

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRIA EN ACUICULTURA Y GESTION AMBIENTAL



Evaluación de la incrustación de *biofouling* en redes de nylon impregnados con nanopartículas de óxido de cobre en el cultivo de *Argopecten purpuratus*

TESIS

**Para optar el grado académico de Maestra en Acuicultura y
Gestión Ambiental**

Autora: Br. Violeta Soledad Moreno Zuñiga

Tumbes, 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRIA EN ACUICULTURA Y GESTION AMBIENTAL



Evaluación de la incrustación de *biofouling* en redes de nylon impregnados con nanopartículas de óxido de cobre en el cultivo de *Argopecten purpuratus*

Tesis aprobada en forma y estilo por:

Dr. Marco Antonio Zapata Cruz (presidente)

ORCID N°: 0000-0002-9018-280X

Dra. Rosa Liliana Solís Castro (secretaria)

ORCID N°: 0000-0002-1813-8644

Dr. David Edilberto Saldarriaga Yacila (vocal)

ORCID N° 0000-0002-4919-8607

Tumbes, 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRIA EN ACUICULTURA Y GESTION AMBIENTAL



Evaluación de la incrustación de *biofouling* en redes de nylon impregnados con nanopartículas de óxido de cobre en el cultivo de *Argopecten purpuratus*

Los suscritos declaramos que la tesis es original en su contenido, forma y estilo:

Blga. Violeta Soledad Moreno Zuñiga (autora)
CODIGO ORCID N°: 0000-0002-0541-7652

Dr. David Edilberto Saldarriaga Yacila (asesor)
CODIGO ORCID N° 0000-0002-4919-8607

Dr. José Luis Solís Veliz (coasesor)
CODIGO ORCID N°: 0000-0001-5560-9241

Mg. Krizia Maribel Pretell Monzón (coasesor)
ORCID N°: 0000-0003-3711-2279

Tumbes, 2025



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
Licenciada
Resolución del Consejo Directivo N° 155-2019-SUNEDU/CD
ESCUELA DE POSGRADO
Tumbes – Perú

“Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Tumbes, a los treinta y un días del mes de octubre del dos mil veinticinco, siendo las once y treinta horas, en el aula N° 02 de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Tumbes, se reunieron los miembros del jurado calificador constituido con la **RESOLUCIÓN No 285-2024/UNTUMBES-EPG-D**, del seis de setiembre del dos mil veinticuatro: presidido por el **Dr. Marco Antonio Zapata Cruz** e integrado por la **Dra. Rosa Liliana Solís Castro** (secretaria) y el **Dr. David Edilberto Saldarriaga Yacila** (Vocal Y Asesor).

Instalado el jurado, se procedió a la evaluación, deliberación y calificación del acto de la sustentación de la tesis titulada: **“Evaluación de la incrustación de biofouling en redes de nylon impregnados con nanopartículas de óxido de cobre en el cultivo de *Argopecten purpuratus*”**, presentada por la **Br. Violeta Soledad Moreno Zúñiga**, para optar el grado académico de **MAESTRA EN ACUICULTURA Y GESTIÓN AMBIENTAL**.

Concluida la sustentación y absueltas las preguntas, por parte de la sustentante y después de la correspondiente deliberación, el jurado, conforme a lo normado en el artículo N° 111 del Reglamento de Tesis de la Universidad Nacional de Tumbes, declara a la egresada, **APROBADA**, con el calificativo de **...BUENO...**

Por lo anterior, la sustentante está expedita para iniciar los trámites correspondientes y conducentes a la obtención del grado académico de **Maestra en Acuicultura y Gestión Ambiental**, en conformidad con lo normado en la Ley Universitaria N° 30220, el Texto Único Ordenado del Estatuto, El Reglamento General, el Reglamento General de Grados Títulos y el Reglamento de Tesis de la Universidad Nacional de Tumbes.

Siendo las doce horas y cuarenta y cinco minutos, del mismo día, se dio por concluida la ceremonia académica, procediendo a firmar el acta en presencia de público asistente.

Tumbes, 31 de octubre 2025.

Dr. Marco Antonio Zapata Cruz
Presidente
DNI. 00219827
Código ORCID 0000-0002-9018-280X

Dra. Rosa Liliana Solís Castro
Secretaria
DNI N° 17628592
Código ORCID 0000-0002-1813-8644

Dr. David Edilberto Saldarriaga Yacila
Vocal y Asesor
DNI N° 00320699
ORCID: 0000-0002-4919-8607

C.c.
Jurado de Tesis
Interesado
Unidad de Investigación.
Archivo (Director EPG).

Violeta Soledad Moreno Zúñiga

Evaluación de la incrustación de biofouling en redes de nylon impregnados con nanopartículas de óxido de cobre en el cultiv...

 Informe Final de Tesis

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid:::3117:528512247

Fecha de entrega
16 nov 2025, 10:41 GMT-5

Fecha de descarga
16 nov 2025, 10:46 GMT-5

Nombre del archivo
Evaluación de la incrustación de biofouling en redes de nylon impregnados con nanopartículasdocx

Tamaño del archivo
4.8 MB

46 páginas

11.245 palabras

58.456 caracteres






Dr. DAVID EDILBERTO SALDARRIAGA YACILA
ASESOR
ORCID N° 0000-0002-4919-8607

14% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Fuentes principales

- 13%  Fuentes de Internet
- 4%  Publicaciones
- 6%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)



Dr. DAVID EDILBERTO SALDARRIAGA YACILA
ASESOR
ORCID N° 0000-0002-4919-8607

Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se muestra

1	Internet	cybertesis.unmsm.edu.pe	1%
2	Internet	vahabonline.com	<1%
3	Internet	hdl.handle.net	<1%
4	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional de Tumbes on 2024-01-17	<1%
5	Internet	www.grafiati.com	<1%
6	Internet	repositorio.unica.edu.pe	<1%
7	Publicación	"Agregados co-poliméricos anfifílicos en solución acuosa como portadores de na...	<1%
8	Internet	www.researchgate.net	<1%
9	Internet	repositorio.untumbes.edu.pe	<1%
10	Internet	repositorio.uta.edu.ec	<1%
11	Internet	docslide.us	<1%

12	Internet	www.coursehero.com	<1%
13	Internet	patents.google.com	<1%
14	Internet	repositorio.upse.edu.ec	<1%
15	Internet	repositorio.uns.edu.pe	<1%
16	Internet	www.revistas.unitru.edu.pe	<1%
17	Internet	www.schcm.cl	<1%
18	Internet	aprenderly.com	<1%
19	Internet	purl.org	<1%
20	Internet	repositorio.unab.edu.pe	<1%
21	Internet	documents.mx	<1%
22	Publicación	AMET CONSULTORIA AMBIENTAL Y PESQUERA S.A.C.. "EIA-SD Colectivo para el De...	<1%
23	Trabajos del estudiante	University of Warwick on 2024-01-21	<1%
24	Internet	catalogo.biblioteca.itp.gob.pe	<1%
25	Publicación	da Silva Moço, Salomé Soares da Silva. "Impregnação de Fibras de Celulose Com ...	<1%

Dr. DAVID EDILBERTO SALDARRIAGA YACILA
 ASESOR
 ORCID N° 0000-0002-4919-8607

26	Internet	infoagro.com	<1%
27	Trabajos del estudiante	BENEMERITA UNIVERSIDAD AUTONOMA DE PUEBLA BIBLIOTECA on 2024-05-28	<1%
28	Internet	ri.uaemex.mx	<1%
29	Internet	www.slideshare.net	<1%
30	Internet	repositorio.unican.es	<1%
31	Internet	zagan.unizar.es	<1%
32	Internet	repositorio.autonoma.edu.pe	<1%
33	Publicación	Manuel Fortis-Hernández, Tony González-Rodríguez, Bernardo Espinosa-Palomeq...	<1%
34	Trabajos del estudiante	Universidad de Burgos UBUCEV on 2022-07-05	<1%
35	Internet	eprints.uanl.mx	<1%
36	Internet	dea.dlgar.ee	<1%
37	Internet	es.unlonpedia.org	<1%
38	Internet	codigof.mx	<1%
39	Internet	tesis.usat.edu.pe	<1%

40	Trabajos del estudiante	Escuela Politécnica Nacional on 2021-01-18	<1%
41	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional Agraria de la Selva on 2025-07-23	<1%
42	Internet	bloone.org	<1%
43	Internet	repositorio.unas.edu.pe	<1%
44	Internet	suche.thuib.uni-jena.de	<1%
45	Trabajos del estudiante	TecnoCampus on 2020-01-08	<1%
46	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional Federico Villarreal on 2025-08-03	<1%
47	Internet	repositorio.unfv.edu.pe	<1%
48	Internet	www.arkadasilk-yachting.com	<1%
49	Trabajos del estudiante	Consortio CIXUG on 2024-09-02	<1%
50	Trabajos del estudiante	Pontificia Universidad Javeriana Call on 2024-09-03	<1%
51	Internet	docplayer.es	<1%
52	Internet	docshare.tips	<1%
53	Internet	eprints.ucm.es	<1%

54	Internet	pos.uel.br	<1%
55	Internet	repositorio.upt.edu.pe	<1%
56	Internet	repository.javeriana.edu.co	<1%
57	Internet	worldwidescience.org	<1%
58	Internet	www.dspace.unltru.edu.pe	<1%
59	Internet	www.frontiersin.org	<1%
60	Trabajos del estudiante	Liverpool John Moores University on 2019-07-20	<1%
61	Publicación	Luz E. Román, Jéssica Huachanl, Carmen Uribe, José L. Solís, Mónica M. Gómez, Sir...	<1%
62	Trabajos del estudiante	Universidad Autónoma de Nuevo León on 2016-11-10	<1%
63	Trabajos del estudiante	Universidad Católica Boliviana "San Pablo" on 2024-11-04	<1%
64	Trabajos del estudiante	Universidad Científica del Sur on 2018-09-07	<1%
65	Publicación	Victoria A Catenacci. "The role of physical activity in producing and maintaining ...	<1%
66	Internet	ldoc.pub	<1%
67	Internet	prgaprogram.org	<1%

68	Internet	pt.scribd.com	<1%
69	Internet	repositorio.unc.edu.pe	<1%
70	Internet	repositoriodigital.academica.mx	<1%
71	Internet	www.buenastareas.com	<1%
72	Internet	www.nelff.com.ar	<1%
73	Internet	www.scribd.com	<1%
74	Publicación	Antonio Muñoz-Escobar, Simón Yobanny Reyes-López. "Antifungal susceptibility o..."	<1%
75	Publicación	Miguel Avendaño DÍAZ, Marcela Cantillán Silva, Juan Peña Forner. "Effect of Im..."	<1%



Dr. DAVID EDILBERTO SALDARRIAGA YACILA
 ASESOR
 ORCID N° 0000-0002-4919-8607

DEDICATORIA

Dedico este informe a Dios mi creador quien vive en mi corazón y me da las fuerzas necesarias para continuar esforzándome y alcanzar mis metas.

A mis padres Ernesto Moreno Medina (+) y Juana Zuñiga Solano quienes fueron mi pilar y soporte en todos los sentidos de mi vida y en especial en mi formación académica, padres que se esforzaron en brindarme su apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTO

Gracias infinitas a Dios, mi padre celestial por ayudarme a vencer todos los obstáculos y alcanzar mis anhelos.

Agradecimiento especial a las personas que formaron parte importante en el desarrollo de este estudio, a mi asesor el Dr. David Saldarriaga Yacila de la Universidad Nacional de Tumbes, al Dr. José Luis Solís Veliz de la Universidad Nacional de Ingeniería, al PhD. Benoit Diringer y Krizia Pretell Monzón de la empresa Incabiotec y al representante de la empresa acuícola Tania López el Sr. David Pérez

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (CONCYTEC), Programa fondos concursables por el financiamiento de esta tesis dentro del marco del proyecto Prociencia-Concytec P501082702 – 2023 “Redes de nylon con nanopartículas de óxidos semiconductores resistentes a la bioincrustación para la acuicultura de conchas de abanico”.

ÍNDICE

	Página
RESUMEN	XX
ABSTRACT	XXI
I. INTRODUCCIÓN	22
II. REVISION DE LA LITERATURA	24
2.1. Antecedentes	24
2.1.1. La Acuicultura de <i>Argopecten purpuratus</i> en el Perú	24
2.1.3. Experiencias sobre las nuevas tecnologías para prevenir la incrustación de biofouling en el cultivo de <i>Argopecten purpuratus</i>	25
2.2. Bases teóricas y científicas	26
2.2.1. Taxonomía de <i>Argopecten purpuratus</i>	26
2.2.2. Características de <i>Argopecten purpuratus</i>	27
2.2.3. Características de los sistemas de cultivo	28
2.2.4. Biofouling	29
2.2.5. Etapas del desarrollo de Biofouling	30
2.2.6. Recubrimiento antibiofouling	32
2.2.7. Uso del cobre en la acuicultura	32
2.2.8. La nanotecnología	33
2.2.9. Nanopartículas de óxido cuproso (Cu ₂ O)	35
III. MATERIALES Y METODOS	37
3.1. Lugar de ejecución	37
3.2. Tipo y diseño de investigación	39
3.3. Población y Muestra	41
3.4. Métodos	42
IV RESULTADOS Y DISCUSION	45
4.1. Evaluación del biofouling incrustado en linternas	45
4.1.1. Biomasa de biofouling en linternas	45
4.1.2. Incremento de peso en linternas	47
4.2. Evaluación de biofouling incrustado en bastidores	49
4.2.1. Porcentaje de cobertura	49
4.2.2. Biomasa específica	50
4.3. Evaluación del crecimiento y supervivencia de <i>Argopecten purpuratus</i>	51
4.3.1. Crecimiento de <i>Argopecten purpuratus</i>	51
4.3.2. Supervivencia de <i>Argopecten purpuratus</i>	53

V CONCLUSIONES	58
VI RECOMENDACIONES	60
VII REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	57
ANEXO	72
CERTIFICADO DE ORIGINALIDAD	81

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Biomasa promedio de biofouling incrustado en linternas con redes de nylon impregnadas con diferentes concentraciones de nanopartículas de óxido de cobre, durante el cultivo de <i>Argopecten purpuratus</i>	46
Tabla 2. Incremento en peso promedio de biofouling incrustado en linternas con redes de nylon impregnadas con diferentes concentraciones de nanopartículas de óxido de cobre, durante el cultivo de <i>Argopecten purpuratus</i>	48
Tabla 3. Porcentaje de cobertura promedio de biofouling incrustado en linternas con redes de nylon impregnadas con diferentes concentraciones de nanopartículas de óxido de cobre, durante el cultivo de <i>Argopecten purpuratus</i>	49
Tabla 4. Talla promedio de <i>Argopecten purpuratus</i> cultivados en linternas con redes de nylon impregnadas con diferentes concentraciones de nanopartículas de óxido de cobre durante 60 días.....	54
Tabla 5. Peso promedio de <i>Argopecten purpuratus</i> cultivadas en linternas con redes de nylon impregnadas con diferentes concentraciones de nanopartículas de óxido de cobre durante 60 días.....	55
Tabla 6. Porcentaje de supervivencia de <i>Argopecten purpuratus</i> cultivado en linternas con redes de nylon impregnadas con diferentes concentraciones de nanopartículas de óxido de cobre durante 60 días.....	56

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Morfología externa e interna de las valvas de <i>Argopecten purpuratus</i> ..	27
Figura 2. Componentes de un sistema Long line	28
Figura 3. Etapas de formación de la biopelícula.....	31
Figura 4. Representación esquemática del proceso de la incrustación de biofouling	31
Figura 5 . Mecanismo toxico de las nanopartículas (NPs)	34
Figura 6. Esquema de los mecanismos de toxicidad de nanopartículas metálicas y de óxido-metales.....	35
Figura 7. Ubicación geográfica de la Universidad Nacional de Ingeniería	37
Figura 8. Ubicación geográfica de la concesión marina Tania López	38
Figura 9 . Ubicación geográfica de Inca Biotec S. A. C.....	38
Figura 10. Distribucion aleatoria de las linternas.....	40
Figura 11. Distribucion aleatoria de los bastidores	40
Figura 12. Acumulación de la biomasa del biofouling incrustado en linternas con redes de nylon impregnadas con diferentes concentraciones de nanopartículas de óxido de cobre, durante 60 días de cultivo	47
Figura 13. Biomasa promedio final de biofouling incrustado en cuadrantes de 0.25 m ² con redes de nylon impregnados con diferentes concentraciones de óxido de cobre sumergidos en el mar durante 60 días	51
Figura 14. Biomasa representado en porcentaje registrado por especie en bastidores.....	52
Figura 15. Crecimeinto de <i>Argopecten purpuratus</i> cultivada en linternas con redes de nylon impregnadas con diferentes concentraciones de oxido de cobre	54
Figura 16. Supervivencia de <i>Argopecten purpuratus</i> cultivado en linternas con redes de nylon impregnadas con diferentes concentraciones de nanopartículas de óxido de cobre durante 60 días	56

INDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Biomasa e incremento de peso del biofouling incrustado en linternas con redes de nylon sin impregnación con nanopartículas de óxido de cobre durante 60 días de cultivo de <i>Argopecten purpuratus</i>	72
Anexo 2. Biomasa e incremento de peso del biofouling incrustado en linternas con redes de nylon impregnadas con nanopartículas de óxido de cobre al 0,6% durante 60 días de cultivo de <i>Argopecten purpuratus</i>	72
Anexo 3. Biomasa e incremento de peso del biofouling incrustado en linternas con redes de nylon impregnadas con nanopartículas de óxido de cobre al 0,8% durante 60 días de cultivo de <i>Argopecten purpuratus</i>	73
Anexo 4. Biomasa e incremento de peso del biofouling incrustado en linternas con redes de nylon impregnadas con nanopartículas de óxido de cobre al 1% durante 60 días de cultivo de <i>Argopecten purpuratus</i>	73
Anexo 5. Resumen de la biomasa e incremento en peso del biofouling incrustado en linternas con redes de nylon impregnadas con diferentes concentraciones de nanopartículas de óxido de cobre durante 60 días de cultivo de <i>Argopecten purpuratus</i>	74
Anexo 6. Talla, peso y supervivencia promedio de <i>Argopecten purpuratus</i> cultivado en linternas con redes de nylon sin impregnación de nanopartículas de óxido de cobre durante 60 días de cultivo.	75
Anexo 7. Talla, peso y supervivencia promedio de <i>Argopecten purpuratus</i> cultivado en linternas con redes de nylon impregnadas con nanopartículas de óxido de cobre al 0,6% durante 60 días de cultivo.....	75
Anexo 8. Talla, peso y supervivencia promedio de <i>Argopecten purpuratus</i> cultivado en linternas con redes de nylon impregnadas con nanopartículas de óxido de cobre al 0,8% durante 60 días de cultivo.....	76
Anexo 9. Talla, peso y supervivencia promedio de <i>Argopecten purpuratus</i> cultivado en linternas con redes de nylon impregnadas con nanopartículas de óxido de cobre al 1% durante 60 días de cultivo.....	76
Anexo 10. Resumen de talla, peso y supervivencia promedio de <i>Argopecten purpuratus</i> cultivado en linternas con redes de nylon impregnadas con	

diferentes concentraciones de nanopartículas de óxido de cobre durante 60 días de cultivo.	77
Anexo 11. Prueba de normalidad de datos de Shapiro-Wilk en los parámetros de la evaluación del biofouling incrustado en linternas con redes de nylon impregnadas con diferentes concentraciones de nanopartículas de cobre en el cultivo de <i>Argopecten purpuratus</i> , según SPSS, versión 25.	78
Anexo 12. Prueba T para los datos de la evaluación del biofouling en redes de nylon impregnadas con diferentes concentraciones de nanopartículas de óxido de cobre en el cultivo de <i>Argopecten purpuratus</i>	79
Anexo 13. Parámetros físico y químicos del agua de mar donde se realizó el cultivo	80

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo evaluar el uso de nanopartículas de óxido de cobre sobre la incrustación del *biofouling* en el cultivo de *Argopecten purpuratus*. Se usó redes de *nylon* impregnadas con nanopartículas de óxido de cobre al 0,6%, 0,8% y 1% para la elaboración de linternas de cultivo de un piso en donde se sembró 50 ejemplares de *Argopecten purpuratus* con talla promedio inicial de 21 mm, comparados con un control con 0% durante 60 días de cultivo. Se evaluó la biomasa e incremento en peso de *biofouling* en linternas, biomasa específica y porcentaje de cobertura del *biofouling* incrustado en bastidores, crecimiento y supervivencia de *Argopecten purpuratus*. La biomasa final de *biofouling* en linternas sin impregnación fue de 3,47 kg \pm 0,10 kg, mayor a la obtenida en linternas impregnadas con nanopartículas de óxido de cobre al 0,6%, 0,8% y 1% respectivamente (2,46 kg \pm 0,63 kg, 2.55 kg \pm 0,10 kg y 2.36 \pm 0,32 kg) y el incremento en peso final fue mayor para las linternas no impregnadas con 1,26 kg \pm 0,11 kg que las linternas impregnadas al 0,6% con 0,64 kg \pm 0,46 kg. El crecimiento y supervivencia de *Argopecten purpuratus* fue similar para todos los tratamientos incluyendo el control. Se concluyó que el uso de nanopartículas de óxido de cobre al 1% inhibe la incrustación y el crecimiento de *biofouling* en linternas y bastidores sin afectar el crecimiento y supervivencia de *Argopecten purpuratus*.

