Durante el ciclo de cultivo, en el análisis de estos indicadores se observaron diferencias significativas a lo largo del tiempo y de la ploidía en los dos últimos muestreos, donde los ostiones de Santo Domingo mostraron mayores índices y rendimiento, independientemente de su ploidía en comparación con los de La Paz (ANEXO E).

Los 3nSD mostraron inicialmente valores superiores en ICF y RC en comparación con los 2nSD. Sin embargo, hacia el final del ciclo esta tendencia se invirtió, con los 2n superando a los 3n en ambas variables (Figura 18A y C). En contraste, los 2nLP mantuvieron un ICG más alto durante la mayor parte del ciclo, mientras que los 3nLP presentaron un mejor desempeño en ICF hacia el final del experimento (Figura 18B). Las diferencias en RC entre ploidías en La Paz fueron menos pronunciadas, pero al finalizar el ciclo los 2n lograron un rendimiento ligeramente superior.

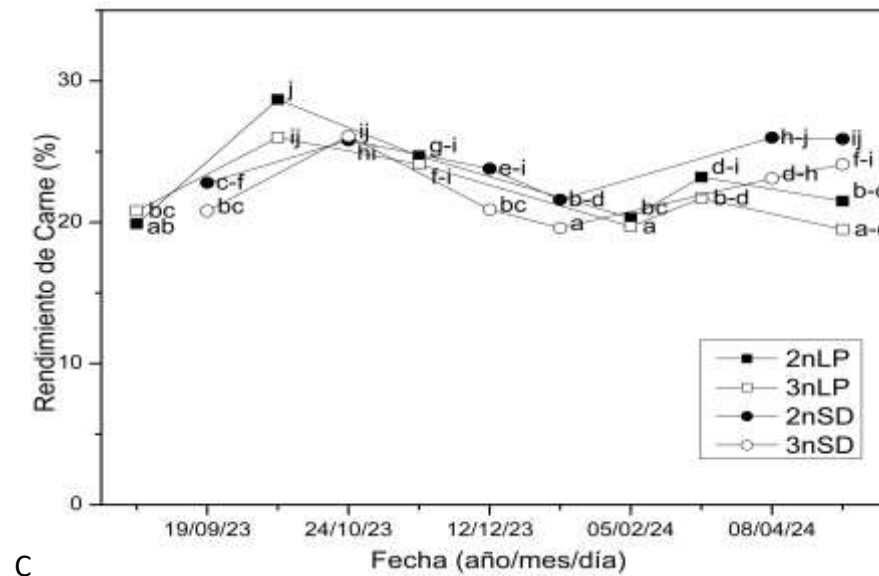
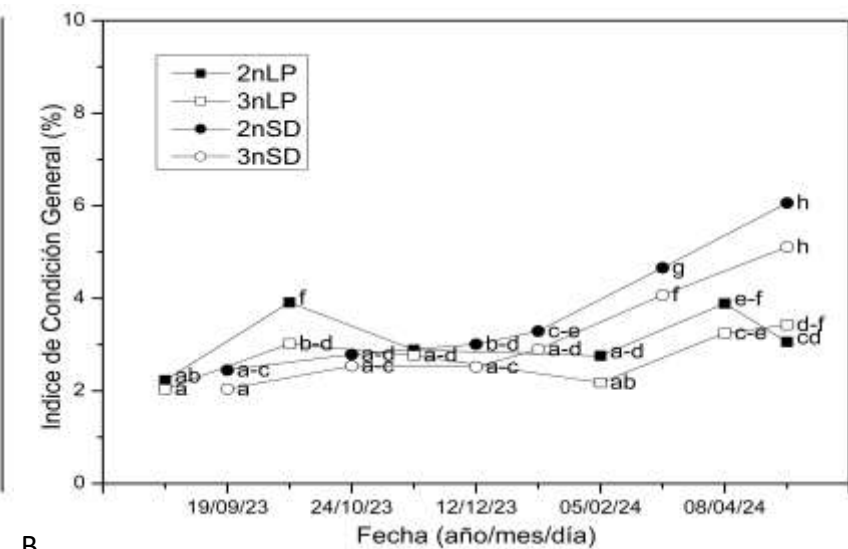
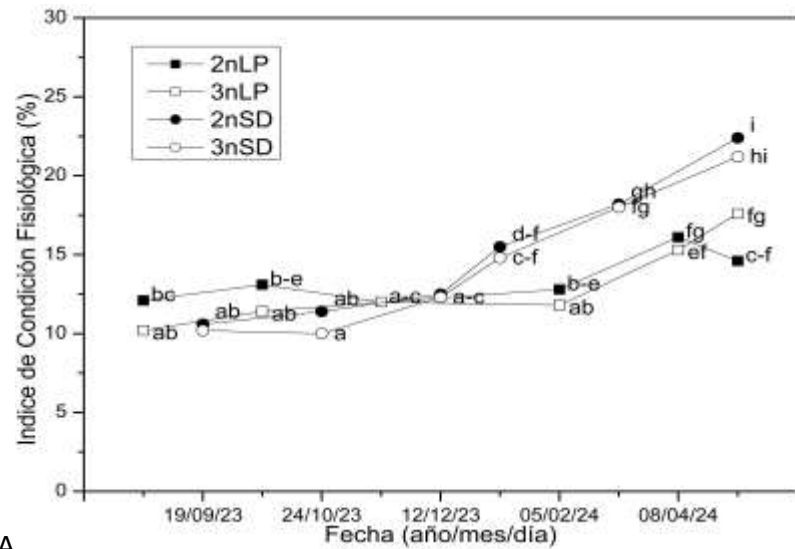


Figura 18. Índice de condición fisiológica, índice de condición general y rendimiento de carne a través del tiempo durante el ciclo de cultivo 2023-2024.q

7.5 Distribución de sexos

Los porcentajes (%) de proporción sexual variaron entre niveles de ploidía, sitios de cultivo y fechas de muestreo (Tabla 2; Tabla 8; Figura 19). En T01, todos los ostiones 2nLP fueron exclusivamente machos (100%, M, ♂), mientras que los 2nSD la mayoría permanecieron indeterminados (80%, I), con únicamente 10% ♂ y 10% hembras (F, ♀). Al mismo tiempo, los 3nLP presentó 70% ♂ y 30% ♀, mientras que en los 3nSD predominaron los I (90%) y 10% ♂.

En T02, la composición sexual en los 2nLP estuvo conformada por 55.2% ♂, 41.4% ♀ y 3.4% hermafroditas (H). En contraste, los 2nSD fueron completamente ♂ (100%). Para los 3nLP, se registraron 80% ♂, con 6.7% ♀ y 6.7% H; en 3nSD persistieron los individuos I (63.3%), seguidos por 36.7% ♂.

Para T03, lo 2n de ambos sitios fueron totalmente ♂(100%). Para los 3nLP, 93.1% fueron ♂ y 6.9% permanecieron I; mientras que en 3nSD los ♂ representan 63.3% y 36.7% I. en T04, tanto los 2nLP como los 2nSD continuaron con 100% ♂. En los 3nLP se registró igualmente 100% ♂, mientras que en los 3nSD se observó 66.7% ♂ y 33.3% I.

En T05, se observó mayor diversidad sexual. En los 2nLP, 66.7% correspondieron a ♂, 20% a ♀ y 13.3% H. En los 3nLP, 70% fueron ♂, 23.3 % ♀ y 6.7% H; mientras que en los 3nSD casi la totalidad fueron ♂ (96.7%), con 3.3 % H.

Para T06, ambas ploidías mostraron composiciones más amplias. En los 2LP se registraron 63.3% ♂ y 36.7% ♀; mientras que en los 3nLP se observaron 60.7% ♂, 17.9% ♀ y 21.4 H. Los 2nSD presentaron 66.7% ♂, 25.9% ♀ y 7.4% H; y los 3nSD mostraron 57.1% ♂, 32.1% ♀ y 10.7% H.

El análisis global de proporción sexual no mostró diferencias significativas entre ploidías ($\chi^2 = 0.249$; $p = 1$). Sin embargo, la prueba de Fisher encontró diferencias entre T01-T04 ($p < 0.001$) y T05 ($p = 0.026$), mientras que en T06 no se presentaron diferencias significativas ($p = 0.155$).

Tabla 8. Composición sexual de ostiones diploides (2n) y triploides (3n) de *C. gigas* en La Paz y Santo Domingo a lo largo del ciclo de cultivo (T01-T06)

Muestreo	Sitio	Ploidía	Sexo n (%)			
			♂	♀	H	I
T01	LP	2n	10 (100)			
		3n	7 (70)	3 (30)		
	SD	2n	1 (10)	1 (10)		8 (80)
		3n	1 (10)			9 (90)
T02	LP	2n	16 (55.2)	12 (41.4)	1 (3.4)	
		3n	24 (80)	2 (6.7)	2 (6.7)	2 (6.7)
	SD	2n	28 (100)			
		3n	11 (36.7)			19 (63.3)
T03	LP	2n	28 (93.3)			2 (6.7)
		3n	27 (93.1)			2 (6.9)
	SD	2n	30 (100)			
		3n	19 (63.3)			11(36.7)
T04	LP	2n	30 (100)			
		3n	29 (100)			
	SD	2n	30 (100)			
		3n	20 (66.7)			10 (33.3)
T05	LP	2n	20 (66.7)	6 (20.0)	4 (13.3)	
		3n	21(70)	7 (23.3)	2 (6.7)	
	SD	2n	25 (83.3)	4 (13.3)	1 (3.3)	
		3n	29 (96.7)		1 (3.3)	
T06	LP	2n	19 (63.3)	11 (36.7)		
		3n	17 (60.7)	5 (17.9)	6 (24.1)	
	SD	2n	18 (66.7)	7 (25.9)	2 (7.4)	
		3n	16 (57.1)	9 (32.1)	3 (10.7)	

LP: La Paz; SD: Santo Domingo; n: número de individuos; ♂: masculino/macho; ♀: femenino/hembra; H: hermafrodita; I: indiferenciado.

7.6 Distribución de los estadios gonádicos

El desarrollo gonadal mostró patrones temporales contrastantes entre ploidías y sitios de cultivo, observándose en los 2n un progreso más sincronizado en comparación a los 3n que se caracterizó por retrasos, irregularidad y desarrollo incompleto. Para el análisis se empleó el sistema de clasificación de estadios 0–V, sin separar por sexo, con el fin de obtener una visión integrada de la dinámica gonadal (Figura 20).

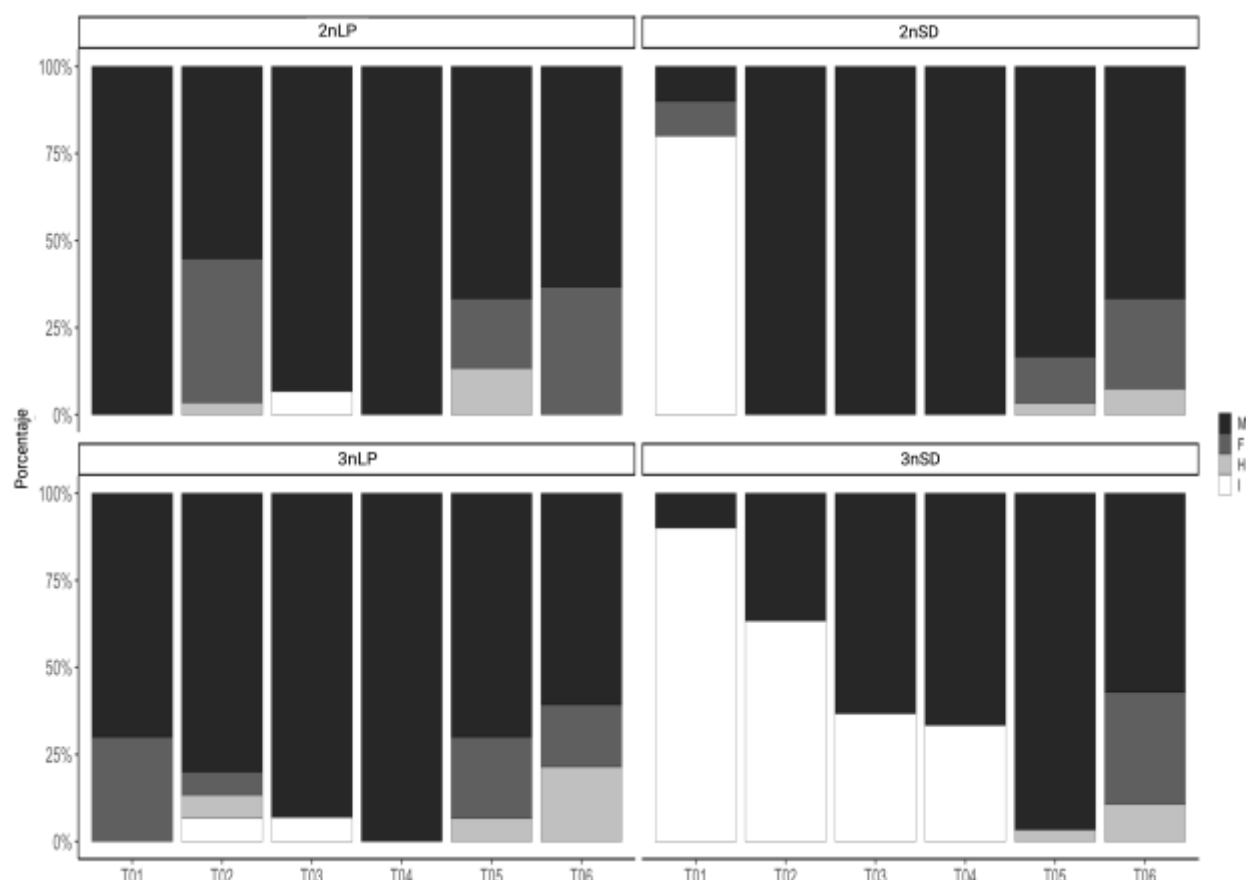


Figura 19. Distribución porcentual de sexos en ostiones 2n y 3n de *C. gigas* a lo largo de seis muestreos consecutivos (T01-T06) en LP y SD. La codificación en escala de grises corresponde a: I=indiferenciado (blanco), M=masculino/macho (negro), F = femenino/hembra (gris oscuro) y H = hermafrodita (gris claro).

En T01, los 3nSD permanecieron predominantemente en estadio 0 (inactivo), mientras que los 2nSD presentaron una mezcla de estadios 0–I (proliferación). Por su parte, los 3nLP se distribuyeron entre los estadios I–II (desarrollo temprano). En contraste, los 2nLP mostraron el desarrollo más avanzado, con respecto a todos los demás organismos ubicados en estadio III (maduración). En T02, los 2nSD permanecieron en estadios I–II, mientras que los 2nLP progresaron hacia II–III. Los 3n mantuvieron un desarrollo más retrasado: los 3nSD presentaron todavía una alta proporción de individuos en estadios 0–I, mientras que los 3nLP se mantuvieron mayoritariamente en I–II, con una fracción aún en 0.

En T03, los 2nLP y los 2nSD se ubicaron entre los estadios 0–II, con muy pocos organismos de LP en estadio 0. En contraste, los 3n de ambos sitios (LP y SD) mostraron un avance limitado, permaneciendo principalmente en estadios 0–I, con pocos organismos alcanzando el estadio II.

Entre T03 y T04, los 2nSD permanecieron en estadio I. Para T04, los 2nLP mostraron una distribución más amplia, desde estadios I, II y una proporción menor en V. Mientras, los 3nLP y los 3nSD presentaron escaso avance, restringiéndose casi por completo a I y 0, respectivamente.

En T05, los 2n presentaron el máximo pico de maduración observado en el ciclo: tanto los 2nLP como los 2nSD se distribuyeron entre los estadios II–III. En contraste, los 3nLP permanecieron limitados a estadios I y II, mientras que en 3nSD la mayoría alcanzaron el II y una menor proporción en III, con presencia de muy pocos en V, evidenciando un progreso gametogénico irregular pero detectable. Finalmente, en T06 los 2n se mantuvieron mayoritariamente en estadios avanzados, con 2nLP y 2nSD dominados por el estadio III. En este muestreo, los 3n presentaron la mayor heterogeneidad registrada: los 3nLP abarcaron desde I hasta V (sin presencia de IV) y en 3nSD se progresó predominantemente hacia II–V, sin organismos en estadio IV.

El análisis estadístico confirmó que no hubo diferencias globales en la representación de ploidías a lo largo de los muestreos (χ^2 , $p = 1$). Sin embargo, la prueba exacta de Fisher detectó diferencias significativas en la distribución de combinaciones sexo–estadio entre ploidías desde T01 hasta T05 ($p < 0.005$), reflejando la mayor frecuencia de gónadas inactivas, tempranas o regresivas en triploides. Para T06, las diferencias entre ploidías dejaron de ser significativas.

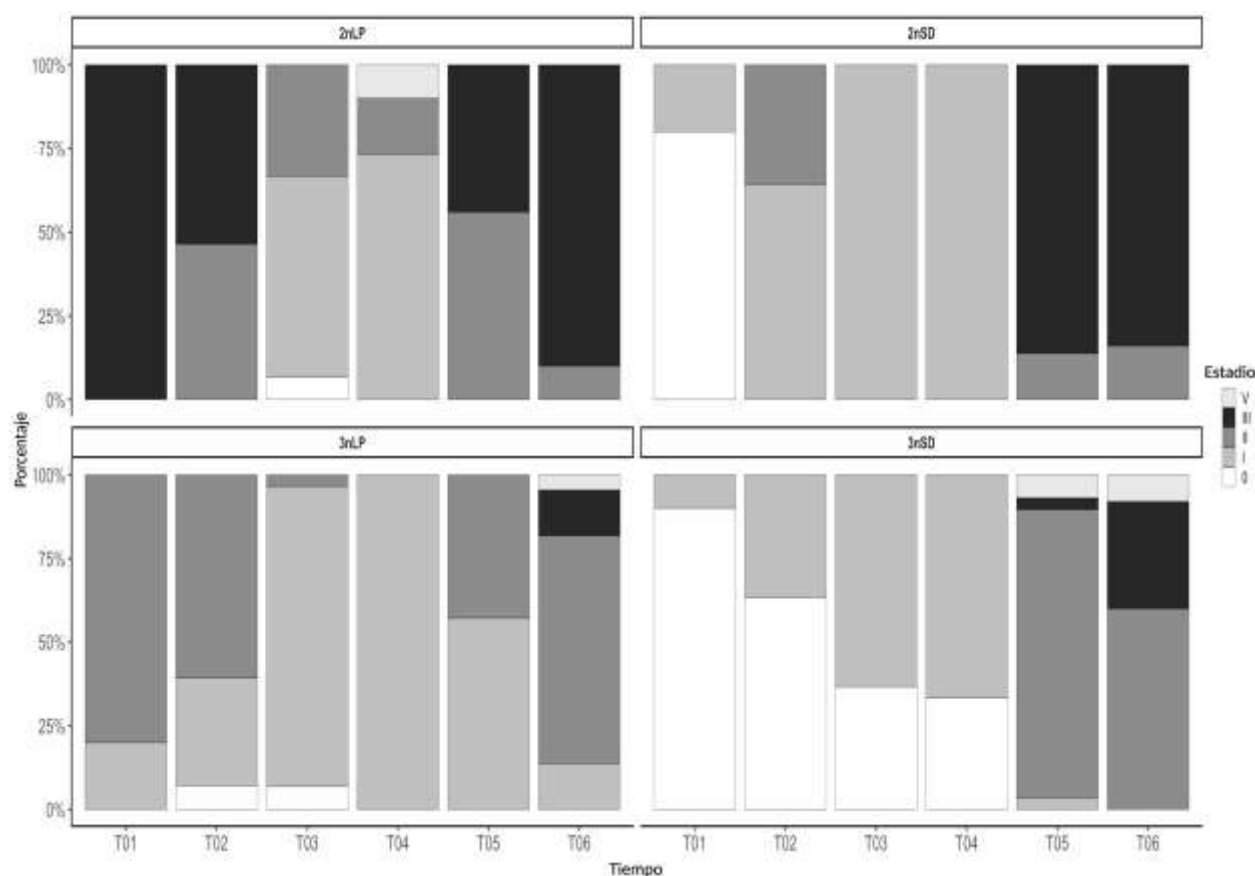


Figura 20. Distribución de los estadios de desarrollo gonádico (0–V) en *C. gigas* 2n y 3n durante los periodos de muestreo T01–T06 en LP y SD. Las barras representan la proporción de individuos en cada estadio: 0 (reposo, blanco), I (proliferación, gris), II (desarrollo temprano, gris medio), III (maduración, gris oscuro), IV (desove, gris carbón) y V (reabsorción, gris muy claro).

7.6.1 Desarrollo gonadal masculino y femenino

La progresión del desarrollo gonadal masculino (σ) difirió entre ploidías y sitios de cultivo a lo largo del tiempo (Figura 21). En general, los machos diploides ($2n\sigma$) alcanzaron estadios más avanzados en comparación con los triploides ($3n\sigma$), particularmente en SD (Figura 22). En T01, todos los $2nLP\sigma$ se encontraban en estadio III, mientras que los $3nLP\sigma$ se concentraron mayoritariamente en estadio II, con una fracción menor en I. En SD, tanto los $2n\sigma$ como $3n\sigma$ se mantuvieron restringidos a estadio I.

En T02, los $2nSD\sigma$ y $3nLP\sigma$ se distribuyeron entre los estadios I–II; sin embargo, los $2nLP\sigma$ y $3nLP\sigma$ mostraron mayor proporción en II, los $2nLP$ tuvieron presencia de organismos en estadio III; mientras que los $3nSD\sigma$ permaneció completamente en estadio I. Durante T03–T04, los $3nLP\sigma$

y 3nSD♂ se concentraron exclusivamente en estadio I, con presencia ocasional de estadio II únicamente en los 3nLP♂. En contraste, los 2n♂ de ambos sitios avanzaron de estadios I al II, y en los 2nLP♂ una proporción reducida alcanzó estadio V en T04.

Para T05, los 2n♂ de ambos sitios se ubicaron principalmente en estadios II–III, mientras que en los 3nLP♂ permaneció restringido a I–II. En los 3nSD♂ la distribución abarcó I–III y V, aunque persistió el predominio del estadio II. Finalmente, en T06, la mayoría de los 2n♂ en los dos sitios se mantuvieron en estadio III, con una proporción menor en II, mientras que los 3n♂ en ambos ambientes mostraron una dispersión amplia entre I–III y V, predominando el II.

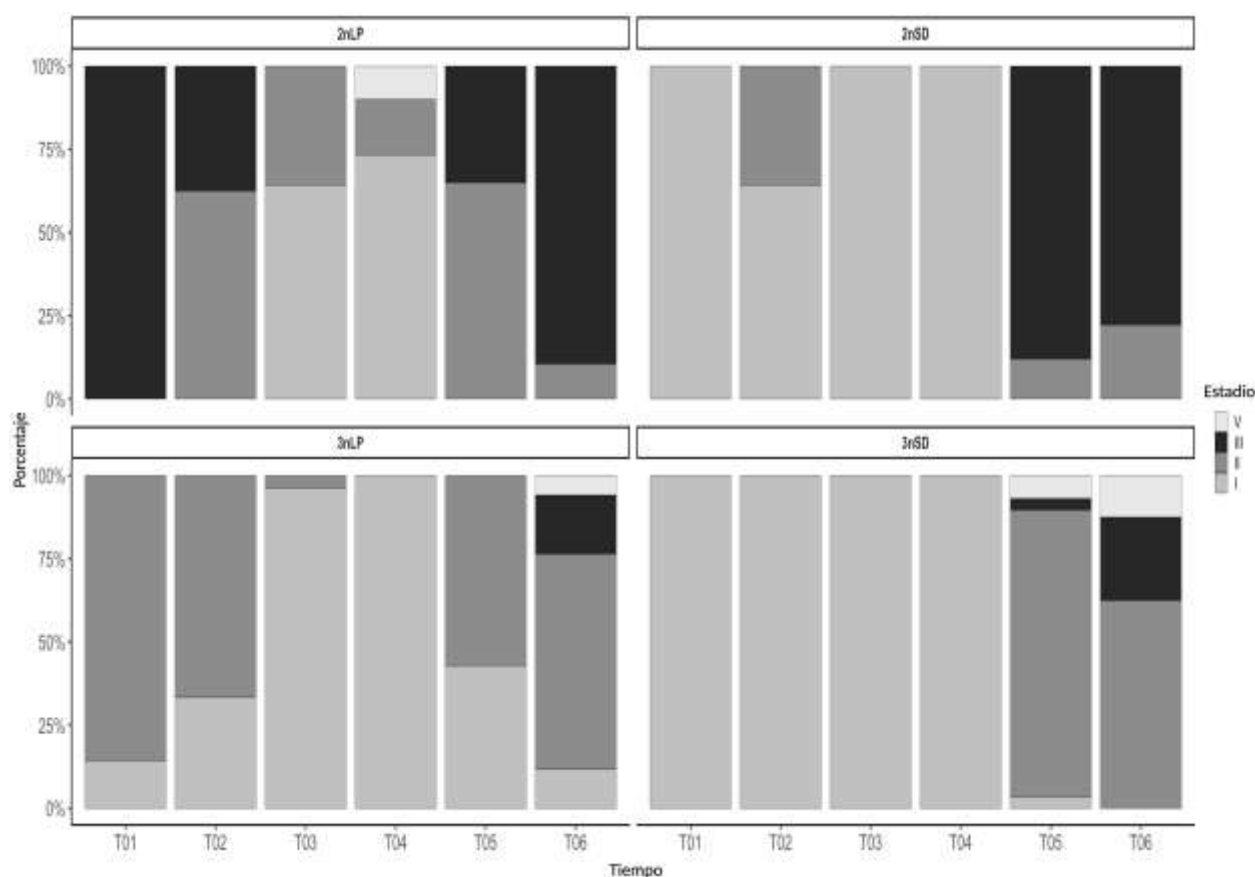


Figura 21. Distribución de los estadios de desarrollo gonadal (I–V) en machos diploides y triploides de *Crassostrea gigas* a lo largo de T01–T06 en LP y SD. Las barras representan los estadios I (gris claro), II (gris medio) y III (negro), V (gris muy claro).

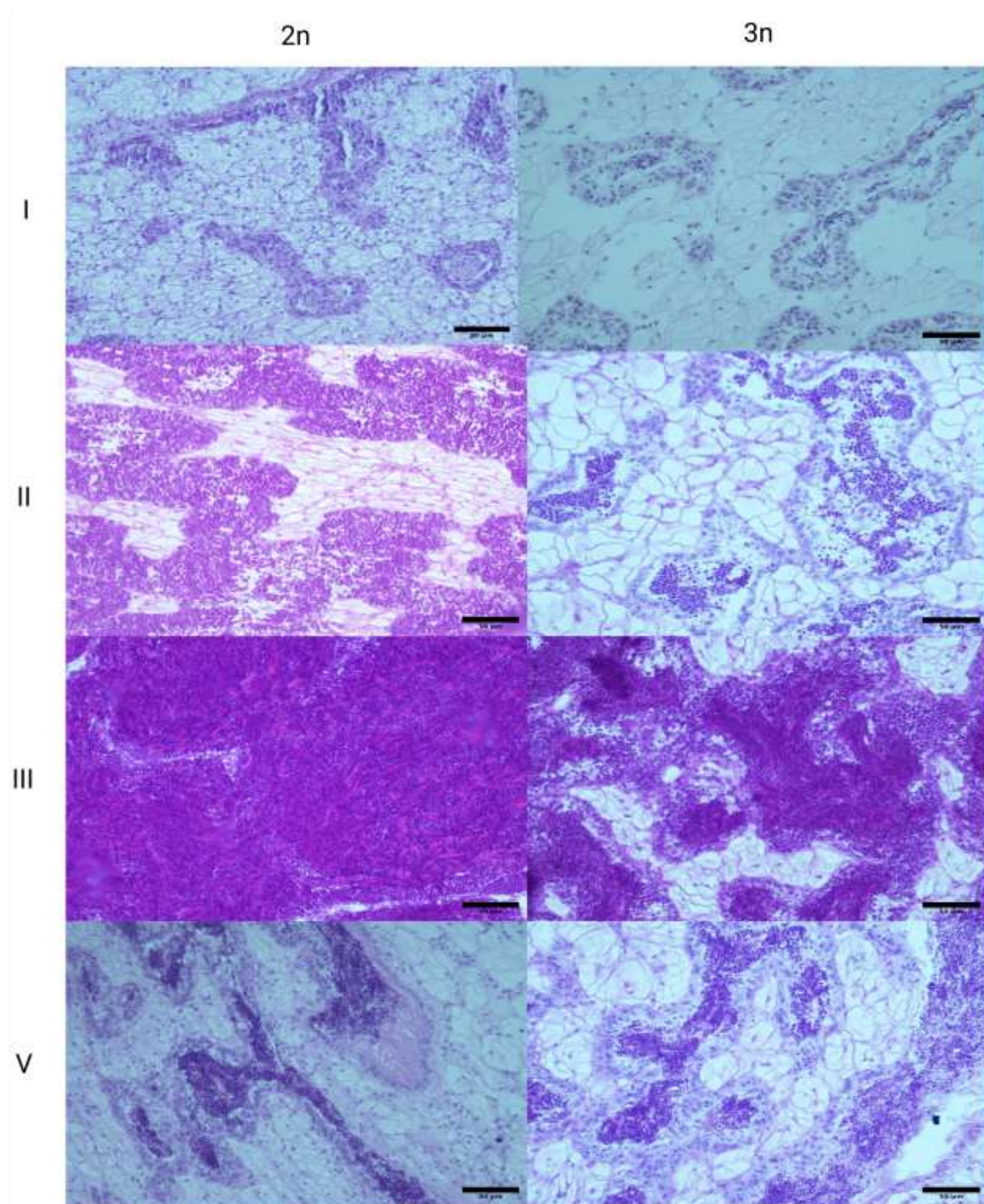


Figura 22. Microfotografías histológicas de secciones de tejidos gonadales masculinos de *C. gigas* 2n (izquierda) y 3n (derecha) teñidas con hematoxilina-eosina I. Se muestra de arriba hacia abajo los estadios I (proliferación), II (desarrollo temprano), III (maduración), V (reabsorción). Escala de barra del 50 μm . Magnificación a 40 $\times$.

Las hembras (♀) presentaron patrones contrastantes de desarrollo gonadal entre 2n y 3n en ambos sitios. En las 2nLP♀ y 2nSD♀ (en menor proporción) se observó una progresión estacional coherente, mientras que en 3n♀ su aparición fue más tardía, la frecuencia se mantuvo baja y la mayoría correspondió a tipo β (B), con muy pocas hembras tipo α (Figura 23; Figura 24).

En T01, las 3nLP♀ se localizaron principalmente en estadio II β (con algunos individuos en I β), mientras que en las 2nSD solo se registró una ♀ en estadio I. Teniendo ausencia de ♀ en 2nLP y 3nSD.

Para T02, las 2nLP♀ se ubicaron mayoritariamente en estadio III, con una proporción menor en II; en contraste, las 3nLP♀ se distribuyeron equitativamente entre I β y II β , mientras que en SD no se detectaron ♀ en ambas ploidías. Durante T03–T04 no se registraron hembras en ninguno de los sitios y ploidía.

En T05, las 2n♀ de ambos sitios se localizaron principalmente en estadios II–III, mientras que las 3nLP♀ se restringieron a estadio I β y no se observaron hembras en 3nSD. Finalmente, en T06 las 2nLP♀ y las 2nSD♀ se encontraban casi en su totalidad en estadio III, mientras que las 3nLP♀ se concentraron en estadio II (α y β), con presencia aislada de tipo I β y de un individuo II α . En las 3nSD♀ se observó distribución entre II β –III α , lo que confirma una maduración retardada y menos sincronizada en triploides.

Además, los hermafroditas se observaron en T02 (2nLP y 3nLP), T05 (en todos los grupos) y T06 (excepto 2nLP). Los 3nH correspondieron al tipo I, caracterizados por una mayor presencia de gametos masculinos respecto a ovocitos, o bien, por la presencia exclusiva de ovocitos tipo β (Figura 25). Esto indica una condición funcional orientada principalmente hacia la espermatogénesis, con desarrollo limitado o irregular.

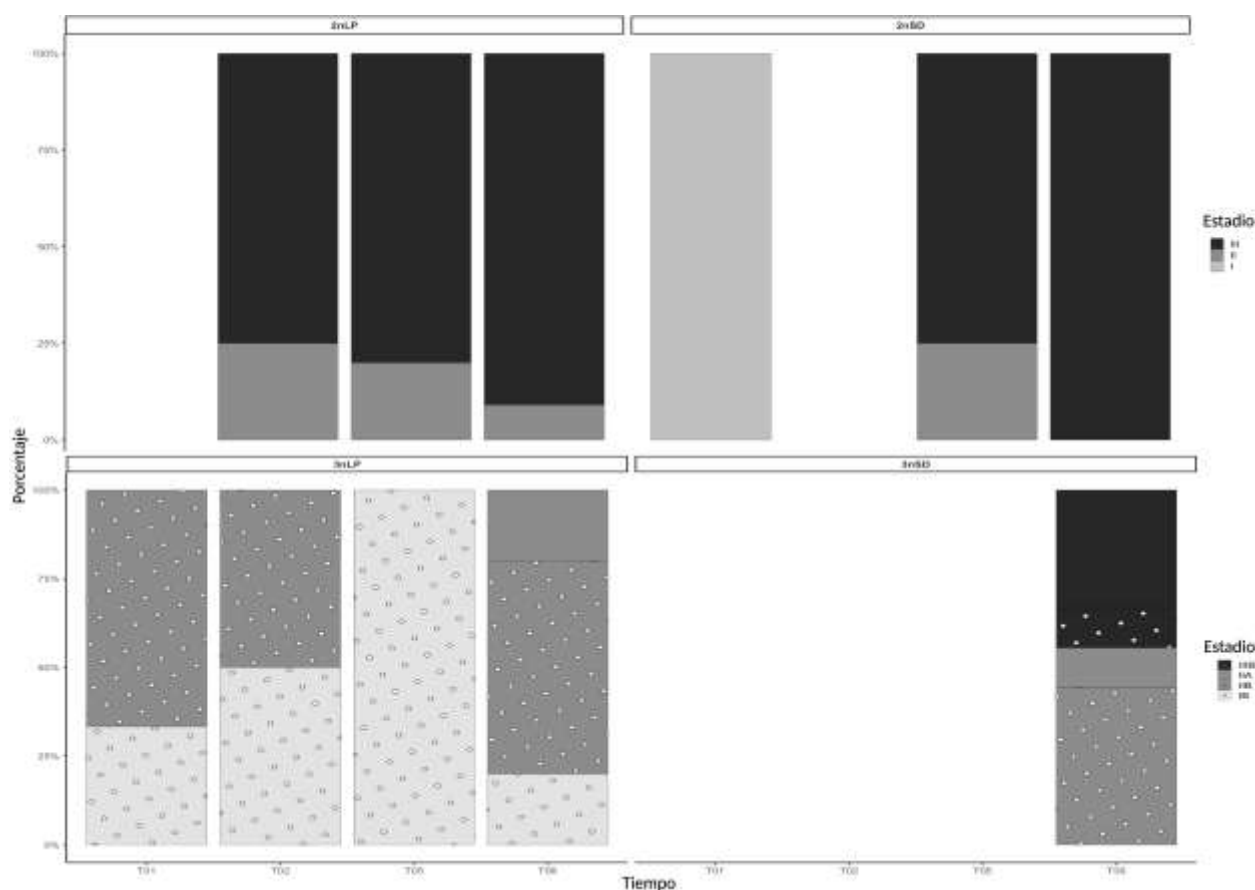


Figura 23. Distribución de los estadios de desarrollo gonadal (I–V) en hembras 2n y 3n *C. gigas* durante T01–T06 en LP y SD. En 2n, los estadios se representan en escala de grises: I (gris claro), II (gris medio) y III (negro). En 3n, los estadios se dividen en dos tipos histológicos: A (α , relleno sólido) y B (β , tramado). IA/IB: gris claro, IIA/IIB: gris medio, IIIA/IIIB: negro.

