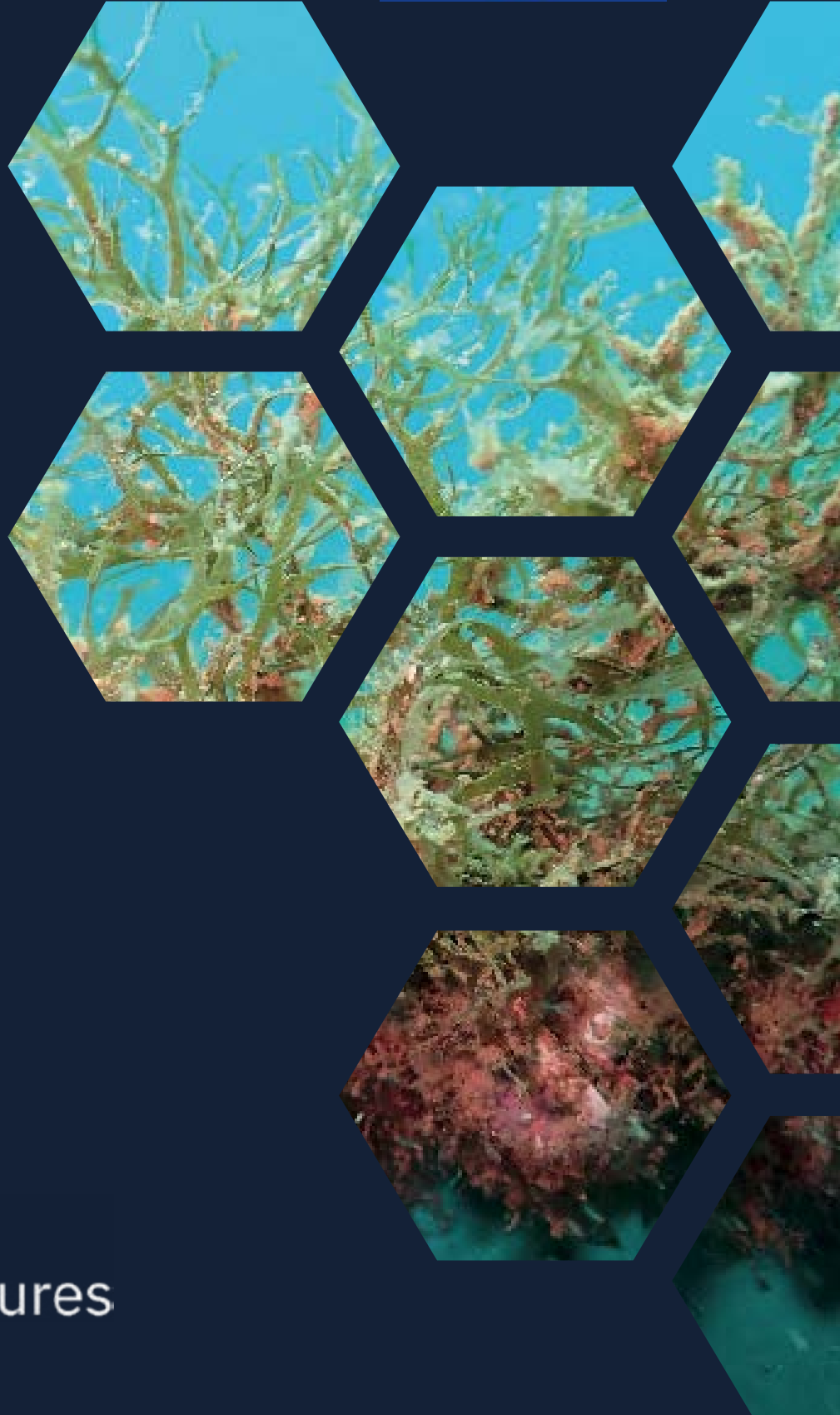


Reviviendo los Océanos

IMPACT REPORT
2022/2024



Ocean
Ecostructures



Tabla de contenidos

4	Introducción
6	Impact highlights
8	Life-boosting Units (LBUs) con lupa
10	Metodología
12	Resultados

Introducción

Ocean Ecostructures es una compañía especializada en el desarrollo de soluciones tecnológicas para la regeneración de la vida marina, ayudando a compensar y neutralizar el impacto de las actividades humanas en el océano. La compañía ha desarrollado una solución multi tecnológica llamada Life Boosting Unit (LBU), un microarrecife biomimético de última generación, específicamente diseñado para ser instalado en estructuras marinas (versatilidad).

Sus características principales son:

- Micro: dimensiones reducidas para su fácil manipulación.
- Biomimético: replica el funcionamiento de los arrecifes naturales, combinando 1) sistema de atracción de microfauna; 2) cobertura de sustrato natural (CaCO₃); y 3) multicapa para generar espacios de cría y protección de alevines.
- Versátil: móvil, no afecta a las operaciones.

Acompañado de un sistema de monitorización, en base a robótica (ROV) y digitalizado, que mide el impacto real de las unidades de forma individualizada, recogiendo datos clave como riqueza, biomasa generada, O₂ liberado y CO₂ fijado. Esto permite proveer a los clientes con un Servicio de Reporting mediante la plataforma digital (iOceans), incluyendo informes anuales de impacto, uso de una APP de seguimiento exclusiva, y materiales de

comunicación. El resultado es una solución que regenera los entornos marinos, y proporciona beneficios socioeconómicos reales y directos a los clientes.

Objetivo