Palabras claves: *Argopecten purpuratus*, *biofouling*, incrustación, impregnación, nanopartículas

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the use of copper oxide nanoparticles on biofouling encrustation in the cultivation of *Argopecten purpuratus*. Nylon nets impregnated with 0,6%, 0,8%, and 1% copper oxide nanoparticles were used to create single-story cultivation lanterns where 50 specimens of *Argopecten purpuratus* were planted with an initial average size of 21 mm, compared to a control with 0% for 60 days of cultivation. The biomass and weight increase of biofouling in lanterns, specific biomass and percentage coverage of biofouling encrusted in frames, growth, and survival of *Argopecten purpuratus* were evaluated. The final biomass of biofouling in lanterns without impregnation was 3,47 kg \pm 0,10 kg, higher than that obtained in lanterns impregnated with copper oxide nanoparticles at 0,6%, 0,8% and 1% respectively (2,46 kg \pm 0,63 kg, 2,55 kg \pm 0,10 kg and 2,36 \pm 0,32 kg) and the increase in final weight was greater for non-impregnated lanterns with 1,26 kg \pm 0,11 kg than for lanterns impregnated at 0,6% with 0,64 kg \pm 0,46 kg. The growth and survival of *Argopecten purpuratus* was similar for all treatments including the control. It was concluded that the use of 1% copper oxide nanoparticles inhibits the encrustation and growth of biofouling on lanterns and frames without affecting the growth and survival of *Argopecten purpuratus*.

Keywords: *Argopecten purpuratus*, biofouling, fouling, impregnation, nanoparticles

I. INTRODUCCIÓN

El recurso hidrobiológico *Argopecten purpuratus* es una de las especies más representativa en la acuicultura del Perú. Sin embargo, se evidenció una disminución significativa en la cosecha acuícola durante el 2022 y 2023, para el 2024 empezó a ascender con un incremento de 179,9% con respecto al 2023, alcanzando un 57, 0% más durante los primeros meses del 2025 (Ministerio de la Producción [PRODUCE], 2025). A pesar de los altibajos en la producción de *Argopecten purpuratus* que generan pérdidas importantes, es necesario implementar nuevas tecnologías que ayuden a mejorar los cultivos.

En la acuicultura de *Argopecten purpuratus* se utilizan sistemas de cultivo suspendido (*Long line*) que consiste en mantener a los animales en linternas (infraestructura de redes de nylon y aros de fierro galvanizado) sumergido en el mar (Fondo Nacional de Desarrollo Pesquero [FONDEPES], 2016). El incremento de peso de los sistemas de cultivo por la incrustación de *biofouling*, la disminuye la calidad del producto, obligando a los productores acuícolas a realizar el mantenimiento constante en los sistemas de cultivo, lo que implica costos adicionales para garantizar la buena producción en cuanto a su calidad y tamaño. Además, de evitar pérdidas económicas que obliga a cambiar periódicamente los sistemas de cultivo (Bannister et al., 2019; Brosnahan et al., 2019; Bui et al., 2020).

Es difícil evaluar exactamente las cantidades de *biofouling* generadas por el cultivo de *Argopecten purpuratus*, pero se sabe por los estudios de Loayza y Tresierra (2014), que la biomasa fresca por sistema de cultivo (linternas) producida en un periodo entre dos y tres meses, fue de 68,04 kg en verano y 73,42 kg en invierno. La alta demanda de linternas en esta industria, adicionado a los impactos económicos y ambientales justifican encontrar rápidamente soluciones de prevención de la impregnación de *biofouling*.

En la constante búsqueda del control de las bioincrustaciones en acuicultura, se han realizado estudios como la impregnación con PDMS/solución de hexano en

redes Qiu et al. (2021) y el uso de la polianilina y nanoóxido de cobre al 0,1 y 0,2 % para recubrir pequeñas redes de polietileno Ashraf et al. (2020). Los resultados para ambos estudios indicaron que a pesar de la formación del biofilm no hubo crecimiento de *biofouling* para los tratamientos con mayor cantidad de nanoóxido de cobre. Sin embargo, se necesita sentar bases con investigaciones dirigidas no solamente en el efecto de un antifouling sobre las redes, sino también sobre la especie en cultivo, en este caso *Argopecten purpuratus*.

En efecto, las pinturas a base de cobre aún no están prohibidas, pero pueden estarlo en el futuro, por lo que la generación de matrices con acción “por contacto” aparece como una prioridad. Las nanopartículas de óxido de cobre o nanoóxido de cobre tiene características antimicrobianas que han demostrado mejorar la resistencia a la formación del biofilm e incrustación del biofouling. Por esta razón en este trabajo se plantea como objetivo: Evaluar la incrustación de *biofouling* en redes de *nylon* impregnados con nanopartículas de óxido de cobre y su incidencia en el cultivo de *Argopecten purpuratus*.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES

2.1.1 La acuicultura de *Argopecten purpuratus* en el Perú

La cosecha acuícola de *Argopecten purpuratus* en el Perú para el 2023 evidenció un descenso considerable a 15 364 t, lo cual significó una disminución del 42% con respecto al 2022 (26 505 t). Sin embargo, para los primeros meses de enero a junio del 2024 la cosecha acuícola fue de 11 067 t y en comparación con la cosecha acuícola del 2023 durante ese mismo periodo hubo un incremento de un 44.8%, terminando el año con un incremento del 179.9% lo cual indica una posible recuperación del sector (PRODUCE, 2024). Actualmente la cosecha acuícola se ha incrementado en un 57% durante los primeros meses del 2025 con respecto al 2024 (PRODUCE, 2025). Esto indica que la acuicultura de *Argopecten purpuratus* sigue en recuperación y es de gran importancia económica.

Pacheco y Garate (2005), realizaron la identificación de especies que componen el *biofouling* en diferentes estructuras que conforman el sistema de cultivo *Long line* aleatoriamente (cabo, boya de reflote, linterna, pearl net). Identificaron 10 grupos taxonómicos con un total de 33 especies de bioincrustantes. El taxón con mayor representación fue Crustácea (7 especies), seguida de Bivalva (6 especies) y Gasterópoda (5 especies) seguidos por los Phylum Echinodermata (4), Polychaeta (4), Polyplacophora (2), Peces (2). Hidrozoa (1) y Hemichordata (1). Las boyas registro la mayor cantidad de *biofouling* (19 especies), seguido de la estructura de la linterna (15 especies) y cabos (8 especies). Este estudio sentó las bases para el estudio de una problemática recurrente en el cultivo de *Argopecten purpuratus*.

Kanagusuku (2009). Evaluó la presencia de biofouling en los sistemas de cultivo suspendido de *Argopecten purpuratus* en la Bahía de Samanco, Chimbote y sembró individuos juveniles con tallas entre 45 mm y 50 mm aproximadamente, en linternas ubicadas a diferentes profundidades (3, 6 y 9 metros) en dos puntos

elegidos en el área de mar. Registró el número de bioincrustantes con un total de 26 especies pertenecientes a 9 grupos taxonómicos; siendo las más abundantes *Aglaophenia sp.* (33,15%), *Caprella sp.* (27,52%), *Bugula neritina* (13,50%) y *Bugula cucullifera* (11,50%) que constituyeron un problema en el cultivo y en el agua de mar.

Tapia-Ugaz et al. (2022), en un estudio sobre *biofouling* incrustado en linternas de cultivo de *Argopecten purpuratus* durante un año, encontraron 80 taxones y se identificaron 66 especies. El 41% estuvieron conformado por los Phylum Brachiochopoda, Chlorophyta, Rhodophyta, Porífera, Mollusca, Cnidaria, Bryozoa, Artrópoda y Chordata (organismos incrustantes). El 59% restante presenta algún tipo de movilidad, conformado por Polychaeta, Malacostrácea y Gastropoda. Además, se registraron nueve especies introducidas de las cuales, 4 especies representan el 80% de la biomasa y son concurrentes durante todo el año y que conforma la comunidad de organismos incrustantes (*Tubularia sp.*, *Ciona robusta*, *Bugula neritina* y *Semimytilus algosus*).

2.1.2. Experiencias sobre uso de nuevas tecnologías para prevenir la presencia del biofouling en los cultivos de *Argopecten purpuratus*

El cultivo de *Argopecten purpuratus* genera alrededor de 10 t/año/empresa de biofouling, originando problemas en la producción de la especie y al ecosistema acuático por la acumulación de materia orgánica en el fondo marino, disminuyendo los niveles de oxígeno de hasta un 1 mg/L a un metro del fondo (Tapia, 2016). Además, el *biofouling* incrustado compite directamente por alimento y espacio con los organismos en cultivo (Loayza, 2018) y aunque ha habido considerables avances recientes en el conocimiento de la bioincrustación en la acuicultura, todavía hay brechas significativas en la capacidad de los acuicultores para gestionar la bioincrustación (Bannister et al., 2019).

El hidrogel reforzado con material de red de nylon tratado con óxido de cobre al 0,004% (peso/volumen) expuesto durante 90 días al ambiente estuarino mostró una excelente resistencia a la incrustación ya que el óxido de cobre en la matriz desempeñó un papel importante en sinergia con el hidrogel hidrófilo para impedir la formación de biopelículas, por lo tanto, la adhesión de organismos contaminantes

al nylon. El estudio destaca el compuesto como un candidato potencial y una molécula eficiente para prevenir la formación de incrustaciones en las redes de las jaulas de acuicultura (Ashraf y Edwin, 2016).

Para encontrar posibles soluciones frente a la problemática de la incrustación de biofouling en las redes de polietileno que se usan en el cultivo de peces en la India, Ashraf et al. (2020) utilizó la polianilina y nanoóxido de cobre al 0,1% y 0,2% para recubrir pequeñas redes de polietileno con un área de 2,5 cm² y sometidos a un ambiente acuático estuarino durante 90 días; los resultados indicaron que a pesar de la formación del biofilm no hubo crecimiento de biofouling para los tratamientos con mayor cantidad de nanoóxido de cobre.

En la búsqueda del control de las bioincrustaciones en acuicultura, Qiu et al. (2021) realizó estudios con redes recubiertas de poli dimetilsiloxano (PDMS) mediante la impregnación con PDMS/solución de hexano, para evaluar la liberación de incrustaciones y propiedades fáciles de limpiar de las redes en condiciones realistas y aunque no se observó diferencia significativa entre las redes recubiertas con diferentes tipos de PDMS con respecto al grado de bioincrustación y propiedades, fáciles de limpiar, pero las redes con un PDMS grueso (es decir, relaciones de dilución de PDMS a hexano de 2: 1 y 1: 1) mostraron el mejor rendimiento.

Conde (2021), estudió varios materiales de polietileno de baja densidad (LDPE) para mitigar el problema de acumulación de biofouling, se usó láminas con dimensiones de 12 cm x 12 cm y una superficie de 144 cm² los cuales contenían aditivos antifouling como el óxido de grafeno, óxido de cobre y óxido de zinc incrustados en zeolita, además, óxido de cobre con presentaciones nanométricas y micrométricas, los cuales fueron evaluados por siete meses, en donde se halló diferencias entre las concentraciones de aditivos (0,5%, 1%, 3%, 5% y 10%) que indica claramente que a mayor concentración, mejor rendimiento durante los primeros cinco meses.

2.2. BASES TEÓRICO CIENTÍFICAS

2.2.1. Taxonomía de *Argopecten purpuratus*

Reino: Animalia

Phylum: Mollusca

Clase: Bivalvia

Subclase: Autobranchia

Orden: Pectinida

Familia: Pectinidae

Género: *Argopecten*

Especie: *Argopecten purpuratus* (Lamarck, 1819).

Nombre común: Concha abanico y ostión del norte.

Figura 1

Morfología externa e interna de las valvas de A. purpuratus.



Nota. Tomada de Identificación fenotípica y molecular de bacterias productoras de biofilm presentes en la formación del biofouling en cultivos de “Concha de Abanico” (Argopecten purpuratus), por Gonzales (2019)

2.2.2. Características de *Argopecten purpuratus*

Argopecten purpuratus es un molusco de dos valvas de hábitad marino, posee valvas gruesas y orbiculares, ligeramente desiguales, la valva derecha menos convexa que la izquierda, 23 a 26 costillas radiales sobresalientes con bordes angulosos, denticulados y recubierto por finas escamas. La charnela recta está conformada por dos orejuelas, siendo la posterior de menor tamaño. Los colores varían desde el color café, pasando por el rosado y llegando hasta blanco (Avendaño y Cantillánez, 2008).

La concha de abanico presenta alto valor nutricional, aceptado principalmente en los Estados Unidos, Europa y Japón (Cisneros et al., 2008), por las características que posee de ser un organismo filtrador de vida bentónica, habitando en zonas

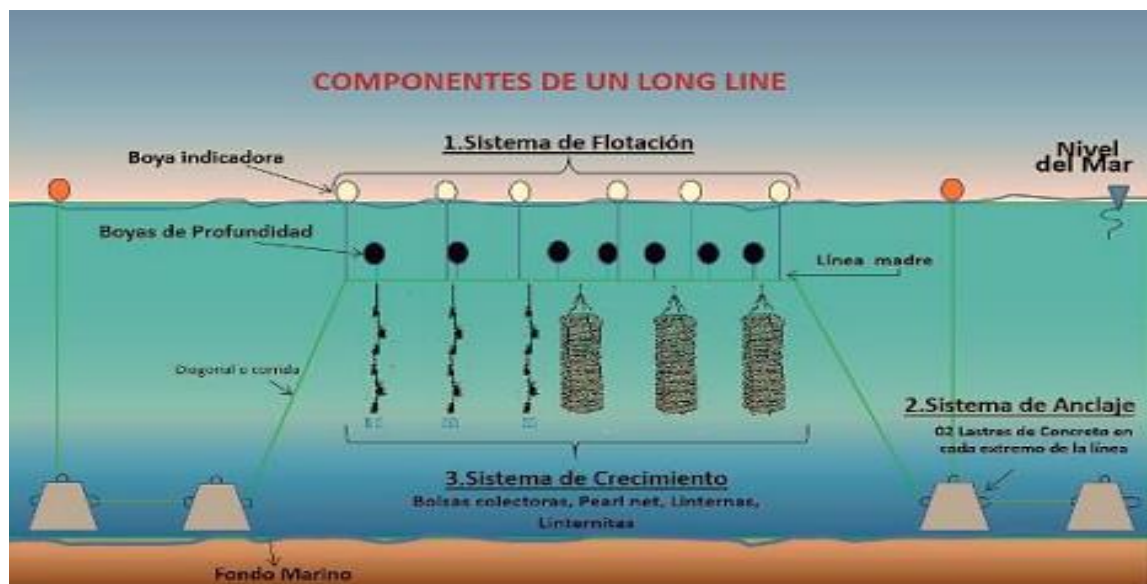
costeras de fondos arenoso, pedregosos o fangosos expuestos a corriente leves; esta especie se encuentra a profundidades mayores a 3 m en donde las temperaturas se encuentran entre 13 y 28 °C, además, del rendimiento de las partes blandas comestibles que representa hasta el 20% de su peso total, el 4% equivale al peso de viseras, branquias y manto, siendo el peso de las valvas aproximadamente un 76% del peso total (Von Brand et al., 2009).

2.2.3. Características de los sistemas de cultivo suspendido de *Argopecten purpuratus*.

El sistema de cultivo *Long line* tiene una estructura trapezoidal flotante, que está formada por una línea madre con cabo de polietileno cuyo diámetro es de 1" del cual se sujetan las unidades de cultivo, la línea posee un sistema de flotación (boyas) que permite mantener la línea a la altura de agua deseada, además de un sistema de anclajes para una mejor estabilidad frente a corrientes fuertes. Las líneas tienen 100 orejas de las cuales se sujetan una linterna por oreja (Sistema Nacional de Acuicultura [SINACUI], 2022).

Figura 2

Componentes de un sistema de cultivo Long line.



Nota. Tomado de *Manual para una Acuicultura sostenible Cultivo de concha de abanico*, por SINACUI (2019)

Los sistemas (*pearl nets* o linternas) que se usan para realizar el crecimiento de *A. purpuratus* son: *pearl nets* de 2, 4, 6 y 9 mm y linternas L0, L1, L2, y L3, de diferentes medidas de abertura de mallas, el uso de estos sistemas va a depender

de la talla y nivel de engorde en el que se encuentre la especie. El proceso de desdoble consiste en reducir el número de individuos que se encuentra en los sistemas de engorde, permitiendo mejorar y acelerar el crecimiento y para ello se identifica del lote, se verifica el periodo que tiene en cultivo y la estación del año, esto determina con que continuidad se realizaran los desdobles y evitar el colapso de los sistemas por hacinamiento o impregnación de *biofouling* (SINACUI, 2022).