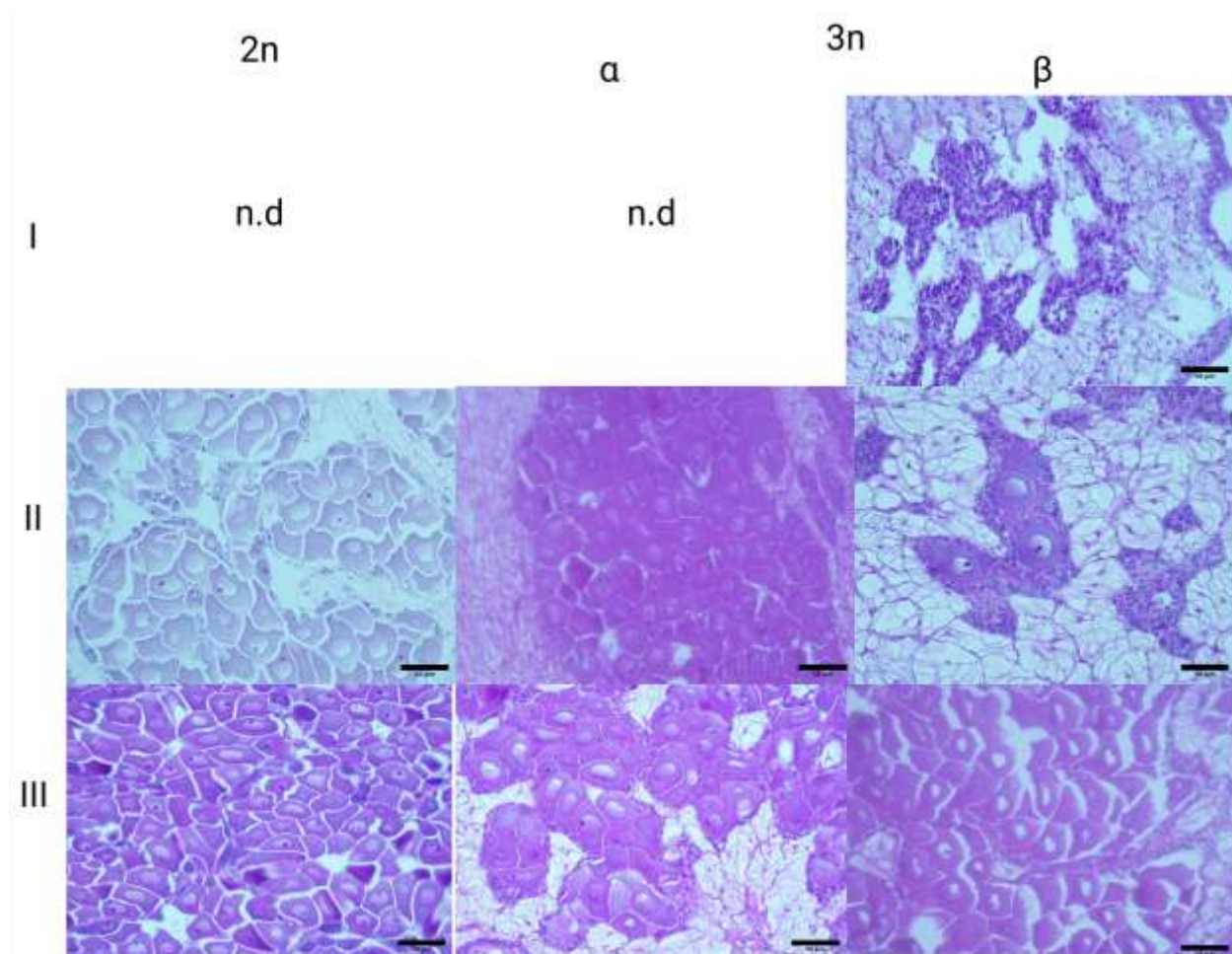


Figura 24. Microfotografías histológicas de secciones de tejidos gonadales femeninos de *C. gigas* 2n (izquierda) y 3n (α , centro; β , derecha) teñidas con hematoxilina-eosina I. Se muestra de arriba hacia abajo los estadios I (proliferación), II (desarrollo temprano), III (maduración), n.d. = no disponible. Escala de barra del 50 μ m. Magnificación a 40 $\times$.

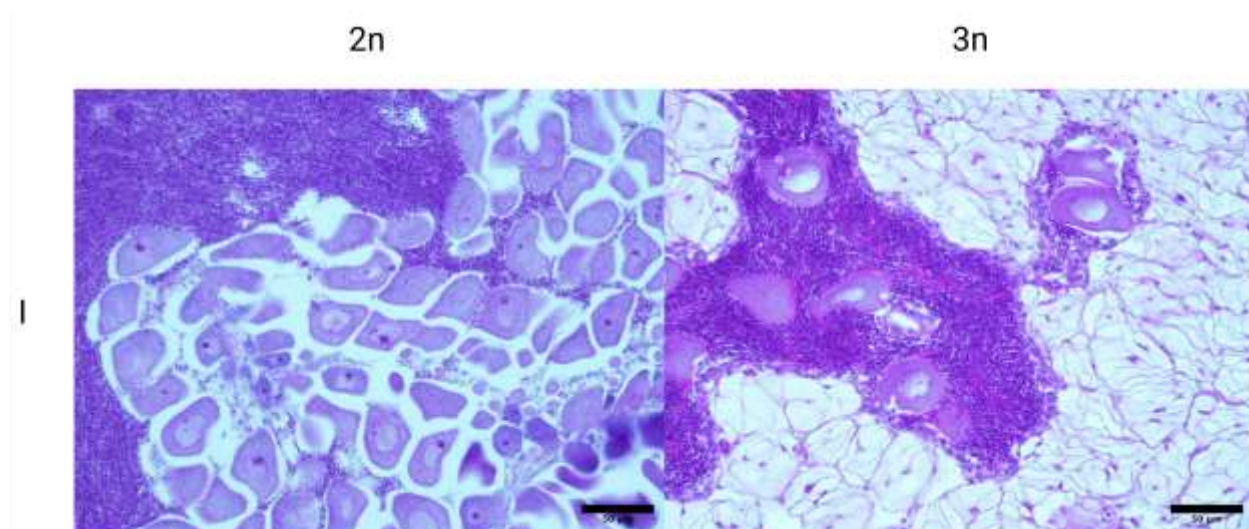


Figura 25. Microfotografías histológicas de secciones de tejidos gonadales hermafroditas de *C. gigas* 2n (izquierda) y 3n (derecha) teñidas con hematoxilina-eosina. Escala de barra del 50 μm . Magnificación a 40 $\times$.

7.7 Área de Cobertura Gonádica

Se detectaron diferencias significativas en el área de cobertura gonádica (ACG) entre ploidías en todos los periodos de muestreo. Durante T01–T04, los organismos 2nLP y 2nSD presentaron valores de ACG significativamente superiores respecto a los 3nLP y 3nSD (Figura 26), los cuales mostraron un desarrollo gonadal mínimo o nulo.

En T03, T04 y T06 se observó un gradiente marcado en el desarrollo gonadal (2nLP > 2nSD > 3nLP > 3nSD). En los dos muestreos finales (T05–T06), los 2nLP y 2nSD alcanzaron valores superiores de %ACG (>70%), mientras que ambas ploidías 3n se mantuvieron por debajo del 25%. La similitud en los valores entre los 2nLP y 2nSD contrastó con los valores consistentemente menores registrados en 3n durante todo el ciclo de cultivo.

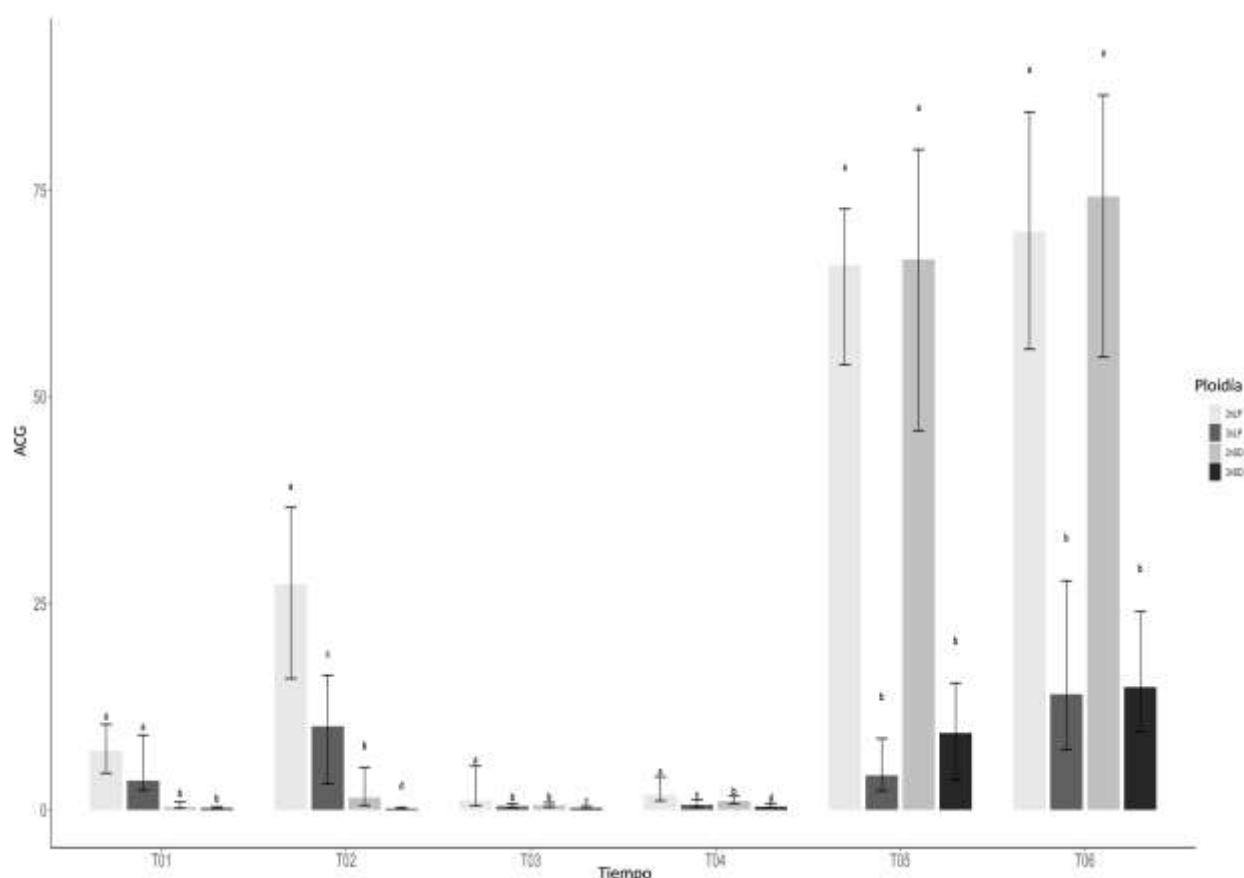


Figura 26. Variación temporal del área de cobertura gonádica (ACG) de *C. gigas* 2n y 3n en LP y SD. Las barras representan la mediana $\pm$ rango intercuartil (IQR) en cada muestreo (T01–T06). Los grupos están representados por 2nLP (gris muy claro), 3nLP (gris oscuro), 2nSD (gris medio), 3nSD (negro).

7.7.1 Área de cobertura gonádica (ACG) en machos y hembras 2n y 3n.

El comportamiento del área de cobertura gonádica (ACG) y el desarrollo gonadal específico por sexo fueron analizados de forma independiente para ♂ y ♀ en ambas ploidías y sitios de cultivo. En general, el ACG en ♂ presentó variación temporal asociada al estadio gonadal, con incrementos progresivos más notorios en 2n♂ respecto a 3n♂, particularmente en LP (Figura 27).

En T01, el mayor ACG correspondió a los 2nLP♂ (III=7.1%), seguido de los 3nSD♂ (I= 3.4%), los 3nLP♂ (II=3.34 %) y 2nSD♂ (I=0.25%), no se obtuvieron diferencias internas para ninguna ploidía. Para T02, se registraron aumentos definidos entre estadios, los 2nLP♂ mostró incremento entre estadio II a III (24.6 a 29.6%; $p = 0.0315$). Los 3nLP♂ presentaron un aumento más marcado (I=2.6%

a II=14.7; $p<0.001$). En los 2nSD σ también ocurrió ascenso de estadio I a II (0.65 a 6.89%; $p<0.001$), mientras que los 3nSD σ permanecieron en estadio I (0.26).

En T03, el progreso en madurez gonádica se mantuvo en LP, donde los 2nLP σ registraron aumento de ACG entre estadio I a II (0.70 a 8.82%; $p>0.001$), en los 3nLP σ la variación fue contrastante (0.45 a 49.0%; $p=0.003$), siendo el valor más elevado para los 3n σ . Mientras que en SD σ ambas ploidías permanecieron con un ACG bajo ($\leq 0.56\%$ en estadio I) sin evidencia de avance. Durante T04, los 2nLP σ mostraron incremento de ACG y estadio desde I (1.58%) a II (11.8%) y V (2.39%) ($p<0.05$), mientras que las demás ploidías permanecieron en estadio I ($<1.2\%$).

Durante T05, los mayores valores correspondieron a 2n. Los 2nLP σ presentaron ACG elevado en estadio II (68.1%) y III (60.3%), sin diferencias internas detectables. Los 2nSD σ mostraron un comportamiento similar (II=60.8%; III=71.7%). En los 3nLP σ se detectó un incremento de estadio I a II (2.9 a 8.61%; $p<0.001$), mientras que en los 3nSD σ se observaron múltiples estadios contrastantes (I=3.4%; II=9.7%; III=68.1%; V=2.0%), con diferencias significativas ($p<0.05$).

Finalmente, en T06, los mayores valores se observaron nuevamente en 2n: los 2nLP σ (II=79.2%; III=81.0%) y 2nSD σ (II=61.1%; III=84.7%). En los 3nLP σ el ACG aumentó progresivamente (I=5.2% a II=14.7% y III=23.0%), con diferencias significativas entre estadio I vs II/III ($p<0.001$). Los 3nSD σ mantuvieron valores reducidos y sin variación estadística (II=22.0%; III=19.6%; V=15.1%).

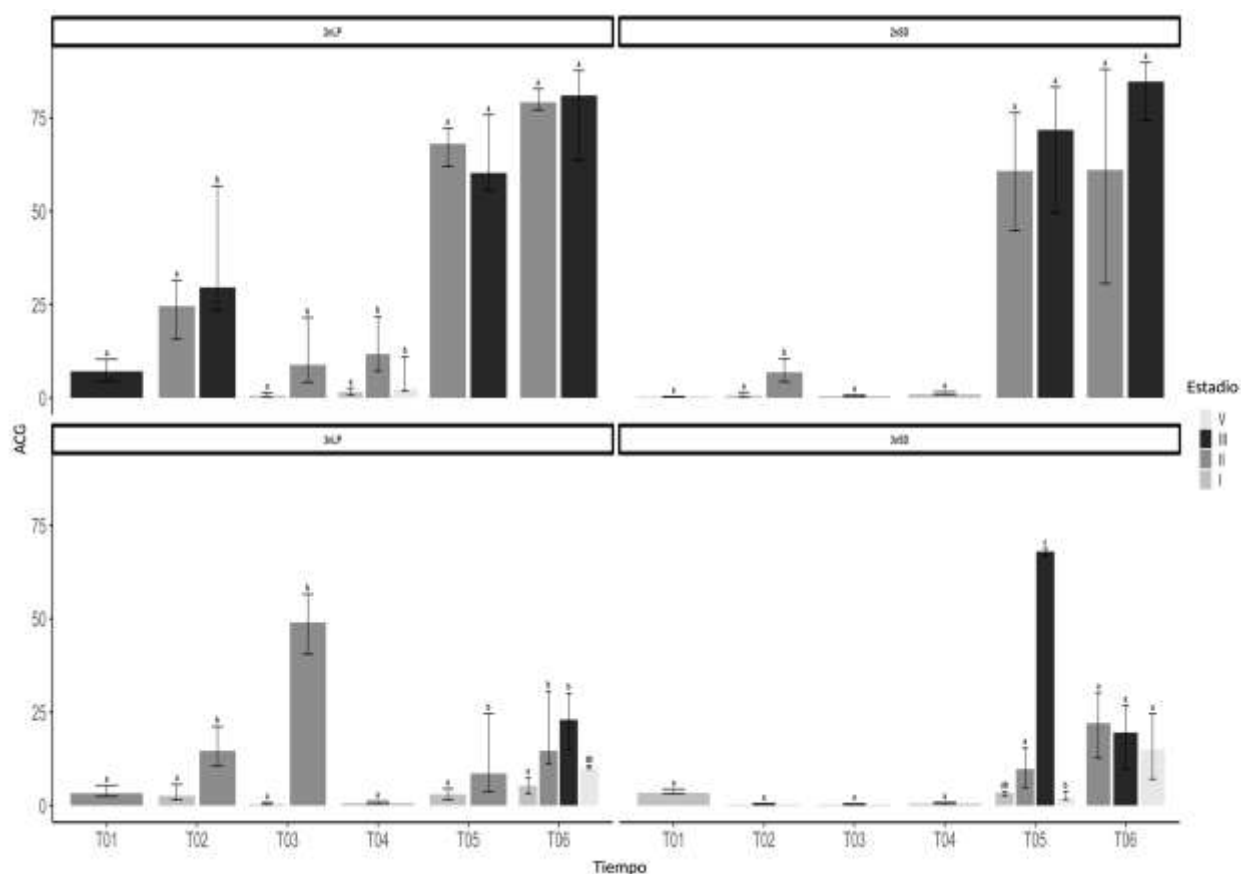


Figura 27. Variación temporal del área de cobertura gonádica (ACG) de *C. gigas* machos (♂) y hembras (♀) en LP y SD para organismos 2n y 3n. Las barras representan los estadios gonádicos (I–V) registrados en cada periodo de muestreo (T01–T06). Siendo los estadios I (gris claro), II (gris medio) y III (negro), V (gris muy claro).

El ACG en ♀ se evaluó por muestreo (T01–T06) considerando ploidía, sitio y estadio-tipo (A/ α ; B/ β). Se observaron ♀ de manera intermitente a lo largo del ciclo, y su distribución mostró agrupamientos puntuales por estadio (Figura 28). En T01, los valores de ACG de las 3nLP♀ fueron similares entre IB (11.3%) y IIB (4.86%), sin diferencias estadísticas. Para las 2nSD♀, el ACG correspondió únicamente al estadio I (2.94%), mientras que no se detectaron ♀ en las 2nLP ni 3nSD. En T02, las ♀ se presentaron exclusivamente en LP. En las 2nLP♀, el ACG aumentó entre estadio II hacia III (11.7% a 33.9%; $p < 0.001$), constituyendo la primera diferencia significativa registrada. En contraste, las 3nLP♀ se mantuvieron en estadios tempranos tipo- β con valores inferiores y diferenciación interna entre IB (2.73%) y IIB (15.0%; $p < 0.05$). Mientras que en SD no registraron hembras en ninguna ploidía. Durante T03 y T04 no se registró presencia de ♀ en ninguna ploidía o sitio.

En T05, las hembras reaparecieron únicamente en LP, mostrando aumentos en las 2nLP♀ (II=36.6%; III=48.1%; $p<0.05$) y 2nSD♀ (II=25.4%; III=65.9%; $p<0.05$), mientras que en las 3nLP se mantuvieron en estadio IB (3.55%) sin progresión a estadios superiores. Finalmente, en T06 las mayores coberturas correspondieron nuevamente a 2n, principalmente en estadio III para las 2nLP♀ (III=64.2%; II=49.8%, sin diferencias internas) y 2nSD♀ (III=48.4%). En contraste, las 3nLP♀ registraron valores bajos–moderados y sin diferencias entre IB (0.95%), IIA (5.88%) y IIB (6.98%). Para las 3nSD♀, el ACG fue más heterogénea con valores diferenciados entre IIB (6.08%), IIA (12.8%) y aumento significativo en IIIA (23.3%; $p<0.05$), mientras que IIIB (12.4%) se mantuvo en intervalos intermedios sin diferenciación estadística respecto a IIA/IIIB.

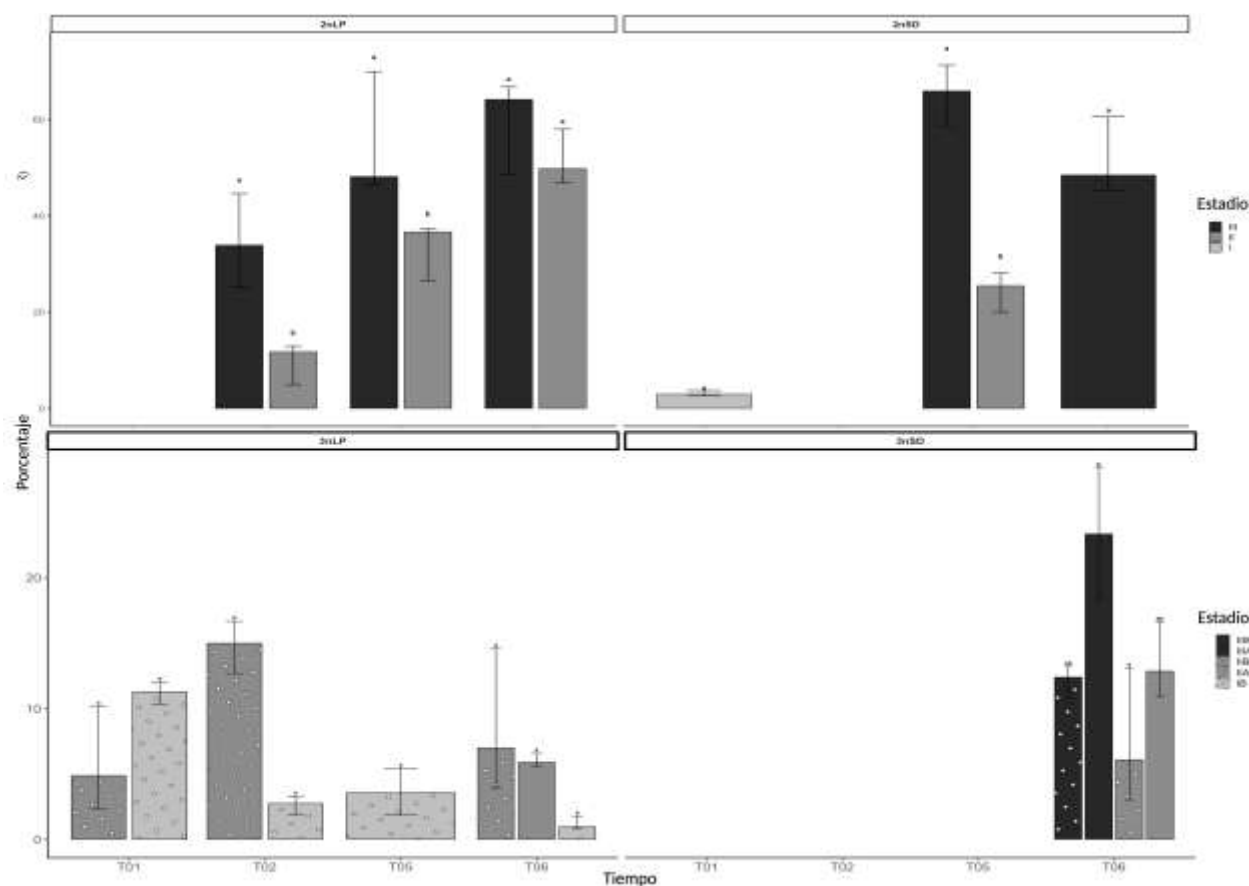


Figura 28. Variación temporal del área de cobertura gonádica (ACG) en hembras (♀) de *C. gigas* para 2n y 3n en LP y SD. Las barras representan estadios reproductivos (I–V) y subdivisión por tipo (A/α y B/β) en los muestreos T01–T06. En 2n, los estadios se representan en escala de grises: I (gris claro), II (gris medio) y III (negro). En 3n, los estadios se dividen en dos tipos histológicos: A (α, relleno sólido) y B (β, tramado). IA/IB: gris claro, IIA/IIIB: gris medio, IIIA/IIIB: negro.

7.8 Bioquímica en tejidos

7.8.1 Bioquímica en tejido blando (ENT)

El contenido total de carbohidratos (CHO, mg g^{-1}) en el cuerpo completo mostró variaciones significativas entre ploidías y entre periodos de muestreo (Figura 29). En T01, los valores más altos correspondieron a 2nLP ($\approx 101 \text{ mg g}^{-1}$), mientras que los 2nSD, 3nLP y 3nSD registraron concentraciones bajas y comparables ($< 40 \text{ mg g}^{-1}$). Para T02, los niveles de CHO incrementaron en todas las ploidías, destacando los 3nLP con los valores más elevados ($\approx 71 \text{ mg g}^{-1}$), seguido de los 3nSD y 2nSD ($\approx 56\text{--}58 \text{ mg g}^{-1}$); tanto los 3nLP como 3nSD fueron significativamente superiores a 2nLP ($\approx 30 \text{ mg g}^{-1}$), en tanto que los 2nSD presentaron valores intermedios sin diferencias estadísticas frente a 2nLP ni respecto a los grupos triploides.

Hacia T03 no se detectaron diferencias significativas entre ploidías, con concentraciones similares ($\approx 75\text{--}90 \text{ mg g}^{-1}$). En T04 se observó un incremento generalizado del CHO en todos los grupos, destacando 2nSD con el valor más alto ($\approx 288 \text{ mg g}^{-1}$), seguido de 3nSD ($\approx 211 \text{ mg g}^{-1}$), mientras que 2nLP y 3nLP permanecieron en rangos inferiores (≈ 147 y 160 mg g^{-1} , respectivamente). Durante T05, los 2nLP disminuyeron hasta $\approx 100 \text{ mg g}^{-1}$, mientras que los 2nSD, 3nLP y 3nSD conservaron concentraciones elevadas ($\approx 190\text{--}220 \text{ mg g}^{-1}$) sin evidenciar diferencias significativas entre ellas.

Finalmente, en T06 todas las ploidías mostraron un incremento marcado, siendo 3nSD el grupo con mayores valores ($\approx 580 \text{ mg g}^{-1}$), seguido por 3nLP ($\approx 473 \text{ mg g}^{-1}$), 2nSD ($\approx 454 \text{ mg g}^{-1}$) y 2nLP ($\approx 424 \text{ mg g}^{-1}$). Únicamente 3nSD presentó diferencias significativas con respecto a 2nLP en este último muestreo.

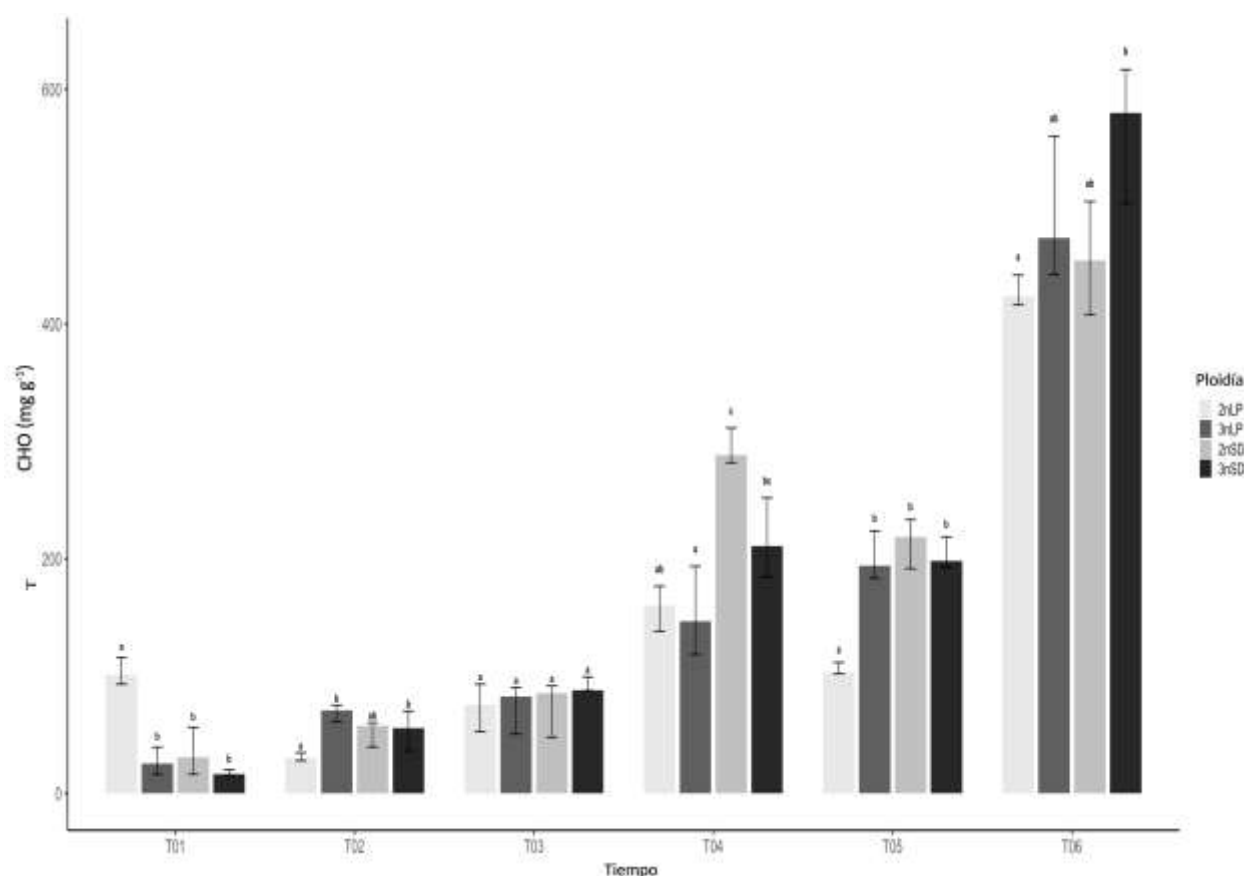


Figura 29. Contenido total de carbohidratos (CHO, mg g⁻¹) en cuerpo completo durante los muestreos T01–T06 en 2n y 3n *C. gigas* en LP y SD.

El contenido total de lípidos (LT, mg g⁻¹) en el cuerpo completo mostró variación temporal durante el periodo experimental, con cambios diferenciales entre ploidías a lo largo de los muestreos (Fig. 30). En T01–T02, los niveles de LT se mantuvieron relativamente estables entre tratamientos (≈30–77 mg g⁻¹), sin diferencias estadísticas entre ploidías. Para T03 se observó un incremento moderado, destacando 2nSD con la mediana más alta (≈85 mg g⁻¹), significativamente superior a 2nLP (≈55 mg g⁻¹), mientras que 3nLP y 3nSD presentaron valores intermedios (≈71–72 mg g⁻¹) sin diferencias significativas.

En T04 ocurrió un aumento marcado de LT en todas las ploidías, con 2nSD alcanzando la concentración más elevada (≈196 mg g⁻¹), seguido de 3nSD (≈150 mg g⁻¹). Ambas fueron significativamente mayores que 2nLP (≈51 mg g⁻¹), mientras que 3nLP (≈59 mg g⁻¹) permaneció sin diferencia con respecto a 2nLP. Para T05, las concentraciones se mantuvieron altas (≈188–252 mg g⁻¹), registrándose el valor más elevado en 3nSD (≈252 mg g⁻¹), el cual fue significativamente

distinto de 2nLP ($\approx 188 \text{ mg g}^{-1}$). Las ploidías 2nSD y 3nLP presentaron valores intermedios que no difirieron estadísticamente.

En T06 los LT disminuyeron en comparación con T04–T05, aunque se mantuvieron en rangos elevados. 2nLP registró la concentración más alta ($\approx 108 \text{ mg g}^{-1}$), mientras que 2nSD y 3nSD presentaron valores intermedios ($\approx 77\text{--}85 \text{ mg g}^{-1}$), sin diferencias significativas respecto a 2nLP. Por el contrario, 3nLP mostró el valor más bajo ($\approx 51 \text{ mg g}^{-1}$), significativamente menor que 2nLP.

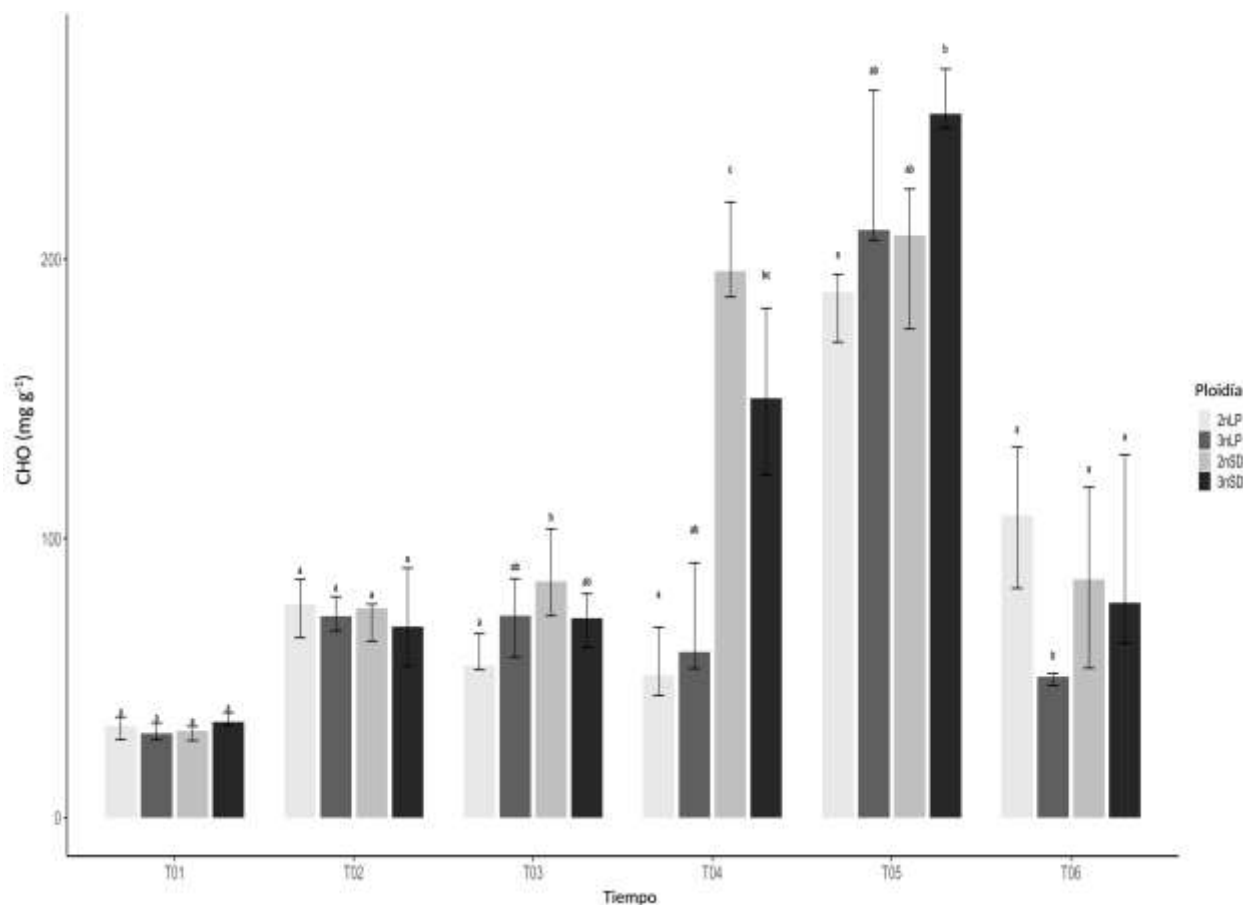


Figura 30. Contenido total de lípidos (LT, mg g^{-1}) en cuerpo completo durante T01–T06 para ostiones 2n y 3n en LP y SD.