El objetivo global del estudio consiste en realizar el seguimiento de la colonización y posterior sucesión ecológica en las estructuras de regeneración "Life Boosting Units" (LBU) instaladas en Club Nàutic Estartit en mayo de 2022. A lo largo del período de seguimiento se evaluará el éxito de reclutamiento de especies, así como las diferencias entre las comunidades observadas, en los LBU según la zona de instalación. En este informe presentamos los resultados obtenidos en los monitoreos realizados hasta septiembre de 2024 para analizar el avance de las estructuras desde su instalación. Las estructuras estudiadas (ocho en total) se instalaron en las 3 localizaciones del puerto representadas en la [Figura 1](#) y la [Tabla 1](#).

Los resultados finales del seguimiento servirán para caracterizar las comunidades biológicas de cada zona, lo cual puede ser clave para desarrollar una estrategia de regeneración específica según los organismos presentes y las condiciones en cada punto. Además, los datos recogidos serán útiles para evaluar el éxito del proyecto e identificar localidades con mayor potencial para el crecimiento de especies beneficiosas dentro del puerto.



Figura 1 – Localización de las 3 zonas dónde se encuentran instaladas las estructuras LBU en el puerto Club Nàutic Estartit.

Tabla 1 – Número de unidades instaladas en cada zona

Zona	Número LBU	Fecha de instalación
1 – Moll Central	2	Mayo 2022
2 – Moll Garbí	2	Mayo 2022
3 – Bocana	4	Mayo 2022
TOTAL	8	

Impact highlights

Destacamos los siguientes datos de impacto en cuanto a Riqueza de especies, Biomasa y CO₂, donde es visible la evolución positiva de los LBU.

Riqueza

La riqueza de especies encontrada en los LBU es mayor que la hallada en las paredes del puerto (168 especies frente a 80). Este aumento supone un incremento del 110%.

Biomasa

Desde que se instalaron los LBU, se ha observado una acumulación de biomasa de alrededor de 225,4 kg, en comparación con 54,9 kg en las paredes del puerto, lo que supone que en los LBU se ha acumulado hasta 4 veces más biomasa que en la pared. Esto supone un incremento de más del 300%.

Para este cálculo se suman todas las LBU del puerto y se compara con la superficie equivalente de la pared.