2.2.4. El *biofouling*

El *biofouling* es un fenómeno natural indeseado, el cual permite que se depositen sobre una superficie muchos microorganismos, dicha superficie puede ser un tejido vivo o muerto el cual obligatoriamente se encuentra en un medio acuoso, este proceso se denomina colonización e involucra microorganismos marinos que crecen y se desarrollan adheridos (Wahl, 1989). Actualmente las biopelículas se definen como comunidades complejas de microorganismos que crecen en superficies y están incrustadas en una matriz de sustancias poliméricas extracelulares y son frecuentes en diversos entornos naturales y artificiales, donde pueden tener impactos tanto positivos como negativos (Ali et al., 2023)

El *biofouling* favorece el crecimiento de muchos microorganismos marinos, no obstante, también presentan aspectos negativos que afectan las estructuras industriales que se encuentran instalados en el mar, como los sistemas *long line* que se usan para el engorde y crecimiento de *Argopecten purpuratus* generando problemas en las linternas donde se desarrolla el cultivo, a su vez, provoca daños severos por su difícil erradicación (Kjelleberg et al., 2005; Loayza, 2011). Es constante la práctica de erradicación de *biofouling* para los cultivadores de *A. purpuratus*, ubicados en la bahía de Samanco, Perú; sin embargo, se sigue enfrentando problemas en los cultivos a profundidades de 5 a 7 m donde el oxígeno disuelto disminuye (Loayza y Tresierra, 2014).

El *biofouling* está relacionado con la aceleración del desgaste de los materiales y sistemas utilizados en el cultivo de *A. purpuratus* (cabos, bolsas colectoras, boyas, sistemas pearl nets y linternas) añadiendo peso extra a las líneas de cultivo, resistiendo menos tiempo, generando altos costos de mantenimiento, disminuyendo de la productividad y el problema se agrava frente los cambios

medioambientales, estación del año y factores geográficos (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza [UICN], 2007).

2.2.5. Etapas de desarrollo del *biofouling*

El *biofouling* se origina con la formación de biopelículas y por lo que es muy importante conocer y entender el proceso de formación de la misma (Flemming, 1991). La formación del *biofouling* es un proceso que sigue un modelo de sucesión, el cual inicia con la adherencia macromolecular, seguido por colonización bacteriana adheridos y embebidos por una matriz de exopolisacáridos (Loayza, 2011).

La colonización de superficies comprende procesos físicos, químicos y biológicos, que se desarrollan por etapas durante un determinado tiempo, el proceso inicia con una superficie en un medio acuoso y en un lapso de 1 a 10 minutos se acondiciona una superficie con elementos bioquímicos sobre el cual se depositan las primeras bacterias, las cuales colonizan la superficie en horas. Después de unas semanas empieza la adhesión de organismos unicelulares como las microalgas sésiles (diatomeas). Finalmente, en cuestión de meses la colonización organismos más multicelulares y más complejos como son las larvas que se adhieren completando la formación del *biofouling*, al cabo de un año el *biofouling* alcanzará su máximo desarrollo (Wahl, 1989).

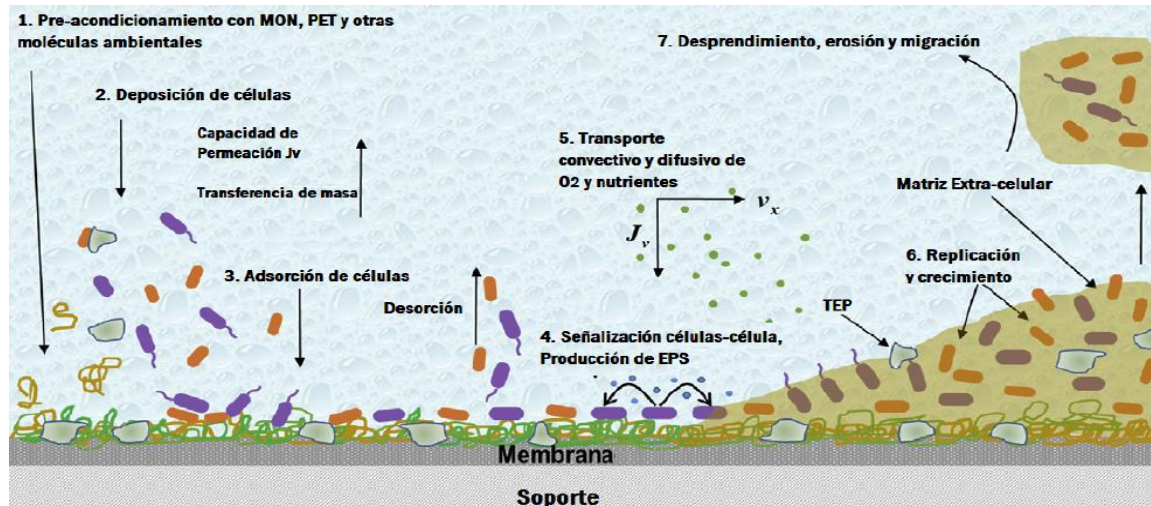
El proceso de generación del *biofouling* consigna tres pasos generales: 1) Adición inicial, 2) Formación de la biopelícula 3) Desprendimiento y deterioro del producto (Singh y Hankins, 2016). Durante la primera etapa las bacterias en conjunto con nutrientes presentes se adhieren a una superficie. la segunda etapa del proceso de formación se define como un agregado de microorganismos fuertemente embebidas por exo-polisacáridos (EPS), producida por los mismos microorganismos adheridos a la superficie (Vert et al., 2012). La adición inicial es la etapa más crítica dado que esta indica una resistencia biocida y determina si el *biofouling* perdurara o no en el tiempo.

En la figura 3 se observa la materia orgánica natural (MON) y partículas transparentes exopoliméricas (PETs) condicionando la membrana (1). Luego las células se depositan de manera reversible (2), mediante la adhesión (3)

posteriormente crecimiento de la bio-película genera EPS (4). El *biofilm* se mantiene gracias al transporte de nutrientes de manera convectiva y difusiva (5 y 6) finalmente el desprendimiento durante la limpieza o por el tiempo que pasa (7) (Singh y Hankins, 2016).

Figura 3

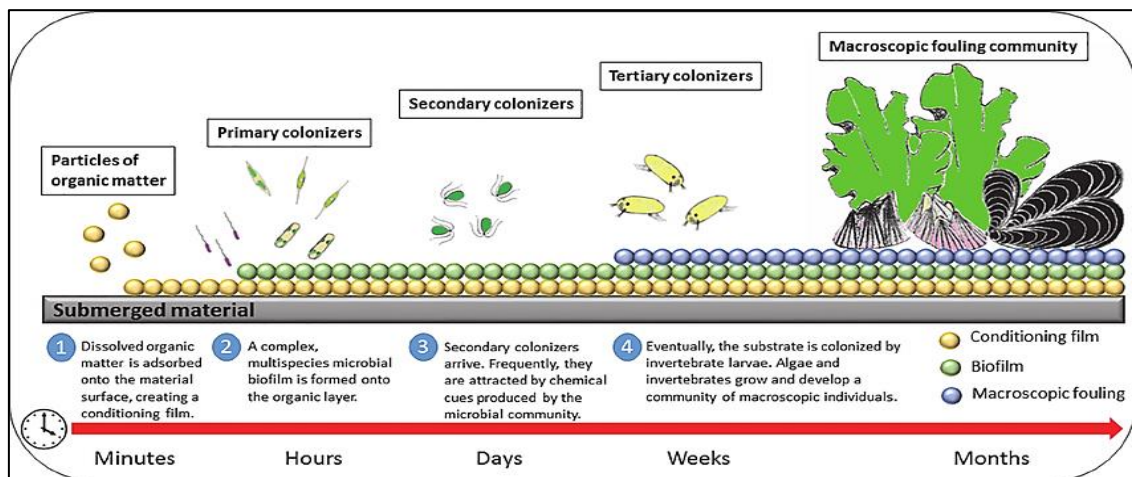
Etapas de formación de la biopelícula.



Nota. Tomado de *Introduction to membrane processes for water treatment*, por Singh y Hankins (2016)

Figura 4

Representación esquemática del proceso de la incrustación de biofouling.



Nota. Tomado de *Biocidas de amplio espectro a disruptores de quórum sensing y repelentes de mejillones*, por Martín-Rodríguez et al. (2015)

2.2.6. Recubrimiento antibiofouling

El principal objetivo de los recubrimientos antifouling es prevenir la acumulación de microorganismos y macroorganismos vivos no deseados (*biofouling*) sobre alguna superficie artificial instalada en un ecosistema marino, su acumulación puede generar consecuencias mortales en los organismos (Boullosa-Falces et al., 2019; García et al., 2018; García y Trueba, 2018; Kumar, 2014; Conde, 2019).

La navegación marítima en un principio utilizó recubrimiento antifouling con láminas de cobre y plomo pegadas al casco de las embarcaciones, así como el óxido de mercurio, grasas, breas y arsénico (Hellio y Yebra, 2009; Kumar, 2014). Al aparecer en los barcos de acero se utilizó por mucho tiempo el cobre como material antifouling, dando inicio a la creación de pinturas tóxicas muy efectivas, pero junto con ello se presentaron inconvenientes como el elevado precio de las pinturas, baja resistencia a la abrasión y alta tasa de lixiviación no controlada (Mishra, 2018).

Los recubrimientos *antifouling* contienen aditivos biocidas que eleva su capacidad inhibitoria frente a la adhesión de los microorganismos. Sin embargo, la Unión Europea ha autorizado la comercialización de unos pocos biocidas están: tres derivados del cobre (óxido de dicobre, cobre y tiocianato de cobre), cinco biocidas de apoyo (piritona de zinc, Diclorooctilisotiazolinona, Tralopyril, Zineb y piritona de cobre) (Faÿ et al., 2019).

2.2.7. Uso del cobre en la acuicultura

El control de los bioincrustantes se ha vuelto dependiente del uso del cobre, por lo cual se ha venido haciendo esfuerzos en el desarrollo de técnicas que permitan minimizar el impacto al medio ambiente (Liu et al., 2017). La combinación de recubrimientos poliméricos con biocida de cobre embebido ha mostrado potencial para disuadir la bioincrustación mientras limita la liberación de cobre en superficies duras (Vucko et al., 2014) y redes (Ashraf y Edwin, 2016; Sato et al., 2012). Aunque muchos estudios han explorado el uso de compuestos naturales (plantas, bacterias, hongos, algas y esponjas) como antiincrustantes con éxito variable, a la fecha ninguno está disponible para aplicación comercial en acuicultura.

En la acuicultura los recubrimientos antiincrustantes a base de cobre son altamente tóxicos para muchos invertebrados marinos. Por ello se usa tradicionalmente la

mallas de aleación de cobre que pueden soportar corrientes más fuertes que el *nylon*, pero las redes de *nylon* son menos costosas. Por otro lado, algunos estudios indican que el salmón criado en redes tratadas con cobre no bioacumula este metal, no obstante, la industria lo prefiere introducir los peces en las redes un mes después que estas son recubiertas (Berillis et al., 2017; Tsukrov et al., 2011; Yigit et al., 2018).

Las redes fabricadas con aleaciones de cobre y zinc son las más comunes en la acuicultura que previene la bioincrustación debido a la toxicidad inherente de los metales. La red bioactiva de aleación con cobre incluye una vida útil de cinco años, la red es 100% reciclable, permite un control efectivo de bioincrustaciones con requisitos mínimos de limpieza cada dos años (Early et al., 2020).

2.2.8. La nanotecnología

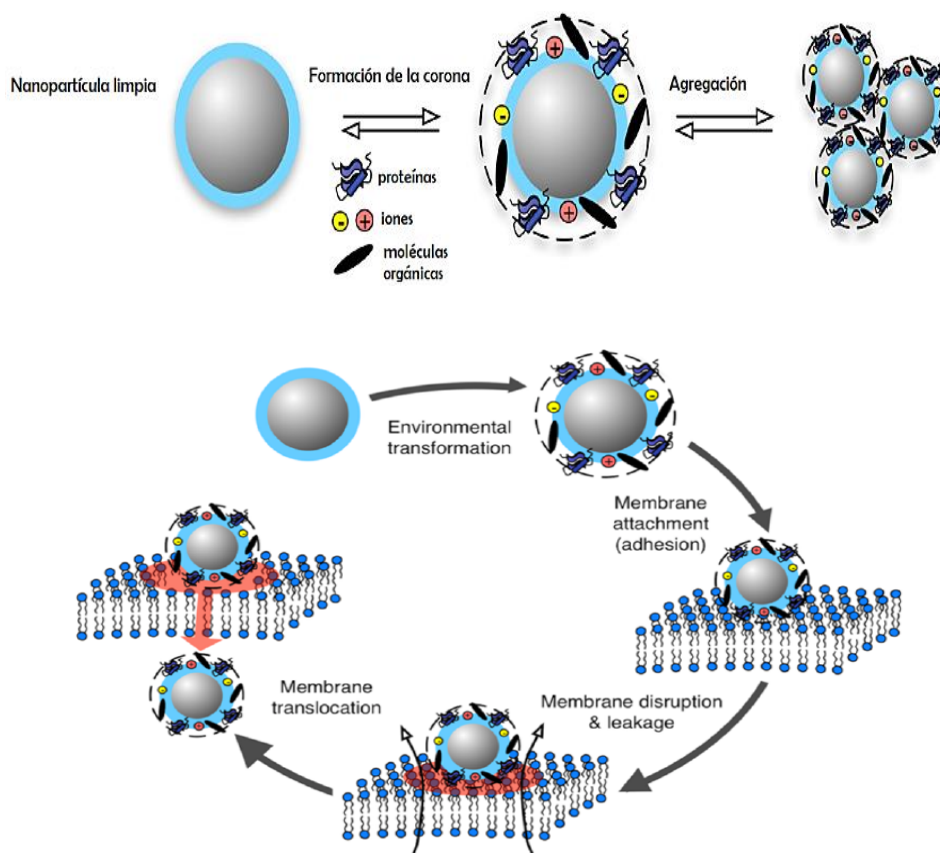
Las nanopartículas (NPs) actúan como transportadores de disruptores EPS de biopelículas, sus características (pequeño tamaño, alta sensibilidad y gran relación superficie-volumen) las hacen adecuadas para impregnarse y destruir biopelículas y aunque su toxicidad, menor absorción y su insolubilidad no permite ser utilizado de forma completa debido a, que conduce a la precipitación y la formación de agregados (Ali et al., 2023)

La modificación de las membranas mediante la adición de nanopartículas (NPs) metálicas u óxidos, con características antimicrobianas, han demostrado mejorar la resistencia de la membrana al *biofouling*. Sin embargo, el mecanismo tóxico varía dependiendo del tipo de nanopartícula incorporada (Quezada, 2019).

Una de las características más significativas de las nanopartículas (NPs) está asociada a la hidrofobicidad de su superficie, las nuevas nanopartículas interactúan con las pequeñas partículas que se encuentran sobre alguna superficie, como los iones, proteínas y moléculas orgánicas que ayudan a formar una corona en las nanopartículas, alterando su superficie química y se produce una aglomeración (Figura 5) provocando una adhesión con la membrana citoplasmática de las células y lograr un efecto tóxico. Para disminuir el efecto de aglomeración se puede adicionar revestimientos hidrofóbicos a las nanopartículas y maximizar la adhesión con la membrana citoplasmática (Chen y Bothun, 2014).

Figura 5

Mecanismo toxico de las nanopartículas (NPs).

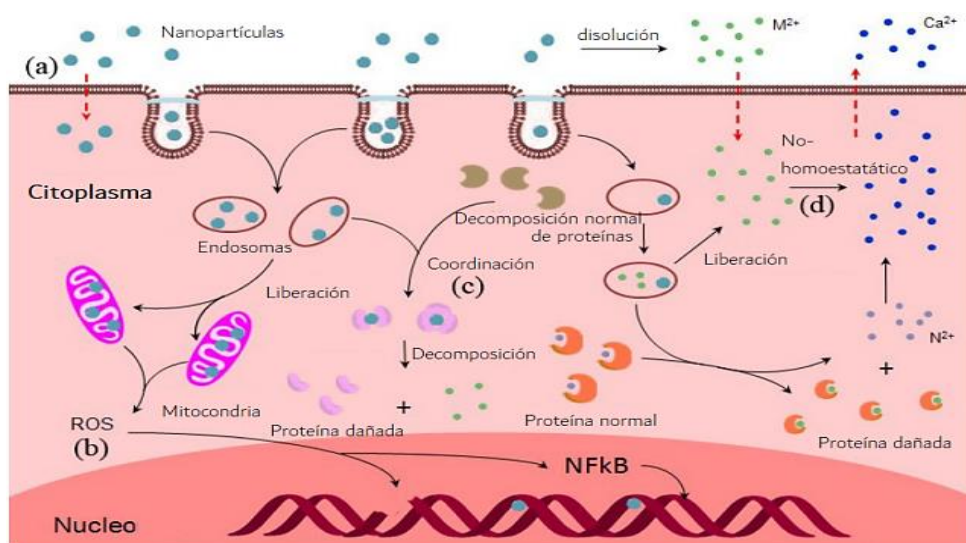


Nota. Tomado de *Las nanopartículas se encuentran con las membranas celulares: investigación de interacciones no específicas utilizando membranas modelo*, por Chen y Bothun (2014)

Las nanopartículas que provienen de metales poseen alta densidad electrónica y actividad reactiva (Figura 6), lo que puede generar reacciones químicas con biomoléculas que conllevan a un aumento en los radicales superóxidos (O_2^-), radicales hidroxilos (OH^\cdot) y peróxido de hidrógeno (H_2O_2), la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS) mediada por NPs, la abundancia relativa de estas moléculas y el tipo de célula involucrada conlleva a respuestas biológicas que pueden provocar alteraciones a nivel de membrana, es decir, el daño en proteínas y ADN, el incremento de mutaciones puntuales en la expresión de genes de muerte programada e incluso provocan una apoptosis (Chapman, 2003; Chen y Bothun, 2014).

Figura 6

Esquema de los mecanismos de toxicidad de nanopartículas metálicas y de óxido-metales.



Nota. Tomado de *The toxic effects and mechanisms of CuO and ZnO nanoparticles*, por Chang et al. (2012)

2.2.9. Nanopartículas de óxido cuproso (Cu₂O)

Las propiedades físicas y químicas de las nanopartículas de óxido cuproso son únicas, las cuales permiten ser usadas en muchas aplicaciones. El óxido cuproso (Cu₂O) es un semiconductor de estructura cúbica simple, con la capacidad de absorber la luz visible y actuar como un material fotosensible en aplicaciones fotocatalíticas y fotovoltaicas (Chen y Mao, 2007).

Las nanopartículas de óxido cuproso también poseen propiedades antimicrobianas y antibacterianas porque pueden romper las membranas de las bacterias y hongos mediante la generación de especies reactivas de oxígeno (ROS), desencadenándose un efecto biocida. Por lo tanto, son útiles en superficies médicas, recubrimientos antimicrobianos para textiles, y otros materiales (Ren et al., 2009; Cioffi y Rai, 2012)

Si bien el óxido cuproso (Cu₂O) tiene propiedades beneficiosas, las nanopartículas pueden presentar riesgos de toxicidad si se manipulan incorrectamente, tenemos que tener en cuenta su baja estabilidad al exponerse al ambientes oxidantes y húmedos (Kwon et al. 2014). Así mismo en su compatibilidad con matrices poliméricas para tener una buena adición y dispersión (Zhang et al., 2020).