El contenido total de proteínas (PT, mg g^{-1}) en el cuerpo entero mostró un patrón estacional marcado, sin diferencias consistentes entre niveles de ploidía (Figura 31). En T01, los valores de PT fueron moderados y estadísticamente similares entre ploidías, con un rango aproximado de $216\text{--}265 \text{ mg g}^{-1}$. Para T02, las concentraciones de PT aumentaron en todas las ploidías, alcanzando $\approx 380 \text{ mg g}^{-1}$ en 2nLP y $\approx 338\text{--}347 \text{ mg g}^{-1}$ en las restantes, sin diferencias significativas

entre ellas. En T03, los valores se mantuvieron comparables entre ploidías ($\approx 260\text{--}320\text{ mg g}^{-1}$), nuevamente sin detectarse diferencias estadísticas.

En T04 se observó un incremento marcado, con niveles elevados de PT en todos los grupos ($\approx 809\text{--}998\text{ mg g}^{-1}$), aunque sin diferencias significativas entre ploidías. Para T05, las concentraciones permanecieron altas en todos los tratamientos ($\approx 689\text{--}782\text{ mg g}^{-1}$), con valores ligeramente superiores en 3nSD y 2nLP, pero sin diferencias detectadas en las comparaciones post hoc. En T06, los niveles de PT disminuyeron de forma moderada respecto a T04–T05, aunque continuaron siendo elevados ($\approx 560\text{--}659\text{ mg g}^{-1}$), sin diferencias significativas entre ploidías.

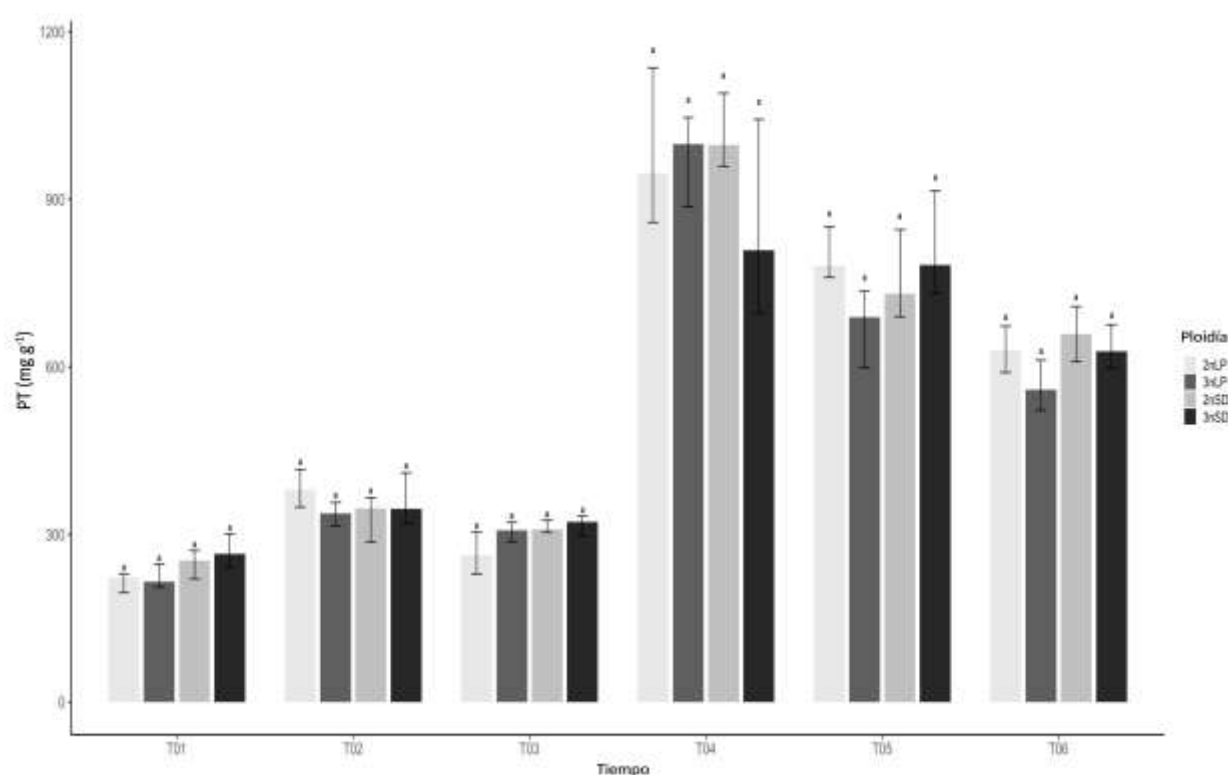


Figura 31. Contenido total de proteínas (PT, mg g^{-1}) en cuerpo completo durante T01–T06 para ostiones 2n y 3n en LP y SD. Bioquímica en masa visceral (GON).

7.8.2 Bioquímica en masa visceral (GON).

El contenido de CHO en GON mostró un incremento marcado entre T04 y T05, para posteriormente estabilizarse hacia T06 (Figura 32). En T04, las concentraciones de CHO se mantuvieron relativamente bajas en todos los niveles de ploidía ($\approx 43\text{--}81\text{ mg g}^{-1}$). Donde 2nSD

registraron los valores más altos ($\approx 81 \text{ mg g}^{-1}$), significativamente superiores a 3nLP, mientras que 2nLP y 3nSD presentaron concentraciones intermedias, diferenciándose al menos de uno de los grupos restantes. Para T05, 2nLP se mantuvieron con el nivel más bajo ($\approx 97 \text{ mg g}^{-1}$), significativamente inferior a 2nSD, 3nLP y 3nSD ($\approx 189\text{--}223 \text{ mg g}^{-1}$), entre los cuales no se observaron diferencias estadísticas. En T06, el contenido de CHO permaneció elevado en todos los grupos ($\approx 158\text{--}188 \text{ mg g}^{-1}$) sin detectarse diferencias significativas entre ploidías.

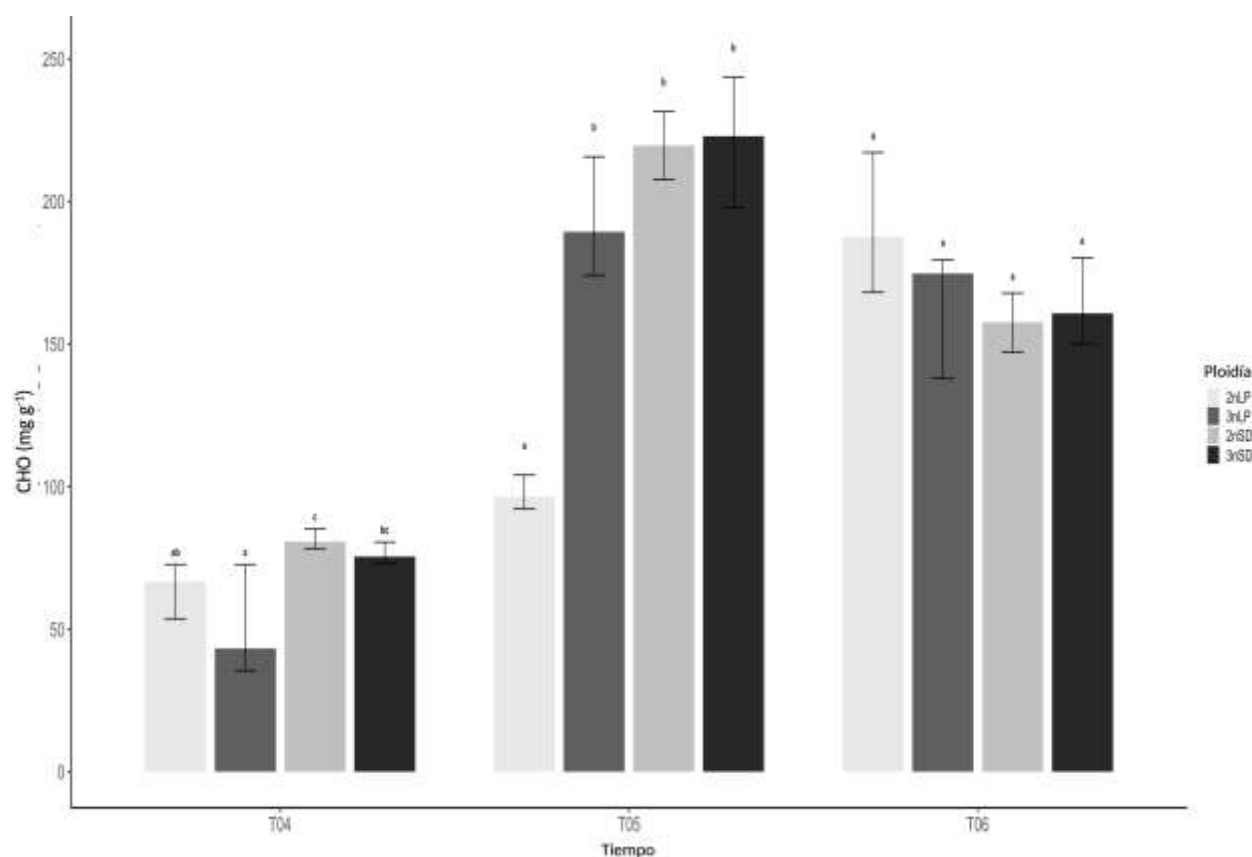


Figura 32. Contenido total de carbohidratos (CHO, mg g^{-1}) en masa visceral (GON) durante T01–T06 para ostiones 2n y 3n en LP y SD.

En cuanto al contenido de LT en GON, durante T04 los valores fueron bajos y homogéneos en todos los grupos ($\approx 40\text{--}45 \text{ mg g}^{-1}$), sin diferencias significativas entre ploidías (Figura 33). Hacia T05, los lípidos aumentaron de manera generalizada ($\approx 105\text{--}141 \text{ mg g}^{-1}$). El grupo 3nSD alcanzó el valor más alto ($\approx 141 \text{ mg g}^{-1}$) y fue significativamente superior únicamente respecto a 2nLP, mientras que 3nLP y 2nSD registraron valores intermedios que no difirieron estadísticamente de los extremos. En T06, TL presentó una disminución en todos los grupos, siendo más marcada en

3nLP ($\approx 26 \text{ mg g}^{-1}$), que resultó significativamente menor respecto a todas las demás ploidías. Por el contrario, 2nLP, 2nSD y 3nSD se mantuvieron dentro de un intervalo intermedio ($\approx 45\text{--}53 \text{ mg g}^{-1}$) sin diferencias entre ellos.

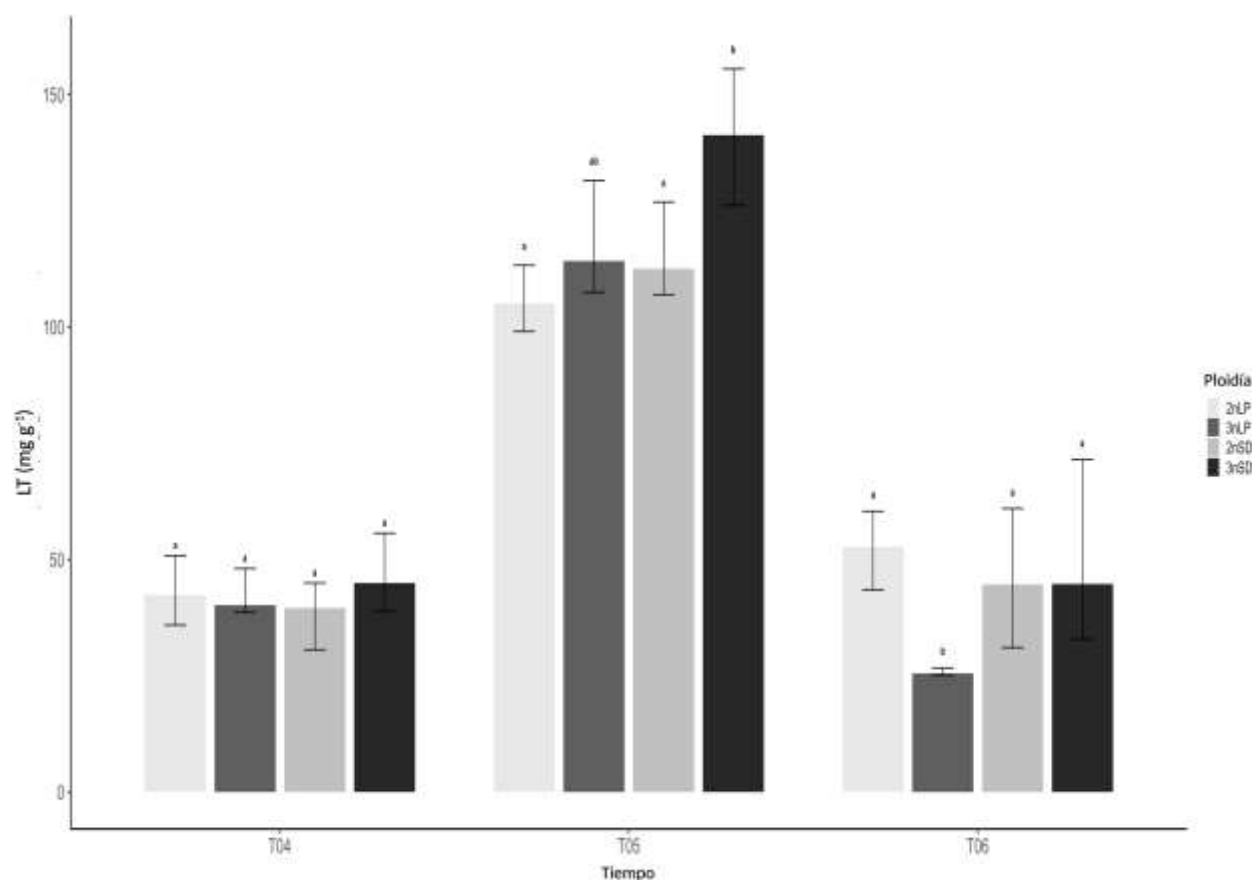


Figura 33. Contenido total de lípidos (LT, mg g^{-1}) en masa visceral (GON) durante T01–T06 para ostiones 2n y 3n en LP y SD.

El contenido de PT en GON mostró el valor más elevado de manera consistente en el grupo 2nLP desde T04 hasta T06 (Fig. 34). En T04, 2nLP registró $\approx 409 \text{ mg g}^{-1}$, nivel significativamente mayor en comparación con el resto de las ploidías ($\approx 296\text{--}333 \text{ mg g}^{-1}$). Para T05, PT permaneció elevado en todos los tratamientos ($\approx 246\text{--}290 \text{ mg g}^{-1}$), observándose nuevamente el valor más alto en 2nLP ($\approx 290 \text{ mg g}^{-1}$), significativamente superior respecto a 2nSD, 3nLP y 3nSD, grupos que no mostraron diferencias entre sí. Finalmente, en T06 los niveles de PT incrementaron aún más en 2nLP ($\approx 446 \text{ mg g}^{-1}$), manteniéndose significativamente por encima de 2nSD y 3nSD ($\approx 173\text{--}227 \text{ mg g}^{-1}$), mientras que 3nLP presentó valores intermedios ($\approx 295 \text{ mg g}^{-1}$) que se superpusieron estadísticamente tanto con diploides como con triploides.

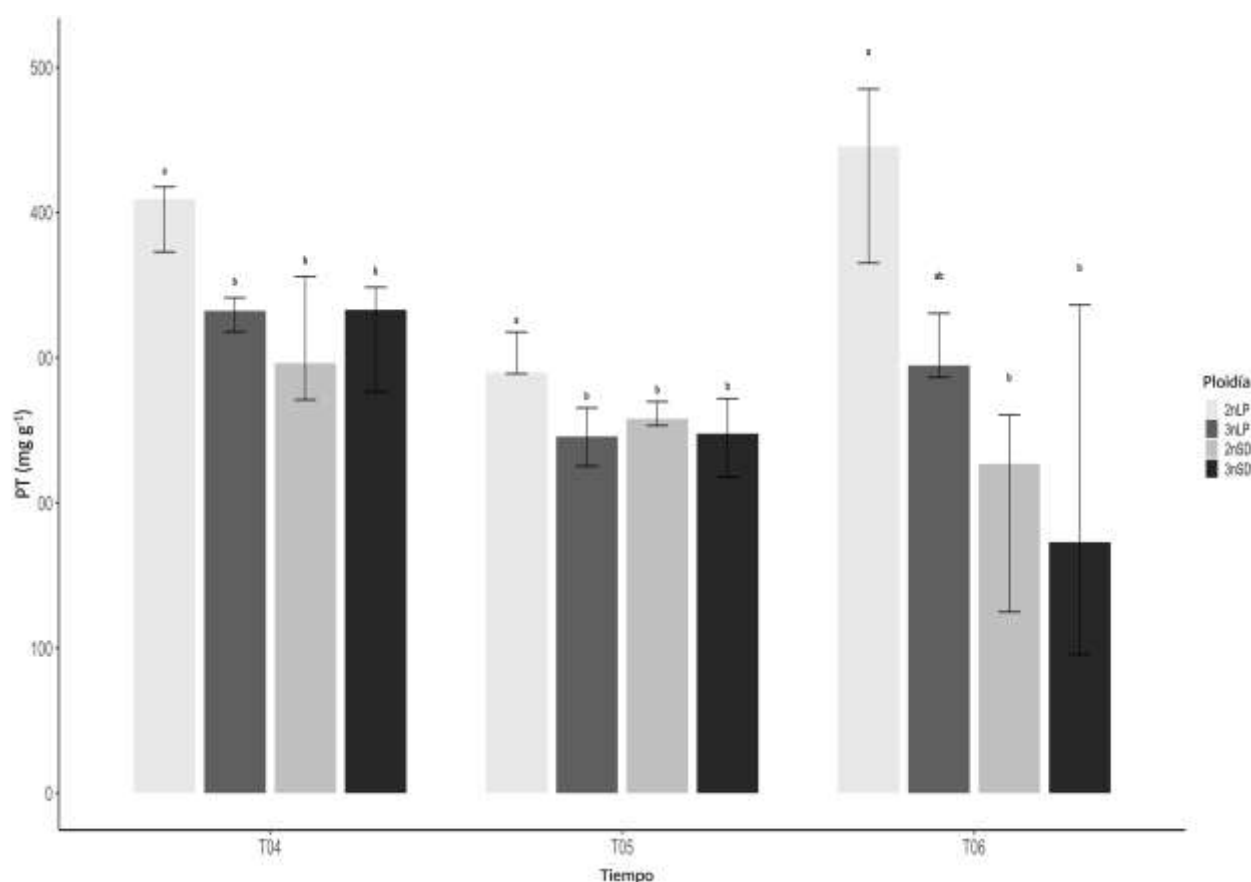


Figura 34. Contenido total de proteínas (PT, mg g^{-1}) en masa visceral (GON) durante T01–T06 para ostiones 2n y 3n en LP y SD

7.8.3 Bioquímica en músculo aductor (MUS).

En T04 el contenido de CHO se mantuvo en valores relativamente bajos en todas las ploidías (≈ 20 – 31 mg g^{-1}). Sin embargo, se registraron concentraciones más elevadas en 3nSD ($\approx 31 \text{ mg g}^{-1}$) y 2nSD ($\approx 28 \text{ mg g}^{-1}$), ambas significativamente superiores respecto a 2nLP, mientras que 3nLP presentaron valores intermedios, sin diferencias estadísticas frente a los grupos de mayor o menor concentración (Figura 35).

Para T05, el contenido de CHO disminuyó de manera consistente en todas las ploidías (≈ 4.7 – 8.2 mg g^{-1}). El valor más bajo se registró en 3nLP ($\approx 4.7 \text{ mg g}^{-1}$), el cual fue significativamente menor en comparación con 2nLP, 2nSD y 3nSD, mientras que estos tres últimos no mostraron diferencias

entre sí. Posteriormente, en T06 se observó un incremento notable en los niveles de CHO (≈ 71 – 82 mg g^{-1}), sin detectarse diferencias estadísticas entre ploidías.

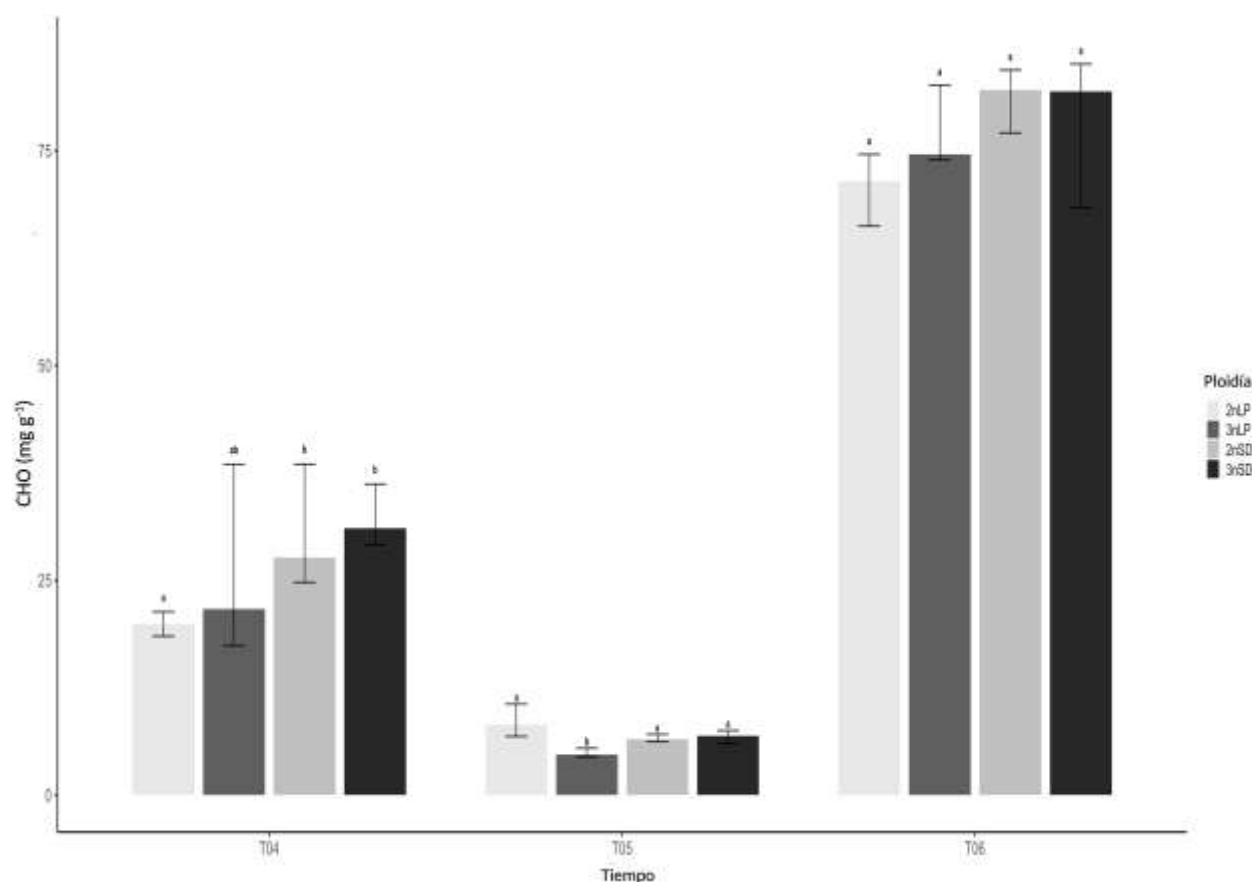


Figura 35. Contenido total de carbohidratos (CHO, mg g^{-1}) en músculo aductor (MUS) durante T01–T06 para ostiones 2n y 3n en LP y SD.

Respecto a los LT en MUS, durante T04 las concentraciones se mantuvieron en un rango bajo en todos los grupos (≈ 6 – 9 mg g^{-1}). Los 3nSD presentaron un valor significativamente superior ($\approx 8.6 \text{ mg g}^{-1}$) al resto de los grupos (Figura 36).

En T05 los niveles de LT aumentaron en todas las ploidías (≈ 21 – 26 mg g^{-1}). El valor más alto correspondió a 2nSD ($\approx 26 \text{ mg g}^{-1}$), significativamente superior a 3nLP y 3nSD (≈ 21 – 22 mg g^{-1}), en tanto que 2nLP, se situó intermedio ($\approx 24 \text{ mg g}^{-1}$), sin diferencias significativas con el resto de los grupos. Para T06 se registró nuevamente una disminución en los niveles lipídicos (≈ 5.7 – 9.1 mg g^{-1}), sin diferencias significativas entre ploidías.

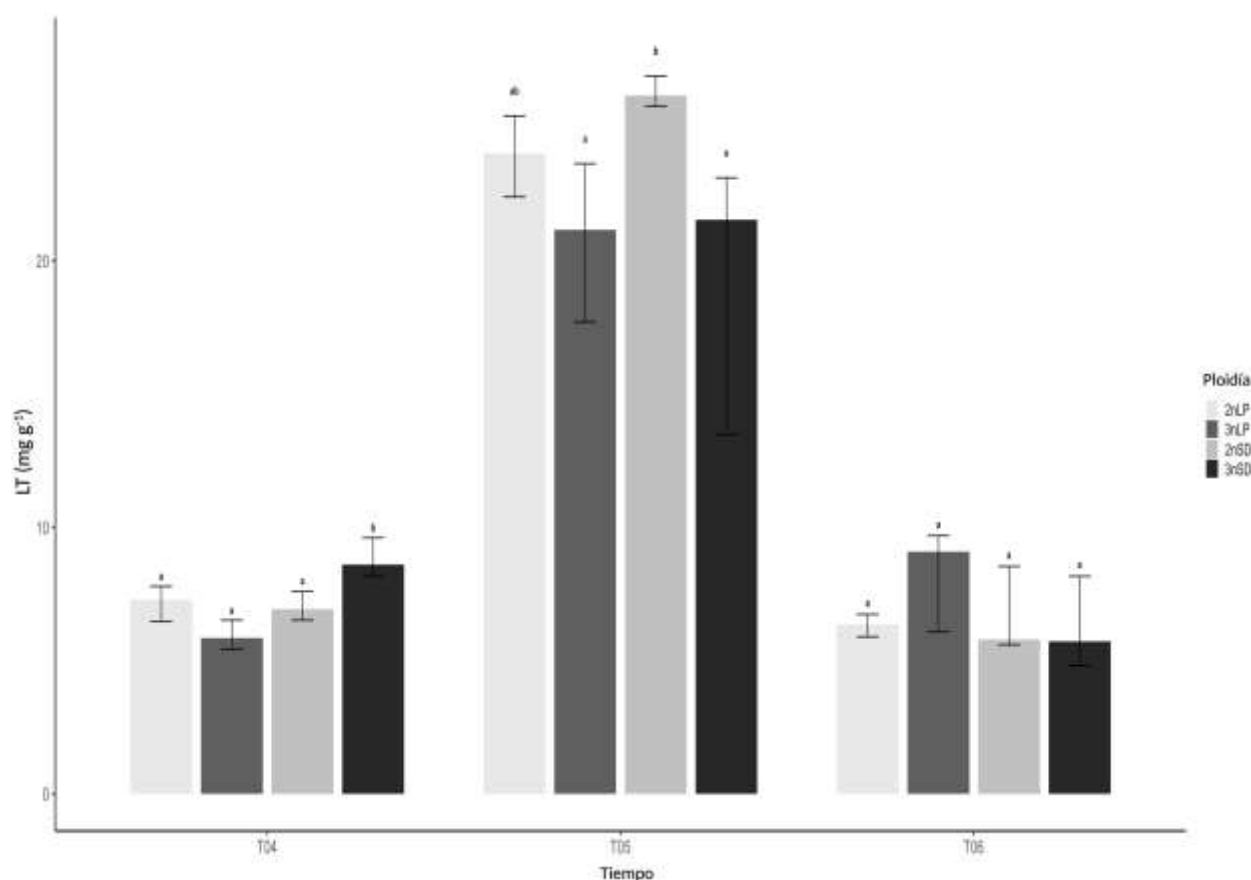


Figura 36. Contenido total de lípidos (LT, mg g^{-1}) en músculo aductor (MUS) durante T01–T06 para ostiones 2n y 3n en LP y SD.

En cuanto a PT en MUS, en T04 se observaron valores elevados en todas las ploidías (≈ 280 – 458 mg g^{-1}). El grupo con mayor concentración fue 3nSD ($\approx 458 \text{ mg g}^{-1}$), superando significativamente a 2nSD, mientras que 2nLP y 3nLP presentaron valores intermedios, sin diferencias estadísticas con respecto a ambas condiciones (Figura 37).

Para T05 los niveles de PT permanecieron altos (≈ 260 – 540 mg g^{-1}), con una tendencia hacia valores mayores en 3nSD y 2nSD, aunque sin diferencias significativas entre ploidías. Finalmente, en T06 el contenido proteico disminuyó de forma generalizada (≈ 170 – 240 mg g^{-1}). En este muestreo, 2nSD y 3nLP presentaron concentraciones significativamente superiores respecto a 2nLP, mientras que 3nSD mostró valores intermedios, estadísticamente comparables con los demás grupos.

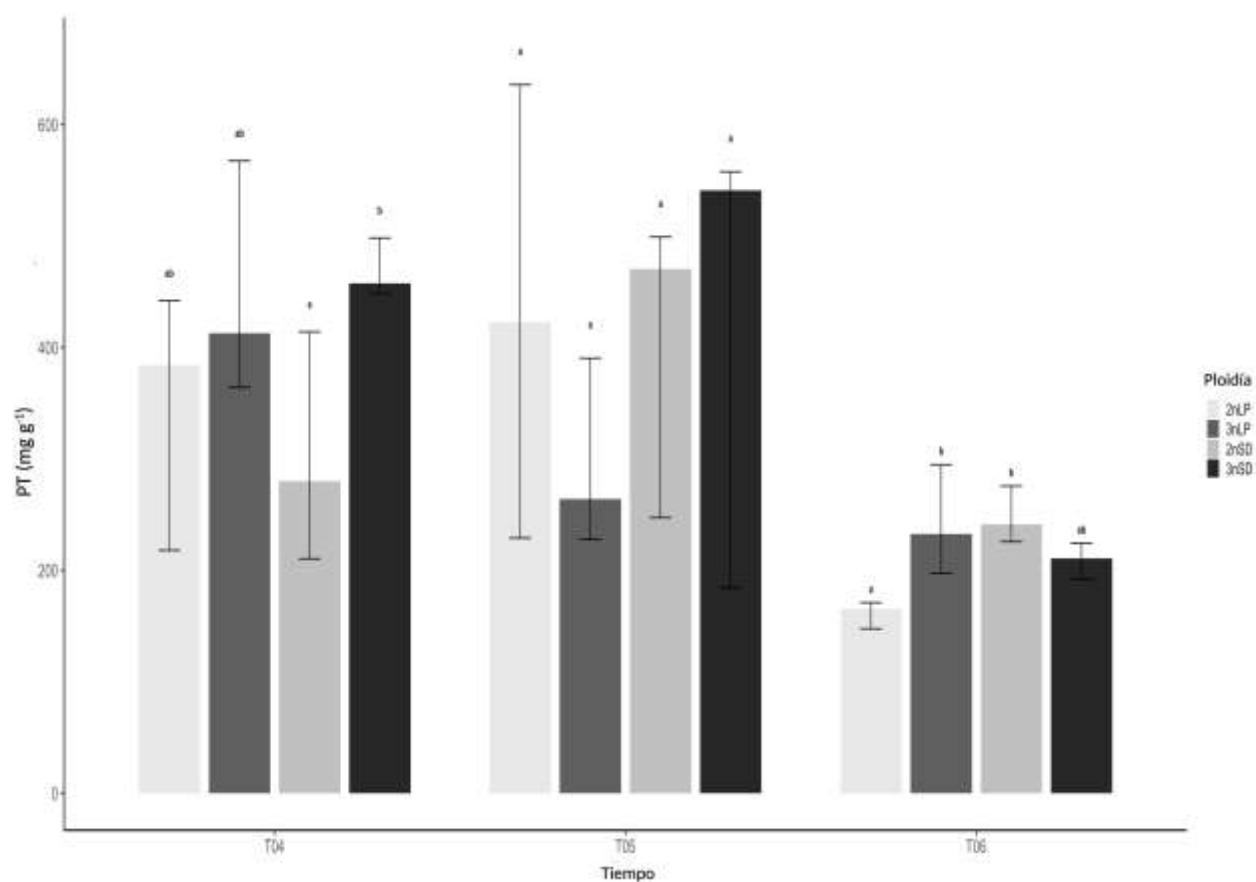


Figura 37. Contenido total de proteínas (PT, mg g⁻¹) en músculo aductor (MUS) durante T01–T06 para ostiones 2n y 3n en LP y SD.

8. DISCUSIÓN

Este trabajo evaluó el desempeño productivo de organismos triploides de *Crassostrea gigas* en comparación a los diploides. La etapa de crecimiento larvario (fase pelágica) se desarrolló en condiciones de laboratorio, mientras que el crecimiento de la semilla (fase bentónica) se llevó a cabo en dos sitios de cultivo diferentes en Baja California Sur (La Paz y Santo Domingo).

8.1 Supervivencia larvaria

En el presente estudio se obtuvo semilla $3n$ a través de la cruce de hembras $2n$ con machos $4n$, alcanzándose un 100 % de triploidización, resultado consistente con estudios previos en *C. gigas* (Guo *et al.*, 1996; Wang *et al.*, 2002; Nell y Perkins, 2005; Li y Li, 2022) y *C. virginica* (Mattiesen y Davis, 1992; Guo *et al.*, 2008; Callam *et al.*, 2016; De Sousa *et al.*, 2016). Se ha demostrado que la inducción por método biológico promueve un mayor crecimiento y supervivencia juvenil en comparación con el método químico mediante citocalasina B (Wang *et al.*, 1999; Wadsworth *et al.*, 2019), atribuido a la ausencia de agentes citotóxicos durante la inducción, una menor incidencia de anomalías celulares y una mayor estabilidad cromosómica durante el desarrollo larvario.