Grupos de especies

Encontramos una gran variedad de grupos y especies que ayudan a conseguir un ecosistema naturalizado, ya que se cumplen gran parte de los roles ecológicos necesarios para que un ecosistema funcione correctamente. Además, se están empezando a ver más especies perennes (ej: *Ericaria sp*) marcando una mayor consolidación del ecosistema.

+ 88 especies

70%

↑300%

↑300%



Autóctonas

De las especies encontradas en las estructuras LBU, 116 son autóctonas del Mediterráneo, 44 son inciertas (solo se han identificado a nivel de género o no hay información suficiente en la comunidad científica), y 8 son alóctonas sin comportamiento invasor.

CO₂

El CO₂ fijado es proporcional a la cantidad de biomasa generada, por lo que su comportamiento es similar al analizarlo. Desde la instalación de las estructuras, se han acumulado 94,3 kg de CO₂ fijado en los LBU, frente a 21,7 kg en las paredes de control. Esto implica que los LBU han fijado 4 veces más CO₂ que la pared del puerto y un incremento superior al 300%.

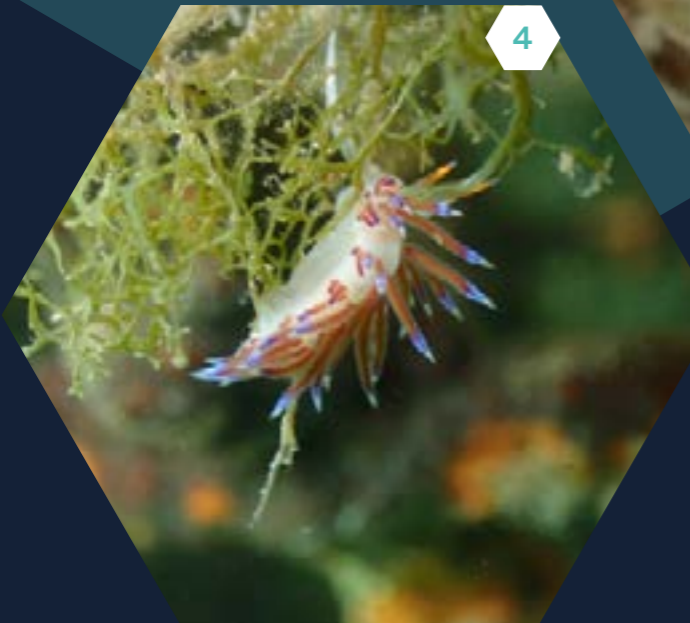
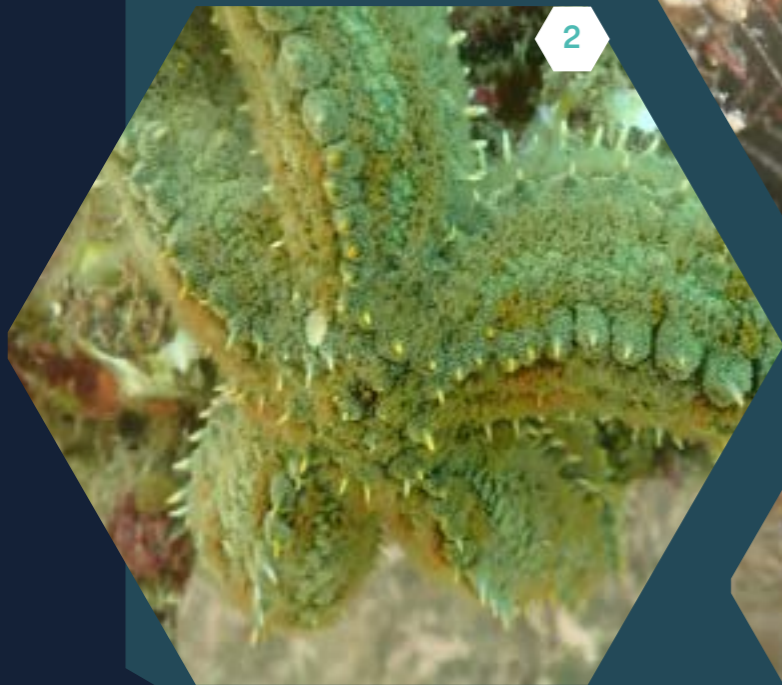
Calidad del agua