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

2.3.1. Biofouling

“*Biofouling* proviene del término fouling y son acumulaciones de microorganismos sobre algún sustrato, inicialmente se denomina biofilms que viene a ser el primer eslabón del proceso de formación del biofouling” (Jiménez, 2009).

2.3.2. Nanopartícula

“Una nanopartícula (nano polvo, nano racimo, o nano cristal) es una partícula cuya característica es poseer sus tres dimensiones menores a 100 nm” (Lares-Velásquez et al., 2015).

2.3.3. Incrustación

“Una incrustación es la acción de precipitación de sustancias disueltas en el agua sobre una superficie, cubrir una superficie formando una costra dura” (Diccionario de la Lengua Española, 23.^a edición, 2014).

2.3.4. Nylon

“Poliamida sintética que se usa para elaborar filamentos elásticos y muy resistentes, empleado en la fabricación de diversos tejidos” (Diccionario de la lengua española, 23.^a edición, 2014).

2.3.5. Cobre

“Elemento químico metálico cuyo número atómico es 29, se caracteriza por ser un excelente conductor de la electricidad, maleable y de color rojo pardo brillante, se encuentra abundantemente en la corteza terrestre nativo que comúnmente se le conoce como sulfuro” (Diccionario de la lengua española, 23.^a edición, 2014)

2.3.6. Impregnar

“Penetrar las partículas de un cuerpo en las de otro, fijándose por afinidades mecánicas o fisicoquímicas” (Diccionario de la lengua española, 23.^a edición, 2014).

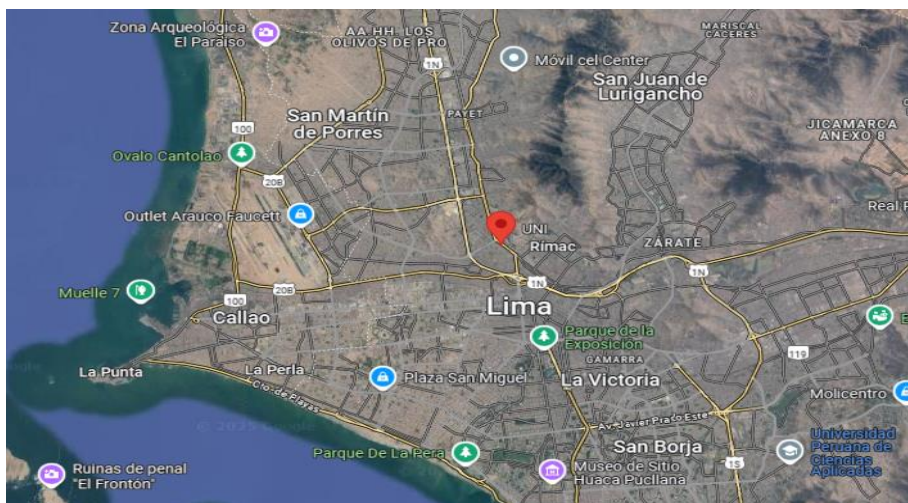
III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN

La impregnación de las nanopartículas de óxido cuproso en las redes de nylon se realizó en la Universidad Ingeniería de Lima (UNI). La UNI tiene una especialidad de Ingeniería textil y juntamente con la Facultad de Ciencias lograron desarrollar métodos para impregnar algodón y fibras sintéticas con nanopartículas de óxido de cobre (CuO) y Oxido de zinc (ZnO).

Figura 7

Ubicación geográfica de la Universidad Nacional de Ingeniería.



Nota: Tomado de Google eart (2025)

Las redes de nylon impregnadas con nanopartículas de óxido de cobre fueron transportadas desde las instalaciones de la Universidad de Ingeniería (UNI) de la ciudad de Lima, hasta la ciudad de Chimbote en donde se construyeron artesanalmente las linternas de un piso, las cuales se transportaron hasta el lugar de ejecución del proyecto en la ciudad de Chimbote, Bahía de Samanco e instaladas en la concesión “Negocios Pesqueros Tania López” cuyas coordenadas son: S 09° 12.121´ y W 078° 32.795´

Figura 8

Ubicación geográfica de la concesión marina Tania López.

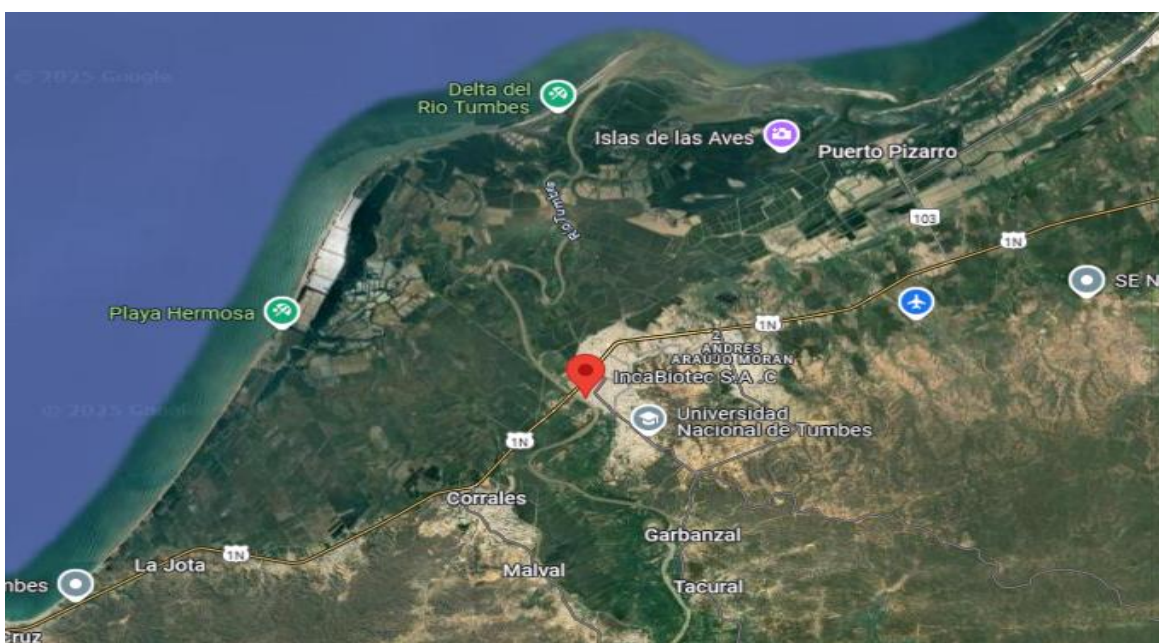


Nota: Tomado de Google eart (2025)

Las muestras de redes de nylon y biofouling colectadas fueron transportadas hasta la ciudad de Tumbes y procesadas en los laboratorios de Incabiotec SAC en la ciudad de Tumbes, Perú.

Figura 9

Ubicación geográfica de Inca Biotec S. A. C.



Nota: Tomado de Google eart (2025)

3.2. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACION

3.2.1. Tipo de investigación

a) De acuerdo al fin que persigue

Aplicada: porque al demostrarse que las propiedades nocivas de las nanopartículas de óxido de cobre sobre el biofouling, pueden ser usadas de forma práctica en los materiales de elaboración de linternas de cultivo de *Argopecten purpuratus* y ayudar a inhibir la incrustación y crecimiento del biofouling en dichos materiales.

b) De acuerdo al enfoque

Experimental: porque la ejecución y demostración se realizó mediante un experimento en donde se usó redes de nylon impregnadas con tres concentraciones de nanopartículas de óxido de cobre, como tratamientos en el cultivo de *Argopecten purpuratus*.

3.2.2. Diseño de investigación

Se utilizó el diseño de investigación experimental con tres grupos de concentraciones de nanopartículas.

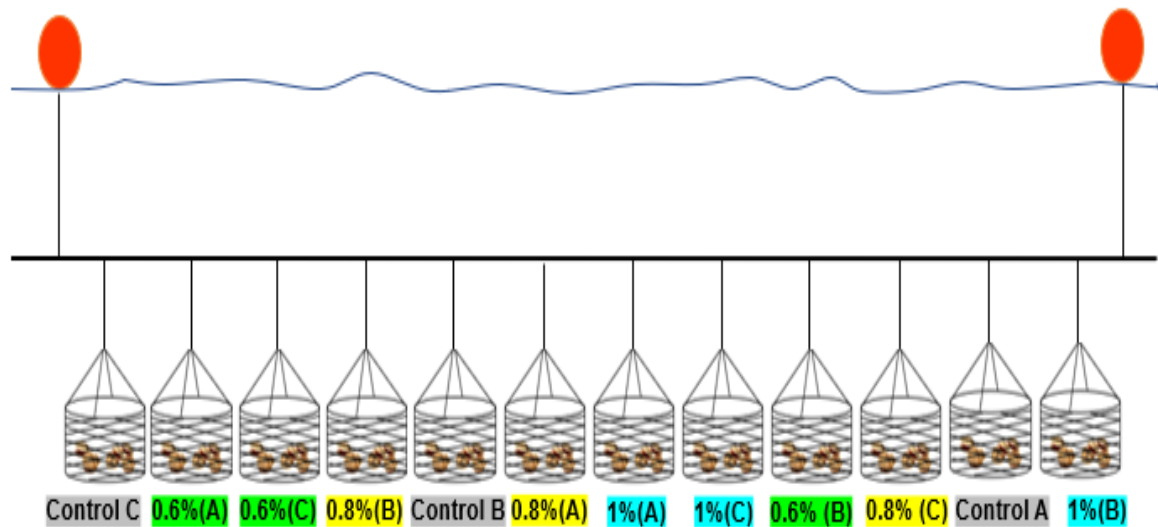
Se evaluó el efecto del óxido de cobre sobre el biofouling en linternas construidas con redes de *nylon* impregnados con óxido cuproso (Cu_2O) al 0,6%, 0,8%, 1% y el grupo control.

Se sembró 50 juveniles de *Argopecten purpuratus* en las linternas que fueron instaladas por triplicado en un sistema de cultivo tipo long line (sistema habitual para el cultivo de *A. purpuratus*) a 4 metros de la superficie e instalados en zonas con 30 m de profundidad.

Las linternas fueron distribuidas bajo el Diseño Completamente al Azar, con la ayuda del programa por selección aleatoria del programa estadístico Python.

Figura 10

Distribucion aleatoria de las linternas.

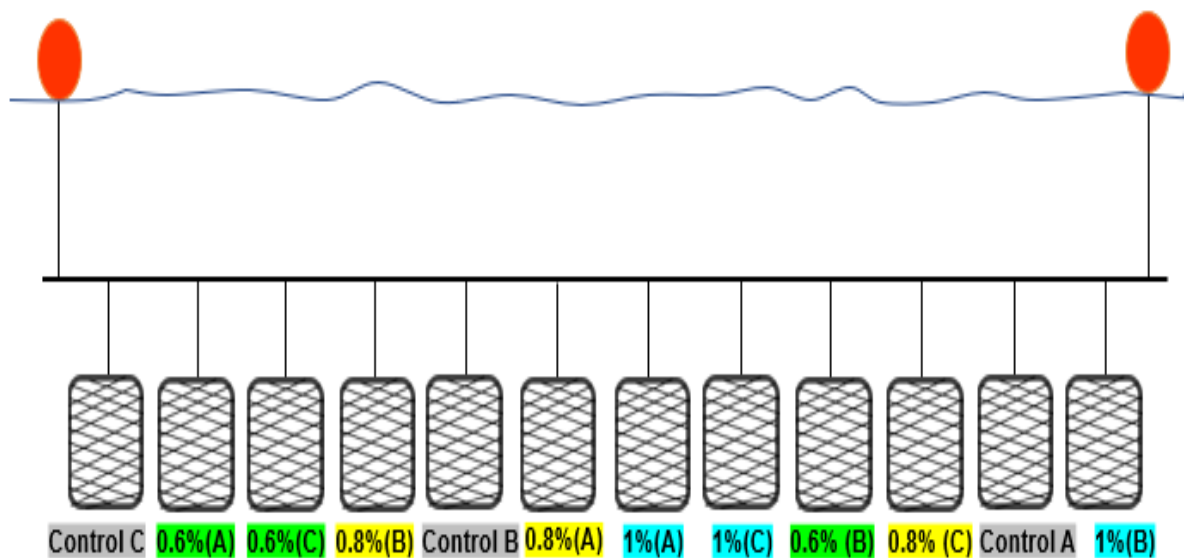


Nota: linternas de redes de nylon que previamente fueron impregnadas con diferentes concentraciones de nanoparticulas de oxido de cobre

Para la evaluación de porcentaje de cobertura y biomasa especifica se instaló cuadrantes con redes de nylon de 0,25 m², en sistemas de cultivo long line a 4 metros de profundidad, en zonas de 30 metros de profundidad.

Figura 11

Distribucion aleatoria de los bastidores.



Nota: Los bastidores con redes de nylon previamente impregnadas con diferentes concentraciones de nanoparticulas de oxido de cobre.

3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.3.1. Población.

La población del *biofouling* estuvo constituida por 10,84 kg de biomasa incrustado en las linternas (1 piso) construidas con redes de nylon impregnadas con diferentes concentraciones de nanopartículas de cobre.

La población *Argopecten purpuratus* estuvo constituida por 600 juveniles con un rango de talla de 20 a 30 mm.

3.3.2. Muestra

La muestra de biofouling para la evaluación de la biomasa estuvo conformada por el total del *biofouling* incrustado en cada linterna.

La muestra de *Argopecten purpuratus* para la evaluación de crecimiento y supervivencia de fue calculado mediante la fórmula de Schaeffer et al. (1987).

Tamaño de la muestra

$$n = N * Z^2 (p * q) / e^2 * (N - 1) + Z^2 (p * q)$$

Donde:

n: Tamaño de la muestra

z: Nivel de confianza (1,96)

p: Proporción de la población con las características deseada (éxito)

q: Proporción de la población sin las características deseadas (fracaso)

e: Nivel de error dispuesto a cometer (0,05)

N: Tamaño de la población (600)

Reajuste del tamaño de muestra

$$n' = n / (1 + \frac{n}{N})$$

Donde:

n': Tamaño de la muestra reajustada

n: Tamaño de la muestra (235)

N: Tamaño de la población (600)

El tamaño de la muestra fue de 235 Juveniles de *Argopecten purpuratus* de un tamaño de población de 600 juveniles, pero como el tamaño de muestra es una fracción significativa de la población total (40%) se realizó el reajuste y el tamaño de muestra reajustada fue de 168 juveniles.

La muestra para la evaluación del porcentaje de cobertura y evaluación de la abundancia específica estuvo conformada por el 100% de la población total de biofouling impregnado en cuadrantes de red de nylon de 0,25 m².

3.4. METODOS

3.4.1. Biomasa e incremento en peso de *biofouling* incrustado en redes de nylon.

Para el muestreo de la biomasa de *biofouling* se levantó la línea madre de sistema de cultivo suspendido *long line* que se encontraba a 4 m de profundidad desde la superficie y se retiró las linternas con la ayuda de un buzo y una embarcación. Se sacó los juveniles de *Argopecten purpuratus* de las linternas y se pesó cada linterna vacía de todos los tratamientos y repeticiones con la ayuda de una balanza romana digital Opalux de 50 kg de capacidad y con una sensibilidad de 0,10 kg. Este proceso se realizó cada 15 días durante 60 días de cultivo que duró el experimento.

3.4.2. Cobertura de *biofouling* en redes de nylon.

Se levantó la línea madre del sistema de cultivo suspendido *long line* y se retiró los bastidores, se tomó in situ una fotografía con las mismas características para todos los tratamientos y repeticiones, se tomaron las fotografías del total del bastidor (0.25 m²) cada 15 días y los datos fueron procesados a través de un software de imagen FIJI (paquete de procesamiento de imágenes, una distribución de ImageJ2 que incluye muchos complementos que facilitan el análisis científico de imágenes).

3.4.3. Abundancia específica del *biofouling* en redes de nylon.

Después de 60 días se retiró los bastidores de redes de nylon con *biofouling* incrustado y fueron transportadas en cajas de polietileno a temperatura de 10 °C hasta el laboratorio de Incabiotec SAC en donde se evaluó la abundancia específica de *biofouling*.

Se retiró todo el *biofouling* incrustado en la red con la ayuda de un bisturí, se pesó todo el material biológico, se separó por especie y registró también su peso.

3.4.4. Crecimiento y supervivencia de *Argopecten purpuratus*.

Se recolectó los datos de crecimiento y supervivencia de *Argopecten purpuratus* cada 15 días, retirando los juveniles fuera del agua y registrando la talla, peso y mortalidad. Para recolectar datos de talla se usó un vernier 6" CLP06U – UYUSTOOLS de 1 mm de sensibilidad y se midió la talla en sentido dorso-ventral (DV) y pesados de manera individual con la ayuda de una balanza gramera Truper BASE-05J de 500 g de capacidad y 0,1 g de sensibilidad.

3.4.5. Procesamiento y análisis de datos

Los datos, fueron organizados y tabulados sistemáticamente en hojas de Microsoft Excel, analizados estadísticamente para observar la variabilidad de los datos. Se utilizó el Statically Product and Service Solutions (IBM SPSS) como el explorador de datos ya que la base de este software estadístico SPSS incluye estadísticas descriptivas como la tabulación y frecuencias de cruce, estadísticas de dos variables

Se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk, es una prueba paramétrica que mide la correlación entre los datos y las puntuaciones normales correspondientes. Calcula un estadístico de prueba (W) y lo compara con los valores críticos para determinar si los datos se desvían significativamente de la normalidad (Juárez Manayay, 2021).

Se realizó la prueba de comparación múltiple de Tuckey a un nivel de seguridad de 95% para determinar la concentración de nanopartículas de óxido de cobre con la cual se obtienen los mejores resultados. Se usará como referencia el manual de uso de IBM SPPS, según Pina (2020).

3.4.6. Análisis de calidad de agua.

Se registró los parámetros físicos y químicos del agua de mar en donde se realizó la investigación: Temperatura, salinidad y oxígeno disuelto se registró con un multiparámetro marca HANNA HI98194, el potencial de hidrógeno se registró con

un potenciómetro marca HANNA tipo lapicero con una sensibilidad de 0,1 pH y la transparencia se midió con un disco Secchi.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Evaluación del *biofouling* incrustado en linternas con redes de *nylon*.

El uso de biocidas como control sobre el *biofouling* es una práctica habitual para reducir los efectos negativos posibles, aunque se tiene claro que se pueden presentar inconvenientes de tipo ambiental en el ecosistema marino (Jiménez, 2009). En este trabajo se realizó pruebas de impregnación en redes de *nylon* con las nanopartículas de óxido de cobre que permitieron determinar que la concentración máxima de nanopartículas de cobre es del 1%, concentraciones superiores a esta, las nanopartículas se agrupaban en demasía, por ello se decidió usar las concentraciones al 0,6%, 0,8% y 1%.