Diversos estudios han demostrado que la temperatura y la salinidad del agua pueden afectar significativamente la motilidad del espermatozoides (Cheng *et al.*, 2024), y en el éxito de la fecundación (His *et al.*, 1997), por lo que la calidad del agua es considerada un factor clave durante las etapas larvarias, aunque estos efectos no fueron evaluados directamente en el presente estudio. En condiciones controladas se ha observado que la supervivencia larvaria puede ser altamente variable (3-58% en 87 familias $2n$ de *C. gigas*) (Chi *et al.*, 2021). En nuestro estudio, la supervivencia fue similar entre ploidías (15% en $2n$ y 14.3 % en $3n$), sin diferencias significativas ($p > 0.05$). Estos valores coinciden con trabajos que emplearon métodos similares para la obtención de $3n$ (Guo *et al.*, 1996; Li y Li, 2022; Qin *et al.*, 2022b), y con estudios de inducción química (Guo *et al.*, 2008; Zhang *et al.*, 2017). Aunque las larvas $3n$ presentan altos niveles de aneuploidía en etapas tempranas (hasta 64% en *C. virginica*), la eliminación progresiva de células aneuploides pueden funcionar como un filtro selectivo natural, estabilizando la supervivencia (De

Sousa *et al.*, 2016). Una temperatura de 25°C optimiza el desarrollo larval de varios bivalvos, equilibrando crecimiento y estabilidad fisiológica (Rico-Villa *et al.*, 2008; Moreira *et al.*, 2018).

8.2 Desarrollo y desempeño larvario

Las larvas 3n mostraron consistentemente una mayor altura y longitud de concha respecto a los 2n a partir del día 14 de cultivo. Este patrón ya ha sido reportado para *C. gigas* (Li y Li, 2022) y *Mytilus edulis* (Osterheld *et al.*, 2023). Lo anterior puede estar relacionado con la mayor heterocigosidad presente en los 3n (Wang *et al.*, 2002), lo que sugiere que las larvas 3n presentan un crecimiento superior al de sus progenitores (Leeds y Weber, 2019). Este desempeño temprano ha sido ampliamente reportado en *Crassostrea spp.* y en otras especies de bivalvos, atribuible a una mayor diversidad alélica y heterocigosidad, condición que reduce el gasto energético asociado a procesos celulares y promueve el vigor híbrido, favoreciendo así el desarrollo somático (Hawkins *et al.*, 1994; Hedgecock *et al.*, 2015).

En este estudio, se destaca que las larvas 3n alcanzaron la etapa de fijación a los 16 DDF, mientras que los 2n lo hicieron a los 20 DDF, bajo las mismas condiciones térmicas (25 °C). En otra investigación han reportado que las larvas 2n alcanzaron la etapa de asentamiento al mismo tiempo que nuestras larvas 3n (16 DDF) bajo similares condiciones (Utting y Spencer, 1991). Se sabe que el aumento de la temperatura dentro de un rango óptimo (≈ 27 °C) acorta significativamente el periodo larvario y maximiza las tasas de crecimiento, mientras que a menores temperaturas retrasan el desarrollo; sin embargo, mayores temperaturas (≈ 32 °C), aunque pueden mantener altas tasas de ingestión y metamorfosis bajo condiciones controladas, no representan un incremento adicional del desempeño larvario y pueden implicar mayor estrés fisiológico (Rico-Villa *et al.*, 2008).

En conjunto, los resultados indican que la triploidía no compromete la viabilidad larval y favorece una fijación temprana, lo cual resulta ventajoso en laboratorios de producción al reducir tiempos y costos operativos en la producción de semilla. Además, considerando que *C. gigas* es una especie exótica y asumiendo la esterilidad de los organismos durante la engorda en campo, la producción de semilla triploide representa una alternativa viable con menor riesgo ecológico para las especies nativas, considerando el impulso actual que se le ha dado a su cultivo en el Noroeste

del país. En el caso particular del CIBNOR, la semilla generada para grupos sociales es exclusivamente triploide (Com. Pers. José Luis Ramírez Arce).

8.3 Supervivencia de ostiones en dos ambientales contrastantes

La supervivencia durante la etapa de engorda fue alta en sitios: 95% en LP (Golfo de California) y 99% en SD (Océano Pacífico). Sin embargo, en el último muestreo en LP, los ostiones 3n presentaron supervivencia (88.4%), aunque sin diferencias significativas con los 2n. Por su parte, en SD no se observaron diferencias entre las ploidías. LP presentó condiciones más extremas, con temperaturas más elevadas (hasta 29°C) y baja disponibilidad de Chl-a ($0.2\text{--}1.3\text{ mg m}^{-3}$), en contraste con SD ($0.2\text{--}2.0\text{ mg m}^{-3}$). La salinidad fue similar en ambos sitios (34.9 PSU en LP y 34.6 PSU en SD). Se ha reportado que la temperatura óptima para el cultivo de *C. gigas* oscila entre 11–35°C y una salinidad ideal cercana a 35 PSU (Mann *et al.*, 1991). No obstante, fluctuaciones térmica extremas pueden afectar negativamente su supervivencia (Arredondo-Espinoza *et al.*, 2023), fenómeno común en BCS (Sicard -González *et al.*, 2012).

En un estudio previo realizado en un ambiente tropical similar (Golfo de California), se observó una menor supervivencia en 3n, mientras que en un sitio templado (Rancho Bueno, Océano Pacífico) no se registraron diferencias entre ploidías (Ibarra *et al.*, 2017). Otros autores también han documentado supervivencias comparables entre 2n y 3n (Garnier-Géré *et al.*, 2002; Brianik y Allam, 2023). Asimismo, Bodenstein *et al.* (2023a) reportaron una alta mortalidad en 3n de *C. virginica* atribuida a una baja tolerancia a la salinidad. Las temperaturas elevadas podrían ser un factor determinante en la disminución de la supervivencia de los 3nLP, una presentación más detallada de los datos ambientales (incluyendo fluctuaciones térmicas en tiempo real y respuestas fisiológicas al estrés) reforzaría esta conclusión (Moreira *et al.*, 2018). Arredondo-Espinoza *et al.* (2021) identificaron regiones diferencialmente metiladas (DMRs) en fenotipos resistentes (RR) y susceptibles (SS) al calor en *C. gigas*, donde los patrones de metilación estuvieron asociados con genes involucrados en el metabolismo energético, respuestas celulares y adaptación al estrés térmico. Además, se identificaron polimorfismos de nucleótido único (SNPs) en genes clave asociados a la resistencia térmica, como AHSA1 y HSP90 (Juárez *et al.*, 2021). Estos SNPs y patrones epigenéticos refuerzan el potencial del uso de selección asistida por marcadores (MAS)

en programas de mejoramiento genético orientados a incrementar la resiliencia térmica de los ostiones.

Análisis transcriptómicos previos en *C. gigas* indicaron que existen familias termo-resistentes presentan una clara sobreexpresión génica (up-regulation) en rutas relacionadas con la captación de zinc, la respuesta inmunológica y la estabilidad proteica, mecanismos que sustentan la tolerancia a fluctuaciones térmicas entre 26-34 °C (Juárez *et al.*, 2021), las cuales son temperaturas similares a las registradas en LP. Estos resultados subrayan la importancia de integrar herramientas moleculares, como SNPs y marcadores epigenéticos, para evaluar el desempeño de ostiones 3n en sistemas de cultivo sujetos a una alta variabilidad ambiental (Juárez *et al.*, 2021). Por otro lado, Bodenstein *et al.* (2023a) reportaron mayores tasas de mortalidad en 3n expuestos a temperaturas superiores a 30 °C, especialmente bajo condiciones de baja salinidad (9.3 y 19.4 PSU), semejantes temperaturas fueron observadas en LP, pero mayor salinidad con respecto a SD. Considerando que los 3n presentan mejor desempeño en ambientes térmicamente exigentes (Moreira *et al.*, 2018), enfatizar su cultivo en estas regiones podría potenciar la productividad acuícola, particularmente en sitios con salinidad relativamente constante.

8.4 Comparación del crecimiento entre grupos de ploidía en distintos ambientes

Los ostiones de SD crecieron más que los de LP, independientemente de su ploidía. Los 3nSD mostraron el mayor ancho de la concha, siendo estadísticamente diferentes de los 2nSD, aun cuando fueron ostiones de segunda criba al inicio del experimento. Asimismo, los 3nLP presentaron mayor altura y ancho que los 2nLP. El crecimiento de *C. gigas* está fuertemente determinado por las variables ambientales y estacionales, especialmente la disponibilidad de alimento y la temperatura (Lodeiros *et al.*, 2018). Las temperaturas elevadas se han asociado con un crecimiento más lento (Reynaga-Franco *et al.*, 2019). LP registró temperaturas más altas que SD la mayor parte del año (Figura 12A), lo cual no afectó la supervivencia, pero sí reflejó en un menor crecimiento de los ostiones en ambas ploidías. Se ha documentado que 3n generados por cruza 4n×2n presentan mayor crecimiento y supervivencia que los 2n, destacando su potencial comercial (Qin *et al.*, 2022b). Estas ventajas son especialmente útiles en ambientes cálidos como el Golfo de California, donde los 3n pueden alcanzar tallas comerciales en menos tiempo (Guo

et al., 1996; Nell, 2002; Ibarra *et al.*, 2017). En efecto, en ambientes templados y tropicales se ha registrado que los 3n de *C. gigas* alcanzan tallas comerciales en menos de un año, en comparación de lo 2n (Islas-Olivares *et al.*, 1982; Ochoa-Araiza y Fimbres-Peña, 1984; Ibarra *et al.*, 2017).

La salinidad también juega un papel relevante. Se ha observado que a mayor salinidad puede incrementar el crecimiento, aunque también la mortalidad, mientras que salinidades más bajas tienden a reducir las tasas de crecimiento, aunque puede disminuir la mortalidad (La Peyre *et al.*, 2016). Asimismo, variaciones en salinidad modulan rutas metabólicas e inmunes (Zhang *et al.*, 2022). Una salinidad elevada puede activar respuestas de estrés importantes, como la muerte celular y cambios en la función inmune, como se ha observado en *Sepia esculenta* (Li *et al.*, 2024). Aunque un aumento abrupto puede inducir estrés, en ambos sitios las salinidades fueron cercanas al óptimo durante la etapa de engorda (~35 PSU; Figura 12B). Bizzarro (2008) describió a Bahía Magdalena como un sistema lagunar costero altamente productivo, influenciado por la corriente de California y por eventos de afloramiento que generan fluctuaciones estacionales en temperatura y salinidad.

Los factores ambientales tuvieron un papel decisivo durante el periodo de cultivo, con discrepancias entre ploidías más evidentes en los dos últimos muestreos, especialmente al momento de la cosecha. Tanto la Chl-a como la temperatura actúan como reguladores clave de la distribución del fitoplancton, determinando la productividad primaria y la disponibilidad alimenticia para bivalvos filtradores (Cervantes-Duarte *et al.*, 2018). Las concentraciones de Chl-a fueron más elevadas en SD (2.5 mg m^{-3}), lo que podría explicar el mayor crecimiento observado en ambas ploidías (2n y 3n), en contraste con LP, donde los valores fueron más bajas (1.2 mg m^{-3}) (Figura 12C). Esta mayor productividad habría favorecido tasas de crecimiento superiores en los 3n, fenómeno también registrado en *Mytilus edulis*, donde los 3n alcanzaron un crecimiento significativamente mayor que los 2n en ambientes altamente productivos (Brake *et al.*, 2004). Reynaga-Franco *et al.* (2019) señalaron que la salinidad y la concentración de Chl-a influyeron significativamente en el crecimiento de *C. gigas*, con mayor desempeño en lotes expuestos a salinidades estables y elevada disponibilidad de alimento (Chl-a). Asimismo, Matus-Hernández *et al.* (2019) documentaron, al evaluar el sistema costero de Bahía de La Paz mediante variables fisicoquímicas derivadas de imágenes Landsat, que aunque la salinidad presentó una variación

estacional mínima, esta fue suficiente para modificar la composición del fitoplancton. Estas fluctuaciones en el fitoplancton en ambos sitios implicaron variaciones de la disponibilidad de alimento; en LP, estas condiciones ambientales se asociaron con diferencias en el desempeño entre ploidías, ya que los 3n mantuvieron un crecimiento y condición somático relativamente estable, mientras que los 2n mostraron una mayor dependencia de la disponibilidad de alimento.

Estos hallazgos concuerdan con nuestros resultados, sugiriendo que los 3n pueden exhibir respuestas moduladas al estrés derivado de la variabilidad ambiental. Las concentraciones altas de Chl-a y las temperaturas relativamente más bajas al final del ciclo en SD pudieron mejorar temporalmente el crecimiento de los 3n al elevar la disponibilidad de alimento. En consecuencia, una alimentación suficiente resulta esencial para amortiguar los efectos ambientales estresantes, como la fluctuaciones de salinidad o temperatura (Bodenstein *et al.*, 2023b).

El incremento en la presión parcial de CO₂ (pCO₂) y la baja producción primaria de fitoplancton (PPFitT) y fitoplancton total (FitTt) observados en LP sugieren una limitada captación de CO₂, lo que podría reducir la eficiencia fotosintética de la Chl-a (ANEXO B, Fig. 38, Figura 43, Figura 44; Figura 12C). Una menor eficiencia de Chl-a implica una reducción en la capacidad del fitoplancton para convertir la luz y el CO₂ en biomasa, evidenciada por tasas bajas de producción primaria (Das y Mangwani, 2015). También se ha documentado que la disminución del carbono inorgánico disuelto (CID) y el oxígeno disuelto (OD) en cultivos mixtos incrementa la captación de carbono por el fitoplancton y el consumo de oxígeno por los ostiones, donde el CO₂ liberado por estos últimos puede estimular la fotosíntesis microalgal (Liang et al., 2024).

La combinación OD elevado y altas concentraciones de FitTt en SD (ANEXO B, Figura 44;) sugiere un sistema más productivo que habría mejorado las oportunidades de alimentación y el desempeño metabólico de los ostiones, junto con niveles reducidos de CID (ANEXO B, Figura 39), lo que probablemente explica el crecimiento superior registrado en SD frente a LP. Un DIC bajo podría disminuir el pH y limitar el desempeño fisiológico de *C. gigas*, aun con disponibilidad alimenticia favorables (Saavedra *et al.*, 2021). Es posible, además, que el tipo de arte de cultivo empleado en cada sitio influya directamente en la producción (SD > LP, com. pers. José Luis Ramírez) y modifique la disponibilidad de nutrientes disueltos como silicato (Si), nitrato (NO₃⁻) y

fósforo (P), promoviendo la PPFitT (Souchu *et al.*, 2001). Otro elemento relevante es el hierro disuelto (Fe_d), el cual favorece la producción de FitTt (Cabral *et al.*, 2022). El Fe_d se mantuvo estable en SD, lo que podría haber intensificado la producción de Chl-a hacia el final del ciclo cultivo (ANEXO B, Figura 48). En conjunto, estos elementos refuerzan la necesidad de considerar múltiples variables ambientales al evaluar la idoneidad de sitios para el cultivo de ostiones (Saavedra *et al.*, 2024).

Los ostiones 3n suelen superar el crecimiento de los 2n al cabo de un año, lo cual coincide con el periodo en que los 2n redirigen grandes cantidades de energía hacia la reproducción (Stanley *et al.*, 1984; Allen y Downing, 1986). En ambientes templados y tropicales, *C. gigas* ha mostrado crecimiento acelerado en comparación con zonas templado-frías, alcanzando la talla comercial en menos de un año (Islas-Olivares *et al.*, 1982; Ibarra *et al.*, 2017) y en aproximadamente 10 meses (Ochoa-Araiza y Fimbres-Peña, 1984). En nuestro estudio, la mayoría de los ostiones alcanzó la talla de cosecha (> 8 cm) siete meses después de la siembra. Es importante resaltar que la talla comercial se define con base en la altura de la concha; sin embargo, esta medida no reflejó diferencias marcadas entre ploidías a lo largo del cultivo. En contraste, el ancho o grosor mostró diferencias claras en los últimos tres muestreos, lo cual parece estar asociado con un mayor desarrollo muscular en 3n en ambos ambientes, considerado que el músculo aductor se dispone en la dirección al ancho del organismo y mantiene unidas ambas valvas.

Previamente se ha reportado diferencias significativas en el ancho y la altura de la concha entre 3n y 2n de *C. virginica* (Walton *et al.*, 2013). Asimismo, las mayores diferencias entre ploidías se presentan bajo condiciones ambientales más estresantes (Garnier-Géré *et al.*, 2002; Ibarra *et al.*, 2017), lo que evidencia que el efecto de la ploidía está condicionado al sitio de cultivo (Chi *et al.*, 2024), al origen de la semilla, a la talla de siembra y al método aplicado (Rodríguez-Quiroz *et al.*, 2016). De manera notable, el peso del músculo es un carácter donde los 3n son consistentemente superiores a los 2n, fenómeno ampliamente documentado en pectínidos (Ruíz-Verdugo, 2000; Maldonado-Amparo *et al.*, 2004), aunque no reportado previamente para ostreídos.

El uso de diferentes artes de cultivo también pudo influir en el crecimiento de *C. gigas*, ya que en SD se emplearon líneas flotantes mientras que en LP se utilizaron camas fijas. Algunos estudios

han mostrado que el arte de cultivo afecta el crecimiento en especies como *Pecten maximus* y *C. angulata* (Maguire y Burnell, 2001; Tan *et al.*, 2023). Lo anterior se suma a la variabilidad en el tamaño inicial al momento de la siembra, común en granjas ostrícolas (Reynaga-Franco *et al.*, 2019). Asimismo, altas densidades poblacionales pueden provocar que los ostiones distribuyan la energía hacia el refuerzo estructural de la concha (aumento en peso y grosor) en lugar del crecimiento de los tejidos corporales, consecuencia de un suministro alimenticio insuficiente (Wilson, 1987).

8.5 Índice de condición en diferentes ambientes

El índice de condición fisiológica (ICF), el índice de condición general (ICG) y el rendimiento de carne (RC) representan indicadores esenciales del estado de salud y valor comercial de los ostiones (Hickman y Illingworth, 1980; Nascimento y Pereira, 1980; Lenz y Boehs, 2009). Al finalizar el ciclo de cultivo, los ostiones provenientes de SD mostraron un desempeño superior respecto a los de LP, aunque no se detectaron diferencias significativas entre las ploidías dentro de cada sitio. Los valores de estos índices se mantuvieron relativamente estables en ambas localidades. Las variaciones en el índice de condición han sido asociadas con la acumulación de glucógeno durante la fase reproductiva (Gallo-García *et al.*, 2001), recurso que no se distribuye de forma homogénea dentro de una población (Quayle y Newkirk, 1989). Dichas fluctuaciones se ven influenciadas, además por la disponibilidad de alimento y las condiciones ambientales, particularmente la temperatura (Chávez-Villalba *et al.*, 2008; Rodríguez-Quiroz *et al.*, 2016).

El glucógeno constituye la principal reserva energética del ostión y su disponibilidad incide directamente en el índice de condición (Li *et al.*, 2024). Su concentración presenta variación estacional: se acumula antes de la maduración gonadal y disminuye posteriormente debido al gasto energético destinado a la liberación de gametos, redirigiendo recursos hacia la gametogénesis (Yurimoto, 2015). La relación entre almacenamiento energético, esfuerzo reproductivo e ICF ha sido ampliamente documentada, subrayado la influencia de la calidad ambiental sobre el desempeño fisiológico del ostión. Saavedra *et al.* (2024) reportaron que ostiones expuestos a bajos niveles de pH y oxígeno en zonas de afloramiento en Bahía Coliumo presentaron un ICG reducido en comparación con aquellos cultivados en capas superficiales con mayor estabilidad ambiental y disponibilidad de alimento. De manera similar, King *et al.* (2006)

observaron valores bajos de crecimiento e índice de condición en *C. gigas* pese a registrarse temperaturas y concentraciones de Chl-a relativamente altas, atribuyendo tal respuesta a diferencias en la composición del fitoplanctónica y a la disminución en la renovación del agua.

Sin embargo, los ostiones 3n tienden a mantener un ICF más elevado, evitando las disminuciones que suelen observarse en 2n durante el desove (Akashige y Fushimi, 1992; Osterheld *et al.*, 2024). Esta ventaja metabólica ha sido asociada con mayores tasas de filtración y, en consecuencia, con un IC superior en 3n respecto a 2n (Callam, *et al.*, 2023). No obstante, a pesar de presentar mayores reservas energéticas, se han documentado mortalidades tardías en primavera en poblaciones 3n, aún sin explicación clara. Esto sugiere la posible presencia de estrés fisiológico no atribuible directamente a patógenos ni a factores ambientales, por lo que resulta necesario profundizar en la comprensión de la partición energética en ostiones 3n (Callam, *et al.*, 2023). Brake *et al.* (2004) reportaron que los 3n mantuvieron un IC 30.6 % mayor que los 2n tras la fase de desove, mientras que Mizuta *et al.* (2021) señalaron que los ostiones 3n (incluyendo *C. gigas*) presentan un crecimiento más rápido y mejor calidad de carne durante el periodo reproductivo, debido a la reducción en el gasto energético destinado a gametogénesis. El rendimiento de carne (RC) varió en cada muestreo para ambas ploidías y ambientes; suponemos que estas fluctuaciones están relacionadas tanto con el crecimiento individual como en el tamaño heterogéneo entre organismos. En Francia, se ha observado que la biomasa varía según el ciclo reproductivo del ostión, incrementando en primavera y principios de verano, pero disminuyendo en verano (juveniles) o principios de otoño (semilla), con un retardo en invierno, asociado con maduración sexual, desove (reabsorción gametogénica) y reorganización de la gónada (Royer *et al.*, 2007). En mejillones 3n de *Mytilus edulis*, el índice de cosecha fluctuó a lo largo del cultivo, incluso siendo menor que en etapas iniciales, sin diferencias significativas durante la mayor parte del ciclo (Osterheld *et al.*, 2024). Esto refuerza la hipótesis de que el ICF, ICG y RC están influenciados por múltiples factores bióticos, abióticos, genéticos y temporales.

Jiang *et al.* (2024) demostraron que los 3n genéticamente mejorados (GIT1 y GIT2) alcanzaron tasas de crecimiento y supervivencia significativamente superiores a los alotriploides y autotriploides tradicionales durante el ciclo de cultivo. Dichos alotriploides generaron un 78.2 % más de rendimiento que los autotriploides, destacando su potencial para producción intensiva.

Chen et al. (2024) confirmaron que la triploidía provoca una disrupción marcada en la espermatogénesis de machos 3n de *C. gigas*, deteniendo la meiosis en profase I y aumentando la apoptosis de espermatoцитos primarios. Esta limitación reproductiva favorece la redistribución energética hacia el crecimiento somático, lo cual coincide con los resultados del presente estudio. Además, la producción reducida de espermatoцитos aneuploide en los 3n fortalece su valor comercial al redireccionar la energía hacia la formación de tejido comestible.

8.6 Desarrollo Gonádico

En el presente estudio, el desarrollo gonadal mostró diferencias marcadas entre ploidías en *C. gigas*. Los 2n progresaron con mayor frecuencia hacia estadios avanzados (II-III), alcanzando las mayores coberturas gonádicas (ACG > 70%) durante T05-T06, evidenciando un desarrollo activo y estructurado. En contraste, los 3n mantuvieron un desarrollo reducido y asincrónico, permaneciendo mayoritariamente en estadios tempranos (0-II), con ACG <25%, y solo una fracción limitada alcanzó madurez parcial (♀ IIIA-α; ♂ III) al final del ciclo de cultivo. Aunque los 2n alcanzaron madurez, no se detectó evidencia clara de liberación de gametos hacia T06.

Este comportamiento coincide con lo descrito en 2n de *C. corteziensis*, donde el ciclo gonadal es anual, secuencial y culmina en un desove (Rodríguez-Jaramillo et al., 2008). *C. corteziensis* tiene una actividad reproductiva más prolongada, con una alta frecuencia de estadios superpuestos, mientras que en *C. gigas* se ajustan más a un patrón estacional de maduración concentrada, con madurez restringida a periodos puntuales y sin desoves repetidos (Rodríguez-Jaramillo et al., 2017). Ibarra et al. (2017) demostraron que la actividad reproductiva de 3n depende del ambiente térmico-productivo: en zonas templadas los 3n pueden activar parcialmente la gametogénesis, mientras que en áreas cálidas permanecen en 0-II con maduración incompleta y sin desove. Esto coincide con nuestros resultados, donde LP presentó mayor temperatura, pCO₂ y menor producción primaria, condiciones bajo las cuales los 3n se mantuvieron restringidos a 0-II y no hubo evidencia de liberación de gametos. En contraste, SD presentó condiciones más frías, mayor oxigenación y mayor contenido de clorofila/fitoplancton, lo que permitió un mayor avance (II-III en T06), aunque sin alcanzar la funcionalidad observada por Ibarra et al. (2017), en ambientes templados. Los ciclos reproductivos estudiados de *C. gigas* en el Mar Adriático confirman que, aun en organismos 2n plenamente fértiles, la gametogénesis depende estrechamente de la

temperatura y disponibilidad trófica (Ezgeta-Balić *et al.*, 2020). Por lo que sugiere que el sitio de cultivo influye en el desarrollo gonádico, crecimiento y supervivencia, para observar diferencias entre ploidías, las cuales estarán más acentuadas en condiciones más desfavorables (Miranda-Domínguez *et al.*, 2025; Melo *et al.*, 2020). En contraste, aunque Ibarra *et al.* (2017) reportan culminación del ciclo reproductivo en 2n, en el presente estudio no se detectó desove (estadio IV), lo que sugiere que la temperatura elevada y la baja disponibilidad alimentaria pudieron impedir el desove. Además, bajo condiciones controladas se ha demostrado que la calidad de la dieta también modula el desarrollo gonádico en *C. gigas*, en reproductores alimentados con microalgas suplementadas con detrito unicelular de *Ulva lactuca* y microesferas lipídicas se alcanzó una mayor ACG y una mayor proporción de individuos en madurez y desove, particularmente en ♂ (López-Marcos *et al.*, 2025).

En ambientes templados (Francia), 2n de *C. gigas* completaron su ciclo reproductivo anual con gametogénesis secuencial y desove efectivo hacia el final del verano, mientras que los 3n permanecieron mayoritariamente en estadios tempranos I-II, y aunque una fracción alcanzó madurez morfológica (III), nunca se observó liberación de gametos (Normand *et al.*, 2008). Aun cuando en ese estudio no se analizan sexos por separado, el patrón reproductivo global indica esterilidad funcional parcial en 3n, atribuida a redireccionamiento energético hacia el crecimiento somático. Lo anterior coincide con nuestros resultados, donde los 3n ♂ y ♀, se mantuvieron en estadios 0-II, con pocos individuos alcanzando III. Se ha observado que en 3n de *C. gigas* con menor actividad gametogénica presentan menor contenido orgánico estructural en la concha y un perfil fisiológico orientado a mantenimiento somático más que a inversión reproductiva, lo que sugiere un desvío energético no dirigido a la formación de gametos (Pérez-Cebrecos *et al.*, 2026). Este comportamiento coincide con lo registrado en *C. virginica* y *Mercenaria mercenaria*, donde los 3n desarrollan gónadas, pero con gametogénesis incompleta, baja fecundación y desoves escasos o ausentes, mientras que los 2n culminan el ciclo reproductivo (Matt y Allen, 2021; Eversole *et al.*, 1996). Reforzando la interpretación de que la triploidía mantiene la capacidad de crecimiento, pero limita la conversión energética hacia producción de gametos y culminación del ciclo reproductivo. En salmón 3n del Atlántico (*Salmo salar*) se ha observado que responden mejor a condiciones de estrés (temperatura, hipoxia, etc.), lo que podría indicar que tienen un gasto energético mayor para responder al mismo factor estresante en comparación a

los 2n (Madaró *et al.*, 2024). Además, se ha observado que la esterilidad y poco desarrollo gonadal de los 3n en *Nodipecten subnodosus* está asociado a daños en el ADN (Galindo-Torres *et al.*, 2022). En los 3n♂ de *C. gigas*, la esterilidad se asocia con defectos en la sinapsis durante la meiosis, lo que conduce a una espermatogénesis incompleta (Chen *et al.*, 2024). Los 3n♂ presentan una alta proliferación de células germinales; sin embargo, el desarrollo gonádico permanece detenido en la fase de crecimiento y no progresa hacia espermatogénesis madura, probablemente debido a una disrupción meiótica (Yang *et al.*, 2022a). En las 3n♀, estudios transcriptómicos indican una desregulación de genes del ciclo celular y la replicación del ADN, con un bloqueo que ocurre antes de la entrada a la meiosis, durante la transición G1/S, lo que impide el desarrollo folicular normal (Dheilly *et al.*, 2014). De manera complementaria, las células germinales de 3n♀ entran a fase S de manera normal, pero fallan en avanzar hacia G2, lo que impide completar la mitosis y da lugar a folículos incompletos y un desarrollo gonadal incompleto (Yang *et al.*, 2022a).

En las 3n♀ de *C. gigas*, dentro de las dos trayectorias reproductivas descritas, la proporción correspondiente al tipo α (7.6 %) fue menor a lo descrito por Jouaux *et al.* (2010), quienes observaron un 53.9 % de 3n♀ α , lo que sugiere una esterilidad más restrictiva y posiblemente condicionada por condiciones ambientales locales (disponibilidad trófica, temperatura, clorofila-a). A temperaturas elevadas la incidencia de 3n♀ β aumentaron, con desarrollo limitado y una ACG significativamente inferior respecto a los 2n (Vignier *et al.*, 2025). Este comportamiento ha sido observado en otras investigaciones en donde el desarrollo gonádico se detiene y la ocupación gonádica es menor en 3n (~12%) que en los 2n (~25%) (Normand *et al.*, 2009), e incluso en el bacalo del Atlántico 3n (*Gadus morhua* L.) (Otterå *et al.*, 2016). Este patrón coincide con lo observado en 3nLP, donde el estrés térmico y baja concentración de Chl-a favoreció la prevalencia de estados reproductivos inmaduros.

Yang *et al.* (2022a), documentaron que la mayoría de las 3n♀ corresponden a tipo β (~49%), con escasa o nula ovogénesis, mientras que ♀ α (~10%) fueron minoritarias con gametogénesis limitada pero funcional. Asimismo, reportan 3n♂ con espermatogénesis incompleta y presencia de hermafroditas I-II (Yang *et al.*, 2022a). La predominancia de células β -gonia las proponen como

marcador de esterilidad funcional y retraso reproductivo, lo cual concuerda con la baja progresión gonádica y ACG reducida observadas en nuestros 3n. Esto también coincide con lo reportado para la línea “Haida #3” de *C. gigas*, donde los organismos 3n, tanto ♂ como ♀, mostraron gónadas atróficas y gametos anormales, sin evidencia histológica de maduración completa (Zhou *et al.*, 2023). En contraste, la línea “Haida #2”, mostró mayor proporción elevada de 3n♀ funcionales tipo α , observándose eventos de desove (32-54%) con una fecundidad equivalente al 23.7-40.2% en 2n (Cheng *et al.*, 2024), lo que indica que la fertilidad 3n depende del balance α/β y del medio ambiente.

De manera complementaria, Maillard *et al.* (2022) clasificaron 3n♂ en dos fenotipos equivalentes a los descritos por Yang *et al.* (2022a) para 3n♀. Al final del ciclo del cultivo (estadio III), reportaron 71% de ♂ III α y 23% de ♂ III β (6% <III), indicando que la mayoría de los 3n♂ presentan desarrollo parcialmente funcional (tipo α), mientras que una fracción menor permanece en condición β con espermatogénesis severamente limitada. Este patrón coincide parcialmente con nuestros resultados, ya que, si bien una porción de 3n alcanzó estadio III, su proporción y viabilidad gamética fueron más reducidas en comparación con 2n, sugiriendo un avance reproductivo incompleto.

8.7 Bioquímica en tejidos.

8.7.1 Bioquímica en tejido blando.

En cuerpo entero (tejido blando, ENT), las reservas bioquímicas respondieron principalmente a la estacionalidad ambiental más que a la ploidía, ya que CHO y LT alternaron dominancia entre grupos a lo largo del ciclo, mientras que PT se mantuvo sin separación consistente entre ploidías. Este patrón coincide con Fu *et al.* (2024), quienes demostraron que la bioenergía tisular en ENT de *C. gigas* no delimita de manera estable la condición fisiológica entre 2n y 3n, siendo el ambiente el principal modulador metabólico. De forma complementaria, Lu *et al.* (2025) indicaron que el incremento de CHO y LT en el tejido blando coincide con periodos de mayor productividad y favorecen la progresión gonadal cuando el sistema reproductor es funcional, lo que explica por qué la acumulación energética fue eficaz en 2n bajo ciclos reproductivos activos. Por lo que, la fluctuación de nutrientes va a depender de las condiciones ambientales de cada sitio de cultivo

(Liu *et al.*, 2020). Siendo consistente en otras especies como *Argopecten irradians concentricus*, donde el almacenamiento energético se realiza en glándula digestiva como lípidos y en el músculo aductor como glucógeno y proteína (Barber y Blake, 1981), reforzando que el acúmulo energético es un proceso previo a la gametogénesis cuando ésta es funcional. En nuestro estudio, SD presentó condiciones ambientales, más frías y con mayor disponibilidad trófica (Chl-a, NO_3^- y FitT), lo que probablemente favoreció el incremento de LT y CHO en T04-T06, incluso en 3n. Esto indica que los 3n pueden acumular reservas equivalentes a 2n, pero sin traducirlas en maduración gonadal, respaldando que la restricción reproductiva 3n no deriva de falta de energía, sino de una desconexión entre almacenamiento y utilización reproductiva (Yang *et al.*, 2022b; Maillard *et al.*, 2022). Se ha observado en *C. hongkongensis* composiciones proximales semejantes entre 2n y 3n, y que las variaciones están dominadas por la estacionalidad y no por la ploidía (Qin *et al.*, 2018).

Se ha reportado que los 3n de *C. gigas* alcanzan contenidos máximos de glucógeno comparables a 2n, pero sin convertirlos en maduración sexual ni desarrollo gonádico (>70% en 2n vs <8% en 3n) (Maguire *et al.*, 1995). Reforzando que la limitante en 3n no es energética sino reproductiva, ya que aun con reservas elevadas mantuvieron baja ACG y alta condición somática. Lo cual coincide con lo observado en 3nLP y 3nSD, donde la energía se conserva estructuralmente sin culminar la gametogénesis.

Aunque Pogoda *et al.* (2013) no compararon ploidías, sus experimentos con 2n de *C. gigas* y *O. edulis* demostraron que incrementos en CHO y LT bajo ambientes fríos y productivos no garantizan progresión reproductiva, indicando que la bioenergía del tejido blando puede mantenerse activa aun cuando la gametogénesis permanece limitada. De forma paralela, los 3n de ambos sitios de cultivo el aumento de CHO y LT tampoco se asocia a una progresión gametogénica, pese a la marcada acumulación energética observada. De manera consistente, Linehan *et al.* (1999) describen que en *C. gigas* la variación química del tejido blando responde principalmente al ciclo reproductivo, con picos de glucógeno previos al desove y descenso al evento reproductivo, mientras que los lípidos se mantuvieron relativamente constantes durante el año. Esto coincide con nuestros 3nSD, donde CHO y LT alcanzaron niveles comparables o superiores a 2n durante T04-T06, pero sin observarse madurez sexual ni desove, reforzando que la esterilidad de los 3n es fisiológica-gametogénica más que nutricional. Además, se ha observado

que el contenido de glucógeno, proteínas y grasas totales en la masa visceral y músculo se mantiene constante en la etapa reproductiva de 3n β de *C. gigas* (Wang *et al.*, 2021).