En los meses muestreados, se registró una temperatura media de 15,9°C, con máximas de 22,3°C y mínimas de 12°C. El oxígeno disuelto promedio es de 8,69 mg/L, la clorofila a es de 0,23 mg/m³ y la turbidez del agua es de 1429,70 NTU en promedio. Estos datos permiten realizar análisis que relacionan el comportamiento biológico con las condiciones ambientales.

Life-boosting Units (LBUs) con lupa

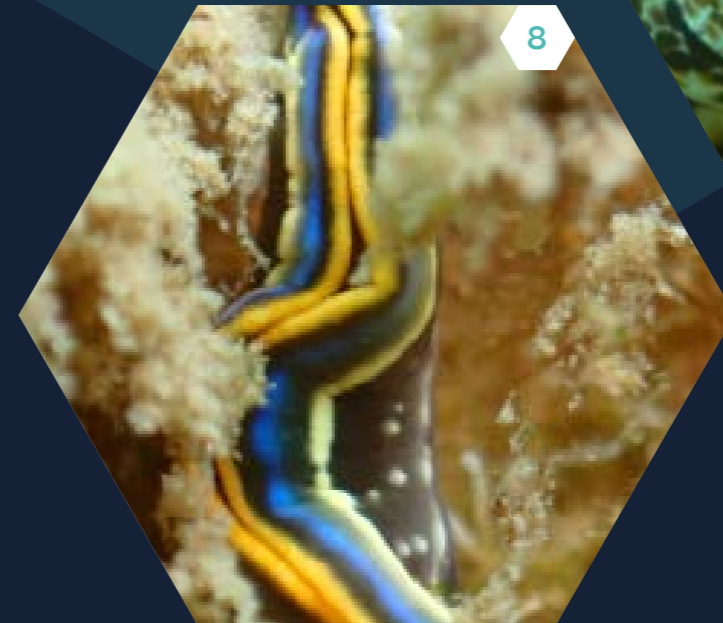
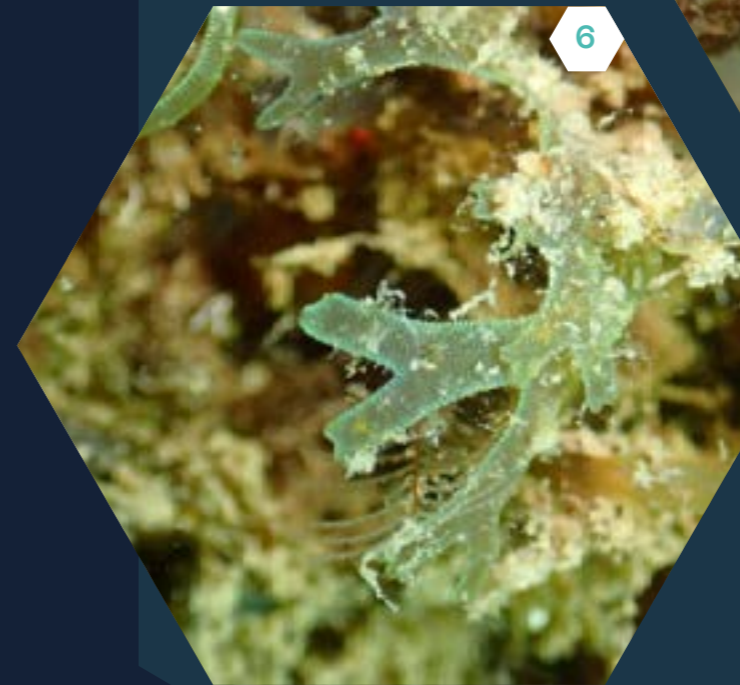
Imágenes