4.1.1 Biomasa de *biofouling*

Los elementos antifouling que se usan para recubrir superficies tienen como principal objetivo prevenir la acumulación de micro y macroorganismos sobre las superficies artificiales sumergidas en el entorno acuático y evitar las consecuencias nefastas (Boullosa-Falces et al., 2019, 2020, García y Trueba, 2018; García et al., 2020; Sabiote, 2019). Por ello en este estudio se usó las nanopartículas de óxido de cobre (Cu_2O) impregnadas en redes de *nylon* con las cuales se confeccionaron linternas de cultivo de 1 piso para *Argopecten purpuratus*, dicha impregnación funciona como un recubrimiento antifouling por sus propiedades biocidas para prevenir la incrustación del *biofouling* (Early et al., 2020).

La biomasa promedio final de *biofouling* incrustado en linternas de un piso sin impregnación con óxido de cobre fue de 3,47 kg \pm 0,10 kg, mayor ($p < 0,05$) a los obtenidos en linternas impregnadas con nanopartículas de óxido de cobre al 0,6%, 0,8% y 1% respectivamente (2,46 kg \pm 0,63 kg, 2.55 kg \pm 0,10 kg y 2.36 \pm 0,32 kg) (Tabla 1). En la tabla de anexos 1, 2, 3 y 4 se presentan los resultados obtenidos durante 60 días de cultivo de *Argopecten purpuratus* en linternas impregnadas con diferentes concentraciones de óxido de cobre.

Tabla 1

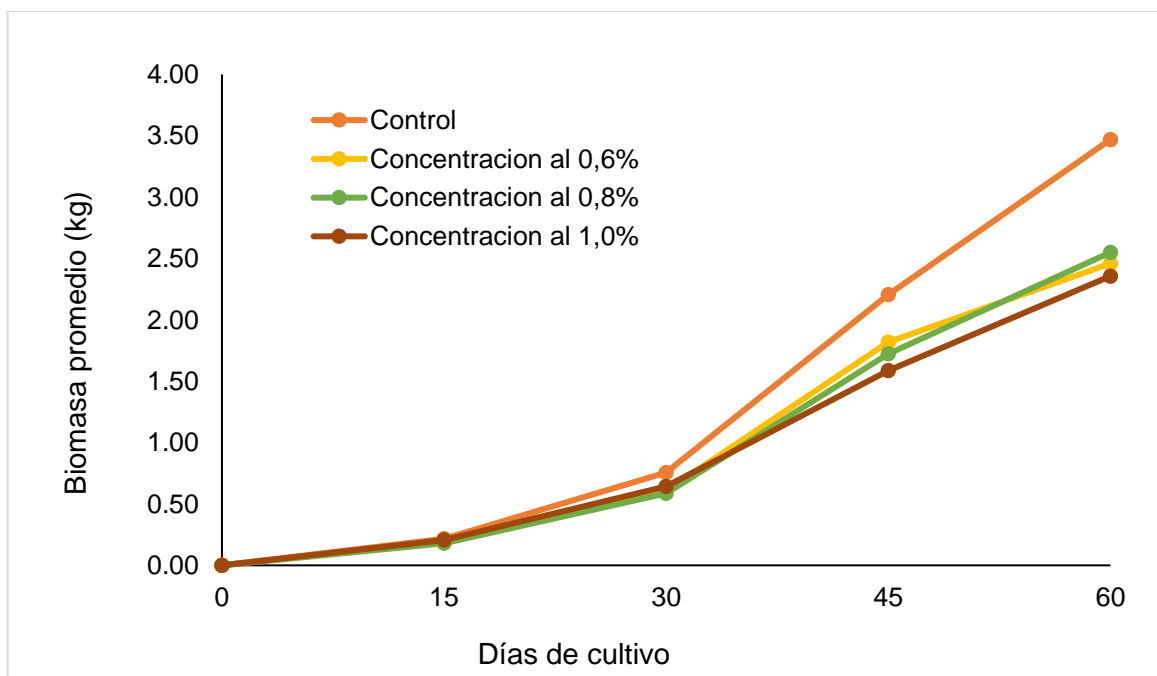
*Biomasa promedio de biofouling incrustado en linternas con redes de nylon impregnadas con diferentes concentraciones de nanopartículas de óxido de cobre, durante el cultivo de *Argopecten purpuratus*.*

Tiempo Días de cultivo	Control (0%)		0,6%		0,8%		1%	
	Promedio (kg)	D.E.	Promedio (kg)	D.E.	Promedio (kg)	D.E.	Promedio (kg)	D.E.
0	0,00	±0,00	0,00	±0,00	0,00	±0,00	0,00	±0,00
15	0,22	±0,01	0,20	±0,03	0,18	±0,04	0,21	±0,02
30	0,76	±0,03	0,61	±0,01	0,59	±0,02	0,64	±0,04
45	2,21	±0,05	1,82	±0,17	1,72	±0,07	1,59	±0,08
60	3,47	±0,10	2,46	±0,63	2,55	±0,10	2,36	±0,32

Loayza y Tresierra (2014) determinaron que la biomasa fresca por linterna (10 pisos, 50 cm de diámetro), producida durante 2 meses, fue de 68,04 kg por linterna, lo que equivale a 4,08 kg por linterna (1 piso, 30 cm de diámetro) concluyendo que el *biofouling* provoca alto costo en el cultivo de *A. purpuratus*. Conde (2021) usó láminas (LDPE) impregnadas con nanopartículas de óxido de cobre (0,5%, 1%, 3%, 5% y 10%), los resultados indicaron que, a mayor concentración de óxido de cobre, menor incrustación de *biofouling*. En este estudio se usó redes de *nylon* impregnadas con nanopartículas de óxido de cobre al 1% que presentó menor biomasa promedio con $2,36 \pm 0,32$ kg en relación al control con $3,47 \pm 0,10$ kg al final después de 60 días representando un 32% menos biomasa.

Figura 12

Acumulación de la biomasa del biofouling incrustado en linternas con redes de nylon impregnadas con diferentes concentraciones de nanopartículas de óxido de cobre, durante 60 días de cultivo.



Nota. El grafico representa la biomasa del *biofouling* incrustado en las linternas donde se cultivó *Argopecten purpuratus*.

Actualmente las biopelículas se definen como comunidades complejas de microorganismos que crecen en superficies naturales y artificiales debido a que se incrustan en una matriz de sustancias poliméricas extracelulares y pueden tener impactos tanto positivos como negativos (Ali et al., 2023). La formación de biopelículas, incrustación, crecimiento y acumulación de *biofouling* en los sistemas de cultivo de *Argopecten purpuratus* impacta de manera negativa, el uso de las nanopartículas de óxido de cobre no evitó la formación de la biopelícula en dichos sistemas, sin embargo, ayudó a reducir el crecimiento del biofouling, convirtiéndose en un aditivo antifouling de bajo costo y de gran utilidad en la maricultura.

4.1.2. Incremento en peso de *biofouling*

El máximo incremento en peso promedio del *biofouling* para las linternas con redes de nylon sin impregnación después de 60 días de cultivo fue de 1,26 kg \pm 0.11 kg, mayor ($p < 0,05$) que las linternas que fueron impregnadas con nanopartículas de

óxido de cobre al 0,6%, 0,8% y 1% respectivamente (0,64 kg ± 0,46 kg, 0,83 kg ± 0,16 kg, 0,77 kg ± 0,30 kg) (Tabla 2).

Tabla 2

*Incremento en peso promedio de biofouling incrustado en linternas con redes de nylon impregnadas con diferentes concentraciones de nanopartículas de óxido de cobre, durante el cultivo de *Argopecten purpuratus**

Tiempo días de cultivo	Control (0%)		0,6%		0,8%		1%	
	Promedio (kg)	D.E	Promedio (kg)	D.E	Promedio (kg)	D.E	Promedio (kg)	D.E.
0	0,00	±0,00	0,00	±0,00	0,00	±0,00	0,00	±0,00
15	0,22	±0,01	0,20	±0,03	0,18	±0,04	0,21	±0,02
30	0,54	±0,02	0,41	±0,04	0,41	±0,07	0,44	±0,02
45	1,45	±0,03	1,21	±0,17	1,14	±0,06	0,94	±0,10
60	1,26	±0,11	0,64	±0,46	0,83	±0,16	0,77	±0,30

La formación natural del biofouling ocurre en etapas, comenzando con la adhesión de microorganismos al secretar exopolisacáridos, colonización (maduración) y finalmente la dispersión de células. En esta última etapa el biofouling alcanza un máximo nivel de biomasa produciéndose desprendimientos de forma espontánea (Singh y Hankins, 2016). Durante los primeros los primeros 45 días de cultivo se observó un máximo incremento para las linternas no impregnadas con 1,45 kg ± 0,03 kg, siendo mayor ($P < 0,05$) que los demás tratamientos. Al cabo de los 60 días de cultivo se observó que el incremento en peso promedio disminuyó para todos los tratamientos incluido el control, lo que indica una desaceleración de crecimiento del biofouling al alcanzar su máximo nivel de crecimiento o desprendimiento.

Fay et al. (2019) indicó que los recubrimientos antifouling contienen aditivos biocidas que eleva su capacidad inhibitoria frente a la adhesión de los microorganismos, Ashraf y Edwin (2016) afirman que la combinación de recubrimientos poliméricos con biocida de cobre embebido, muestra potencial para disuadir la bioincrustación en redes. Los resultados obtenidos para este trabajo, se evidencia que, en todas las linternas construidas con redes de *nylon* únicamente

impregnadas con nanopartículas de óxido de cobre ayudó a disminuir el incremento en peso promedio del biofouling predominando así el efecto biocida de las nanopartículas de óxido de cobre sobre el crecimiento del biofouling.

4.2. Evaluación de *biofouling* incrustado en bastidores de redes de *nylon* sumergidos en el mar durante 60 días.

4.2.1. Porcentaje de cobertura de *biofouling*

El porcentaje de cobertura promedio de *biofouling* en bastidores de redes de nylon de 0,25 m² alcanzó el 100% para todos los tratamientos con nanopartículas de óxido de cobre (0.6%, 0.8% y 1%) después de 45 días de estar sumergido en el mar. Sin embargo, las redes de *nylon* sin impregnación (control) alcanzo el 100% de cobertura a los 30 días de estar sumergido en el mar.

Tabla 3

*Porcentaje de cobertura promedio de biofouling incrustado en linternas con redes de nylon impregnadas con diferentes concentraciones de nanopartículas de óxido de cobre, durante el cultivo de *Argopecten purpuratus*.*

Tiempo días de cultivo	Control (0%)		0,6%		0,8%		1%	
	Promedio (%)	D.E	Promedio (%)	D.E	Promedio (%)	D.E	Promedio (%)	D.E.
0	0,00	±0,00	0,00	±0,00	0,00	±0,00	0,00	±0,00
15	18,63	±0,03	16,44	±0,02	15,77	±0,04	11,77	±0,04
30	100,00	±0,00	97,99	±0,02	96,31	±0,02	88,68	±0,02
45	100,00	±0,00	100,00	±0,00	100,00	±0,00	100,00	±0,00
60	100,00	±0,00	100,00	±0,00	100,00	±0,00	100,00	±0,00

Colunche et al. (2016) Evaluó la influencia de pintura antifouling en el epibionte *Ciona intestinalis* y en el crecimiento de *Argopecten purpuratus* en la empresa Acuapesca S. A. C. en la Bahía Guaynuná, se realizó muestreos durante 5 meses de las linternas de cultivo y determinó que las linternas sin antifouling presentaron un porcentaje de cobertura del 82% mientras que las linternas con antifouling presento un porcentaje de cobertura del 70%. La diferencia entre los porcentajes

de cobertura es mínima a igual que en este trabajo que incluso llegó al 100 % de la cobertura, lo cual no necesariamente indicaría mayor biomasa de Biofouling.

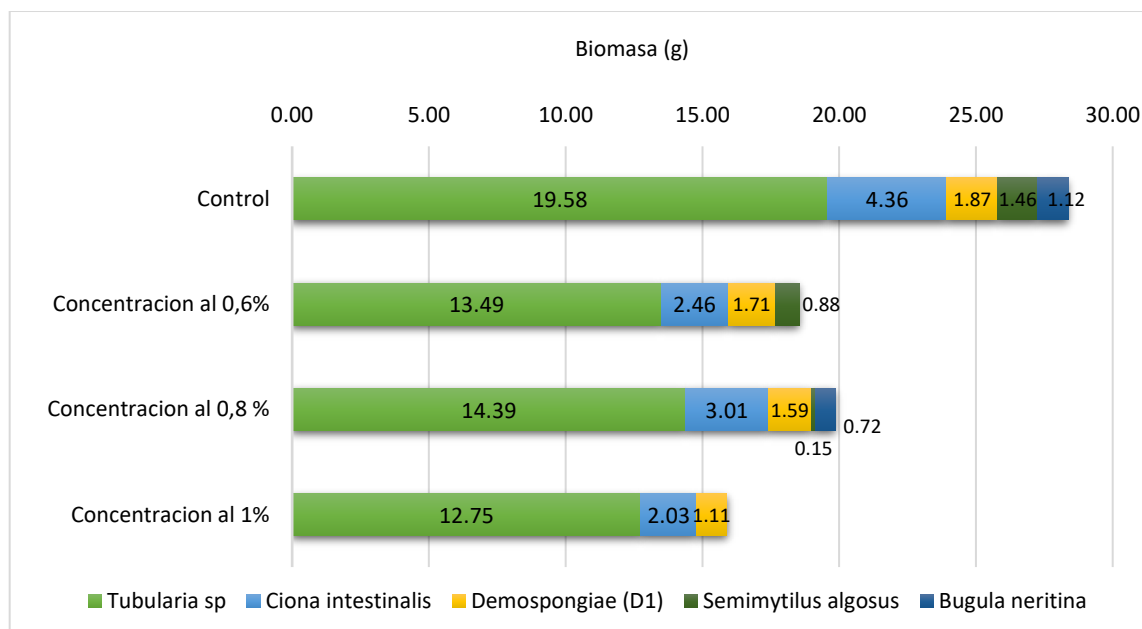
Ashraf et al. (2020) utilizó la polianilina y nanoóxido de cobre al 0,1% y 0,2% para recubrir pequeñas redes de polietileno con un área de 2,5 cm² y sometidos a un ecosistema estuarino durante 3 meses; los resultados indicaron que a pesar de la formación del biofilm con una cobertura del 100 % no hubo crecimiento de *biofouling* para los tratamientos con mayor cantidad de nanoóxido de cobre. En este estudio las concentraciones de nanopartículas de óxido usadas no evitaron la formación de la biopelícula y crecimiento del *biofouling*, pero sí se observó una diferencia significativa en la biomasa total.

4.2.2. Abundancia específica

La biomasa de biofouling incrustado en los bastidores de redes de *nylon* con nanopartículas de óxido de cobre al 1% fue la más baja de los tres los tratamientos con 15,89 gr, seguido de los tratamientos al 0,6% y 0,8% con 18,54 g y 19,96 g respectivamente, mientras que la biomasa de biofouling en los bastidores de redes de *nylon* sin impregnación fue la más alta con 28,38 g. El porcentaje de cobertura alcanzo el 100% para todos los tratamientos después de 60 días de inmersión en el mar, el crecimiento del biofouling incrustado en los batidores fue mayor para las redes sin impregnación, y de manera opuesta las redes con impregnación con nanopartículas de óxido de cobre mostraron menor biomasa, lo cual demuestra que si existe un efecto nocivo de las nanopartículas de óxido de cobre sobre el crecimiento del *biofouling*.

Figura 13

Biomasa promedio final de biofouling incrustado en cuadrantes de 0.25 m² con redes de nylon impregnados con diferentes concentraciones de óxido de cobre sumergidos en el mar durante 60 días.

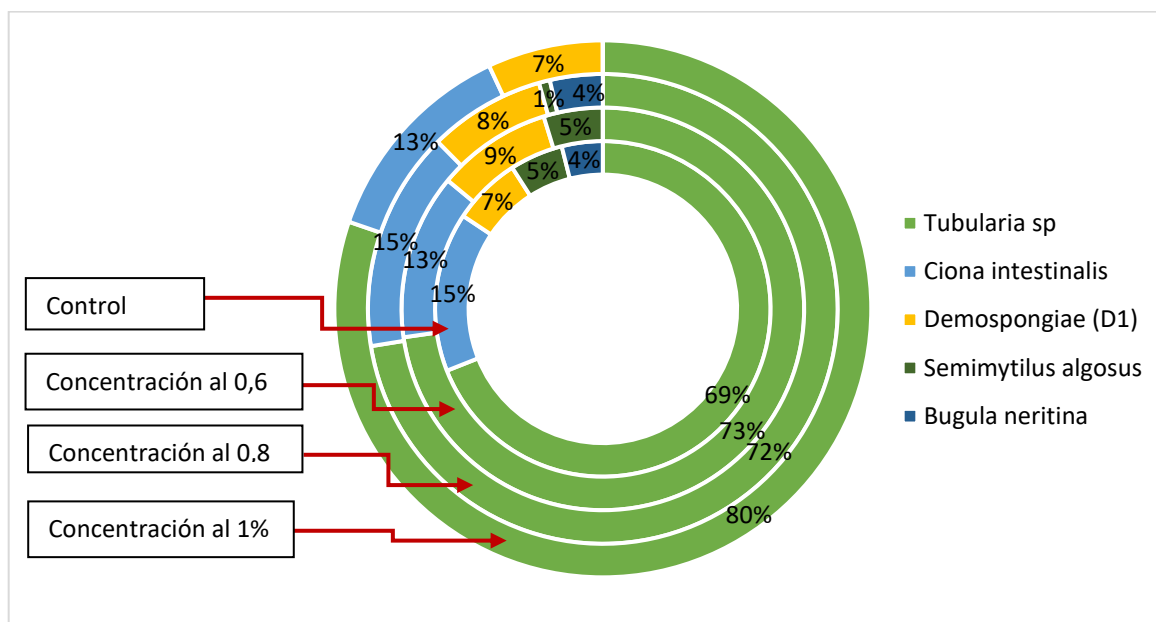


Nota. El gráfico representa la biomasa de biofouling por especie generado en los bastidores con redes de nylon.

Las nanopartículas de óxido cuproso también poseen propiedades antibacterianas porque pueden romper las membranas de las bacterias y hongos mediante la generación de especies reactivas de oxígeno (ROS), desencadenándose un efecto biocida (Ren et al., 2009; Cioffi y Rai, 2012), en este trabajo se observó el efecto biocida sobre el crecimiento del *biofouling* con biomasa inferiores a las del control. Además, la cantidad de especies encontrados en los bastidores es menor para las redes impregnadas con nanopartículas de óxido de cobre al 1%, mostrando su efecto biocida sobre los géneros *Semimytilus algosus* y *Bugula neritina*.

Figura 14

Biomasa representado en porcentaje registrado por especie en bastidores.



Nota. El grafico representa el porcentaje de biomasa especifica de *biofouling* incrustados en cuadrantes de 0.25 m² sumergidos en el mar durante 60 días.