Las evaluaciones nutricionales a gran escala de maricultura en China demostraron que la composición proximal de los ostiones cambia principalmente por estación y región de cultivo, más que por especie o linaje genético, destacando que la bioenergía tisular es altamente sensible al ambiente productivo (Li *et al.*, 2025). Estos resultados coinciden con nuestro patrón en SD, donde los carbohidratos y lípidos totales aumentaron bajo condiciones frías y de alto alimento incluso en 3n, reforzando que el almacenamiento energético puede mantenerse activo sin culminar en maduración gonádica.

8.7.2 Bioquímica en masa visceral

En la masa visceral (gónada), se detectaron diferencias entre ploidías particularmente en proteína, con valores superiores en 2nLP durante T04-T06, mientras que carbohidratos y lípidos totales mostraron fluctuaciones temporales sin un patrón estable entre ploidías. De forma concordante, en 2n de *C. gigas* se ha descrito que el incremento de CHO y LT en masa visceral se asocia directamente con maduración gonadal y posterior desove, siempre que la disponibilidad trófica sea alta (Dridi *et al.*, 2007). Intensificándose la acumulación de proteína, lípidos y glucógeno conforme avanza la gametogénesis (Qin *et al.*, 2023b; Pogoda *et al.*, 2013). De manera análoga, en *C. hongkongensis* se ha observado que los 3n pueden acumular glucógeno en gónada en niveles iguales o superiores a los 2n durante la fase reproductiva, sin pérdida de calidad nutrimental del tejido (Qin *et al.*, 2018). En nuestro estudio, aunque los 3n de *C. gigas* también alcanzaron concentraciones comparables de CHO, PT y LT, esta acumulación no se tradujo en progresión gametogénica, evidenciando que la limitación reproductiva de los 3n es fisiológica y no atribuible a diferencias nutrimentales.

Este comportamiento coincide parcialmente con lo señalado por Ruíz-Verdugo *et al.* (2001) en *Argopecten ventricosus*, donde los 2n acumularon más proteínas, carbohidratos y lípidos que los 3n, mientras que en *C. gigas* las diferencias no fueron sostenidas y en ciertos muestreos los 3n alcanzaron niveles similares. A diferencia de lo reportado para *C. cortizensis*, donde el incremento de reservas bioquímicas acompaña el avance reproductivo, en 3n la acumulación de CHO y LT no

se tradujo en una progresión gonadal evidente y, en cambio, se observó un desarrollo incompleto sostenido (Hurtado *et al.*, 2012). A diferencia de 2n fértiles como *C. corteziensis*, la reserva energética se canaliza hacia maduración, en 3n de *C. gigas* parte de la energía puede mantenerse en equilibrio o distribuirse sin consolidarse en desarrollo gametogénico. La esterilidad de los 3n, está relacionado a una mayor síntesis de proteínas y glucógeno en 3n β que 2n y 3n α (Chen *et al.*, 2021). Pero, la cantidad de proteína totales es menor en los 3n que en los 2n (Wang *et al.*, 2021). Además, se ha observado que las hembras 2n de diferentes especies de *Crassostrea spp* (*C. gigas*, *C. angulata* y *C. hongkongensis*), en etapa de maduración contienen mayores lípidos, proteínas y glucógeno en comparación de los machos (Qin, Li, *et al.*, 2023a), esto también se ha observado en 4n de *C. gigas* (Fu *et al.*, 2024). En nuestros datos tenemos una gran variabilidad en los valores de bioquímica en masa visceral, que bien podrían ser atribuidos a proporciones diferentes de sexos en cada muestreo, cuestión que no pudo ser discriminada ya que no había manera de registrar el sexo de las muestras para el análisis bioquímico. Para solucionar lo anterior sería necesario hacer el análisis por pares de bioquímica con histología.

8.7.3 Bioquímica en músculo

En músculo, el comportamiento de los componentes bioquímicos fue más variable que en gónada y sin una tendencia definida entre muestreos, lo que coincide con los patrones observados para 2n y 3n de *A. ventricosus*, donde este tejido mostró menor contraste entre ploidías (Ruiz-Verdugo *et al.*, 2001). Un comportamiento comparable ha sido descrito en bivalvos de importancia trófica como *Tridacna crocea* y *T. squamosa* (2n), en los cuales el músculo mantiene una composición proximal y perfil lipídico más estable que el manto, con baja variación estacional y sin vínculo directo con el estado reproductivo (Liu *et al.*, 2019). En dichas especies, el músculo concentra aminoácidos estructurales y lípidos asociados a mantenimiento, lo que coincide con la baja sensibilidad metabólica observada en nuestro estudio.

Sin embargo, en especie con reproducción plenamente funcional, como *A. irradians*, el músculo aductor funciona como reserva energética estratégicamente movilizable durante la gametogénesis y desove (Barber y Blake, 1981), lo que evidencia una estrategia fisiológica distinta a la encontrada en *C. gigas*. En conjunto, esto sugiere que el músculo presenta un

comportamiento energético conservador, orientado a funciones mecánicas y homeostasis, por lo que su reserva bioquímica no responde de manera paralela a los cambios reproductivos ni discrimina ploidías con la misma claridad que la gónada (Lodeiros *et al.*, 2001; Lee *et al.*, 2015). Algo similar reportaron Linehan *et al.* (1999), donde el contenido lipídico del músculo de *C. gigas* permaneció estable durante el ciclo anual, indicando que este tejido es menos sensible a variaciones energéticas y reproductivas, lo cual coincide con el comportamiento observado en 2n y 3n del presente estudio. Adicionalmente, se ha reportado que el contenido de proteínas en 3n de *C. gigas* puede ser inferior al de 2n (Wang *et al.*, 2021), reforzando la menor inversión metabólica hacia este tejido en organismos con gametogénesis atenuada.

Asimismo, los mecanismos que explican el rápido crecimiento de los 3n aún se encuentran en estudio. Entre las hipótesis propuestas se incluye la redistribución de energía desde el desarrollo gonadal hacia el crecimiento somático como consecuencia de la esterilidad (parcial) de los 3n (Barber y Mann, 1991), así como un mayor tamaño celular asociado al gigantismo poliploide (Guo and Allen, 1994b) y una mayor heterocigosidad incrementada que favorece la heterosis (Nell y Perkins, 2005). Aunado a ello, variables ambientales como la disponibilidad de alimento y la eficiencia de filtración también podrían desempeñar un papel determinante en dichos patrones de crecimiento (Racotta *et al.*, 2008). En etapas adultas los 3n presentan tasas de crecimiento superiores a las de los 2n debido a esta redirección energética. No obstante, en etapas juveniles no reproductivas, las ventajas observadas en la velocidad de crecimiento de los 3n parecen explicarse principalmente por el mayor volumen celular derivado del número adicional de cromosomas (gigantismo poliploide) y por la elevada heterocigosidad genómica que los caracteriza (Guo *et al.*, 1996; Piferrer *et al.*, 2009).

9. CONCLUSIONES

Esta investigación evaluó los efectos de dos grupos de ploidía y condiciones ambientales sobre el crecimiento y la supervivencia de *Crassostrea gigas* durante las fases larvaria y de engorda.

La inducción biológica mediante la cruce de hembras diploides ($2n♀$) × tetraploides machos ($4n♂$) permitió obtener semilla triploide ($3n$) con 100% de triploidización y una supervivencia larvaria semejante a los $2n$ (≈ 14 -15%). Las larvas $3n$ mostraron un crecimiento superior (mayor altura y longitud de la concha), alcanzando la etapa de fijación cuatro días antes que las $2n$ bajo condiciones controladas ($25\text{ }^{\circ}\text{C}$), lo que indica que la triploidía no compromete la viabilidad larvaria y puede reducir los tiempos de producción de semilla en los sistemas de criadero.

Durante la fase de engorda, las tasas de supervivencia fueron similares entre ambos grupos de ploidía en cada ambiente.

Las condiciones ambientales, especialmente la temperatura y la disponibilidad de alimento, desempeñaron un papel determinante, siendo Santo Domingo el sitio que ofreció condiciones más favorables para el crecimiento general en ambos grupos de ploidía. Sin embargo, en cada sitio los $3n$ mostraron ventajas en comparación a los $2n$, particularmente en el ancho de la concha y peso del músculo aductor, observándose en mayor medida en Bahía de La Paz: Hasta donde se tiene conocimiento, este es el primer reporte de este hallazgo en ostiones del orden Ostreida, por lo que el ancho de la concha podría emplearse como un indicador productivo.

Aunque la proporción sexual no difirió entre ploidías, la distribución temporal de sexos y estadios relevó patrones reproductivos contrastantes. Los $2n$ presentaron un desarrollo gonádico sincronizado y con estadios avanzados, mientras que los $3n$ mostraron un retraso, teniendo gónadas inmaduras o inactivas.

Al final del cultivo, el área de cobertura gonádica (ACG) confirmó una clara diferencia entre ploidías, los $2n$ alcanzaron mayor ACG (70%), compatible con una maduración avanzada, mientras que los $3n$ se mantuvieron muy por debajo (25%), con evidencia de una limitada madurez parcial en $3n$ machos y hembras, y sin evidencia de desove (estadio IV). Lo anterior se observó, tanto sin discriminar sexos, como en sexos separados, por lo que la triploidía induce una gametogénesis

incompleta y una esterilidad parcial, que esta modulada por el ambiente, siendo más restrictivo en LP, mientras que en SD hubo un mayor avance gonádico, pero sin llegar a la madurez completa.

En el cuerpo blando las concentraciones de carbohidratos y lípidos variaron de acuerdo con la estacionalidad y estuvieron poco asociadas a la ploidía y sexo, mientras que las proteínas se mantuvieron constantes entre ploidías.

Tanto en cuerpo blando, gónada y músculo, los 3n acumularon reservas energéticas equivalentes a los 2n. Se confirmó que los 3n pueden almacenar energía en la gónada, pero sin convertirlo de manera eficiente en tejido gonádico. Mientras que el músculo se comportó como un órgano de mantenimiento, con baja sensibilidad a los cambios reproductivos.

9.1 Recomendaciones

El comportamiento diferencial de los ostiones entre sitios confirma las ventajas de los organismos 3n para alcanzar un crecimiento más rápido y una producción eficiente, particularmente bajo condiciones subóptimas como las presentes en Bahía de La Paz. Se recomienda desarrollar estrategias de manejo específicas por sitio para maximizar su potencial en la ostricultura.

Los resultados obtenidos en este estudio proporcionan información valiosa sobre el desempeño biológico y productivo del ostión japonés (*Crassostrea gigas*) triploide en comparación con su contraparte diploide en dos sitios de cultivo con condiciones ambientales contrastantes en Baja California Sur. Este estudio confirma la viabilidad de utilizar organismos triploides en la acuicultura debido a su mayor crecimiento en ciertas condiciones ambientales, lo que sugiere un potencial significativo para mejorar la eficiencia de la producción ostrícola en la región.

Se continuará realizando estudios más detallados sobre la influencia de la triploidía en la composición bioquímica y el estado de desarrollo (área de cobertura gonádica y madurez sexual), así como la energética, lo que contribuirá al entendimiento del desempeño del ostión triploide, en ambos sitios de cultivo y si tienen correlación a los resultados ya obtenidos.

10. LITERATURA CITADA

- Akashige, S. y Fushimi, T. (1992). Growth, survival, and glycogen content of triploid Pacific oyster *Crassostrea gigas* in the waters of Hiroshima, Japan. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 58(6): 1063–1071. <https://doi.org/10.2331/suisan.58.1063>
- Allen, S.K. y Downing, S.L. (1986). Performance of triploid Pacific oysters, *Crassostrea gigas* (Thunberg). I. Survival, growth, glycogen content, and sexual maturation in yearlings. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 102(2–3): 197–208. [https://doi.org/10.1016/0022-0981\(86\)90176-0](https://doi.org/10.1016/0022-0981(86)90176-0)
- Allen, S.K., Jr., Gagnon, P.S. y Hidu, H. (1982). Induced triploidy in the soft-shell clam: cytogenetic and allozymic confirmation. *Journal of Heredity*, 73(6): 421–428. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.jhered.a109691>
- Arredondo-Espinoza, R., Ibarra, A.M., Roberts, B.S., Sicard-González, M.T. y Escobedo-Fregoso, C. (2021). Differentially methylated gene regions between resistant and susceptible heat-phenotypes of the Pacific oyster *Crassostrea gigas*. *Aquaculture*, 543: 736923. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736923>
- Arredondo-Espinoza, R., Ibarra, A.M., Roberts, S.B., Sicard-González, M.T. y Escobedo-Fregoso, C. (2023). Transcriptome profile in heat resilient Pacific oyster *Crassostrea gigas* families under thermal challenge. *Comparative Biochemistry and Physiology Part D: Genomics and Proteomics*, 47: 101089. <https://doi.org/10.1016/j.cbd.2023.101089>
- Ascencio-Michel, R., Ibarra, A.M., Araneda-Padilla, M., Ponce-Díaz, G. y Vergara-Solana, F.J. (2022). Dynamic simulation of diploid vs. triploid Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) productive performance in northwestern Mexico. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 50(3): 467–478. <https://doi.org/10.3856/vol60-issue3-fulltext-2771>
- Barber, B.J. y Blake, N.J. (1981). Energy storage and utilization in relation to gametogenesis in *Argopecten irradians concentricus* (Say). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 52(2): 121–134. [https://doi.org/10.1016/0022-0981\(81\)90031-9](https://doi.org/10.1016/0022-0981(81)90031-9)
- Barber, B.J. y Mann, R.L. (1991). Sterile triploid *Crassostrea virginica* (Gmelin, 1791) grow faster than diploids but are equally susceptible to *Perkinsus marinus*. *Journal of Shellfish Research*, 10(2): 445–450.
- Barnes, H. y Blackstock, J. (1973). Estimation of lipids in marine animals and tissues: detailed investigation of the sulphophosphovanillin method for “total” lipids. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 12(1): 103–118. [https://doi.org/10.1016/0022-0981\(73\)90040-3](https://doi.org/10.1016/0022-0981(73)90040-3)
- Baron, J., Diter, A. y Bodoy, A. (1989). Triploidy induction in the black scallop (*Chlamys varia* L.) and its effect on larval growth and survival. *Aquaculture*, 77(2): 103–111. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(89\)90194-4](https://doi.org/10.1016/0044-8486(89)90194-4)
- Barreto-Hernández, A., Velasco, L.A. y Winkler, F.M. (2018). Effect of three triploidy induction methods on the growth and survival of larvae and post-larvae of the Caribbean scallop *Argopecten nucleus*. *Aquaculture Research*, 49(4): 1578–1587. <https://doi.org/10.1111/are.13612>
- Beaumont, A.R. (1986). Genetic aspects of hatchery rearing of the scallop, *Pecten maximus* (L.). *Aquaculture*, 57(1): 99–110. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(86\)90186-9](https://doi.org/10.1016/0044-8486(86)90186-9)
- Beaumont, A.R. (1991). Ploidy manipulation in molluscan shellfish: a review. *Journal of Shellfish Research*, 10: 1–18.

- Benfey, T.J. y Sutterlin, A.M. (1984). Triploidy induced by heat shock and hydrostatic pressure in landlocked Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture*, 36(4): 359–367. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(84\)90328-4](https://doi.org/10.1016/0044-8486(84)90328-4)
- Bizzarro, J.J. (2008). A review of the physical and biological characteristics of the Bahía Magdalena lagoon complex (Baja California Sur, Mexico). *Bulletin of the Southern California Academy of Sciences*, 107(1): 1–24. [https://doi.org/10.3160/0038-3872\(2008\)107\[1:AROTPA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.3160/0038-3872(2008)107[1:AROTPA]2.0.CO;2)
- Bodenstein, S., Callam, B.R., Walton, W.C., Rikard, F.S., Tiersch, T.R. y La Peyre, J.F. (2023a). Survival and growth of triploid eastern oysters, *Crassostrea virginica*, produced from wild diploids collected from low-salinity areas. *Aquaculture*, 564: 739032. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.739032>
- Bodenstein, S., Casas, S.M., Tiersch, T.R. y La Peyre, J.F. (2023b). Energetic budget of diploid and triploid eastern oysters during a summer die-off. *Frontiers in Marine Science*, 10: 1194296. <https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1194296>
- Bonham, V. y Goulletquer, P. (2017). *Magallana gigas* (Pacific oyster). *CABI Compendium*, 87296. <https://doi.org/10.1079/cabicompendium.87296>
- Bradford, M.M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72(1): 248–254. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3)
- Brake, J., Davidson, J. y Davis, J. (2004). Field observations on growth, gametogenesis, and sex ratio of triploid and diploid *Mytilus edulis*. *Aquaculture*, 236(1–4): 179–191. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2003.09.016>
- Brianik, C.J. y Allam, B. (2023). The need for more information on the resistance to biological and environmental stressors in triploid oysters. *Aquaculture*, 577: 739913. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.739913>
- Cabral, D.S., Campos Medeiros, L.C., Barbosa Alves, B.V., Passos, L.S., Pereira, T.M., Merçon, J., Casthologe, V.D. y Chippari-Gomes, A.R. (2022). ¿Do iron and manganese affect the health of the estuarine oyster *Crassostrea rhizophorae*? *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 268: 107800. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2022.107800>
- Cabrera Rodríguez, P., Aldana Aranda, D., Brulé, T. y Amador del Ángel, E. (1997). Culture of the American oyster, *Crassostrea virginica* (Gmelin, 1971) in Río Lagartos, Yucatán, México. *Aquaculture Research*, 28(8): 611–619. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2109.1997.00902.x>
- Callam, B.R., Allen, S.K. y Frank-Lawale, A. (2016). Genetic and environmental influence on triploid *Crassostrea virginica* grown in Chesapeake Bay: growth. *Aquaculture*, 452: 97–106. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.10.027>
- Castillo-Durán, A., Chávez-Villalba, J., Arreola-Lizárraga, A. y Barraza-Guardado, R. (2010). Comparative growth, condition, and survival of juvenile *Crassostrea gigas* and *C. corteziensis* oysters cultivated in summer and winter. *Ciencias Marinas*, 36(1). <https://doi.org/10.7773/cm.v36i1.1623>
- Cervantes-Duarte, R., Barón-Campis, S., Hernández-Becerril, D.U., Gaxiola-Castro, G. y Lara-Lara, J.R. (2018). Temporal variability of phytoplankton biomass and primary production off Magdalena Bay, Baja California Sur, Mexico. *Ciencias Marinas*, 44(2). <https://doi.org/10.7773/cm.v44i2.2744>
- Chávez-Villalba, J., Ibarra-Hernández, M., López-Tapia, M. y Mazón-Suástegui, J.M. (2008). Prospective culture of the Cortez oyster *Crassostrea corteziensis* from northwestern Mexico:

- growth, gametogenic activity, and condition index. *Journal of Shellfish Research*, 27(4): 711–720.
- Chávez-Villalba, J. (2014). Cultivo de ostión *Crassostrea gigas*: análisis de 40 años de actividades en México. *Hidrobiología*, 24(3): 175-190.
- Chávez-Villalba, J., López-Tapia, M., Mazón-Suástegui, J. y Robles-Mungaray, M. (2005). Growth of the oyster *Crassostrea corteziensis* (Hertlein, 1951) in Sonora, Mexico. *Aquaculture Research*, 36(14): 1337–1344. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2005.01345.x>
- Chen, C., Yu, H. y Li, Q. (2021). Integrated proteomic and transcriptomic analysis of gonads reveal disruption of germ cell proliferation and division, and energy storage in glycogen in sterile triploid Pacific oysters (*Crassostrea gigas*). *Cells*, 10(10): 2668. <https://doi.org/10.3390/cells10102668>
- Chen, C., Yu, H., Li, Q., Kong, L., Liu, S. y Xu, C. (2024). Examination of the effects of impaired spermatogenesis on sterility in triploid oysters (*Crassostrea gigas*), and implications for commercial aquaculture. *Aquaculture*, 587: 740787. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.740787>
- Cheng, G., Liang, Y., Zhang, H., Xu, C. y Li, Q. (2024). Effects of temperature and salinity on the larval early development, growth, and settlement of the diploid, triploid, and tetraploid Pacific oyster “Haida No. 2” strain. *Aquaculture International*. <https://doi.org/10.1007/s10499-024-01457-9>
- Chi, Y., Li, Q., Liu, S. y Kong, L. (2021). Genetic parameters of growth and survival in the Pacific oyster *Crassostrea gigas*. *Aquaculture Research*, 52(1): 282–290. <https://doi.org/10.1111/are.14891>
- Chi, Y., Xu, C. y Li, Q. (2024). Influence of ploidy, genetic and environment on production traits of the Pacific oyster *Crassostrea gigas*. *Aquaculture*, 586: 740756. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.740756>
- Copernicus Marine Service (2025). Global ocean biogeochemistry analysis and forecast. Disponible en: <https://doi.org/10.48670/moi-00015>
- COPLADEBC (2022). *Plan Estatal de Desarrollo de Baja California 2022–2027*. Comité de Planeación para el Desarrollo del Estado de Baja California. Disponible en: <https://www.bajacalifornia.gob.mx/Documentos/coplade/PED%20BC%20Completo%20110522.pdf>
- Córdova, L.R.M. y Robles, M. (1986). Introducción de ostión japonés *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1795) en el estero La Cruz, Sonora, México. *Ciencia Pesquera*, 5: 157.
- Cunningham, J., Lämmle, A., Sakamaki, T. y Filgueira, R. (2025). Predicting eastern oyster (*Crassostrea virginica*) settlement using growing degree days along the north shore of Nova Scotia, Canada. *Aquaculture*, 594: 741377. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.741377>
- Das, S. y Mangwani, N. (2015). Ocean acidification and marine microorganisms: responses and consequences. *Oceanologia*, 57(4): 349–361. <https://doi.org/10.1016/j.oceano.2015.07.003>
- De la Rosa, L.C., Velasco, L.A. y Winkler, F.M. (2020). Effects of triploidy induction on productive traits of the Caribbean pectinid *Argopecten nucleus* (Mollusca: Bivalvia). *Aquaculture*, 521: 735083. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735083>
- De Sousa, J.T., Allen, S.K., Baker, H. y Matt, J.L. (2016). Aneuploid progeny of the American oyster, *Crassostrea virginica*, produced by tetraploid × diploid crosses: another example of

- chromosome instability in polyploid oysters. *Genome*, 59(5): 327–338. <https://doi.org/10.1139/gen-2015-0222>
- Desrosiers, R.R., Gérard, A., Peignon, J.-M., Naciri, Y., Dufresne, L., Morasse, J., Ledu, C., Phelipot, P., Guerrier, P. y Dubé, F. (1993). A novel method to produce triploids in bivalve molluscs by the use of 6-dimethylaminopurine. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 170(1): 29–43. [https://doi.org/10.1016/0022-0981\(93\)90127-A](https://doi.org/10.1016/0022-0981(93)90127-A)
- Dheilly, N.M., Jouaux, A., Boudry, P., Favrel, P. y Lelong, C. (2014). Transcriptomic profiling of gametogenesis in triploid Pacific oysters *Crassostrea gigas*: towards an understanding of partial sterility associated with triploidy. *PLoS ONE*, 9(11): e112094. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0112094>
- Diter, A. y Dufy, C. (1990). Polyploidy in the Manila clam, *Ruditapes philippinarum*. II. Chemical induction of tetraploid embryos. *Aquatic Living Resources*, 3(2): 107–112. <https://doi.org/10.1051/alr:1990010>
- Dridi, S., Romdhane, M.S. y Elcafsi, M. (2007). Seasonal variation in weight and biochemical composition of the Pacific oyster, *Crassostrea gigas*, in relation to the gametogenic cycle and environmental conditions of the Bizert Lagoon, Tunisia. *Aquaculture*, 263(1–4): 238–248. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.10.028>
- Dunstan, G.A., Elliott, N.G., Appleyard, S.A., Holmes, B.H., Conod, N., Grubert, M.A. y Cozens, M.A. (2007). Culture of triploid greenlip abalone (*Haliotis laevis* Donovan) to market size: commercial implications. *Aquaculture*, 271(1–4): 130–141. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.06.023>
- Eudeline, B., Allen, S.K. y Guo, X. (2000). Delayed meiosis and polar body release in eggs of triploid Pacific oysters, *Crassostrea gigas*, in relation to tetraploid production. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 248(2): 151–161. [https://doi.org/10.1016/S0022-0981\(00\)00158-1](https://doi.org/10.1016/S0022-0981(00)00158-1)
- Eversole, A., Kempton, C.J., Hadley, N. y Buzzi, W.R. (1996). Comparison of growth, survival, and reproductive success of diploid and triploid *Mercenaria mercenaria*. *Journal of Shellfish Research*, 15: 689–694.
- Ezgeta-Balić, D., Šantić, D., Šegvić-Bubić, T., Bojanić, N., Bužančić, M., Vidjak, O., Varezić, D.B., Stagličić, N., Kundid, P., Peharda, M., Žužul, I., Grubišić, L. y Briski, E. (2020). Competitive feeding interactions between native *Ostrea edulis* and non-native *Crassostrea gigas* with implications of introducing *C. gigas* into commercial aquaculture in the eastern Adriatic Sea. *Marine Environmental Research*, 160: 105051. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2020.105051>
- FAO (2006). *Cultured aquatic species information programme – Crassostrea gigas*. Fisheries and Aquaculture Department, FAO. Disponible en: https://www.fao.org/fishery/docs/DOCUMENT/aquaculture/CulturedSpecies/file/es/es_pacificcuppedoyster.htm (consulta: 7 febrero 2023).
- FAO (2022). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2022*. FAO. <https://doi.org/10.4060/cc0461es>
- Ferreira-Arrieta, A., García-Esquivel, Z., González-Gómez, M.A. y Valenzuela-Espinoza, E. (2015). Growth, survival, and feeding rates for the geoduck *Panopea globosa* during larval development. *Journal of Shellfish Research*, 34(1): 55–61. <https://doi.org/10.2983/035.034.0108>

- Ferreira-Arrieta, A., Rodríguez-Jaramillo, C., Arcos-Ortega, F. y García-Esquivel, Z. (2020). Internal anatomy and biochemical content of the Cortez geoduck *Panopea globosa* during larval development. *Journal of Shellfish Research*, 39(2): 303–311. <https://doi.org/10.2983/035.039.0211>
- Fu, J., Zhang, E., Yu, W., Wang, W., Sun, Y., Dong, L., Zhang, Y., Sun, G., Li, Z., Luo, Q. y Yang, J. (2024). Comparative analysis of the biochemical composition, amino acid, and fatty acid contents of diploid, triploid, and tetraploid *Crassostrea gigas*. *Molecules*, 29(11): 2671. <https://doi.org/10.3390/molecules29112671>
- Gadomski, K., Moller, H., Beentjes, M. y Lamare, M. (2015). Embryonic and larval development of the New Zealand bivalve *Paphies ventricosa* Gray, 1843 (Veneroida: Mesodesmatidae) at a range of temperatures. *Journal of Molluscan Studies*, 81(3): 356–364. <https://doi.org/10.1093/mollus/eyv001>
- Gagnaire, B., Soletchnik, P., Madec, P., Geairon, P., Le Moine, O. y Renault, T. (2006). Diploid and triploid Pacific oysters, *Crassostrea gigas* (Thunberg), reared at two heights above sediment in Marennes-Oléron Basin, France: difference in mortality, sexual maturation and hemocyte parameters. *Aquaculture*, 254(1–4): 606–616. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.10.008>
- Galindo-Torres, P., Abreu-Goodger, C., Llera-Herrera, R., Escobedo-Fregoso, C., García-Gasca, A. y Ibarra, A.M. (2022). Triploid-induced complete sterility in the scallop *Nodipecten subnodosus* might be triggered by an early and sustained DNA damage response. *Aquaculture*, 559: 738422. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738422>
- Gallo-García, M. del C., García-Ulloa Gómez, M., Godínez Siordia, D. y Rivera Gómez, K. (2001). Estudio preliminar sobre el crecimiento y sobrevivencia del ostión del Pacífico *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1873) en Barra de Navidad, Jalisco, México. *Universidad y Ciencia*, 17(34). Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=15403404> (accessed 8 August 2025).
- Galtsoff, P.S. (1964). *The American oyster, Crassostrea virginica Gmelin*. U.S. Fishery Bulletin, 64. U.S. Government Printing Office, Washington, DC. 480 p.
- García, E. (2004). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Garnier-Géré, P.H., Naciri-Graven, Y., Bougrier, S., Magoulas, A., Héral, M., Kotoulas, G., Hawkins, A. y Gérard, A. (2002). Influences of triploidy, parentage and genetic diversity on growth of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* reared in contrasting natural environments. *Molecular Ecology*, 11(8): 1499–1514. <https://doi.org/10.1046/j.1365-294X.2002.01531.x>
- GBIF.org (2023). *Magallana gigas* (Thunberg, 1793). Global Biodiversity Information Facility. Disponible en: <https://www.gbif.org/es/species/7820753> [consulta: 15 Febrero 2023].
- Gobierno de México (2024). *Anuario Estadístico de Acuicultura y Pesca 2024*. Comisión Nacional de Acuicultura y Pesca (CONAPESCA). Disponible en: <https://www.gob.mx> [consulta: 17 diciembre 2025]
- Gobierno del Municipio de La Paz (2021). *Plan Municipal de Desarrollo de La Paz 2021–2024*. La Paz, B.C.S., México. Disponible en: https://biblioteca.setuesbcs.gob.mx/vista/list_pub.php?id_col=5 [consulta: 03 febrero 2025]
- Gosling, E. (2008). *Bivalve molluscs: biology, ecology and culture*. John Wiley & Sons, Oxford.
- Gosling, E.M. y Nolan, A. (1989). Triploidy induction by thermal shock in the Manila clam *Tapes semidecussatus*. *Aquaculture*, 78(3): 223–228. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(89\)90100-2](https://doi.org/10.1016/0044-8486(89)90100-2)

- Guo, X. y Allen, S.K. Jr. (1994a). Reproductive potential and genetics of triploid Pacific oysters, *Crassostrea gigas* (Thunberg). *The Biological Bulletin*, 187(3): 309–318.
- Guo, X. y Allen, S.K. (1994b). Viable tetraploid Pacific oyster (*Crassostrea gigas* Thunberg) produced by inhibiting polar body I in eggs of triploids. *Molecular Marine Biology and Biotechnology*, 3: 42–50.
- Guo, X., Cooper, K., Hershberger, W.K. y Chew, K.K. (1992). Genetic consequences of blocking polar body I with cytochalasin B in fertilized eggs of the Pacific oyster, *Crassostrea gigas*: I. Ploidy of resultant embryos. *The Biological Bulletin*, 183(3): 381–386. <https://doi.org/10.2307/1542013>
- Guo, X., DeBrosse, G.A. y Allen, S.K. (1996). All-triploid Pacific oysters (*Crassostrea gigas* Thunberg) produced by mating tetraploids and diploids. *Aquaculture*, 142(3): 149–161. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(95\)01243-5](https://doi.org/10.1016/0044-8486(95)01243-5)
- Guo, X., Wang, Y., DeBrosse, G., Bushek, D. y Ford, S.E. (2008). Building a superior oyster for aquaculture. *Jersey Shoreline*, 25: 7–9.
- Gutierrez, A.P., Turner, F., Gharbi, K., Talbot, R., Lowe, N.R., Peñaloza, C., McCullough, M., Prodöhl, P.A., Bean, T.P. y Houston, R.D. (2017). Development of a medium-density combined-species SNP array for Pacific and European oysters (*Crassostrea gigas* and *Ostrea edulis*). *G3: Genes/Genomes/Genetics*, 7(7): 2209–2218. <https://doi.org/10.1534/g3.117.041780>
- Hawkins, A.J.S., Day, A.J., Gérard, A., Naciri, Y., Ledu, C., Bayne, B.L. y Héral, M. (1994). A genetic and metabolic basis for faster growth among triploids induced by blocking meiosis I but not meiosis II in the larviparous European flat oyster, *Ostrea edulis* L. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 184(1), 21–40. [https://doi.org/10.1016/0022-0981\(94\)90164-3](https://doi.org/10.1016/0022-0981(94)90164-3)
- Hedgecock, D., Shin, G., Gracey, A.Y., Van den Berg, D. y Samanta, M.P. (2015). Second-generation linkage maps for the Pacific oyster *Crassostrea gigas* reveal errors in assembly of genome scaffolds. *G3: Genes/Genomes/Genetics*, 5(10): 2007–2019. <https://doi.org/10.1534/g3.115.019570>
- Helm, M.M., Bourne, N. y Lovatelli, A. (2004). *The hatchery culture of bivalves: a practical manual*. FAO Fisheries Technical Paper No. 471. FAO, Rome.
- Héral, M. y Deslous-Paoli, J.M. (2018). Oyster culture in European countries. En: Menzel, W. (ed.), *Estuarine and Marine Bivalve Mollusk Culture*. 1ª ed. CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 153–190. <https://doi.org/10.1201/9781351071918-13>
- Hickman, R.W. y Illingworth, J. (1980). Condition cycle of the green-lipped mussel *Perna canaliculus* in New Zealand. *Marine Biology*, 60(1): 27–38. <https://doi.org/10.1007/BF00395603>
- Houssin, M., Trancart, S., Denechere, L., Oden, E., Adeline, B., Lepoitevin, M. y Pitel, P.-H. (2019). Abnormal mortality of triploid adult Pacific oysters: ¿Is there a correlation with high gametogenesis in Normandy, France? *Aquaculture*, 505: 63–71. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.02.043>
- Howard, D.W. y Smith, C.S. (1983). *Histological techniques for marine bivalve mollusks*. NOAA Technical Memorandum NMFS-F/NEC-25. National Oceanic and Atmospheric Administration, Seattle, WA.
- Hoyos-Chairez, F. (2004). Ostricultura sonorensis: antecedentes, presente y perspectiva de desarrollo sustentable. In: *Memoria del Foro Agricultura y Desarrollo Rural Sustentable*. Hermosillo, Sonora, México, pp. 29–30.