Este trabajo se realizó en la bahía de Samanco durante los meses de verano y se registró solo 5 especies (*Tubularia sp*, *Demospongiae (D1)*, *Semimytilus algosus*, *Ciona robusta* y *Bugula neritina*) de la cuales 3 de ellas (*Semimytilus algosus*, *Ciona robusta* y *Bugula neritina*) coinciden con lo registrado por Loayza y Tresierra (2014), quienes evaluaron la incrustación de *biofouling* en linternas de cultivo en la bahía de Samanco, registrando 29 especies en verano y 38 en invierno con un porcentaje de cobertura del 100% en ambos casos, la comunidad estuvo dominada por *Semimytilus-Ciona-Bugula* en verano y por *Semimytilus-Ciona* en invierno.

Loayza (2014) evaluó el efecto de la duplicación de recambio de linternas en el cultivo de *A. purpuratus* y la formación de *biofouling* durante meses de invierno, causando un efecto positivo al disminuir la biomasa de *biofouling* incrustado en las linternas, siendo las especies dominantes *Astromegabalanus psittacus*, *Ciona intestinalis*, *Semimytilus algosus*, *Bugula neritina* y *Tubularia sp*, pero la especie predominante fue *Ciona intestinalis*. Sin embargo, la duplicación de recambio de linternas ocasiona mayor inversión. Este trabajo sienta las bases del uso de la

nanotecnología y el óxido de cobre como elementos en sinergia que ayuda a reducir el crecimiento del *biofouling* en linternas durante el cultivo de *A. purpuratus*.

El hidrozoo *Tubularia* sp es considerada pionera en el proceso de colonización de las superficies sumergidas (Zintzen et al., 2008) y favorece las facilidades para la incrustación de otras especies sésiles y móviles (Caine, 1987), como es el caso de los tunicados *C. robusta* y *C. intestinalis*, Tapia-Ugaz et al. (2022) identifico a las especies *Ciona robusta*, *Semimytilus algosus*, *Bugula neritina* y *Tubularia* sp. presentes durante todo el año y que representan el 80 % de la biomasa. La especie con mayor biomasa en este trabajo fue *Tubularia* sp y fue la primera especie que se observó a simple vista en los bastidores. Además, su crecimiento no fue inhibido por la presencia de las nanopartículas de óxido de cobre, lo cual indica que es una especie difícil de erradicar.

4.3. Evaluación del crecimiento y supervivencia de *Argopecten purpuratus*

4.3.1. Crecimiento

Si bien es cierto las nanopartículas de óxido de cobre tiene un efecto biocida sobre los microorganismos de la biopelícula que se forman sobre las redes de *nylon* y por ende su efecto en el crecimiento del *biofouling*, se necesitó evaluar de qué manera afecta las nanopartículas de óxido de cobre sobre los organismos cultivados en las linternas. Según los resultados en la tabla 4 el crecimiento de *Argopecten purpuratus* al final del cultivo, la talla y peso promedio de los tratamientos y el control no tuvieron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre ellos.

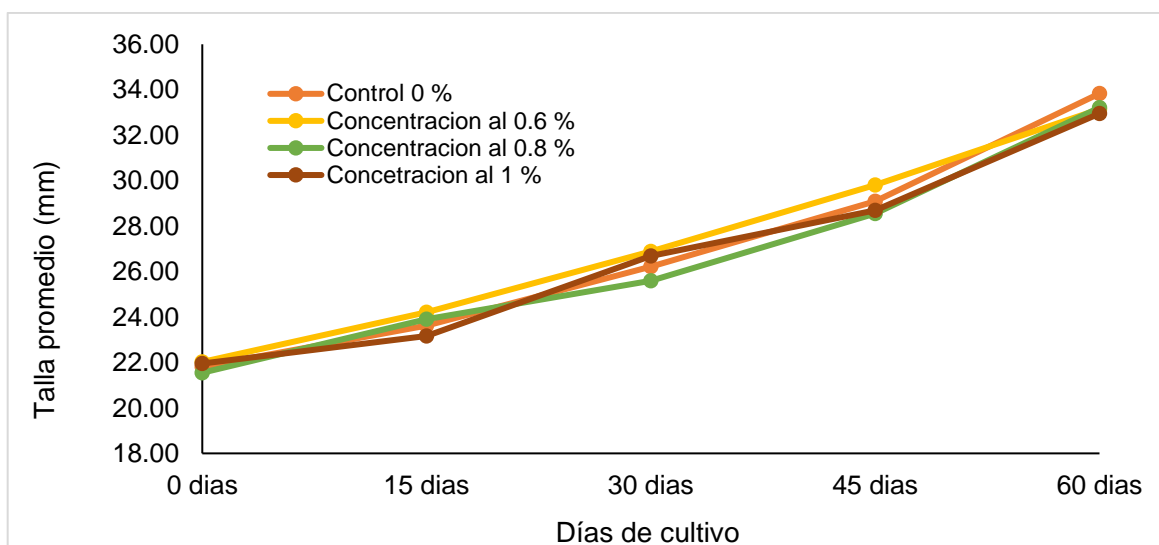
Tabla 4

Talla promedio de Argopecten purpuratus cultivados en linternas con redes de nylon impregnadas con diferentes concentraciones de nanopartículas de óxido de cobre durante 60 días.

Tiempo días de cultivo	Control (0%)		0,6%		0,8%		1,0%	
	Promedio (mm)	D.E	Promedio (mm)	D.E	Promedio (mm)	D.E	Promedio (mm)	D.E.
0	21,81	±0,39	22,02	±0,53	21,55	±0,30	21,95	±0,29
15	23,62	±0,18	24,21	±0,43	23,90	±0,23	23,17	±0,29
30	26,21	±0,79	26,88	±0,72	25,60	±0,53	26,69	±0,29
45	29,10	±0,81	29,81	±0,85	28,55	±0,51	28,69	±1,10
60	33,83	±0,61	33,14	±0,33	33,21	±0,21	32,95	±0,42

Figura 15

Crecimiento de Argopecten purpuratus cultivada en linternas con redes de nylon impregnadas con diferentes concentraciones de óxido de cobre.



Nota. El grafico representa el crecimiento de *Argopecten purpuratus* cultivados en redes de nylon impregnadas con nanopartículas de óxido de cobre.

La talla promedio final fue de 33,83 mm ± 0,61 mm, 33,14 mm ± 0,33 mm, 33,21 mm ± 0,21 mm y 32,95 mm ± 0,42 mm para los tratamientos control, 0,6%, 0,8% y

1% de nanopartículas de óxido de cobre respectivamente después de 60 días de cultivo.

Colunche et al. (2016) Evaluó el efecto de pintura antifouling en el crecimiento de *A. purpuratus* durante cinco meses cuya talla inicial fue de 44 mm y determinó que en las linternas con antifouling alcanzó tallas de 85 mm y sin antifouling alcanzo tallas de 78 mm con una tasa de crecimiento de 8,2 mm/mes y 6,8 mm/mes respectivamente. En este trabajo se empezó con tallas entre 21 y 22 mm y alcanzó tallas entre 32 y 33 mm después de dos meses de cultivo, con tasas de crecimiento de 6,01 mm/mes para el control, 5,56 mm/mes, 5,83 mm/mes y 5,50 mm/mes para los tratamientos con 0,6%, 0,8% y 1% de nanopartículas de óxido de cobre respectivamente, no existe diferencia significativa entre los tratamientos ($p>0,05$), lo cual indica que no existe efecto negativo sobre el crecimiento de *A. purpuratus*.

Tabla 5

Peso promedio de Argopecten purpuratus cultivadas en linternas con redes de nylon impregnadas con diferentes concentraciones de nanopartículas de óxido de cobre durante 60 días.

Tiempo días de cultivo	Control (0%)		0,6%		0,8%		1,0%	
	Promedio (g)	D.E	Promedio (g)	D.E	Promedio (g)	D.E	Promedio (g)	D.E.
0	1,91	±0,07	1,90	±0,08	1,71	±0,10	1,90	±0,10
15	2,80	±0,23	2,89	±0,03	2,78	±0,04	2,90	±0,07
30	3,62	±0,21	4,20	±0,59	3,87	±0,18	3,81	±0,25
45	4,94	±0,12	5,23	±0,33	5,21	±0,21	5,19	±0,34
60	7,05	±0,35	6,41	±0,70	6,50	±0,36	6,26	±0,15

Al cabo de dos meses de cultivo, alcanzaron un peso promedio final de 7,05 g ± 0,35 g para el control, 6,41g ± 0,70 g, 6,50 g ± 0,36 g y 6,26 g ± 0,15 g para los tratamientos con 0,6%, 0,8% y 1% de nanopartículas de óxido de cobre, según estos resultados no hay diferencia significativa entre los tratamientos con diferentes concentraciones de nanopartículas de cobre. Sin embargo, se observó que el peso promedio final del tratamiento control fue mayor ($p<0,05$) que el del tratamiento con la concentración del 1% de nanopartículas de óxido de cobre, a pesar de la talla promedio final no tengan una diferencia significativa.

4.3.2. Supervivencia

La supervivencia de *A. purpuratus* para el control y tratamientos con 0,6%, 0,8% y 1% de nanopartículas de óxido de cobre fue de 93.33% \pm 1,15%, 92,00% \pm 2,00%, 90% \pm 3,46% y 93.33% \pm 3,05% respectivamente.

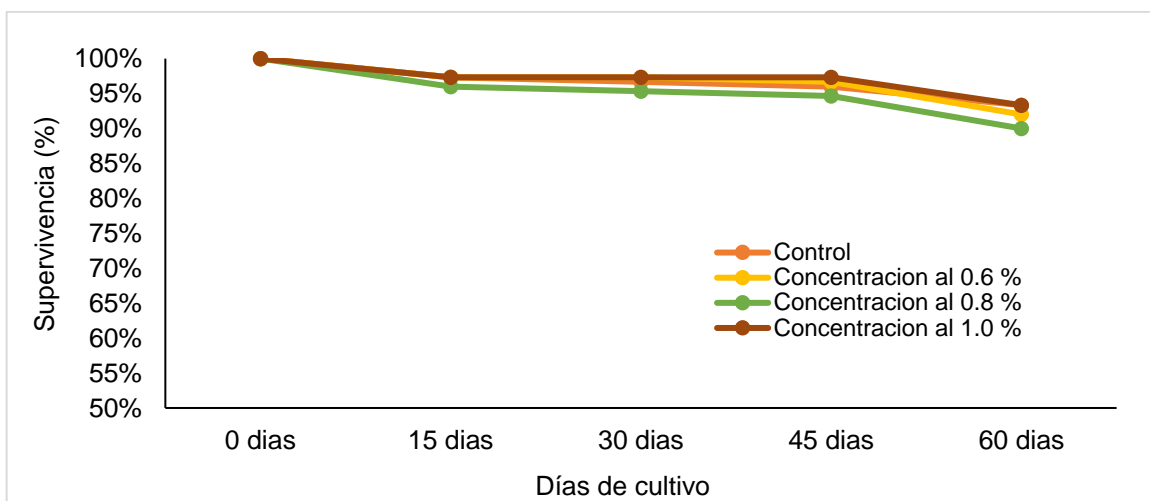
Tabla 6

Porcentaje de supervivencia de Argopecten purpuratus cultivado en linternas con redes de nylon impregnadas con nanopartículas de óxido de cobre durante 60 días.

Tiempo días de cultivo	Control (0%)		0,6%		0,8%		1,0%	
	Promedio	D.E	Promedio	D.E	Promedio	D.E	Promedio	D.E.
0	100,00%	\pm 0,00	100,00%	\pm 0,00	100,00%	\pm 0,00	100,00%	\pm 0,00
15	97,33%	\pm 1,15	97,3%	\pm 1,15	96,00%	\pm 2,00	97,33%	\pm 1,15
30	96,67%	\pm 2,31	97,3%	\pm 1,15	95,33%	\pm 2,31	97,33%	\pm 1,15
45	96,00%	\pm 2,00	96,7%	\pm 1,15	94,67%	\pm 1,50	97,33%	\pm 1,15
60	93,33%	\pm 1,15	92,0%	\pm 2,00	90,00%	\pm 3,46	93,33%	\pm 3,05

Figura 16

Supervivencia de Argopecten purpuratus cultivado en linternas con redes de nylon impregnadas con diferentes concentraciones de nanopartículas de óxido de cobre.



Nota. El grafico representa la supervivencia de *Argopecten purpuratus* cultivados en linternas construidas con redes de nylon impregnadas con diferentes concentraciones de oxido de cobre.

Loayza (2018) indica que el recambio de linternas ejerce influencia positiva en la altura valvar, peso de gónadas, tallo, en el IGS y en la supervivencia, logrando alcanzar un 97.4% en linternas de recambio frente a 86.6% en linternas sin recambio. Los resultados de supervivencia en este estudio nos muestran que no existe diferencia significativa ($p>0,05$) entre los tratamientos, lo cual indica que el óxido de cobre no ejerce un efecto nocivo para *Argopecten purpuratus*.

V. CONCLUSIONES

1. La menor biomasa de biofouling incrustado fue de $2,36 \text{ kg} \pm 0,32 \text{ kg}$ en las linternas de cultivo impregnadas con la mayor concentración (1%) de nanopartículas de óxido de cobre, diferente al biofouling incrustado en linternas sin impregnación de nanopartículas de óxido de cobre (control) con $3,47 \text{ kg} \pm 0,10 \text{ kg}$ y el mayor incremento de peso de biofouling fue para las linternas sin impregnación de nanopartículas de óxido de cobre.
2. Se determinó que la menor biomasa específica fue para las linternas impregnadas con nanopartículas de cobre al 1%, siendo *Tubularia sp* la especie predominante en todos los tratamientos.
3. El porcentaje de cobertura alcanzó el 100% para todos los tratamientos a los 30 días de cultivo sin diferencia significativa.
4. El crecimiento de *Argopecten purpuratus* fue similar para todos los tratamientos con $33,83 \text{ mm} \pm 0,61 \text{ mm}$, $33,14 \text{ mm} \pm 0,33 \text{ mm}$, $33,21 \text{ mm} \pm 0,21 \text{ mm}$ y $32,95 \text{ mm} \pm 0,42 \text{ mm}$ para los tratamientos control, 0,6%, 0,8% y 1% de nanopartículas de óxido de cobre respectivamente después de 60 días de cultivo y la supervivencia de *Argopecten purpuratus* fue de $93,33\% \pm 1,15\%$, $92\% \pm 2,00\%$, $90\% \pm 3,46\%$ y $93,33\% \pm 3,05\%$ para el control, 0,6%, 0,8% y 1% con nanopartículas de óxido de cobre respectivamente, no hubo diferencia significativa.
5. La concentración de nanopartículas de óxido de cobre al 1% utilizada para impregnar las redes de nylon de las linternas de cultivo de *Argopecten purpuratus* presentó un mayor efecto en la reducción de la biomasa del biofouling en un 32%.

VI. RECOMENDACIONES

1. Realizar ensayos con menores concentraciones de nanopartículas de óxido de cobre para comparar con los resultados de este estudio.
2. Realizar ensayo con linternas de cultivo a escala habitual y durante más tiempo.
3. Realizar el estudio del porcentaje de cobertura en bastidores de mayor dimensión
4. Realizar estudios metagenómicos del biofilm formado en las redes de nylon de las linternas antes de los primeros 30 días de cultivo para comparar la abundancia específica

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ali, A., Zahra, A., Kamthan, M., Husain, F., Albalawi, T., Zubair, M., Alatawy, R., Abid, M. y Noorani, M. (2023). Microbial Biofilms: Applications, Clinical Consequences, and Alternative Therapies. *Microorganisms*. 11 (8), 1934. <https://www.mdpi.com/2076-2607/11/8/1934>
- Ashraf, P. y Edwin, L. (2016). Hidrogel de polietilenglicol con nano óxido de cobre incorporado: un revestimiento antiincrustante eficaz para redes de pesca en jaulas. *Revista Biodeterioro y biodegradación internacional*, 115, 39-48. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2016.07.015>
- Ashraf, P. M., Sasikala, K.G., Thomas, S.N. y Edwin L. (2020). Redes de polietileno resistentes a la bioincrustación para jaulas de acuicultura: un nuevo enfoque que utiliza polianilina y óxido de nano cobre. *Revista árabe de química*. 13 (1). 875-882. <http://dx.doi.org/10.1016/j.arabjc.2017.1008.1006>
- Avendaño, M. y Cantillán, M. (2008). Aspectos biológicos y poblacionales de *Argopecten purpuratus* en la reserva marina La Rinconada: contribución para su manejo. En A. Lovatelli, A. Farías e I. Uriarte (eds). Estado actual del cultivo y manejo de moluscos bivalvos y su proyección futura: factores que afectan su sustentabilidad en América Latina. Taller Técnico Regional de la FAO. 20–24 de agosto de 2007, Puerto Montt, Chile. *FAO Actas de Pesca y Acuicultura*, (12), 249–266. <https://www.fao.org/4/i0444s/i0444s21.pdf>.
- Bannister, J., Sievers, M., Bush, F. y Bloecher, N. (2019). Biofouling in marine Aquaculture: a review of recent research and developments, *Biofouling*, 35(6), 631–648. <https://doi.org/10.1080/08927014.2019.1640214>
- Berillis, P., Mente, E. y Kormas, K. A. (2017). The use of copper alloy in aquaculture fish net pens: Mechanical, economic and environmental advantages. *Journal of Fisheries Sciences*, 11 (4), 01–03. <http://www.fisheriessciences.com/>.
- Boullosa-Falces, D., Gomez-Solaetxe, M., Sánchez-Varela, Z., García, S. y Trueba, A. (2019). "Validation of CUSUM control chart for biofouling detection in heat

exchangers”, *Applied Thermal Engineering*, 152, 24–31.
<https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.02.009>

Brosnahan, C. L., Georgiades, E., McDonald, C. A., Keeling, S.E. y Munday, J.S. (2019). New Zelanda rickettsia-like organism (NZ-RLO) and *Tenacibaculum maritimum*: Distribution and phylogeny in farmed Chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*)’, *Journal of Fish Diseases*, 42(1), 85–95.
<https://doi.org/10.1111/jfd.12909>

Bui, C., Ho, T. y Khieu, L. (2020). Numerical study of a flow over and turlough offshore fish cages, *Ocean Engineering* (201), 107-140.
<https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2020.107140>

Caine EA. 1987. Potential effect of floating dock communities on a South Carolina estuary. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 108(1), 83-91.
[https://doi.org/10.1016/0022-0981\(87\)90132-8](https://doi.org/10.1016/0022-0981(87)90132-8) [Links]

Centro de investigación de economía y negocios globales (CIEN). (2020). Reporte de exportaciones diciembre 2020. Asociación de exportadores (ADEX).
https://www.cien.adexperu.org.pe/wpcontent/uploads/2021/02/CIEN_REX_Diciembre_2020-1.pdf

Centro de investigación de economía y negocios globales (CIEN). (2022). *Conchas de Abanico: Evolución del Mercado Internacional y Nacional*. Asociación de exportadores (ADEX). <https://www.cien.adexperu.org.pe/conchas-de-abanico-evolucion-del-mercadointernacional-y-nacional/>

Chang, Y., Zhang, M., Xia, L. Zhang, J. y Xing, G. (2012). The toxic effects and mechanisms of CuO and ZnO nanoparticles. *Materials*, 5 (12), 2850-2871.
<https://doi.org/10.3390/ma5122850>

Chapman, J. (2003). Mecanismos de resistencia de biocidas. *Biodeterioro y biodegradaciones internacionales*. 51 (2), 133-138.
[https://doi.org/10.1016/S0964-8305\(02\)00097-5](https://doi.org/10.1016/S0964-8305(02)00097-5)

Chen, K. y Bothun, G. (2014). Las nanopartículas se encuentran con las membranas celulares: investigación de interacciones no específicas

- utilizando membranas modelo. *Environmental Science and Technology*, 48 (2), 873-880. <https://doi.org/10.1021/es403864v>
- Chen, X. y Mao, S. (2007). "Titanium dioxide nanomaterials: Synthesis, properties, modifications and applications, chemical reviews, 107 (7), 2891–2959, <https://doi.org/10.1021/cr0500535>
- Cisneros, R., Bautista, J. y Argüelles, J. (2008). Crecimiento comparativo de la concha de abanico (*Argopecten purpuratus*) en sistemas suspendidos. *Ecología aplicada*, 7 (1-2), 81-87 <http://www.scielo.org.pe/pdf/ecol/v7n1-2/a11v7n1-2.pdf>
- Cioffi, N. y Rai, M. (2012). *Nano-Antimicrobials: Progress and Prospects*. Springer Science & Business Media. <https://books.google.com.pe/books?id=RmMISXouKnYC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>
- Colunche, J., Gonzales, F., Quiñones, P. y Terán, J. (2016). Efecto del antifouling en la abundancia de *Ciona intestinalis* y en el crecimiento de *Argopecten purpuratus*. *Arnaldo* 23 (2), 631 – 648. <http://doi.org/10.22497/arnaldoa.232.23214>
- Comisión de Promoción del Perú para la Exportación y el Turismo [PROMPERÚ]. (2020). *Ficha Mercado Producto Concha de Abanico*. <https://institucional.promperu.gob.pe/ContenidosFichas/asia-y-oceania/osha-ficha-mercado-china-producto-conchas-de-abanico-2020.pdf>.
- Conde, S. (2019). *Estudio técnico de la planta piloto del laboratorio de Biofouling- Emilio Eguía como herramienta de control del biofouling en buques mercantes*. Santander [Tesis], Escuela técnica superior de náutica universidad de Cantabria, España. <https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/17215>.
- Conde, S. (2021). *El comportamiento en el entorno marino de materiales poliméricos con aditivos antifouling* [Tesis de Maestría], Escuela técnica superior de náutica de la Universidad de Cantabria.

<https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/22822/Conde%20Sabote%2c%20Santiago%201.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Early, P. J., Swope, B. L., Colvin, M. A., Rosen, G., Wang, P., Carilli, J. y Rivera-Duarte, I. (2020). Estimates of environmental loading from copper alloy materials. *Biofouling*, 36 (3), 276–91. <https://doi.org/10.1080/08927014.2020.1756267>
- Espírito Santo, C., Alemán, N., Elguindi, J. y Hierva, G. (2014). Biocidal mechanisms of metallic copper surfaces, in Use of Biocidal Surfaces for Reduction of Healthcare Acquired Infections. *Springer International Publishing*, 103–136. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-08057-4_6
- Fay, F., Gouessan, M., Linossier, I., y Réhel, k. (2019). Additives for efficient biodegradable antifouling paints, *International Journal of Molecular Sciences*, 20(2), 361. <https://doi.org/10.3390/ijms20020361>
- Flemming, HC. (1991). Introducción: Las biopelículas como una forma particular de vida microbiana. En: Flemming, HC., Geesey, GG (eds) *Bioincrustaciones y biocorrosión en sistemas de agua industriales*. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-76543-8_1
- Flemming, H. (2002). Bioincrustaciones en sistemas hídricos: casos, causas y contramedidas. *Appl Microbiol Biotechnology*, 59, 629–640. <https://doi.org/10.1007/s00253-002-1066-9>
- Fondo Nacional de Desarrollo Pesquero [FONDEPES], (2016). Manual de Cultivo Suspendido de Concha de Abanico. <https://rnia.produce.gob.pe/wp-content/uploads/2019/11/manual-concha-de-abanico-PDF-1.pdf>
- García, S., Trueba, E., Vega, L. y Madariaga, E. (2018). Ceramic coating solución for offshore structures. *Progress in Maritime Technology and Engineering*. Actas de la 4ª Conferencia internacional sobre tecnología e ingeniería marítimas (MARTECH 2018), 7-9 de mayo de 2018, Lisboa, Portugal. pp. 453–458. doi: 10.1201/9780429505294-52.

- García, S. y Trueba, A. (2018). Influence of the Reynolds number on the thermal effectiveness of tubular heat exchanger subjected to electromagnetic field-based antifouling treatment in an open once-through seawater cooling system, *Applied Thermal Engineering*, 140 (November 2017), 531–541. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.05.069>.
- García, A. Rodríguez, D. Oztürk y Rosales, M. (2017). Incorporación de nanopartículas de CuO en membranas de ósmosis inversa compuestas de película delgada (TFC-RO) para propiedades antiincrustantes, *Polym. Bull*, 75, 2053–2069. <https://doi.org/10.1007/s00289-017-2146-4>
- González, R. (2010). Auge y crisis: la pesquería de la concha de abanico (*Argopecten purpuratus*) en la región Pisco-Paracas, costa Sur del Perú. *Espacio y Desarrollo* N°22. <http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/espacioydesarrollo/article/view/5353/5352>
- Gonzales, E. (2019). Identificación fenotípica y molecular de bacterias productoras de biofilm presentes en la formación del biofouling en cultivos de “Concha de Abanico” (*Argopecten purpuratus*), en la bahía de Huaynuma, Casma - Perú. *Universidad Nacional Mayor de San Marcos*, 10 - 14 pp. <https://hdl.handle.net/20.500.12672/11428>
- Hellio, C. y Yebra, D. (2009). Advances in Marine Antifouling Coating and Technologies, *Advances in Marine Antifouling Coating and Technologies*. Elsevier. 97-135. https://www.researchgate.net/publication/263088556_Advances_in_Marine_Antifouling_Coatings_and_Technologies
- Jiménez, T. (2009). *Caracterización biológica del biofouling marino mediante métodos moleculares. aislamiento y determinación de actividad quorum sensing de las especies implicadas en el proceso* [Tesis doctoral]. Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales Departamento de Tecnologías del Medio Ambiente, Universidad de Cádiz, España. <https://produccioncientifica.uca.es/documentos/5febd91a5ef7446310f94464>

- Juárez Manayay, A. (2021). Sistema de información gerencial para el proceso de administración de ventas en el área gerencia de negocios telefónica de Tele atento del Perú S.A.C. Repositorio Institucional - UCV. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/70122>
- Kanagusuku, K. (2009). *Evaluación de los bioincrustantes presentes en sistemas de cultivo suspendido de *Argopecten purpuratus* (Lamarck, 1819) “Concha de abanico” en la Bahía de Samanco. Universidad Ricardo Palma.*
- Kjelleberg, S., Rao, D. y Weebb, J.S. (2005). Competitive Interactions in Mixed-Species Biofilms Containing the Marine Bacterium *Pseudoalteromonas tunicata*. *Applied and Environmental Microbiology*, 71 (4), 1729–1736. <https://doi.org/10.1128/AEM.71.4.1729-1736.2005>.
- Kwon, Y., Soon, A., Han, H. y Lee, H. (2014). Supporting Information Shape Effect of Cuprous Oxide Particles on Stability in Water and Photocatalytic Water Splitting. *Journal of Materials Chemistry A*. <https://doi.org/10.1039/C4TA04863F>
- Kochkodan, V., Hilal, N., Goncharuk, V., Khatib, L. y Levadna, T. (2006). Effect of the surface modification of polymer membranes their microbiological fouling, *Colloid Journal*, 68 (3), 267-273. <https://doi.org/10.1134/S1061933X06030021>.
- Kumar, M. (2014). *Polymers in a Marine Environment*. Primera edición. Editorial: Smithers Information Ltd. Instituto Nacional de Tecnología Oceánica. https://www.researchgate.net/publication/280216105_Polymers_in_a_marine_environment.
- Lárez-Velásquez, C., Koteich-Khatib, S. y López-González, F. (2015). Nanopartículas: Fundamentos y Aplicaciones. Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela. https://www.researchgate.net/profile/Cristobal-Larez-Velasquez/publication/285356585_Nanoparticulas_fundamentos_y_aplicaciones/links/5fd22371299bf188d4085adc/Nanoparticulas-fundamentos-y-aplicaciones.pdf

- Liu, Y., Suo, X.K., Wang, Z., Gong, Y.F., Wang, X. y Li, H. (2017). Developing polyimide-copper antifouling coatings with capsule structures for sustainable release of copper. *Materials y design*. 130, 285–293. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2017.05.075>.
- Loayza, R. (2011). Problemática del biofouling en el cultivo de *Argopecten purpuratus* en el Perú. *Revista AquaTIC*, 35, 9-19. <https://www.redalyc.org/pdf/494/49422869002.pdf>.
- Loayza, R. y Tresierra, A. (2014). Variación del biofouling en linternas de cultivo de concha de abanico (*Argopecten purpuratus*) en la bahía Samanco, Ancash, Perú. *Ciencia y Tecnología*, 10 (2), 19-34. <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/PGM/article/view/567>.
- Loayza Aguilar, R. E. (2018). *Duplicación del recambio de linternas y su efecto biológico y económico en la etapa final del cultivo suspendido de Argopecten purpuratus, en la bahía de Samanco (Ancash, Perú)*. [Tesis doctoral, Universidad Nacional del Santa]. Repositorio Institucional-Universidad Nacional del Santa. <http://repositorio.uns.edu.pe/handle/UNS/3261>.
- Lomovasky, B., Gamero, P., Romero, L., Firstater, F., Gamarra, A., Hidalgo, F., Tarazona, J. y Iribarne, O. (2015). The role of *Argopecten purpuratus* shells structuring the soft bottom community in shallow waters of southern Peru. *Journal of Sea Research*, 106, 14-26. <https://www.researchgate.net/publication/282657641> The role of Argopecten purpuratus shells structuring the soft bottom community in shallow waters of southern Peru
- Martín-Rodríguez, A., Babarro, J., Lahoz, F., Sansón. M., Martín, V., Norte, M. (2015). De biocidas de amplio espectro a disruptores de quórum sensing y repelentes de mejillones: Perfil antiincrustante de sales de alquiltrifenilfosfonio. *PLOS ONE* 10(4): <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0123652>

- Mendo, J. y Quevedo, I. (2020). La cadena de valor de la concha de abanico. Programa Nacional de Innovación en Pesca y Acuicultura (PNIPA), Ministerio de la Producción. <https://rnia.produce.gob.pe/presentacion-del-estudio-de-prospectiva-de-la-cadena-de-valor-de-la-concha-de-abanico-al-2030/>
- Ministerio de la Producción (PRODUCE). (2010). *Plan Nacional de Desarrollo acuícola* (2010-2021). <https://rnia.produce.gob.pe/wp-content/uploads/2019/09/Plan-Nacional-de-Desarrollo-Acu%C3%ADcola-2010-2021.pdf>.
- Ministerio de la Producción (PRODUCE). (2017). Desarrollo productivo de la actividad pesquera. *Boletín del sector pesquero*. Disponible en: <https://ogeiee.produce.gob.pe/index.php/en/shortcode/oee-documentos-publicaciones/boletines-pesca/item/761-2017-diciembre-boletin-del-sector-pesquero>.
- Ministerio de la Producción (PRODUCE). (2019). Desarrollo productivo de la actividad pesquera. *Boletín del sector pesquero*. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/375650/Bol-Pesca-FEB-19-1-20.pdf>.
- Ministerio de la Producción (PRODUCE). (2022). Manual para una acuicultura sostenible Cultivo de Concha de Abanico. *Red nacional de información acuícola*. [Red Nacional de Información Acuícola | RNIA](#).
- Ministerio de la Producción (PRODUCE). (2023). Ficha recurso concha de abanico, Desarrollo económico. Oficina de estudios económicos. <https://www.produceempresarial.pe/wp-content/uploads/2024/02/Ficha-Recurso-Concha-abanico-2023.pdf>
- Ministerio de la Producción (PRODUCE). (2024). Ficha recurso concha de abanico, Desarrollo económico. Oficina de estudios económicos. <https://www.produceempresarial.pe/wp-content/uploads/2024/09/96-3.-Ficha-Recurso-Concha-abanico-Ene-jun-2024-Rev-1.pdf>

Mishra, M. (2018). *Encyclopedia of Polymer Applications*, <https://doi.org/10.4324/9781351019422>.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2020). Estado Mundial de la Pesca y la Acuicultura 2020, Sostenibilidad en Acción, 2-45. Roma. <https://doi.org/10.4060/ca9229es>.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2022). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2022. Hacia la transformación azul. Roma. <https://doi.org/10.4060/cc0461es>

Pacheco, A. y Garate, A. (2005). Bioincrustantes en estructuras de cultivo de *Argopecten purpuratus* en bahía Samanco, Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima – Perú. *Ecología Aplicada*, 4(1,2), 45. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1726-22162005000100020&script=sci_abstract.

Pina, J. (2020). *Manual de SPSS básico*, Departamento de Enfermería Comunitaria Universidad de Alicante, España. <https://pinae.es/wp-content/uploads/2020/03/Manual-SPSS-Castellano.pdf>.

Qiu, H., Gapeeva, A., Kaps, S., Adelung, R. y Baum, M. (2021). Core Shell Structured Nets for Biofouling Control. *Aquaculture repot*, 21, 100781. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100781>.

Quezada, R. (2019). Modelación matemática de los fenómenos antibiofouling en membranas de osmosis reversa modificadas con nanopartículas de cobre [Tesis de licenciatura], Universidad de Chile. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/171131>

Rascol, E., Devoisselle, J. y Chopineau, J. (2016). The relevance of membrane models to understand nanoparticles cell membrane interactions. *Nanoscale*. 8 (9), 4780-4798. <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2016/nr/c5nr07954c>

- Ren, G., Hub, D., Cheng, E., Vargas-Reus, M, Reip, P. y Allaker, R. (2009) Characterisation of copper oxide nanoparticles for antimicrobial applications. *Antimicrob Agents*, vol. 33 (6), 587–590, <https://doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2008.12.004>
- Sato, T., Fujimori, Y., Nakayama, T., Gotoh, Y., Sunaga, Y., Nemoto, M., Matsunaga, T. y Tanaka, T. (2012). Assessment of the anti-biofouling potentials of a copper iodide-doped nylon mesh. *Appl Microbiol Biotechnology*, 95,1043 -1050. <https://doi.org/10.1007/s00253-011-3720-6>.
- Singh, R. y Hankins, N. (2016). Introduction to membrane processes for water treatment. *Emerging membrane technology for sustainable water treatment*, 1,15-51. <https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=HbR0BgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&ots=80aVmHa1Zc&sig=50cMHmqPaDFxmKXup7u6cCz419g#v=onepage&q&f=false>.
- Scheaffer, R., Mendenhall, W. y Ott, L. (1987). Elementos de muestreo. 3ra Edición. México: Grupo Editorial Interamericana S.A. de C.V. Disponible en: https://issuu.com/hectorm.delossantosposadas/docs/elementos_de_muestreo_-_schaffer_et
- Sistema Nacional de Acuicultura [SINACUI]. (2022). Manual para una Acuicultura sostenible Cultivo de concha de abanico. *Ministerio de la producción*. <https://rnia.produce.gob.pe/manual-para-una-acuicultura-sostenible-cultivo-de-concha-de-abanico/>.
- Tamayo, L., Azocar, M., Kogan, M., Riveros, A. y Paez, M. (2016). Copper-polymer nanocomposites: excellent and cost-effective biocide for use on antibacterial surfaces, *Materials Science and Engineering*, 69 (1), 1391–1409. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0928493116308438>.
- Tapia, L. (2016). Preparación de abono orgánico a partir de desechos del cultivo y procesamiento de *Argopecten purpuratus* “concha de abanico” a fin de mitigar su impacto en el ambiente marino costero. [Tesis de maestría, Universidad Nacional del Santa]. Archivo digital.

https://biblioteca.imarpe.gob.pe/opac_css/index.php?lvl=notice_display&id=23360

Tapia-Ugaz, L., Nizama, O., Arteaga, C., Chunga, J., Chipana, G. y Refulio M. (2022). Caracterización biológica de los organismos incrustantes en sistemas de cultivo suspendido de *Argopecten purpuratus* en bahía Samanco (Ancash, Perú). *Caldasia*, 44(3), 567–582. doi: <https://doi.org/10.15446/caldasia.v44n3.91786>

Tsukrov, I., Drach, A., DeCew, J., Robinson Swift, M. y Celikkol, B. (2011). Caracterización de la geometría y coeficientes de arrastre normales de redes de cobre. *Ingeniería oceánica*. 38 (17 y 18), 1979-1988. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2011.09.019>

Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN). (2007). Guía para el Desarrollo Sostenible de la Acuicultura Mediterránea. *Interacciones entre la Acuicultura y el Medio Ambiente*. Suiza y Málaga, España. https://www.mapa.gob.es/es/pesca/temas/acuicultura/interaccionesentrelaacuiculturayelmedioambiente_tcm30-675807.pdf.

Universidad Nacional de Tumbes. (2023). *Reglamento de tesis para pre grado y posgrado de la Universidad Nacional de Tumbes (Resolución N° 0714-2023)*. [Aprobada en el Consejo universitario en la sesión ordinaria del 22 de mayo del 2023]. Recuperado de https://untumbes.edu.pe/control/documento/533_20250523094413_Resoluci%C3%B3n%20N%C2%BA%200714-2023-UNTUMBES-CU.pdf

Vert, M., Doi, Y., Hellwich, K., Hess, M., Hodge, P., Kubisa, P., Rinaudo, M. y Schue, F. (2012). Terminology for biorelated polymers and applications (IUPAC Recommendations 2012). *Pure Appl. Chem.* 84 (2), 377–410. <http://dx.doi.org/10.1351/PAC-REC-10-12-04>

Von Brand, E. Cisterna, M., Merino, G., Uribe, E., Palma-Rojas, C., Rosenblitt, R., y Albornoz, J. (2009). Non-Destructive Method to Study the Internal Anatomy of the Chilean Scallop *Argopecten purpuratus*. *Journal of Shellfish Research*, 28(2), 325-327. <https://doi.org/10.2983/035.028.0214>

- Vucko, M.J., King, P.C, Poole, A.J., Hu, Y., Jahedi, M.Z. y De Nys, R. (2014). Assessing the antifouling properties of cold-spray metal embedment using loading density gradients of metal particles, *Biofouling*, 30(6), 651-666, <https://doi.org/10.1080/08927014.2014.906584>.
- Wahl, M. (1989). Epibiosis marina. I. Incrustaciones y antiincrustantes: algunos aspectos básicos. *Marine Ecology Progress*, 58, 175-189. <https://www.jstor.org/stable/24842178>.
- Yigit, M., Celikkol, B., Ozalp, B., Bulut, M., Dwyer, R. L, Yilmaz, S, Maita, M. y Buyukates, Y. (2018). Comparison of copper alloy mesh with conventional nylon nets in offshore cage farming of gilthead seabream (*Sparus aurata*). *Aquaculture Studies*. 18:57–65. <https://www.aquast.org/abstract.php?id=450>.
- Zhang, Z., Sun, L., Wu, Z., Liu, Y. y Li, S. (2020). Facile hydrothermal synthesis of CuO-Cu₂O/GO nanocomposites for the photocatalytic degradation of organic dye and tetracycline pollutants, *New J. Chem*, vol. 44 (16), 6420–6427, DOI: <https://doi.org/10.1039/D0NJ00577K>
- Zintzen, V., Norro, A., Massin, C. y Mallefet, J. (2008). Variación temporal de *Tubularia indivisa* (Cnidaria, Tubulariidae) y epizoitos asociados en comunidades de hábitat artificial en el Mar del Norte. *Mar Biol* (153), 405–420. <https://doi.org/10.1007/s00227-007-0819-5>

ANEXOS

Anexo 1. Biomasa e incremento de peso del *biofouling* incrustado en linternas con redes de *nylon* sin impregnación con nanopartículas de óxido de cobre durante 60 días de cultivo de *Argopecten purpuratus*.