- Humason, G.L. (1962). *Animal tissue techniques*. 4th edn. W.H. Freeman & Co., San Francisco and London. Disponible: https://dn790000.ca.archive.org/0/items/animaltissuetech00huma/animaltissuetech00huma_bw.pdf
- Hurtado, M.A., Racotta, I.S., Arcos, F., Morales-Bojórquez, E., Moal, J., Soudant, P. y Palacios, E. (2012). Seasonal variations of biochemical, pigment, fatty acid, and sterol compositions in female *Crassostrea corteziensis* oysters in relation to the reproductive cycle. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 163(2): 172–183. <https://doi.org/10.1016/j.cbpb.2012.05.011>
- Ibarra, A.M., Ascencio-Michel, R., Ramírez, J.L., Manzano-Sarabia, M. y Rodríguez-Jaramillo, C. (2017). Performance of diploid and triploid *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1793) grown in tropical versus temperate natural environmental conditions. *Journal of Shellfish Research*, 36(1): 119–139. <https://doi.org/10.2983/035.036.0113>
- INAPESCA (2022). *Acuicultura en México*. Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura, Gobierno de México. Disponible: <http://www.gob.mx/inapesca/articulos/acuicultura-en-mexico-320890> (accessed 10 January 2023).
- Islas-Olivares, R. (1975). El ostión japonés (*Crassostrea gigas*) en Baja California. *Ciencias Marinas*, 2(1): 58–59.
- Islas-Olivares, R., Guardado, V. y Pérez, A.M. (1982). Crecimiento y sobrevivencia del ostión japonés (*Crassostrea gigas*) en la Laguna Manuela, B.C., México. *Ciencias Marinas*, 8(2): 47–54. <https://doi.org/10.7773/cm.v8i2.399>
- Jackson, D.L., Macdonald, B.W., Vercaemer, B., Guo, X., Mallet, A. y Kenchington, E.L. (2003). Investigations with triploid Atlantic sea scallops, *Placopecten magellanicus*, at the Bedford Institute of Oceanography, 2000–2003. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.32038.75846>
- Jiménez-Illescas, A.R., Obeso-Nieblas, M. y Salas-León, D.A. (1997). *Oceanografía física de la Bahía de La Paz, B.C.S.* En: Urbán, R.J. y Ramírez, M. (eds.), *La Bahía de La Paz, investigación y conservación*. UABCS, CICIMAR, SCRIPPS, La Paz, México, pp. 31–41.
- Jouaux, A., Heude-Berthelin, C., Sourdain, P., Mathieu, M. y Kellner, K. (2010). Gametogenic stages in triploid oysters *Crassostrea gigas*: irregular locking of gonial proliferation and subsequent reproductive effort. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 395(1–2): 162–170. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2010.08.030>
- Juárez, O.E., Escobedo-Fregoso, C., Arredondo-Espinoza, R. y Ibarra, A.M. (2021). Development of SNP markers for identification of thermo-resistant families of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* based on RNA-seq. *Aquaculture*, 539: 736618. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736618>
- King, J.W., Malham, S.K., Skov, M.W., Cotter, E., Latchford, J.W., Culloty, S.C. y Beaumont, A.R. (2006). Growth of *Crassostrea gigas* spat and juveniles under differing environmental conditions at two sites in Wales. *Aquatic Living Resources*, 19(3): 289–297. <https://doi.org/10.1051/alr:2006030>
- Komaru, A. y Wada, K.T. (1989). Gametogenesis and growth of induced triploid scallops *Chlamys nobilis*. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 55(3): 447–452. <https://doi.org/10.2331/suisan.55.447>
- Kube, P., Cunningham, M., Dominik, S., Parkinson, S., Finn, B., Henshall, J., Bennett, R. y Hamilton, M. (2011). *Enhancement of the Pacific oyster selective breeding program*. Hobart: FRDC and Seafood CRC. Project no. 2006/227. 177 pp.

- Kuhn, M. (2008). Building predictive models in R using the caret package. *Journal of Statistical Software*, 28(5): 1–26. <https://doi.org/10.18637/jss.v028.i05>
- La Peyre, M.K., Geaghan, J., Decossas, G. y La Peyre, J.F. (2016). Analysis of environmental factors influencing salinity patterns, oyster growth, and mortality in Lower Breton Sound Estuary, Louisiana, using 20 years of data. *Journal of Coastal Research*, 32(2): 519–530. <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-15-00146.1>
- Lannig, G., Flores, J.F. y Sokolova, I.M. (2006). Temperature-dependent stress response in oysters, *Crassostrea virginica*: pollution reduces temperature tolerance in oysters. *Aquatic Toxicology*, 79(3): 278–287. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2006.06.017>
- Lê, S., Josse, J. y Husson, F. (2008). FactoMineR: an R package for multivariate analysis. *Journal of Statistical Software*, 25(1): 1–18. <https://doi.org/10.18637/jss.v025.i01>
- Lee, Y.-J., Choi, K.-S., Lee, D.-S., Lee, W.C., Park, H.J., Choy, E.J., Kim, H.C. y Kang, C.-K. (2015). The role of the adductor muscle as an energy storage organ in the pen shell *Atrina japonica* (Reeve, 1858). *Journal of Molluscan Studies*, 81(4): 502–511. <https://doi.org/10.1093/mollus/eyv025>
- Leeds, T.D. y Weber, G.M. (2019). Effects of triploidy on genetic gains in a rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) population selectively bred for diploid growth performance. *Aquaculture*, 505: 481–487. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.03.003>
- Lenz, T. y Boehs, G. (2009). Ciclo reproductivo del ostión de manglar *Crassostrea rhizophorae* (Bivalvia: Ostreidae) en la Bahía de Camamu, Bahía, Brasil. *Revista de Biología Tropical*, 59(1). <https://doi.org/10.15517/rbt.v59i1.3184>
- Li, Q., Lu, J., Chang, Y., He, C., Feng, L., Shen, G. y Feng, J. (2025). Nutritional heterogeneity of maricultured oysters in China: the interplay of species, season, and geographic location. *Journal of Food Composition and Analysis*, 142: 107423. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2025.107423>
- Li, Q., Wang, Q., Liu, S. y Kong, L. (2011). Selection response and realized heritability for growth in three stocks of the Pacific oyster *Crassostrea gigas*. *Fisheries Science*, 77(4): 643–648. <https://doi.org/10.1007/s12562-011-0369-0>
- Li, Y. y Li, Q. (2022). The growth, survival and ploidy of diploid, triploid and tetraploid Pacific oysters (*Crassostrea gigas*) in larval and juvenile stages. *Aquaculture*, 553: 738083. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738083>
- Li, Z., Bao, X., Liu, X., Wang, Y., Zhu, X., Zhang, Y., Wang, Z., Maslennikov, S., Whiteside, M., Wang, W., Xu, X., Li, B., Luo, Q., Li, Y., Wang, S., Hu, B. y Yang, J. (2024). Transcriptome analysis provides preliminary insights into the response of *Sepia esculenta* to high salinity stress. *Agriculture Communications*, 2(4): 100064. <https://doi.org/10.1016/j.agrcom.2024.100064>
- Liang, S., Li, H., Liang, J., Liu, H., Wang, X., Chen, L., Gao, L., Qi, J. y Guo, Y. (2024). Synergistic effects of bivalve and microalgae co-cultivation on carbon dynamics and water quality. *Marine Environmental Research*, 201: 106672. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2024.106672>
- Liang, Y., Wang, R., Tian, C., Yu, R. y Qu, X. (1994). A preliminary study on the triploid oyster *Crassostrea talienwhanensis*. *英文版*, 18(3): 237–240.
- Linehan, L.G., O'Connor, T.P. y Burnell, G. (1999). Seasonal variation in the chemical composition and fatty acid profile of Pacific oysters (*Crassostrea gigas*). *Food Chemistry*, 64(2): 211–214. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(98\)00144-7](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(98)00144-7)

- Liu, C., Li, T., Liu, E., Li, C., Wang, A. y Gu, Z. (2019). Proximate composition, amino acid content, and fatty acid profile of the adductor muscle and mantle from two species of giant clams *Tridacna crocea* and *Tridacna squamosa*. *Journal of Shellfish Research*, 38(3): 529–538. <https://doi.org/10.2983/035.038.0303>
- Liu, S., Li, L., Wang, W., Li, B. y Zhang, G. (2020). Characterization, fluctuation and tissue differences in nutrient content in the Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) in Qingdao, northern China. *Aquaculture Research*, 51(4): 1353–1364. <https://doi.org/10.1111/are.14463>
- Liu, W., Heasman, M. y Simpson, R. (2004). Induction and evaluation of triploidy in the Australian blacklip abalone *Haliotis rubra*: a preliminary study. *Aquaculture*, 233(1): 79–92. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2003.09.006>
- Liu, W., Heasman, M. y Simpson, R. (2009). Growth and reproductive performance of triploid and diploid blacklip abalone *Haliotis rubra* (Leach, 1814). *Aquaculture Research*, 40(2): 188–203. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2008.02082.x>
- Lodeiros, C., Rodríguez-Pesantes, D., Márquez, A., Revilla, J., Chávez-Villalba, J. y Sonnenholzner, S. (2018). Suspended cultivation of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* in the Eastern Tropical Pacific. *Aquaculture International*, 26(1): 337–347. <https://doi.org/10.1007/s10499-017-0217-z>
- Lodeiros, C.J., Rengel, J.J., Guderley, H.E., Nusetti, O. y Himmelman, J.H. (2001). Biochemical composition and energy allocation in the tropical scallop *Lyropecten (Nodipecten) nodosus* during the months leading up to and following gonad development. *Marine Biology*, 139: 113–126.
- López-Marcos, S., Cruz-Hernández, P., Peña-Rodríguez, A., Arredondo-Vega, B.O., López-Galindo, L., Barajas-Frías, J.D. y Elizondo-González, R. (2025). Dietary supplement effects of *Ulva lactuca* single-cell detritus and lipid microspheres on *Crassostrea gigas* broodstock conditioning. *Journal of Applied Phycology*. [Preprint]. <https://doi.org/10.1007/s10811-025-03621-x>
- Lu, C., Li, Y., Yang, B., Mo, G., Zhao, Y., Wang, L. y Bi, S. (2025). Comparative investigation of the nutritional composition and flavor characteristics of pre-breeding diploid and triploid oysters (*Crassostrea gigas*) after steaming. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 40: 101167. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2025.101167>
- Ma, P., Wang, Z. y Yu, R. (2019). Triploid induction by hyperosmotic shock in the Yesso scallop *Patinopecten yessoensis*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 50(5): 922–933. <https://doi.org/10.1111/jwas.12583>
- Madaro, A., Lai, F., Fjelldal, P.G., Hansen, T., Gelebart, V., Muren, B., Rønnestad, I., Olsen, R.E. y Stien, L.H. (2024). Comparing physiological responses of acute and chronically stressed diploid and triploid Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture Reports*, 36: 102041. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2024.102041>.
- Maeda-Martínez, A.N. (2008). Estado actual del cultivo de bivalvos en México. En: *Estado actual del cultivo y manejo de moluscos bivalvos y su proyección futura: factores que afectan su sustentabilidad en América Latina*. Taller Técnico Regional FAO, 20–24 octubre, pp. 91–100.
- Maguire, G.B., Gardner, N.C., Nell, J.A., Kent, G.N. y Kent, A.S. (1995). Studies on triploid oysters in Australia. II. Growth, condition index, gonad area, and glycogen content of triploid and diploid Pacific oysters, *Crassostrea gigas*, from oyster leases in Tasmania, Australia. *Aquaculture*, 137(1–4): 357–371. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(96\)83594-0](https://doi.org/10.1016/0044-8486(96)83594-0).

- Maguire, J.A. y Burnell, G.M. (2001). The effect of stocking density in suspended culture on growth and carbohydrate content of the adductor muscle in two populations of the scallop *Pecten maximus* (L.) in Bantry Bay, Ireland. *Aquaculture*, 198(1–2): 95–108. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(00\)00591-3](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(00)00591-3).
- Maillard, F., Elie, N., Villain-Naud, N., Lepoittevin, M., Martinez, A. y Lelong, C. (2022). Male triploid oysters of *Crassostrea gigas* exhibit defects in mitosis and meiosis during early spermatogenesis. *FEBS Open Bio*, 12(8): 1438–1452. <https://doi.org/10.1002/2211-5463.13356>.
- Maldonado-Amparo, R. (1998). *Crecimiento y supervivencia del ostión triploide del Pacífico Crassostrea gigas en la fase de engorda, desarrollo bajo condiciones tropicales y contaminadas*. Tesis de Maestría. Instituto Tecnológico del Mar, México.
- Maldonado-Amparo, R., Ramírez, J.L., Ávila, S. y Ibarra, A.M. (2004). Triploid lion-paw scallop (*Nodipecten subnodosus* Sowerby): growth, gametogenesis, and gametic cell frequencies when grown at a high food availability site. *Aquaculture*, 235(1–4): 155–170. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2003.12.014>.
- Mallia, J.V., Muthiah, P. y Thomas, P.C. (2006). Growth of triploid oyster, *Crassostrea madrasensis* (Preston). *Aquaculture Research*, 37(7): 718–724. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2006.01485.x>.
- Mann, R., Bureson, E. y Baker, P. (1991). The decline of the Virginia oyster fishery in Chesapeake Bay: considerations for introduction of a non-endemic species, *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1793). *Journal of Shellfish Research*, 10: 379–388. Disponible en: <https://scholarworks.wm.edu/vimsarticles/1276>.
- Matt, J.L. y Allen, S.K. (2021). A classification system for gonad development in triploid *Crassostrea virginica*. *Aquaculture*, 532: 735994. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735994>.
- Mattiessen, G. y Davis, J. (1992). Observations on growth rate and resistance to MSX (*Haplosporidium nelsoni*) among diploid and triploid eastern oysters (*Crassostrea virginica* (Gmelin, 1791)) in New England. *Journal of Shellfish Research*, 11(2): 449–454.
- Matus-Hernández, M.Á., Martínez-Rincón, R.O., Aviña-Hernández, R.J. y Hernández-Saavedra, N.Y. (2019). Landsat-derived environmental factors to describe habitat preferences and spatiotemporal distribution of phytoplankton. *Ecological Modelling*, 408: 108759. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2019.108759>.
- Mazón-Suástegui, J.M. (1996). Cultivo de ostión japonés *Crassostrea gigas* (Thunberg). En: Casas-Valdéz, M. y Ponce-Díaz, G. (eds.), *Estudio de potencial pesquero y acuícola del estado de Baja California Sur, México*, Tomo II. México.
- Melo, E.M.C., Sühnel, S., Oliveira, A.C.S.D., Lopes, B.D.O., Bachi, G.C. y De Melo, C.M.R. (2020). Growth, mortality and reproductive traits of diploid and triploid Pacific oysters (*Crassostrea gigas* (Thunberg, 1793)) in southern Brazil. *Aquaculture Research*, 51(9): 3631–3640. <https://doi.org/10.1111/are.14713>.
- Meng, Q., Bao, Z., Wang, Z., Wang, S., Hu, J., Hu, X. y Huang, X. (2012). Growth and reproductive performance of triploid Yesso scallops (*Patinopecten yessoensis*) induced by hypotonic shock. *Journal of Shellfish Research*, 31(4): 1113–1122. <https://doi.org/10.2983/035.031.0422>.
- Miranda-Domínguez, L.E., Valenzuela-Quinonez, F., Acosta-Salmón, H., López-Galindo, L.L., Granados-Amores, A., Ramírez-Arce, J.L., De Jesús-Bonilla, V.S. y Cruz-Hernández, P. (2025). Comparative diploid vs. triploid Japanese oyster (*Crassostrea gigas*) grow-out performance

- in two contrasting environments in Baja California Sur. *Aquaculture*, 608: 742716. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2025.742716>.
- Mizuta, D.D., Wikfors, G.H., Meseck, S.L., Li, Y., Dixon, M.S., Lim, H.J., Hwang, I.J., Bazzano, M. y Pitchford, S. (2021). Use of natural trophic resources by Eastern oysters and Pacific oysters of different ploidy. *Aquaculture and Fisheries*, 6(1): 75–83. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2020.03.011>.
- Moreira, A., Figueira, E., Libralato, G., Soares, A.M.V.M., Guida, M. y Freitas, R. (2018). Comparative sensitivity of *Crassostrea angulata* and *Crassostrea gigas* embryo-larval development to As under varying salinity and temperature. *Marine Environmental Research*, 140: 135–144. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2018.06.003>.
- Nascimento, I.A. y Pereira, S.A. (1980). Changes in the condition index for mangrove oysters (*Crassostrea rhizophorae*) from Todos os Santos Bay, Salvador, Brazil. *Aquaculture*, 20(1): 9–15. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(80\)90057-5](https://doi.org/10.1016/0044-8486(80)90057-5).
- Nell, J.A. (2002). Farming triploid oysters. *Aquaculture*, 210(1): 69–88. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(01\)00861-4](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(01)00861-4).
- Nell, J.A., Cox, E., Smith, I.R. y Maguire, G.B. (1994). Studies on triploid oysters in Australia. I. The farming potential of triploid Sydney rock oysters *Saccostrea commercialis* (Iredale and Roughley). *Aquaculture*, 126(3): 243–255. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(94\)90040-X](https://doi.org/10.1016/0044-8486(94)90040-X).
- Nell, J.A., Hand, R.E., Goard, L.J., McAdam, S.P. y Maguire, G.B. (1996). Studies on triploid oysters in Australia: evaluation of cytochalasin B and 6-dimethylaminopurine for triploidy induction in Sydney rock oysters *Saccostrea commercialis* (Iredale and Roughley). *Aquaculture Research*, 27(9): 689–698. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2109.1996.t01-1-00777.x>.
- Nell, J.A., O'Connor, W.A., Hand, R.E. y McAdam, S.P. (1995). Hatchery production of diploid and triploid clams *Tapes dorsatus* (Lamarck, 1818): a potential new species for aquaculture. *Aquaculture*, 130(4): 389–394. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(95\)92761-Q](https://doi.org/10.1016/0044-8486(95)92761-Q).
- Nell, J.A. y Perkins, B. (2005). Studies on triploid oysters in Australia: farming potential of all-triploid Pacific oysters, *Crassostrea gigas* (Thunberg), in Port Stephens, New South Wales, Australia. *Aquaculture Research*, 36(6): 530–536. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2005.01229.x>.
- Normand, J., Ernande, B., Haure, J., McCombie, H. y Boudry, P. (2009). Reproductive effort and growth in *Crassostrea gigas*: comparison of young diploid and triploid oysters issued from natural crosses or chemical induction. *Aquatic Biology*, 7: 229–241. <https://doi.org/10.3354/ab00190>.
- Normand, J., Le Pennec, M. y Boudry, P. (2008). Comparative histological study of gametogenesis in diploid and triploid Pacific oysters (*Crassostrea gigas*) reared in an estuarine farming site in France during the 2003 heatwave. *Aquaculture*, 282(1–4): 124–129. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.06.026>.
- Ochoa-Araiza, G. y Fimbres-Peña, M.T. (1984). Evaluation of temperature, salinity and growth of the Japanese oyster (*Crassostrea gigas*) in a coastal lagoon of Sonora, Mexico. *Ciencias Marinas*, 10(3): 7–16. <https://doi.org/10.7773/cm.v10i3.450>.
- Osterheld, K., Davidson, J., Comeau, L.A., Audet, C., Hori, T. y Tremblay, R. (2024). Reproductive investment and gonad development in triploid mussels, *Mytilus edulis*. *Aquaculture*, 593: 741315. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.741315>.
- Osterheld, K., Davidson, J., Comeau, L.A., Hori, T., Belzile, C. y Tremblay, R. (2023). Efficiency of various strategies to induce triploidy in *Mytilus edulis* in relation to their first-stage

- performance. *Journal of Applied Aquaculture*, 35(2): 473–488. <https://doi.org/10.1080/10454438.2021.1985032>.
- Otterå, H., Thorsen, A., Karlsen, Ø., Fjellidal, P.G., Morton, H.C. y Taranger, G.L. (2016). Performance of triploid Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) in commercial aquaculture. *Aquaculture*, 464: 699–709. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.08.018>.
- Palacios, E., Racotta, I.S., Ibarra, A.M., Ramírez, J.L., Millán, A. y Ávila, S. (2004). Comparison of biochemical composition and muscle hypertrophy associated with the reproductive cycle of diploid and triploid scallops, *Argopecten ventricosus*. *Journal of Shellfish Research*, 23(2): 483–489.
- Peñaloza, C., Barría, A., Papadopoulou, A., Hooper, C., Preston, J., Green, M., Helmer, L., Kean-Hammerson, J., Nascimento-Schulze, J.C., Minardi, D., Gundappa, M.K., Macqueen, D.J., Hamilton, J., Houston, R.D. y Bean, T.P. (2022). Genome-wide association and genomic prediction of growth traits in the European flat oyster (*Ostrea edulis*). *Frontiers in Genetics*, 13: 926638. <https://doi.org/10.3389/fgene.2022.926638>.
- Pérez-Cebrecos, M., Rolton, A., Benito, D., Izagirre, U., Vignier, J., Ragg, N.L.C., Ibarrola, I. y Hilton, Z. (2026). Growth phenotype variation in diploid and triploid Pacific oysters: physiological and cellular drivers. *Aquaculture*, 613: 743415. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2025.743415>.
- Pérez-Enríquez, R., Ávila, S. y Ibarra, A.M. (2008). Population genetics of the oyster *Crassostrea corteziensis* in the Gulf of California. *Ciencias Marinas*, 34(4): 479–490. <https://doi.org/10.7773/cm.v34i4.1290>.
- Piferrer, F., Beaumont, A., Falguière, J.-C., Flajšhans, M., Haffray, P. y Colombo, L. (2009). Polyploid fish and shellfish: production, biology and applications to aquaculture for performance improvement and genetic containment. *Aquaculture*, 293(3–4): 125–156. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.04.036>.
- Pogoda, B., Buck, B.H., Saborowski, R. y Hagen, W. (2013). Biochemical and elemental composition of the offshore-cultivated oysters *Ostrea edulis* and *Crassostrea gigas*. *Aquaculture*, 400–401: 53–60. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.02.031>.
- Polanco, E., Fernández, P.J. y Benito, S.M.R. (2002). Impulso, desarrollo y potenciación de la ostricultura en España. En: *XIV Ciclo Cultivando el Mar*, p. 71.
- Qin, Y., Li, R., Liao, Q., Shi, G., Zhou, Y., Wan, W., Li, J., Ma, H., Zhang, Y. y Yu, Z. (2023a). Comparison of biochemical composition, nutritional quality and metal concentrations between males and females of three *Crassostrea* spp. *Food Chemistry*, 398: 133868. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133868>.
- Qin, Y., Shi, G., Wan, W., Li, S., Li, Y., Li, J., Ma, H., Zhang, Y. y Yu, Z. (2023b). Comparative analysis of growth, survival and sex proportion among tetraploid-based autotriploid (*Crassostrea gigas* and *C. angulata*) and their allotriploid oysters. *Aquaculture*, 563: 739026. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.739026>.
- Qin, Y., Wan, W., Li, J., Wang, Z., Ma, H., Li, J., Yu, Z. y Zhang, Y. (2024). Growth, survival and reproductive traits of chemically induced and tetraploid-derived triploid Hong Kong oysters (*Crassostrea hongkongensis*). *Aquaculture*, 586: 740759. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.740759>.
- Qin, Y., Zhang, Y., Ma, H., Wu, X., Xiao, S., Li, J., Mo, R. y Yu, Z. (2018). Comparison of the biochemical composition and nutritional quality between diploid and triploid Hong Kong

- oysters (*Crassostrea hongkongensis*). *Frontiers in Physiology*, 9. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fphys.2018.01674>.
- Qin, Y., Zhang, Y. y Yu, Z. (2022a). Aquaculture performance comparison of reciprocal triploid *Crassostrea gigas* produced by mating tetraploids and diploids in China. *Aquaculture*, 552: 738044. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738044>.
- Qin, Y., Zhang, Y. y Yu, Z. (2022b). Aquaculture performance comparison of reciprocal triploid *Crassostrea gigas* produced by mating tetraploids and diploids in China. *Aquaculture*, 552: 738044. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738044>.
- Qin, Y., Zhang, Y., Mo, R., Zhang, Y., Li, J., Zhou, Y., Ma, H., Xiao, S. y Yu, Z. (2019). Influence of ploidy and environment on grow-out traits of diploid and triploid Hong Kong oysters (*Crassostrea hongkongensis*) in southern China. *Aquaculture*, 507: 108–118. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.04.017>.
- Quayle, D.B. y Newkirk, G.F. (1989). *Farming bivalve molluscs: methods for study and development*. World Aquaculture Society, Baton Rouge, Louisiana, EUA.
- R Core Team (2024). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Racotta, I.S., Palacios, E., Ibarra, A.M., Ramírez, J.L., Arcos, F. y Arjona, O. (2008). Comparative biochemical composition of ploidy groups of the lion-paw scallop (*Nodipecten subnodosus* Sowerby) supports the physiological hypothesis for the lack of advantage in triploid mollusc growth in food-rich environments. *Marine Biology*, 153(6): 1245–1256. <https://doi.org/10.1007/s00227-007-0897-4>.
- Reyes-Bonilla, H., Munguía-Vega, A., López-Fuerte, F., Hernández, L., Aguilar-Cruz, C., Rangel-Dávalos, C., Olán-González, M., Rendón-Hernández, E., Espindola, S. y Cruz-Piñón, G. (2024). Presence of free-living Pacific oyster *Crassostrea gigas* (Thunberg, 1793) at El Vizcaíno Biosphere Reserve, Mexico, confirmed by morphological and molecular approaches. *BioInvasions Records*, 13(2): 437–451. <https://doi.org/10.3391/bir.2024.13.2.11>.
- Reynaga-Franco, F.D.J., Chávez-Villalba, J., Barraza-Guardado, R.H., Alcántara-Razo, E., Arreola-Lizárraga, J.A., Castro-Longoria, R. y Grijalva-Chon, J.M. (2019). Influencia de la variabilidad ambiental de la Laguna La Cruz (Sonora) en el crecimiento y condición del ostión del Pacífico *Crassostrea gigas*. *Biotechnia*, 21(2): 62–70. <https://doi.org/10.18633/biotechnia.v21i2.907>.
- Rico-Villa, B., Le Coz, J.R., Mingant, C. y Robert, R. (2006). Influence of phytoplankton diet mixtures on microalgae consumption, larval development and settlement of the Pacific oyster *Crassostrea gigas* (Thunberg). *Aquaculture*, 256(1): 377–388. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.02.015>.
- Rico-Villa, B., Woerther, P., Mingant, C., Lepiver, D., Pouvreau, S., Hamon, M. y Robert, R. (2008). A flow-through rearing system for ecophysiological studies of Pacific oyster *Crassostrea gigas* larvae. *Aquaculture*, 282(1–4): 54–60. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.06.016>.
- Rodríguez-Jaramillo, C., Cruz-Flores, R., Mazón-Suástegui, J.M., Arcos-Ortega, F., Brokordt, K., Lira, G., Lohrmann, K.B., Fajardo-Yamamoto, A., Álvarez-Vergara, G. y López-Carvallo, J.A. (2025). Digital histology in aquaculture: from qualitative to a quantitative tool. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 1–36. <https://doi.org/10.1080/23308249.2025.2532699>.
- Rodríguez-Jaramillo, C., Hurtado, M.A., Romero-Vivas, E., Ramírez, J.L., Manzano, M. y Palacios, E. (2008). Gonadal development and histochemistry of the tropical oyster *Crassostrea corteziensis* (Hertlein, 1951) during an annual reproductive cycle. *Journal of Shellfish Research*, 27(5): 1129–1141. <https://doi.org/10.2983/0730-8000-27.5.1129>.

- Rodríguez-Jaramillo, C., Ibarra, A.M., Soudant, P. y Palacios, E. (2017). Comparison of quantitative gonad maturation scales in a temperate oyster (*Crassostrea gigas*) and a sub-tropical oyster (*Crassostrea corteziensis*). *Invertebrate Reproduction & Development*, 61(3): 147–156. <https://doi.org/10.1080/07924259.2017.1315341>.
- Rodríguez-Meza, D., Choumiline, E., Méndez-Rodríguez, L., Acosta-Vargas, B. y Sapozhnikov, D. (2007). Composición química de los sedimentos y macroalgas del complejo lagunar Magdalena–Almejas. En: *Estudios ecológicos en Bahía Magdalena*. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional, México, pp. 61–82.
- Rodríguez-Quiroz, G., García-Ulloa, M., Domínguez-Orozco, A.L., Valenzuela-Hernández, T.N., Nava-Pérez, E. y Góngora-Gómez, A.M. (2016). Relación del crecimiento, condición y supervivencia del ostión del Pacífico *Crassostrea gigas* y las variables ambientales, cultivado en suspensión en el sistema lagunar Navachiste–Macapule, Sinaloa, México. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 51(3): 541–551. <https://doi.org/10.4067/S0718-19572016000300006>.
- Roe, J.H. (1955). The determination of sugar in blood and spinal fluid with anthrone reagent. *Journal of Biological Chemistry*, 212(1): 335–343. [https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(18\)71120-4](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(18)71120-4).
- Romero-López, B.E., León de la Luz, J.L., Pérez-Navarro, J.J. y de la Cruz-Agüero, G. (2006). Estructura y composición de la vegetación de la barra costera El Mogote, Baja California Sur, México. *Botanical Sciences*, 79: 21–32. <https://doi.org/10.17129/botsoci.1730>.
- Royer, J., Ropert, M. y Costil, K. (2007). Spatio-temporal changes in mortality, growth and condition of the Pacific oyster, *Crassostrea gigas*, in Normandy (France). *Journal of Shellfish Research*, 26(4): 973–984. [https://doi.org/10.2983/0730-8000\(2007\)26\[973:SCIMGA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2983/0730-8000(2007)26[973:SCIMGA]2.0.CO;2).
- Ruíz-Verdugo, C.A. (2000). *Triploidía en almeja Catarina (Argopecten ventricosus Sowerby, 1842): inducción, crecimiento, gametogénesis y composición bioquímica. Tesis de Doctorado*. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C., La Paz, México.
- Ruíz-Verdugo, C.A., Racotta, I.S. y Ibarra, A.M. (2001). Comparative biochemical composition in gonad and adductor muscle of triploid and diploid catarina scallop *Argopecten ventricosus* Sowerby II, 1842. *Aquaculture Research*. 259(2): 155-170. [https://doi.org/10.1016/S0022-0981\(01\)00226-X](https://doi.org/10.1016/S0022-0981(01)00226-X)
- Ruíz-Verdugo, C.A., Ramírez, J.L., Allen, S.K. Jr. y Ibarra, A.M. (2000). Triploid catarina scallop *Argopecten ventricosus* Sowerby II, 1842: growth, gametogenesis and suppression of functional hermaphroditism. *Aquaculture*, 186(1-2): 13-32. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(99\)00369-5](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(99)00369-5)
- Saavedra, L.M., Bastías, M., Mendoza, P., Lagos, N.A., García-Herrera, C., Ponce, V., Álvarez, F. y Llanos-Rivera, A. (2024). Environmental correlates of oyster farming in an upwelling system: implications upon growth, biomass production, shell strength and organic composition. *Marine Environmental Research*, 198: 106489. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2024.106489>.
- Saavedra, L.M., Saldías, G.S., Broitman, B.R. y Vargas, C.A. (2021). Carbonate chemistry dynamics in shellfish farming areas along the Chilean coast: natural ranges and biological implications. *ICES Journal of Marine Science*, 78(1): 323–339. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsaa127>.
- Santerre, C., Sourdain, P., Marc, N., Mingant, C., Robert, R. y Martinez, A.-S. (2013). Oyster sex determination is influenced by temperature: first clues in spat during first gonadic

- differentiation and gametogenesis. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A*, 165(1): 61–69. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2013.02.007>.
- Sarà, G. y Mazzola, A. (1997). Effects of trophic and environmental conditions on the growth of *Crassostrea gigas* in culture. *Aquaculture*, 153(1–2): 81–91. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(97\)00009-4](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(97)00009-4).
- Sbrocco, E.J. y Barber, P.H. (2013). MARSPEC: ocean climate layers for marine spatial ecology. *Ecology*, 94(4): 979. <https://doi.org/10.1890/12-1358.1>.
- Scherrer, B. (1984). *Biostatistique*. Boucherville, Montréal, 850 pp.
- Schoonbee, L. (2007). *The effect of triploidy on the growth and survival of the indigenous abalone, Haliotis midae, over a 24-month period under commercial rearing conditions*. Tesis de Maestría. University of Stellenbosch. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/37349563.pdf>.
- Shpigel, M., Barber, B.J. y Mann, R. (1992). Effects of elevated temperature on growth, gametogenesis, physiology and biochemical composition in diploid and triploid Pacific oysters, *Crassostrea gigas*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 161: 15–25. [https://doi.org/10.1016/0022-0981\(92\)90186-E](https://doi.org/10.1016/0022-0981(92)90186-E).
- Shpigel, M. y Spencer, B. (1996). Performance of diploid and triploid Manila clams (*Tapes philippinarum*) at various levels of tidal exposure. *Aquaculture*, 141(3): 159–171. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(95\)01236-2](https://doi.org/10.1016/0044-8486(95)01236-2).
- Shumway, S.E. (1996). Natural environmental factors. En: Kennedy, V.S., Newell, R.I.E. y Eble, A.F. (eds.), *The eastern oyster Crassostrea virginica*. Maryland Sea Grant College, College Park, MD, pp. 467–513.
- Sicard-González, M.T., Tripp-Valdéz, M.A., Ocampo, L., Maeda-Martínez, A.N. y Lluch-Cota, S.E. (2012). Coastal sea surface temperature records along the Baja California Peninsula. *CICIMAR Océánides*, 27(2): 65–69. <https://doi.org/10.37543/oceanides.v27i2.118>.
- Sokal, R.R. y Rohlf, F.J. (1995). *Biometry: the principles and practice of statistics in biological research*. W.H. Freeman and Company, New York.
- Souchu, P., Vaquer, A., Collos, Y., Landrein, S., Deslous-Paoli, J.-M. y Bibent, B. (2001). Influence of shellfish farming activities on the biogeochemical composition of the water column in Thau Lagoon. *Marine Ecology Progress Series*, 218: 141–152. <https://doi.org/10.3354/meps218141>.
- Stanley, J.G., Allen, S.K. y Hidu, H. (1981). Polyploidy induced in the American oyster, *Crassostrea virginica*, with cytochalasin B. *Aquaculture*, 23(1): 1–10. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(81\)90002-8](https://doi.org/10.1016/0044-8486(81)90002-8).
- Stanley, J.G., Hidu, H. y Allen, S.K. (1984). Growth of American oysters increased by polyploidy induced by blocking meiosis I but not meiosis II. *Aquaculture*, 37(2): 147–155. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(84\)90072-3](https://doi.org/10.1016/0044-8486(84)90072-3).
- Tabarini, C.L. (1984). Induced triploidy in the bay scallop, *Argopecten irradians*, and its effects on growth and gametogenesis. *Aquaculture*, 42(2): 151–160. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(84\)90362-4](https://doi.org/10.1016/0044-8486(84)90362-4).
- Takeuchi, T., Takemoto, Y. y Matsubara, T. (1960). Haematological study of bacteria-affected oysters. *Report of the Hiroshima Prefectural Fisheries Experimental Station*, 22(1): 1–7.
- Tan, K., Zhai, Y., Zhang, H., Zeng, Z., Ning, Y. y Zheng, H. (2023). Effects of culture conditions (stocking density, water depth and aquaculture gear) on the aquaculture performance of a

- new *Crassostrea angulata* variety "Golden oyster #1". *Aquaculture*, 564: 739054. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.739054>.
- Taris, N., Ernande, B., McCombie, H. y Boudry, P. (2006). Phenotypic and genetic consequences of size selection at the larval stage in the Pacific oyster (*Crassostrea gigas*). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 333(1): 147–158. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2005.12.007>.
- Thorson, G. (1950). Reproductive and larval ecology of marine bottom invertebrates. *Biological Reviews*, 25(1): 1–45. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.1950.tb00585.x>.
- Utting, S.D. y Spencer, B.E. (1991). *The hatchery culture of bivalve mollusc larvae and juveniles*. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, Fisheries Research Technical Report No. 68, 31 pp.
- Varela-Mejías, A. y Alfaro-Mora, R. (2021). Principales estrategias en la obtención de poliploides en moluscos bivalvos. *Revista Colombiana de Ciencia Animal – RECIA*, 13(1): e844. <https://doi.org/10.24188/recia.v13.n1.2021.844>.
- Vásquez-Yeomans, R., Cáceres-Martínez, J. y Ortega, A.M.G. (2004). Bacterias aisladas de las branquias del ostión japonés *Crassostrea gigas* cultivado en Bahía Falsa, Baja California, México. *Ciencias Marinas*, 30(2): 75–84.
- Vignier, J., Reardon, M., Exton, M., Delisle, L., Rolton, A., Malpot, E., Scholtens, M., Welford, M., Zamora, L., Delorme, N., Dunphy, B. y Adams, S. (2025). Comparative performance of selected triploid oysters *Crassostrea (Magallana) gigas*, produced by chemical induction and mated triploid techniques, relative to their diploid counterparts. *Aquaculture*, 596: 741894. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.741894>.
- Villanueva-Fonseca, B., Góngora-Gómez, A.M., Muñoz-Sevilla, N.P., Domínguez-Orozco, A.L., Hernández-Sepúlveda, J.A., García-Ulloa, M. y Ponce-Palafox, J.T. (2017). Growth and economic performance of diploid and triploid Pacific oysters *Crassostrea gigas* cultivated in three lagoons of the Gulf of California. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 45(2): 466–480. <https://doi.org/10.3856/vol45-issue2-fulltext-21>.
- Wada, K.T., Komaru, A. y Uchimura, Y. (1989). Triploid production in the Japanese pearl oyster *Pinctada fucata martensii*. *Aquaculture*, 76(1): 11–19. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(89\)90247-0](https://doi.org/10.1016/0044-8486(89)90247-0).
- Wadsworth, P., Wilson, A.E. y Walton, W.C. (2019). A meta-analysis of growth rate in diploid and triploid oysters. *Aquaculture*, 499: 9–16. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.09.018>.
- Walton, W.C., Rikard, F.S., Chaplin, G.I., Davis, J.E., Arias, C.R. y Supan, J.E. (2013). Effects of ploidy and gear on the performance of cultured oysters, *Crassostrea virginica*: survival, growth, shape, condition index and *Vibrio* abundances. *Aquaculture*, 414–415: 260–266. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.07.032>.
- Wang, S., Xue, M., Yang, Q., Yu, H. y Li, Q. (2021). Comparison of nutritional components of different fertility triploid Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) during gonadal development. *英文版*, 45(1): 88–97.
- Wang, Z., Guo, X., Allen, S.K. y Wang, R. (1999). Aneuploid Pacific oyster (*Crassostrea gigas* Thunberg) as incidentals from triploid production. *Aquaculture*, 173(1): 347–357. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(98\)00457-8](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(98)00457-8).
- Wang, Z., Guo, X., Allen, S.K. y Wang, R. (2002). Heterozygosity and body size in triploid Pacific oysters, *Crassostrea gigas* Thunberg, produced from meiosis II inhibition and tetraploids. *Aquaculture*, 204(3–4): 337–348. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(01\)00845-6](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(01)00845-6).

- Wilson, J.H. (1987). Environmental parameters controlling growth of *Ostrea edulis* L. and *Pecten maximus* L. in suspended culture. *Aquaculture*, 64(2): 119–131. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(87\)90348-6](https://doi.org/10.1016/0044-8486(87)90348-6).
- Wu, X., Zhang, Y., Xiao, S., Qin, Y., Ma, H. y Yu, Z. (2019). Comparative studies of the growth, survival, and reproduction of diploid and triploid Kumamoto oyster, *Crassostrea sikamea*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 50(4): 866–877. <https://doi.org/10.1111/jwas.12596>.
- Yang, H., Zhang, F. y Guo, X. (2000). Triploid and tetraploid Zhikong scallop *Chlamys farreri* Jones et Preston produced by inhibiting polar body I. *Marine Biotechnology*, 2(5): 466–475. <https://doi.org/10.1007/PL00021688>.
- Yang, Q., Yu, H. y Li, Q. (2022a). Disruption of cell division prevents gametogenesis in triploid Pacific oysters (*Crassostrea gigas*). *Aquaculture*, 560: 738477. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738477>.
- Yang, Q., Yu, H. y Li, Q. (2022b). Refinement of a classification system for gonad development in the triploid oyster *Crassostrea gigas*. *Aquaculture*, 549: 737814. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737814>.
- Yurimoto, T. (2015). Seasonal changes in glycogen contents in various tissues of edible bivalves in West Japan. *Journal of Marine Sciences*, 2015: 593032. <https://doi.org/10.1155/2015/593032>.
- Zhang, E., Dong, L., Bao, X., Yang, X., Li, Y., Feng, Y., Yang, J., Li, Z. y Wang, W. (2022). Transcriptome profiling combined with network analysis deepens the understanding of immune response mechanisms in blood of Pacific oyster *Crassostrea gigas* infected by *Vibrio alginolyticus*. *Frontiers in Marine Science*, 9: 1017445. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.1017445>.
- Zhang, G., Wang, Z.C., Chen, Y.Q., Song, J., Ding, J., Wang, Y. y Wang, R.B. (1998). Triploid induction in Pacific abalone *Haliotis discus hannai* Ino by 6-dimethylaminopurine and performance of triploid juveniles. *Journal of Shellfish Research*, 17: 783–788.
- Zhang, Y., Li, J., Qin, Y., Zhou, Y., Zhang, Y. y Yu, Z. (2017). A comparative study of survival, growth and gonad development of diploid and triploid Hong Kong oyster, *Crassostrea hongkongensis*. *Aquaculture Research*, 48(5): 2453–2462. <https://doi.org/10.1111/are.13081>.
- Zhou, J., Jiang, G., Xu, C., Bai, X. y Li, Q. (2023). Growth, survival and gonad development of diploids, triploids and tetraploids of ‘Haida No. 3’ line of the Pacific oyster *Crassostrea gigas*. *Aquaculture*, 571: 739472. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.739472>.

11. ANEXOS

ANEXO A. Medias de parametros fisicoquímicos de agua superficial con $\pm$ desviación estándar (σ) en los sitios evaluados, La Paz y Santo Domingo de 2022 a 2024.

Mes Parametro	Ene		Feb		Mar	
	LP $\pm \sigma$	SD $\pm \sigma$	LP $\pm \sigma$	SD $\pm \sigma$	LP $\pm \sigma$	SD $\pm \sigma$
T (°C)	19.31 $\pm$ 0.00	18.81 $\pm$ 0.000	19.79 $\pm$ 0.000	18.13 $\pm$ 0.000	21.96 $\pm$ 0.000	17.73 $\pm$ 0.000
S (PSU)	34.65 $\pm$ 0.000	34.88 $\pm$ 0.000	34.64 $\pm$ 0.000	34.41 $\pm$ 0.000	34.54 $\pm$ 0.000	34.3 $\pm$ 0.000
Chl-a (mgm ⁻³)	1.31 $\pm$ 0.43	0.580 $\pm$ 0.58	1.26 $\pm$ 0.41	0.57 $\pm$ 0.27	0.54 $\pm$ 0.30	1.00 $\pm$ 0.38
pCO ₂ (Pa)	46.97 $\pm$ 2.47	44.19 $\pm$ 1.32	45.19 $\pm$ 1.03	43.32 $\pm$ 1.79	45.16 $\pm$ 0.74	43.44 $\pm$ 0.30
DIC (molm ⁻³)	2.11 $\pm$ 0.0046	2.10 $\pm$ 0.0021	2.12 $\pm$ 0.0013	2.10 $\pm$ 0.0046	2.12 $\pm$ 0.0087	2.10 $\pm$ 0.0031
TA (molm ⁻³)	2.37 $\pm$ 0.004	2.34 $\pm$ 0.010	2.37 $\pm$ 0.003	2.34 $\pm$ 0.006	2.37 $\pm$ 0.004	2.33 $\pm$ 0.005
pH	7.98 $\pm$ 0.02	8.00 $\pm$ 0.01	7.99 $\pm$ 0.01	8.01 $\pm$ 0.02	7.99 $\pm$ 0.01	8.01 $\pm$ 0.00
DO (mmom ⁻³)	222.58 $\pm$ 3.05	230.16 $\pm$ 3.05	229.49 $\pm$ 3.41	236.41 $\pm$ 3.25	231.82 $\pm$ 3.83	244.92 $\pm$ 2.80
FitTt (mmolm ⁻³)	5.02 $\pm$ 1.24	2.70 $\pm$ 0.31	5.62 $\pm$ 1.32	3.12 $\pm$ 1.42	3.47 $\pm$ 1.34	5.72 $\pm$ 1.85
PPFitT (mgm ⁻³ day ⁻¹)	42.36 $\pm$ 12.75	23.65 $\pm$ 2.29	39.18 $\pm$ 11.86	21.86 $\pm$ 5.82	17.22 $\pm$ 11.26	31.33 $\pm$ 8.57
SiD (mmolm ⁻³)	1.99 $\pm$ 0.11	2.11 $\pm$ 0.13	2.02 $\pm$ 0.21	2.21 $\pm$ 0.07	1.68 $\pm$ 0.15	2.47 $\pm$ 0.25
NO ₃ ⁻ (mmolm ⁻³)	0.3543 $\pm$ 0.1041	0.1575 $\pm$ 0.0422	0.2315 $\pm$ 0.0986	0.0971 $\pm$ 0.0450	0.0361 $\pm$ 0.0361	0.1453 $\pm$ 0.0598
PO ₄ ³⁻ (mmolm ⁻³)	0.65 $\pm$ 0.04	0.50 $\pm$ 0.02	0.67 $\pm$ 0.00	0.50 $\pm$ 0.03	0.63 $\pm$ 0.06	0.53 $\pm$ 0.02
Fe _d (mmolm ⁻³)	0.0013 $\pm$ 0.0002	0.0026 $\pm$ 0.0003	0.014 $\pm$ 0.0000	0.0025 $\pm$ 0.0002	0.0019 $\pm$ 0.0003	0.0023 $\pm$ 0.0003

T: temperatura; S: salinidad; Chl-a: Clorofila-a; pCO₂: Presión parcial del dióxido de carbono; DIC: Carbono inorgánico disuelto; TA: Alcalinidad total; pH: concentración de iones de hidrogeno; DO: oxígeno disuelto; FitTt: biomasa de fitoplancton total; PPFitT: producción total primario; SiD, silicato disuelto; NO₃⁻: nitrato; PO₄³⁻: fosfato; Fe_d: hierro disuelto

Parametro	Mes	Abr		May		Jun	
		LP±σ	SD±σ	LP±σ	SD±sd	LP±σ	SD±σ
T (°C)		22.41±0.000	17.21±0.000	24.68±0.000	18.20±0.000	24.89±0.000	20.19±0.000
S (PSU)		34.41±0.000	34.06±0.000	34.56±0.000	34.09±0.000	34.61±0.000	34.04±0.000
Chl-a (mgm ⁻³)		0.30±0.10	1.49±0.72	0.33±0.13	2.01±0.83	0.34±0.20	1.78±0.66
pCO ₂ (Pa)		47.21±0.85	43.57±0.64	50.99±1.53	42.63±0.15	55.81±1.86	44.36±1.77
DIC (molm ⁻³)		2.12±0.0031	2.10±0.0025	2.12±0.0030	2.10±0.0045	2.12±0.0053	2.10±0.0057
TA (molm ⁻³)		2.38±0.003	2.33±0.004	2.38±0.004	2.32±0.004	2.38±0.004	2.32±0.007
pH		7.98±0.01	8.00±0.00	7.95±0.01	8.01±0.00	7.92±0.01	8.00±0.01
DO (mmom ⁻³)		229.00±0.72	251.69±4.06	226.80±1.99	256.71±3.95	223.18±2.53	254.99±3.42
FitTt (mmolm ⁻³)		2.40±0.46	8.33±2.61	2.86±0.84	11.09±2.92	3.06±1.16	10.00±2.79
PPFitT (mgm ⁻³ day ⁻¹)		8.84±1.95	42.61±23.43	8.69±2.47	59.21±27.78	10.01±3.56	51.51±20.81
SiD (mmolm ⁻³)		1.54±0.05	2.45±0.65	1.56±0.13	2.99±0.90	1.73±0.37	2.74±0.42
NO ₃ ⁻ (mmolm ⁻³)		0.0108±0.0002	0.1590±0.1620	0.0099±0.0010	0.1818±0.1546	0.0109±0.0028	0.1298±0.0932
PO ₄ ³⁻ (mmolm ⁻³)		0.65±0.01	0.58±0.09	0.68±0.02	0.63±0.11	0.69±0.01	0.64±0.07
Fe _d (mmolm ⁻³)		0.0024±0.0002	0.0021±0.0004	0.0031±0.0008	0.0020±0.0006	0.0034±0.0011	0.0019±0.0003

T: temperatura; S: salinidad; Clo-a: Clorofila-a; pCO₂: Presión parcial del dióxido de carbono; DIC: Carbono inorgánico disuelto; TA: Alcalinidad total; pH: concentración de iones de hidrogeno; DO: oxígeno disuelto; FitTt: biomasa de fitoplancton total; PPFitT: producción total primario; SiD, silicato disuelto; NO₃⁻: nitrato; PO₄³⁻: fosfato; Fe_d: hierro disuelto

Mes Parametro	Jul		Ago		Sep	
	LP±σ	SD±σ	LP±σ	SD±sd	LP±σ	SD±σ
T (°C)	27.22±0.000	23.79±0.000	28.61±0.000	25.39±0.000	29.46±0.000	26.62±0.000
S (PSU)	34.57±0.000	34.02±0.000	34.87±0.000	34.23±0.000	34.83±0.000	34.42±0.000
Chl-a (mgm ⁻³)	0.28±0.18	0.47±0.09	0.19±0.04	0.24±0.04	0.21±0.05	0.28±0.12
pCO ₂ (Pa)	58.11±3.22	51.01±0.66	60.06±1.79	54.63±1.30	59.70±0.89	51.47±3.40
DIC (molm ⁻³)	2.11±0.0035	2.09±0.0041	2.10±0.0100	2.08±0.0037	2.10±0.0083	2.08±0.0036
TA (molm ⁻³)	2.38±0.003	2.33±0.012	2.37±0.008	2.33±0.015	2.37±0.008	2.33±0.011
pH	7.90±0.02	7.95±0.00	7.89±0.01	7.92±0.01	7.89±0.01	7.94±0.03
DO (mmom ⁻³)	217.06±6.62	233.76±9.46	209.96±4.10	218.99±8.06	209.14±4.88	217.65±10.48
FitTt (mmolm ⁻³)	2.76±1.09	3.92±0.55	2.25±0.30	2.48±0.41	2.15±0.22	2.35±0.84
PPFitT (mgm ⁻³ day ⁻¹)	10.57±4.49	13.12±2.49	8.71±0.76	7.76±0.88	9.90±2.61	10.27±4.62
SiD (mmolm ⁻³)	1.86±0.67	1.46±0.21	1.83±0.46	1.35±0.40	1.67±0.49	1.51±0.54
NO ₃ ⁻ (mmolm ⁻³)	0.0104±0.0017	0.0051±0.0007	0.0106±0.0024	0.0046±0.0008	0.0121±0.0072	0.0111±0.0087
PO ₄ ³⁻ (mmolm ⁻³)	0.65±0.03	0.59±0.05	0.59±0.04	0.55±0.03	0.58±0.04	0.55±0.04
Fe _d (mmolm ⁻³)	0.0036±0.0009	0.0029±0.0002	0.0037±0.0005	0.0036±0.0005	0.0034±0.0003	0.0031±0.0002

T: temperatura; S: salinidad; Chl-a: Clorofila-a; pCO₂: Presión parcial del dióxido de carbono; DIC: Carbono inorgánico disuelto; TA: Alcalinidad total; pH: concentración de iones de hidrogeno; DO: oxígeno disuelto; FitTt: biomasa de fitoplancton total; PPFiT: producción total primario; SiD, silicato disuelto; NO₃⁻: nitrato; PO₄³⁻: fosfato; Fe_d: hierro disuelto

Parametro	Mes	Oct		Nov		Dic	
		LP±σ	SD±σ	LP±σ	SD±sd	LP±σ	SD±σ
T (°C)		26.89±0.000	25.24±0.000	24.47±0.000	23.21±0.000	20.56±0.000	20.62±0.000
S (PSU)		34.73±0.000	34.44±0.000	34.85±0.000	34.56±0.000	34.88±0.000	34.47±0.000
Chl-a (mgm ⁻³)		0.27±0.07	0.23±0.07	0.68±0.07	0.37±0.16	1.12±0.24	0.36±0.09
pCO ₂ (Pa)		56.81±1.27	48.90±3.17	51.44±0.74	46.30±2.69	47.82±1.16	45.33±1.38
DIC (molm ⁻³)		2.09±0.0061	2.08±0.0030	2.09±0.0065	2.08±0.0017	2.11±0.0077	2.09±0.0023
TA (molm ⁻³)		2.37±0.004	2.33±0.010	2.37±0.004	2.33±0.010	2.37±0.006	2.33±0.013
pH		7.91±0.01	7.96±0.03	7.95±0.01	7.98±0.02	7.97±0.01	7.99±0.01
DO (mmom ⁻³)		208.03±2.61	220.65±10.48	210.77±2.95	225.07±10.41	218.90±3.47	229.28±9.20
FitTt (mmolm ⁻³)		1.95±0.03	1.98±0.58	2.91±0.09	2.27±0.91	4.62±0.53	2.03±0.28
PPFitT (mgm ⁻³ day ⁻¹)		11.28±4.17	6.98±2.04	30.25±3.48	11.66±9.92	38.58±7.57	12.42±5.62
SiD (mmolm ⁻³)		1.79±0.29	1.61±0.61	1.80±0.26	1.75±0.26	1.81±0.12	1.82±0.33
NO ₃ ⁻ (mmolm ⁻³)		0.0164±0.0154	0.0044±0.0006	0.0839±0.0313	0.0292±0.0181	0.2228±0.0573	0.0337±0.0345
PO ₄ ³⁻ (mmolm ⁻³)		0.55±0.03	0.52±0.03	0.55±0.02	0.49±0.03	0.61±0.04	0.49±0.02
Fe ^d (mmolm ⁻³)		0.0028±0.0002	0.0031±0.0003	0.0020±0.0004	0.0026±0.0003	0.0014±0.0002	0.0027±0.0002

T: temperatura; S: salinidad; Chl-a: Clorofila-a; pCO₂: Presión parcial del dióxido de carbono; DIC: Carbono inorgánico disuelto; TA: Alcalinidad total; pH: concentración de iones de hidrogeno; DO: oxígeno disuelto; FitTt: biomasa de fitoplancton total; PPFitT: producción total primario; SiD, silicato disuelto; PO₄³⁻: fosfato; NO₃³⁻: nitrato; Fe_d: hierro disuelto

ANEXO B. Figuras de variables ambientales $\pm$ desviación estándar (SD) del año 2022 a 2024.

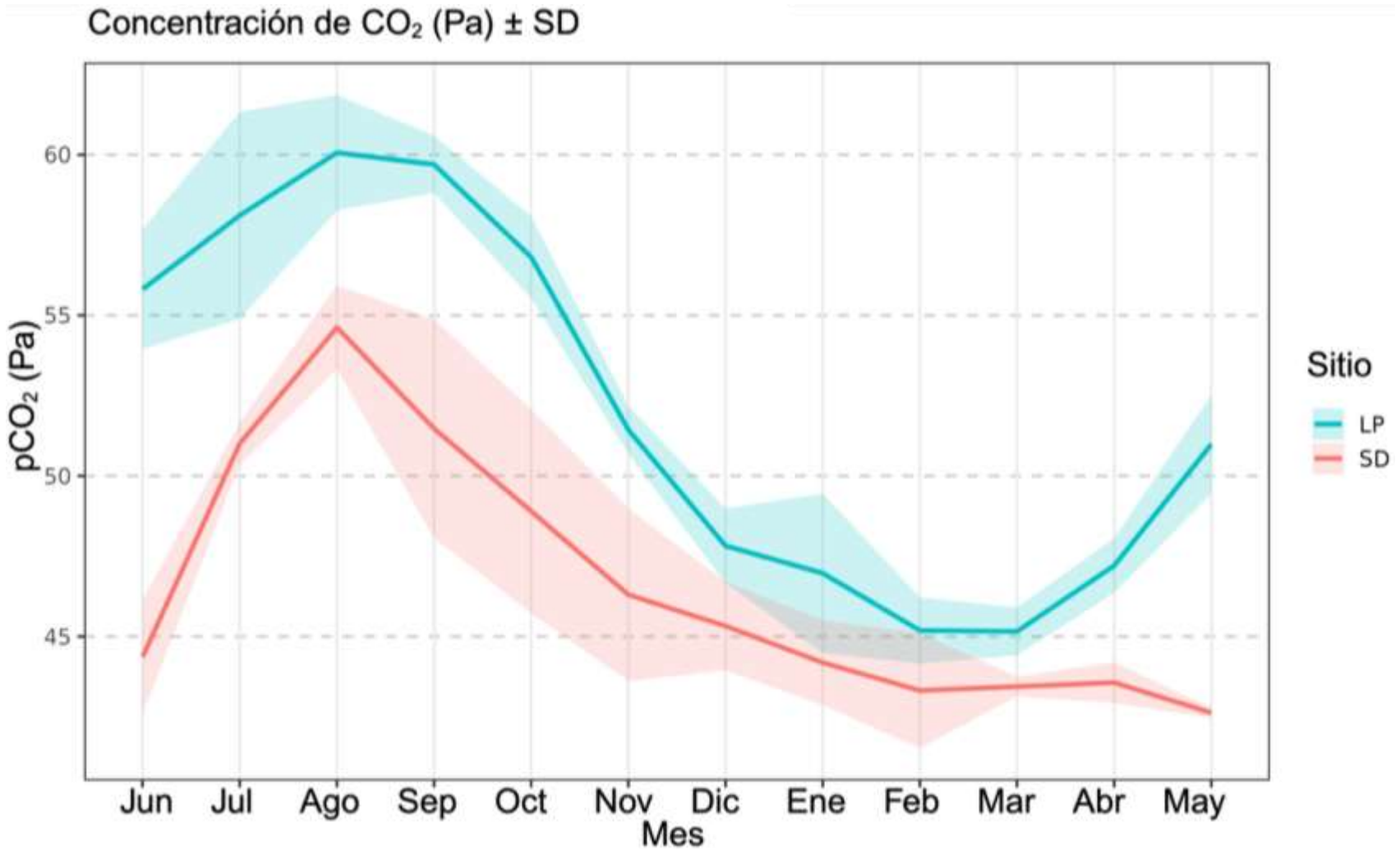


Figura 38. Promedio mensual de la presión parcial de dióxido de carbono $\pm$ desviación estándar en LP y SD desde 2022 a 2024.

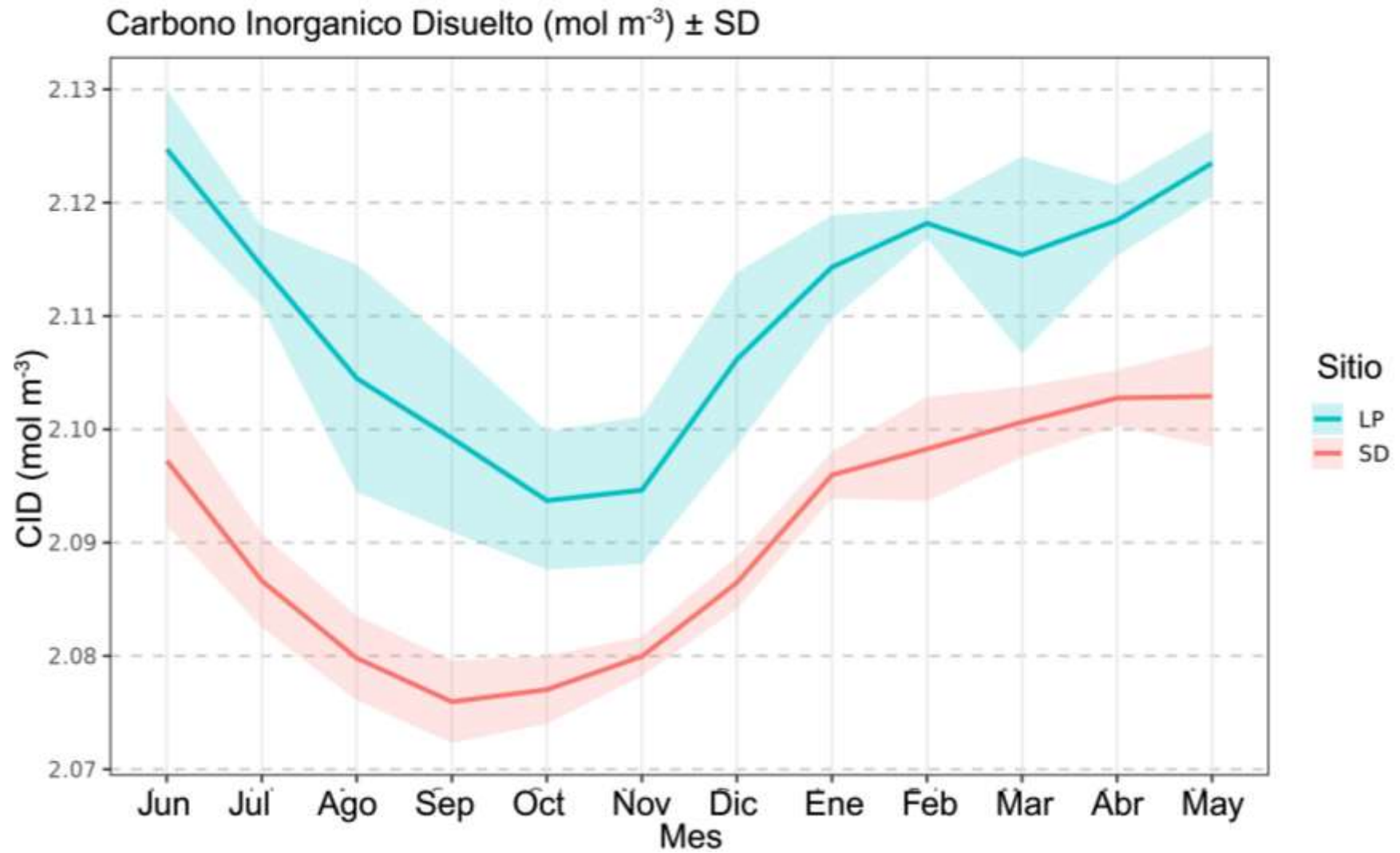


Figura 39. Promedio mensual del carbono inorgánico disuelto $\pm$ desviación estándar en LP y SD desde 2022 a 2024.

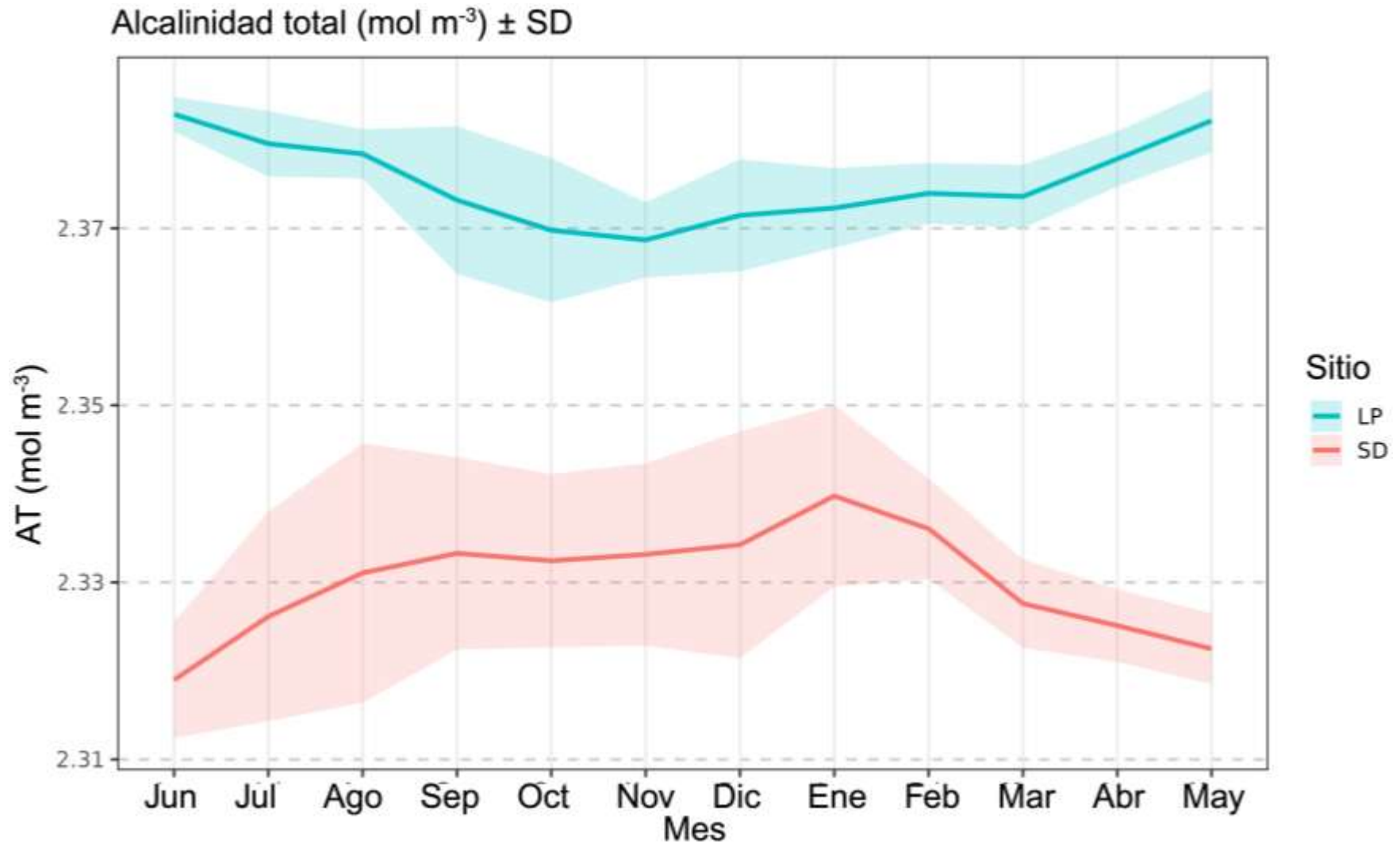


Figura 40. Promedio mensual de la alcalinidad total $\pm$ desviación estándar en LP y SD desde 2022 a 2024.

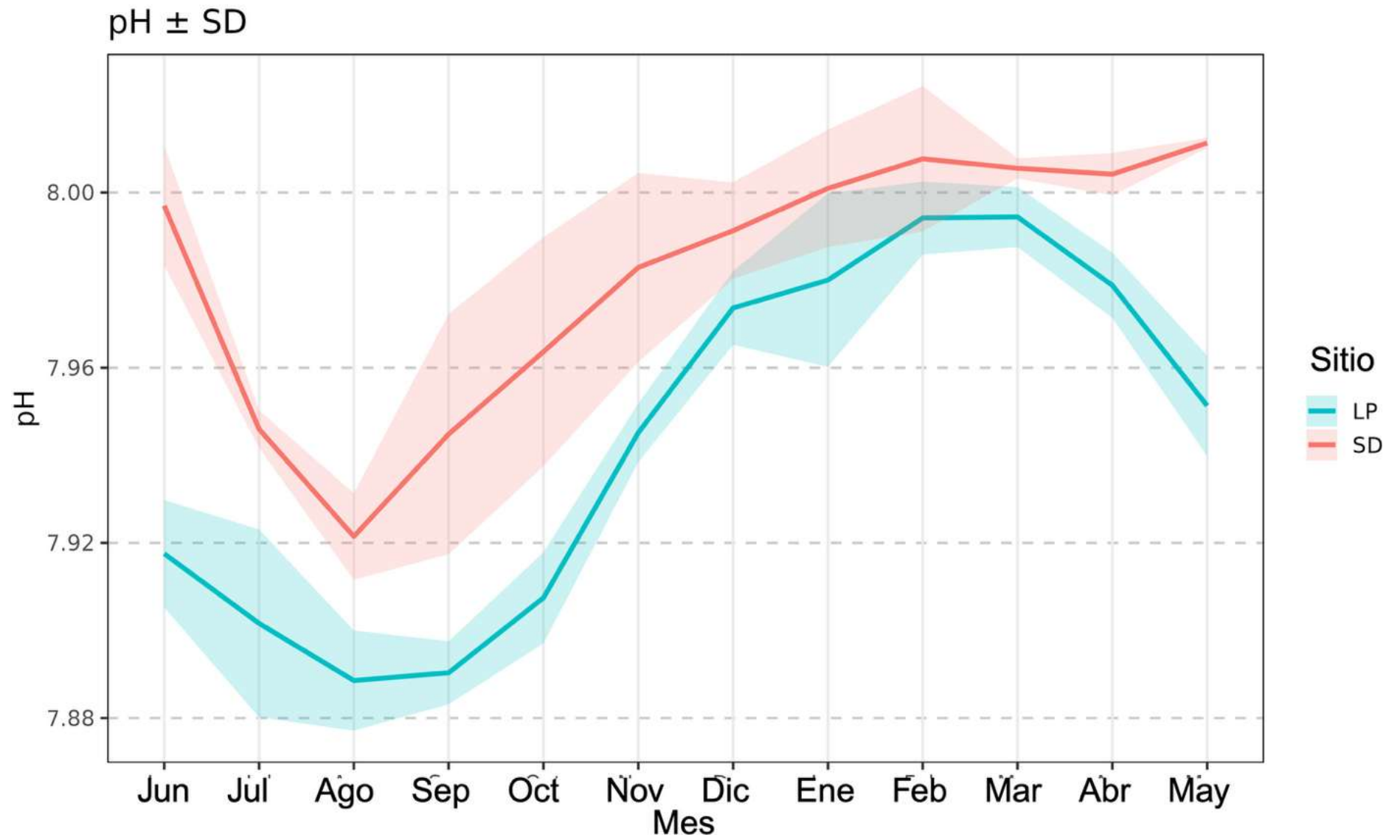


Figura 41. Promedio mensual del pH $\pm$ desviación estándar en LP y SD desde 2022 a 2024.