Tiempo días de cultivo	Parámetros	Repeticiones			Promedio	Desviación estándar
		1	2	3		
0	Biomasa (kg)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Incremento en peso (kg)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15	Biomasa (kg)	0,22	0,22	0,21	0,22	0,01
	Incremento en peso (kg)	0,22	0,22	0,21	0,22	0,01
30	Biomasa (kg)	0,78	0,76	0,73	0,76	0,03
	Incremento en peso (kg)	0,56	0,54	0,52	0,54	0,02
45	Biomasa (kg)	2,25	2,22	2,15	2,21	0,05
	Incremento en peso (kg)	1,47	1,46	1,42	1,45	0,03
60	Biomasa (kg)	3,55	3,36	3,50	3,47	0,10
	Incremento en peso (kg)	1,30	1,14	1,35	1,26	0,11

Anexo 2. Biomasa e incremento de peso del *biofouling* incrustado en linternas con redes de *nylon* impregnadas con nanopartículas de óxido de cobre al 0,6% durante 60 días de cultivo de *Argopecten purpuratus*.

Tiempo días de cultivo	Parámetros	Repeticiones			Promedio	Desviación estándar
		1	2	3		
0	Biomasa (kg)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Incremento en peso (kg)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15	Biomasa (kg)	0,21	0,17	0,23	0,20	0,03
	Incremento en peso (kg)	0,21	0,17	0,23	0,20	0,03
30	Biomasa (kg)	0,61	0,61	0,60	0,61	0,01
	Incremento en peso (kg)	0,40	0,44	0,37	0,40	0,04
45	Biomasa (kg)	2,01	1,67	1,78	1,82	0,17
	Incremento en peso (kg)	1,40	1,06	1,18	1,21	0,17
60	Biomasa (kg)	3,08	1,82	2,48	2,46	0,63
	Incremento en peso (kg)	1,07	0,15	0,70	0,64	0,46

Anexo 3. Biomasa e incremento de peso del *biofouling* incrustado en linternas con redes de *nylon* impregnadas con nanopartículas de óxido de cobre al 0,8% durante 60 días de cultivo de *Argopecten purpuratus*.

Tiempo días de cultivo	Parámetros	Repeticiones			Promedio	Desviación estándar
		1	2	3		
0	Biomasa (kg)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Incremento en peso (kg)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15	Biomasa (kg)	0,14	0,21	0,19	0,18	0,04
	Incremento en peso (kg)	0,14	0,21	0,19	0,18	0,04
30	Biomasa (kg)	0,58	0,57	0,61	0,59	0,02
	Incremento en peso (kg)	1,66	1,71	1,80	1,72	0,07
45	Biomasa (kg)	1,66	1,71	1,80	1,72	0,07
	Incremento en peso (kg)	1,08	1,14	1,19	1,14	0,06
60	Biomasa (kg)	2,55	2,65	2,45	2,55	0,10
	Incremento en peso (kg)	0,89	0,94	0,65	0,83	0,16

Anexo 4. Biomasa e incremento de peso del *biofouling* incrustado en linternas con redes de *nylon* impregnadas con nanopartículas de óxido de cobre al 1% durante 60 días de cultivo de *Argopecten purpuratus*.

Tiempo días de cultivo	Parámetros	Repeticiones			Promedio	Desviación estándar
		1	2	3		
0	Biomasa (kg)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Incremento en peso (kg)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15	Biomasa (kg)	0,22	0,18	0,22	0,21	0,02
	Incremento en peso (kg)	0,22	0,18	0,22	0,21	0,02
30	Biomasa (kg)	0,78	0,76	0,73	0,76	0,03
	Incremento en peso (kg)	0,43	0,42	0,46	0,44	0,02
45	Biomasa (kg)	1,68	1,56	1,52	1,59	0,08
	Incremento en peso (kg)	1,03	0,96	0,84	0,94	0,10
60	Biomasa (kg)	2,42	2,64	2,01	2,36	0,32
	Incremento en peso (kg)	0,74	1,08	0,49	0,77	0,30

Anexo 5. Resumen de la biomasa e incremento en peso del *biofouling* incrustado en linternas con redes de *nylon* impregnadas con diferentes concentraciones de nanopartículas de óxido de cobre durante 60 días de cultivo de *Argopecten purpuratus*.

Tiempo días de cultivo	Parámetros	Control (0%)		0,6%		0,8%		1,0%	
		Promedio	D.E	Promedio	D.E	Promedio	D.E	Promedio	D.E.
0	Biomasa (kg)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Incremento en peso (kg)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15	Biomasa (kg)	0,22	0,01	0,20	0,03	0,18	0,04	0,21	0,02
	Incremento en peso (kg)	0,22	0,01	0,20	0,03	0,18	0,04	0,21	0,02
30	Biomasa (kg)	0,76	0,03	0,61	0,01	0,59	0,02	0,76	0,03
	Incremento en peso (kg)	0,54	0,02	0,40	0,04	1,72	0,07	0,44	0,02
45	Biomasa (kg)	2,21	0,05	1,82	0,17	1,72	0,07	1,59	0,08
	Incremento en peso (kg)	1,45	0,03	1,21	0,17	1,14	0,06	0,94	0,10
60	Biomasa (kg)	3,47	0,10	2,46	0,63	2,55	0,10	2,36	0,32
	Incremento en peso (kg)	1,26	0,11	0,64	0,46	0,83	0,16	0,77	0,30

Anexo 6. Talla, peso y supervivencia promedio de *Argopecten purpuratus* cultivado en linternas con redes de nylon sin impregnación de nanopartículas de óxido de cobre durante 60 días de cultivo.

Tiempo días de cultivo	Parámetros	Repeticiones			Promedio	Desviación estándar
		1	2	3		
0	Talla (mm)	21,43	21,79	22,21	21,81	0,39
	Peso (g)	1,84	1,98	1,92	1,91	0,07
	Supervivencia (%)	100,00	100,00	100,00	100,00	0,00
15	Talla (mm)	23,64	23,43	23,79	23,62	0,18
	Peso (g)	2,98	2,54	2,88	2,80	0,23
	Supervivencia (%)	98,00	96,00	98,00	97,33	1,15
30	Talla (mm)	27,00	25,43	26,21	26,21	0,79
	Peso (g)	3,76	3,38	3,72	3,62	0,21
	Supervivencia (%)	98,00	94,00	98,00	96,67	2,31
45	Talla (mm)	28,43	28,86	30,00	29,10	0,81
	Peso (g)	4,84	4,92	5,06	4,94	0,12
	Supervivencia (%)	98,00	94,00	96,00	96,00	2,00
60	Talla (mm)	33,21	33,86	34,43	33,83	0,61
	Peso (g)	6,82	6,87	7,46	7,05	0,35
	Supervivencia (%)	94,00	92,00	94,00	93,33	1,15

Anexo 7. Talla, peso y supervivencia promedio de *Argopecten purpuratus* cultivado en linternas con redes de nylon impregnadas con nanopartículas de óxido de cobre al 0,6% durante 60 días de cultivo.

Tiempo días de cultivo	Parámetros	Repeticiones			Promedio	Desviación estándar
		1	2	3		
0	Talla (mm)	22,21	21,43	22,43	22,02	0,53
	Peso (g)	1,82	1,90	1,98	1,90	0,08
	Supervivencia (%)	100,00	100,00	100,00	100,00	0,00
15	Talla (mm)	24,64	24,21	23,79	24,21	0,43
	Peso (g)	2,88	2,86	2,92	2,89	0,03
	Supervivencia (%)	98,00	98,00	96,00	97,33	1,15
30	Talla (mm)	26,21	26,79	27,64	26,88	0,72
	Peso (g)	3,54	4,36	4,70	4,20	0,59
	Supervivencia (%)	98,00	98,00	96,00	97,33	1,15
45	Talla (mm)	29,43	29,21	30,79	29,81	1,15
	Peso (g)	4,92	5,18	5,58	5,23	0,33
	Supervivencia (%)	96,00	98,00	96,00	96,67	1,15
60	Talla (mm)	32,79	33,21	33,43	33,14	0,33
	Peso (g)	5,72	6,39	7,12	6,41	0,70
	Supervivencia (%)	90,00	92,00	94,00	92,00	2,00

Anexo 8. Talla, peso y supervivencia promedio de *Argopecten purpuratus* cultivado en linternas con redes de *nylon* impregnadas con nanopartículas de óxido de cobre al 0,8 % durante 60 días de cultivo.

Tiempo días de cultivo	Parámetros	Repeticiones			Promedio	Desviación estándar
		1	2	3		
0	Talla (mm)	21,79	21,64	21,21	21,55	0.30
	Peso (g)	1,76	1,78	1,60	1,71	0.10
	Supervivencia (%)	100,00	100,00	100,00	100,00	0.00
15	Talla (mm)	24,07	23,64	24,00	23.90	0.23
	Peso (g)	2,74	2,76	2,82	2.78	0.04
	Supervivencia (%)	98,00	96,00	94,00	96.00	2.00
30	Talla (mm)	25,00	25,79	26,00	25.60	0.53
	Peso (g)	3,96	3,98	3,66	3.87	0.18
	Supervivencia (%)	94,00	98,00	94,00	95.33	2.31
45	Talla (mm)	29,00	28,00	28,64	28.55	0.51
	Peso (g)	5,30	5,36	4,96	5.21	0.21
	Supervivencia (%)	94,00	96,00	94,00	94.67	1.15
60	Talla (mm)	33,43	33,00	33,21	33.21	0.21
	Peso (g)	6,64	6,78	6,10	6.50	0.36
	Supervivencia (%)	88,00	94,00	88,00	90.00	3.46

Anexo 9. Talla, peso y supervivencia promedio de *Argopecten purpuratus* cultivado en linternas con redes de *nylon* impregnadas con nanopartículas de óxido de cobre al 1 % durante 60 días de cultivo.

Tiempo días de cultivo	Parámetros	Repeticiones			Promedio	Desviación estándar
		1	2	3		
0	Talla (mm)	21,64	22,21	22,00	21,95	0,29
	Peso (g)	1,78	1,94	1,96	1,90	0,10
	Supervivencia (%)	100,00	100,00	100,00	100,00	0,00
15	Talla (mm)	22,86	23,43	23,21	23,17	0,29
	Peso (g)	2,84	2,98	2,90	2,90	0,07
	Supervivencia (%)	96,00	98,00	98,00	97,33	1,15
30	Talla (mm)	27,00	26,64	26,43	26,69	0,29
	Peso (g)	4,10	3,72	3,62	3,81	0,25
	Supervivencia (%)	98,00	96,00	98,00	97,33	1,15
45	Talla (mm)	27,43	29,43	29,21	28,69	1,10
	Peso (g)	5,56	5,10	4,90	5,19	0,34
	Supervivencia (%)	98,00	96,00	98,00	97,33	1,15
60	Talla (mm)	32,64	32,79	33,43	32,95	0,42
	Peso (g)	6,39	6,31	6,09	6,26	0,15
	Supervivencia (%)	90,00	94,00	96,00	93,33	3,06

Anexo 10. Resumen de talla, peso y supervivencia promedio de *Argopecten purpuratus* cultivado en linternas con redes de nylon impregnadas con diferentes concentraciones de nanopartículas de óxido de cobre durante 60 días de cultivo.

Tiempo días de cultivo	Parámetros	Control (0%)		0,6%		0,8%		1,0%	
		Promedio	D.E	Promedio	D.E	Promedio	D.E	Promedio	D.E.
0	Talla (mm)	21,81	0,39	22,02	0,53	21,55	0,30	21,95	0,29
	Peso (g)	1,91	0,07	1,90	0,08	1,71	0,10	1,90	0,10
	Supervivencia (%)	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00
15	Talla (mm)	23,62	0,18	24,21	0,43	23,90	0,23	23,17	0,29
	Peso (g)	2,80	0,23	2,89	0,03	2,78	0,04	2,90	0,07
	Supervivencia (%)	97,33	1,15	97,33	1,15	96,00	2,00	97,33	1,15
30	Talla (mm)	26,21	0,79	26,88	0,72	25,60	0,53	26,69	0,29
	Peso (g)	3,62	0,21	4,20	0,59	3,87	0,18	3,81	0,25
	Supervivencia (%)	96,67	2,31	97,33	1,15	95,33	2,31	97,33	1,15
45	Talla (mm)	29,10	0,81	29,81	0,85	28,55	0,51	28,69	1,10
	Peso (g)	4,94	0,12	5,23	0,33	5,21	0,21	5,19	0,34
	Supervivencia (%)	96,00	2,00	96,67	1,15	94,67	1,50	97,33	1,15
60	Talla (mm)	33,83	0,61	33,14	0,33	33,21	0,21	32,95	0,42
	Peso (g)	7,05	0,35	6,41	0,70	6,50	0,36	6,26	0,15
	Supervivencia (%)	93,33	1,15	92,00	2,00	90,00	3,46	93,33	3,06

Anexo 11. Prueba de normalidad de datos de Shapiro-Wilk en los parámetros de la evaluación del *biofouling* incrustado en linternas con redes de *nylon* impregnadas con diferentes concentraciones de nanopartículas de cobre en el cultivo de *Argopecten purpuratus*, según SPSS, versión 25.

Parámetros	Estadístico	gl	Sig.
Biomasa final de biofouling en linternas	0,931	12	0,389
Incremento de peso de biofouling	0,963	12	0,827
Porcentaje de cobertura de biofouling en bastidores	0	12	0
Biomasa específica de biofouling en bastidores	0,851	12	0,057
Talla final de <i>Argopecten purpuratus</i>	0,915	12	0,248
Peso final de <i>Argopecten purpuratus</i>	0,982	12	0,991
Supervivencia final de <i>Argopecten purpuratus</i>	0,887	12	0,109

Anexo 12. Prueba T para los datos de la evaluación del *biofouling* en redes de *nylon* impregnadas con diferentes concentraciones de nanopartículas de óxido de cobre en el cultivo de *Argopecten purpuratus*.

Parámetros	Grupos	Estadístico	gl	Sig.
Biomasa biofouling en linternas	1 - 2	2,742	4	0,052
	1 - 3	11,353	4	0,010
	1 - 4	5,764	4	0,040
	2 - 3	0,244	4	0,819
	2 - 4	0,253	4	0,813
	3 - 4	1,000	4	0,374
Incremento en peso de biofouling en linternas	1 - 2	2,269	4	0,086
	1 - 3	3,983	4	0,016
	1 - 4	2,706	4	0,054
	2 - 3	0,662	4	0,544
	2 - 4	0,410	4	0,703
	3 - 4	0,294	4	0,784
Biomasa específica de biofouling en bastidores	1 - 2	10,417	4	0,010
	1 - 3	11,937	4	0,010
	1 - 4	14,540	4	0,010
	2 - 3	1,515	4	0,240
	2 - 4	2,515	4	0,098
	3 - 4	4,208	4	0,014
Talla de <i>Argopecten purpuratus</i>	1 - 2	1,728	4	0,159
	1 - 3	1,659	4	0,172
	1 - 4	2,058	4	0,109
	2 - 3	0,311	4	0,771
	2 - 4	0,620	4	0,569
	3 - 4	0,955	4	0,394
Peso de <i>Argopecten purpuratus</i>	1 - 2	1,459	4	0,218
	1 - 3	1,861	4	0,136
	1 - 4	3,508	4	0,025
	2 - 3	0,263	4	0,805
	2 - 4	0,297	4	0,781
	3 - 4	1,077	4	0,342
Supervivencia de <i>Argopecten purpuratus</i>	1 - 2	1,000	4	0,374
	1 - 3	1,581	4	0,189
	1 - 4	0,000	4	1,000
	2 - 3	0,866	4	0,435
	2 - 4	0,632	4	0,561
	3 - 4	1,250	4	0,279

1 = Control, 2 = Nanopartículas de óxido cobre al 0,6%, 3 = Nanopartículas de óxido de cobre al 0.8%, 4 = Nanopartículas de óxido de cobre al 1%

Anexo 13. Parámetros físico y químicos del agua de mar donde se realizo el cultivo

Parámetros	Profundidad (m)	Tiempo (días)				
		0	15	30	45	60
Temperatura (C°)	4	21,45	21,85	21,3	22,79	21,21
	6	18,56	18,96	20,4	19,19	18,10
	9	18,21	17,77	19,6	18,71	17,30
Oxigeno (mg/l)	4	2,54	2,71	3,04	3,51	2,65
	6	2,51	2,66	2,56	2,75	2,56
	9	2,45	2,57	2,52	2,66	2,50
Salinidad (g/l)	4	35	35	35	35	35
	6	35	35	35	35	35
	9	35	35	35	35	35
PH	4	7,9	7,8	7,8	7,9	7,8
	6	7,8	7,8	7,8	7,9	7,9
	9	7,8	7,8	7,8	7,9	7,9

CERTIFICADO DE ORIGINALIDAD

Dr. David Edilberto Saldarriaga Yacila, profesor principal adscrito a la Facultad de Ingeniería Pesquera y Ciencias del Mar y en la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Tumbes.

CERTIFICA:

Que, la tesis titulada: **Evaluación de la incrustación de *biofouling* en redes de nylon impregnados con nanopartículas de óxido de cobre en el cultivo de *Argopecten purpuratus***, presentado por la estudiante del Programa de Maestría en Acuicultura y Gestión Ambiental, **Violeta Soledad Moreno Zúñiga**, ha sido asesorado y revisado por mi persona, por tanto, queda autorizado para su presentación en la Escuela de Posgrado para su revisión y aprobación correspondiente.

Tumbes, 15 de noviembre de 2025.

Dr. DAVID EDILBERTO SALDARRIAGA YACILA
Asesor de la Tesis
Código ORCID N° 0000-0002-4919-8607