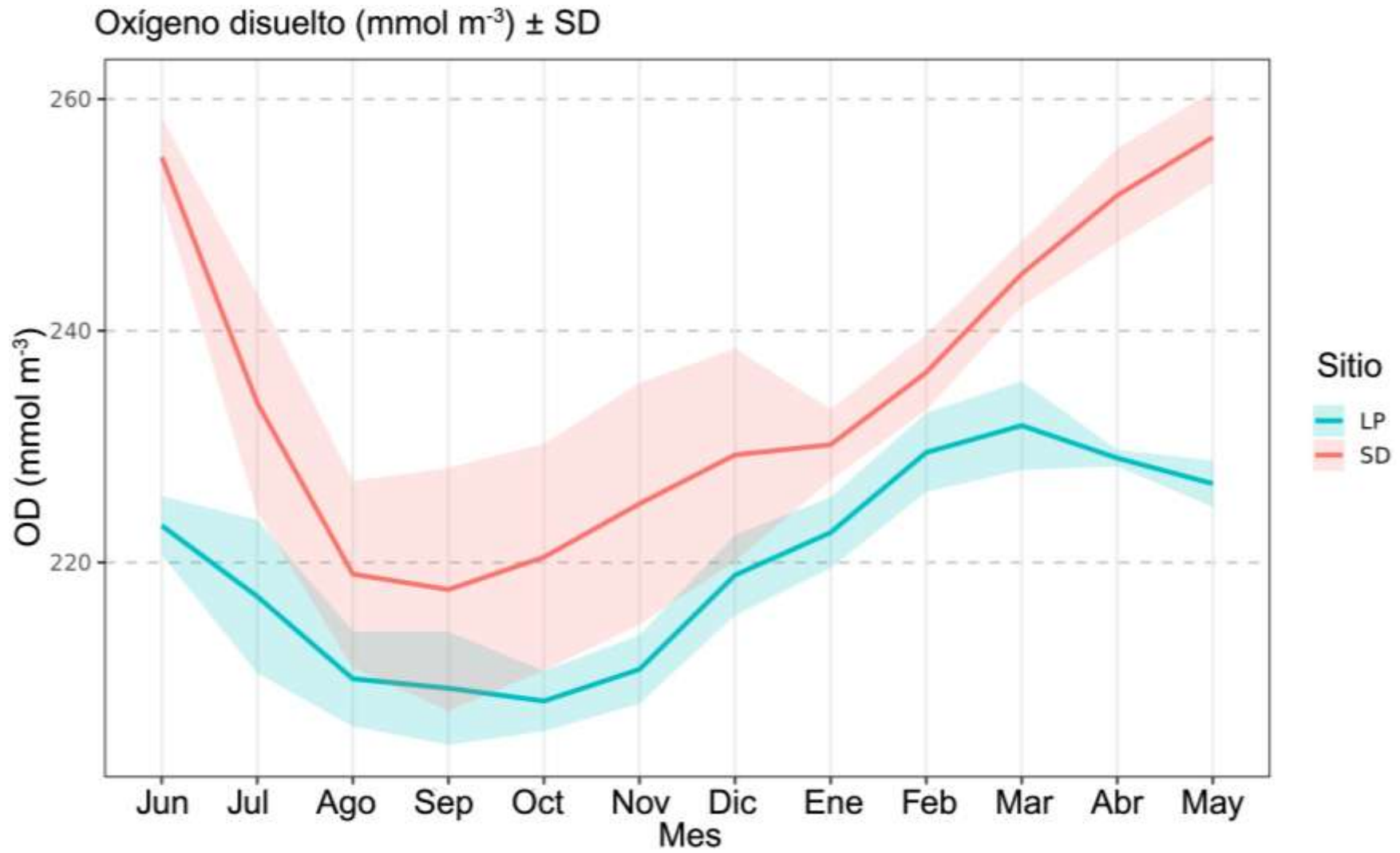


Figura 42. Promedio mensual del oxígeno disuelto $\pm$ desviación estándar en LP y SD desde 2022 a 2024.

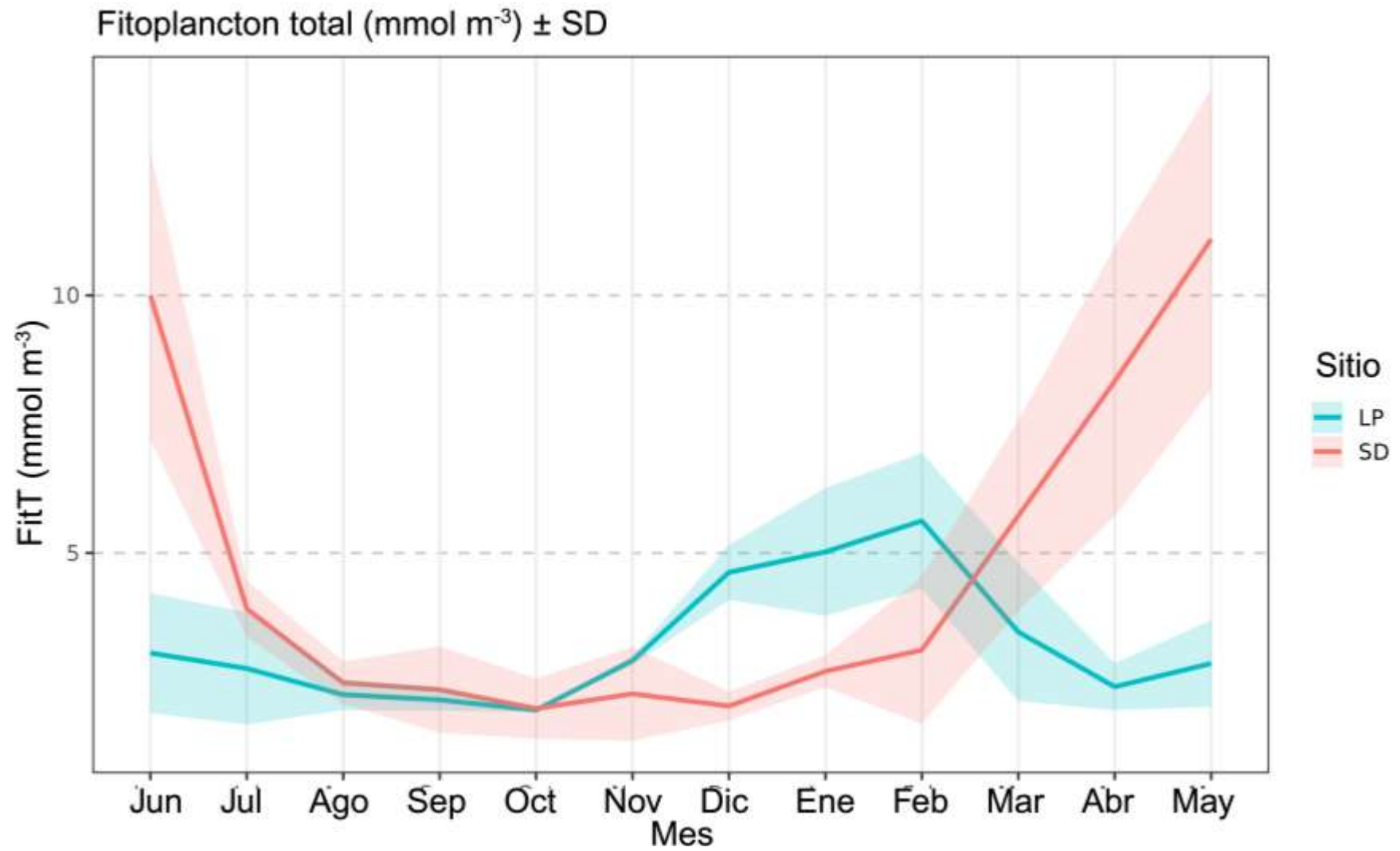


Figura 43. Promedio mensual de la biomasa total del fitoplancton $\pm$ desviación estándar en LP y SD desde 2022 a 2024.

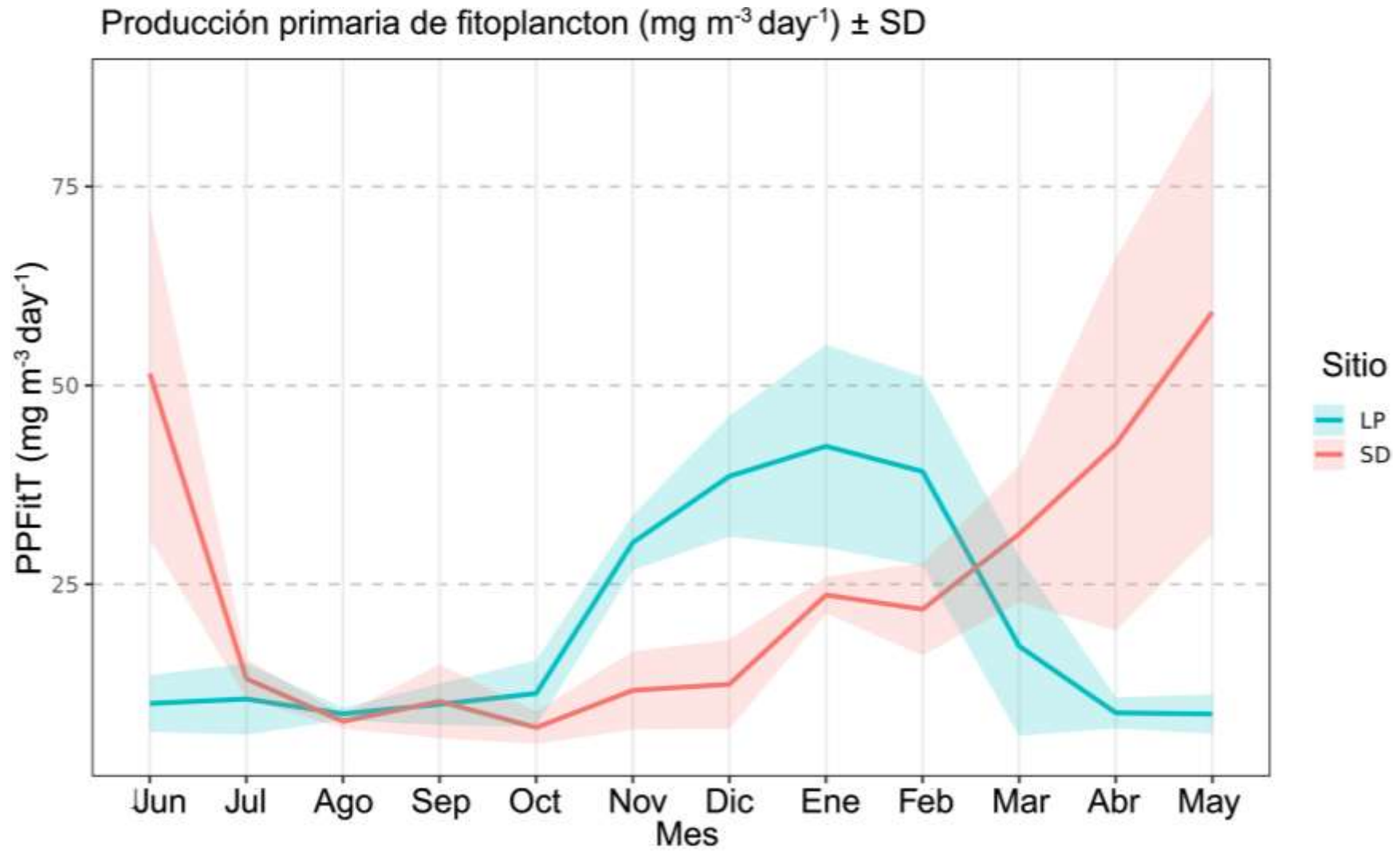


Figura 44. Promedio mensual de la producción total primario $\pm$ desviación estándar en LP y SD desde 2022 a 2024.

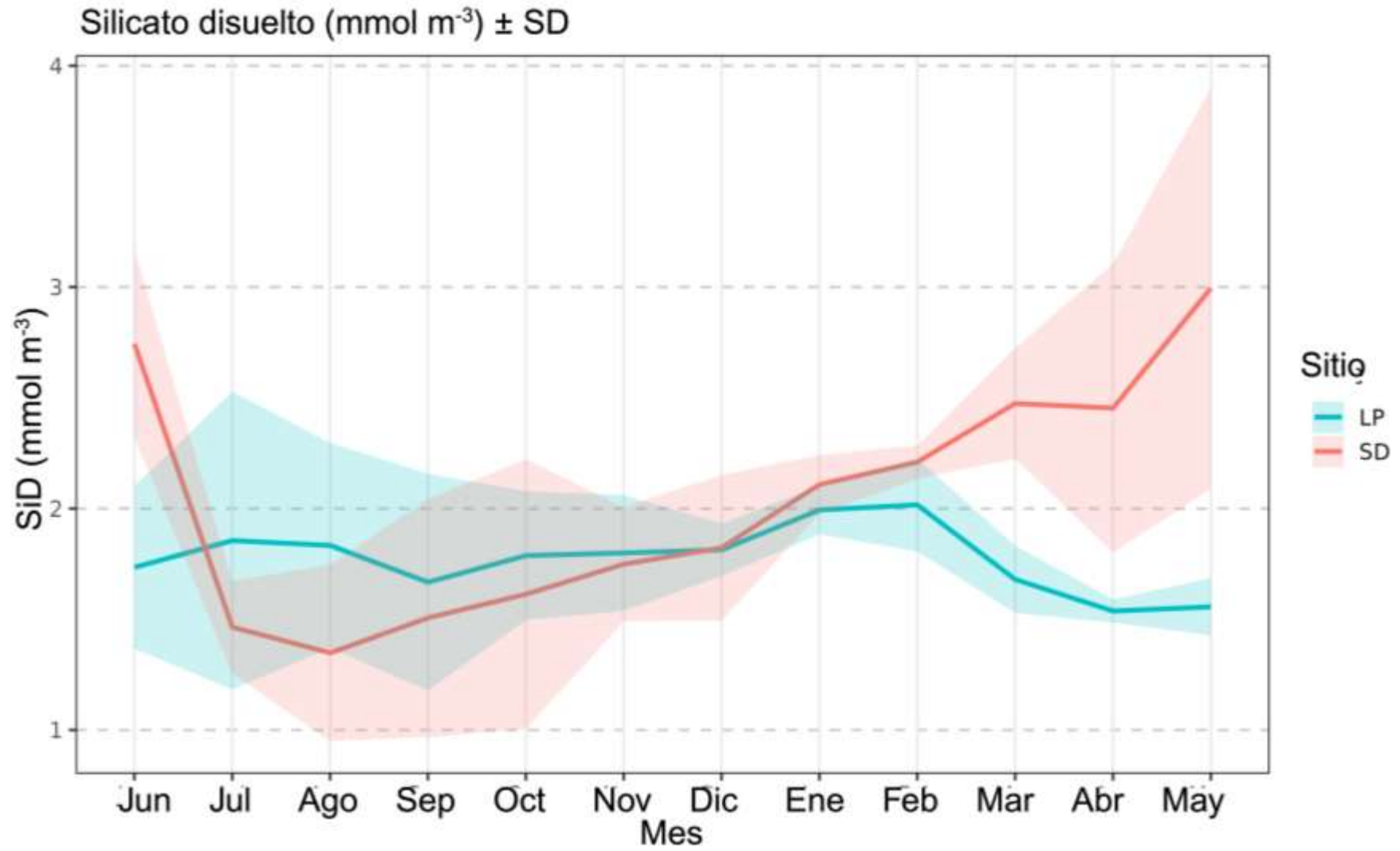


Figura 45. Promedio mensual del silicato disuelto $\pm$ desviación estándar en LP y SD desde 2022 a 2024.

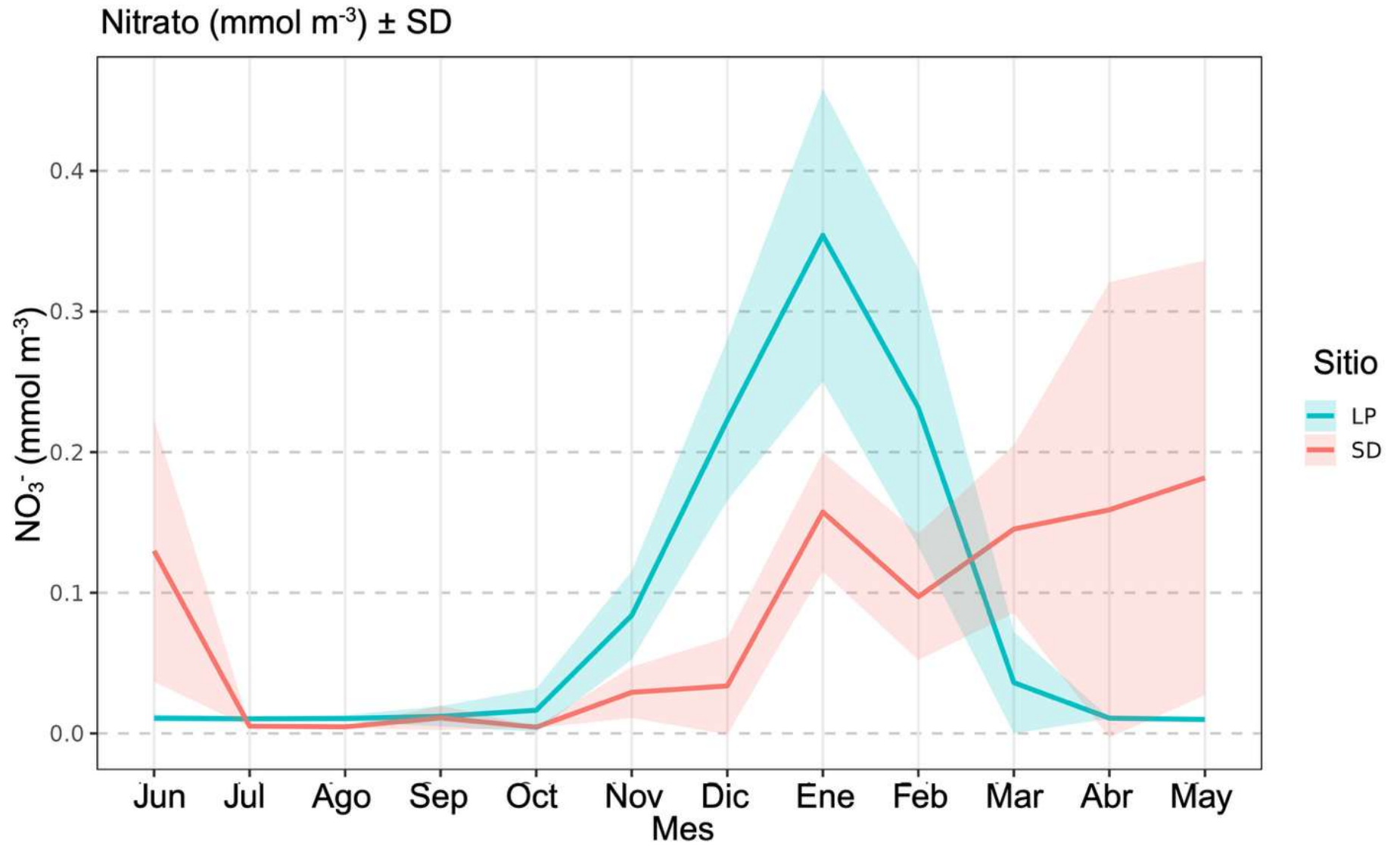


Figura 46. Promedio mensual de nitratos $\pm$ desviación estándar en LP y SD desde 2022 a 2024.

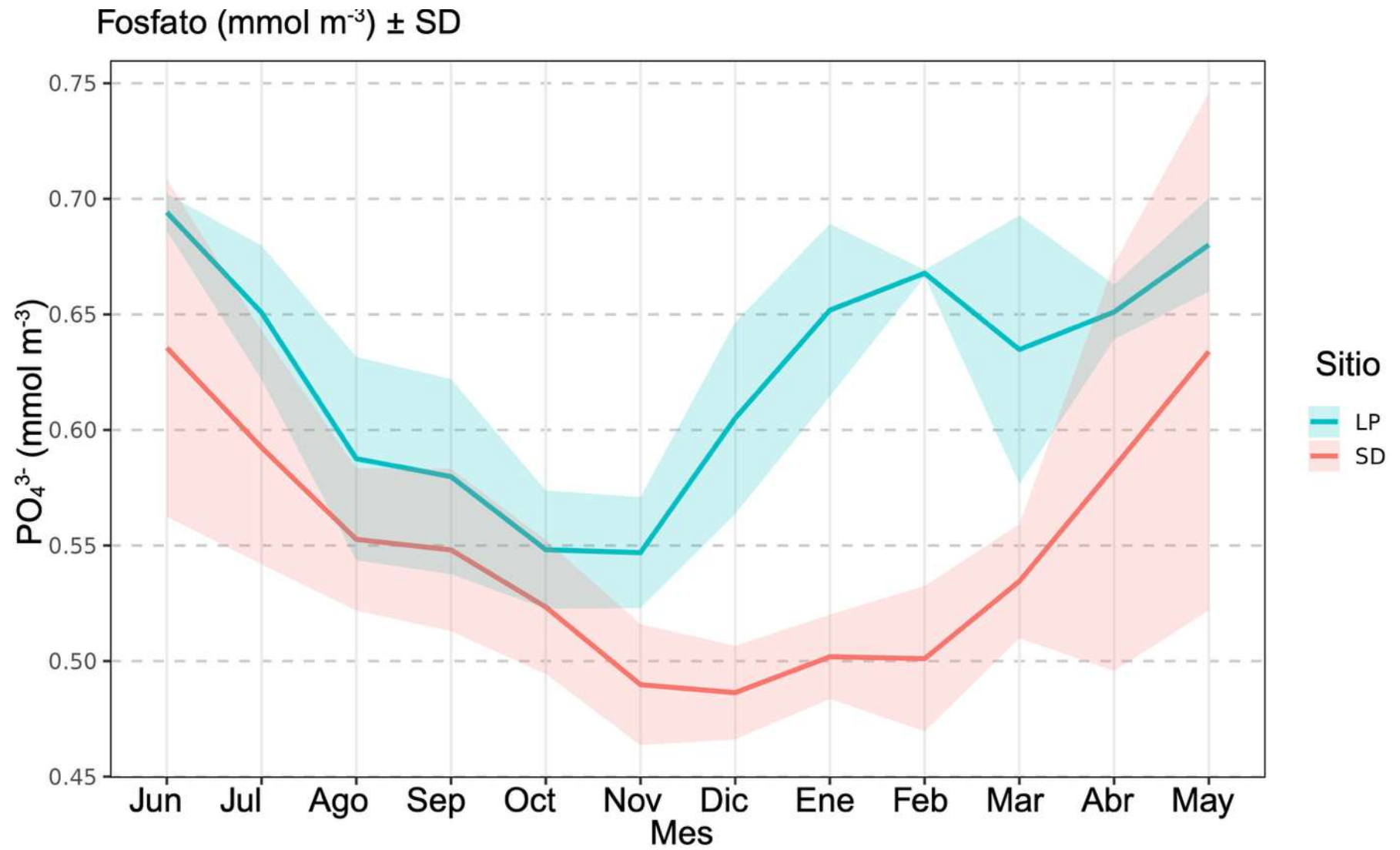


Figura 47. Promedio mensual de fosfatos $\pm$ desviación estándar en LP y SD desde 2022 a 2024.

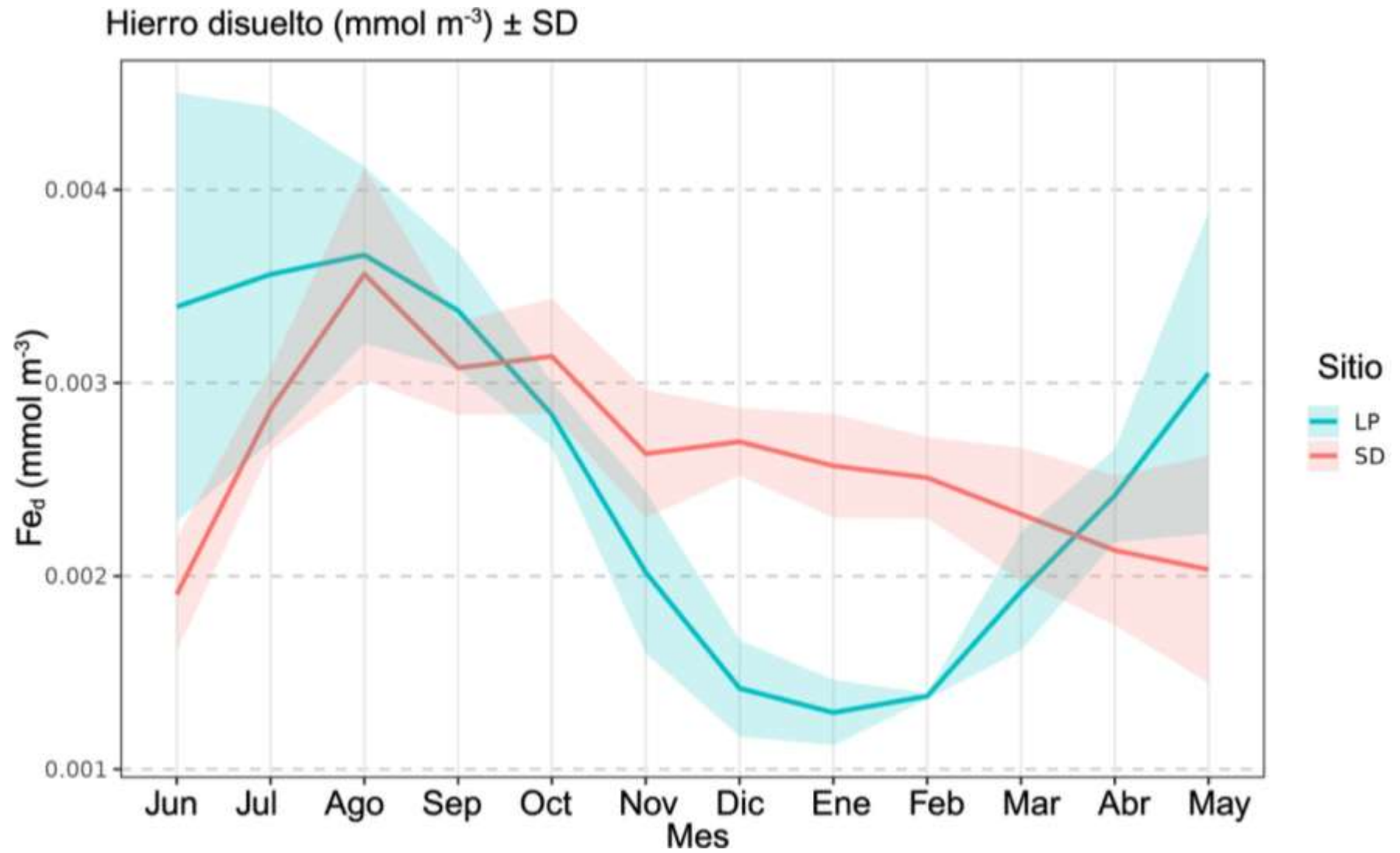


Figura 48. Promedio mensual del hierro disuelto $\pm$ desviación estándar en LP y SD desde 2022 a 2024.

ANEXO C. Variaciones en el crecimiento de la concha del ostión japonés diploide y triploide. Se muestran las medianas $\pm$ SE.

Muestreo (DDS)	Longitud (cm)				Altura (cm)				Ancho (cm)			
	La Paz		Santo Domingo		La Paz		Santo Domingo		La Paz		Santo Domingo	
	2n	3n	2n	3n	2n	3n	2n	3n	2n	3n	2n	3n
1	1.2 $\pm$	1.5 $\pm$	2.2 $\pm$	1.7 $\pm$	2.6 $\pm$	4.2 $\pm$	4.8 $\pm$	3.7 $\pm$	0.8 $\pm$	1 $\pm$	1.1 $\pm$	0.9 $\pm$
	0.05	0.01	0.07	0.05	0.14	0.25	0.19	0.19	0.03	0.04	0.04	0.03
2	2.4 $\pm$	2.4 $\pm$	3.2 $\pm$	2.9 $\pm$	4.3 $\pm$	5.2 $\pm$	5.8 $\pm$	6.3 $\pm$	1.2 $\pm$	1.3 $\pm$	1.4 $\pm$	1.4 $\pm$
	0.04	0.05	0.04	0.04	0.08	0.10	0.09	0.10	0.03	0.03	0.02	0.19
3	3.7 $\pm$	4 $\pm$	4.1 $\pm$	3.5 $\pm$	6.6 $\pm$	7.5 $\pm$	7.3 $\pm$	7.2 $\pm$	1.7 $\pm$	2 $\pm$	1.9 $\pm$	3 $\pm$
	0.06	0.05	0.04	0.05	0.10	0.11	0.09	0.13	0.03	0.02	0.02	0.03
4	3.8 $\pm$	3.8 $\pm$	4.7 $\pm$	3.9 $\pm$	6.3 $\pm$	7 $\pm$	7.7 $\pm$	7.8 $\pm$	1.8 $\pm$	2.2 $\pm$	2.2 $\pm$	2.5 $\pm$
	0.05	0.06	0.09	0.06	0.12	0.13	0.11	0.13	0.03	0.03	0.03	0.04
5	4.4 $\pm$	4.8 $\pm$	5.1 $\pm$	4.4 $\pm$	7.3 $\pm$	8.8 $\pm$	8.4 $\pm$	8.3 $\pm$	2.2 $\pm$	2.6 $\pm$	2.8 $\pm$	3.3 $\pm$
	0.06	0.08	0.09	0.07	0.13	0.14	0.14	0.12	0.04	0.03	0.042	0.05
6	4.8 $\pm$	4.9 $\pm$	5.8 $\pm$	5 $\pm$	7.7 $\pm$	8.4 $\pm$	9.1 $\pm$	9.1 $\pm$	2.5 $\pm$	2.9 $\pm$	3.4 $\pm$	3.7 $\pm$
	0.05	0.06	0.07	0.06	0.09	0.13	0.09	0.10	0.04	0.03	0.041	0.04

ANEXO D. Variación en el peso total y biomasa de *C. gigas* diploide y triploide. Se muestran las medianas $\pm$ SE.

Muestreo (DDS)	Peso total (g)				Biomasa (g)			
	La Paz		Santo Domingo		La Paz		Santo Domingo	
	2n	3n	2n	3n	2n	3n	2n	3n
1	1.2 $\pm$ 0.05	1.5 $\pm$.01	2.2 $\pm$ 0.07	1.7 $\pm$ 0.05	2.6 $\pm$ 0.14	4.2 $\pm$ 0.25	4.8 $\pm$ 0.19	3.7 $\pm$ 0.19
2	2.4 $\pm$.04	2.4 $\pm$ 0.05	3.2 $\pm$ 0.04	2.9 $\pm$ 0.04	4.3 $\pm$ 0.08	5.2 $\pm$ 0.10	5.8 $\pm$ 0.09	6.3 $\pm$ 0.10
3	3.7 $\pm$ 0.06	4 $\pm$ 0.05	4.1 $\pm$ 0.04	3.5 $\pm$ 0.05	6.6 $\pm$ 0.10	7.5 $\pm$ 0.11	7.3 $\pm$ 0.09	7.2 $\pm$ 0.13
4	3.8 $\pm$ 0.05	3.8 $\pm$ 0.06	4.7 $\pm$ 0.09	3.9 $\pm$ 0.06	6.3 $\pm$ 0.12	7 $\pm$ 0.13	7.7 $\pm$ 0.11	7.8 $\pm$ 0.13
5	4.4 $\pm$ 0.06	4.8 $\pm$ 0.08	5.1 $\pm$ 0.09	4.4 $\pm$ 0.07	7.3 $\pm$ 0.13	8.8 $\pm$ 0.14	8.4 $\pm$ 0.14	8.3 $\pm$ 0.12
6	4.8 $\pm$ 0.05	4.9 $\pm$ 0.06	5.8 $\pm$ 0.07	5 $\pm$ 0.06	7.7 $\pm$ 0.09	8.4 $\pm$ 0.13	9.1 $\pm$ 0.09	9.1 $\pm$ 0.10

ANEXO E. Variación en el peso del músculo y masa visceral de los ostiones diploides y triploides del ostión del pacífico. Se muestran las medianas $\pm$ SE, sembrado en el periodo de septiembre 2023 a mayo 2024.

Muestreo (DDS)	Peso músculo(g)				Masa visceral (g)			
	La Paz		Santo Domingo		La Paz		Santo Domingo	
	2n	3n	2n	3n	2n	3n	2n	3n
4	0.3 $\pm$ 0.04	0.6 $\pm$ 0.04	0.6 $\pm$ 0.07	0.9 $\pm$ 0.09	1.7 $\pm$ 0.25	2.1 $\pm$ 0.21	3.7 $\pm$ 0.25	3.2 $\pm$ 0.45
5	0.8 $\pm$ 0.08	1.3 $\pm$ 0.10	1.4 $\pm$ 0.14	1.9 $\pm$ 0.21	4.9 $\pm$ 0.24	4.8 $\pm$ 0.25	9.6 $\pm$ 0.68	8 $\pm$ 0.63
6	0.9 $\pm$ 0.05	1.9 $\pm$ 0.12	2.1 $\pm$ 0.24	3.1 $\pm$ 0.19	5.1 $\pm$ 0.26	6.1 $\pm$ 0.35	15.2 $\pm$ 0.71	11.7 $\pm$ 0.54

ANEXO F. Variación en el porcentaje del índice de condición fisiológica, índice de condición general y rendimiento de carne. Se muestran las medianas $\pm$ SE del estado de condición del ostión japonés.

Muestreo (DDS)	Índice de condición fisiológica (%)				Índice de condición general (%)				Rendimiento de carne (%)			
	La Paz		Santo Domingo		La Paz		Santo Domingo		La Paz		Santo Domingo	
	2n	3n	2n	3n	2n	3n	2n	3n	2n	3n	2n	3n
1	12.1 $\pm$	10.2 $\pm$	10.6 $\pm$	10.2 $\pm$	2.2 $\pm$	2 $\pm$	2.4 $\pm$	2.0 $\pm$	19.9 $\pm$	20.8 $\pm$	22.8 $\pm$	20.8 $\pm$
	0.29	0.39	0.14	0.39	0.081	0.09	0.07	0.08	0.93	0.17	0.78	0.16
2	13.1 $\pm$	11.4 $\pm$	11.4 $\pm$	10 $\pm$	3.9 $\pm$	3 $\pm$	2.8 $\pm$	2.5 $\pm$	28.7 $\pm$	26 $\pm$	25.8 $\pm$	26.1 $\pm$
	0.25	0.32	0.32	0.16	0.062	0.10	0.07	0.04	0.33	0.36	0.31	0.244
3	12 $\pm$	12 $\pm$	12.5 $\pm$	12.3 $\pm$	2.9 $\pm$	2.8 $\pm$	3 $\pm$	2.5 $\pm$	24.7 $\pm$	24.1 $\pm$	23.8 $\pm$	20.9 $\pm$
	0.20	0.14	0.13	0.22	0.06	0.05	0.03	0.04	0.31	0.33	0.25	0.23
4	12.8 $\pm$	11.8 $\pm$	15.5 $\pm$	14.8 $\pm$	2.8 $\pm$	2.2 $\pm$	3.3 $\pm$	2.9 $\pm$	20.3 $\pm$	19.7 $\pm$	21.6 $\pm$	19.6 $\pm$
	0.36	0.16	0.31	0.17	0.08	0.03	0.06	0.03	0.47	0.21	0.30	0.19
5	16.1 $\pm$	15.3 $\pm$	18.2 $\pm$	18 $\pm$	3.8 $\pm$	3.2 $\pm$	4.7 $\pm$	4.1 $\pm$	23.2 $\pm$	21.7 $\pm$	26 $\pm$	23.1 $\pm$
	0.16	0.19	0.15	0.43	0.07	0.05	0.04	0.11	0.34	0.38	0.25	0.25
6	14.6 $\pm$	17.6 $\pm$	22.4 $\pm$	21.2 $\pm$	3.1 $\pm$	3.4 $\pm$	6.1 $\pm$	5.1 $\pm$	21.5 $\pm$	19.5 $\pm$	25.9 $\pm$	24.1 $\pm$
	0.19	0.31	0.21	0.23	0.05	0.07	0.07	0.9	0.27	0.21	0.33	0.32