- 1 - *Aglaophenia* sp
- 2 - *Marthasterias glacialis*
- 3 - *Pagurus anachoretus*
- 4 - *Cratena peregrina*



Imágenes

- 5 - *Eudendrium racemosum*
- 6 - *Dictyota cyanoloma*
- 7 - *Parablennius gattorugine*
- 8 - *Thuridilla hopei*



Metodología

En el presente informe se hace un análisis de los datos de riqueza, biomasa y CO2 fijado por cada LBU y zona. El Anexo I muestra el detalle de la metodología utilizada para cada tipo de muestra.

Análisis de Riqueza de Especies

El análisis de riqueza ha sido realizado con buzos y con Vehículo Operado Remotamente (ROV, por sus siglas en inglés) FIFISH. Esto se debe al plan de evolución de las técnicas de muestreo que estamos llevando a cabo. Debido a que en un futuro los muestreos serán realizados principalmente con ROV, estamos obteniendo datos mediante los dos métodos para contrastar. Las dos metodologías se van a llevar a cabo por un periodo de momento indefinido.

El inventario de las especies presentes en las LBU se ha realizado a partir del censo visual in situ de los buzos.

Análisis de Biomasa

El estudio de biomasa, se hace a través de placas instaladas en las LBU.

La metodología utilizada para el cálculo de biomasa ha sufrido un cambio explicado con detalle en el Anexo I. Desde los muestreos realizados a partir de noviembre las placas son extraídas para ser pesadas, pero después son devueltas al agua. De este modo el valor de biomasa se extrae a través de un factor de conversión en lugar de un rascado en el laboratorio.

A la hora de comunicar los datos de biomasa se ha producido un cambio en la metodología. Des del inicio del proyecto los datos de biomasa se han comunicado

en kg de peso seco, que es el peso de un organismo cuando se le extrae el agua. Aun y así, consideramos que el valor interesante a nivel comercial es la biomasa en peso húmedo, ya que los organismos que viven en las estructuras LBU están sumergidos y, por tanto, contienen agua. Se va a observar un aumento de los valores de biomasa si se compara este informe con los redactados a lo largo del año, pero el incremento se debe a este cambio.

Análisis del Dióxido de Carbono fijado

El análisis del dióxido de carbono fijado se obtiene a partir de los datos de biomasa obtenidos utilizando factores de conversión. En el Anexo I se detallan los valores utilizados y las referencias bibliográficas para la obtención de estos resultados.

Procedencia de los datos

En el presente informe, los datos presentados relativos a la riqueza, biomasa y carbono fijado recogidos exhiben una divergencia temporal significativa entre sí en los primeros muestreos. Este fenómeno se atribuye al hecho de que la metodología de recopilación de datos ha cambiado con el tiempo a la vez que se ha ido consolidando. Con el tiempo se han ido añadiendo componentes para una mejora de la rigurosidad científica y una mejora de la interpretación de la evolución de las estructuras. Por ello se muestran los datos de riqueza de especies des de marzo del 2023 hasta septiembre del 2024, y los datos de biomasa y fijación de CO2 se recogen des de octubre del 2022 hasta septiembre del 2024.



Recopilación de datos

Seguimiento de las LBUs para obtener datos de riqueza de especies, cobertura, biomasa y CO2 relacionados con las LBUs y las paredes control.



Extracción de conclusiones

Contraste de los resultados obtenidos para obtener conclusiones sobre el impacto de las LBUs y su papel en la generación de ecosistemas.



Tratamiento y análisis

Análisis de los datos que permiten evaluar la evolución de las LBUs con respecto a las paredes control del puerto.



Comunicación

Compartir los resultados y conclusiones a través de la plataforma iOceans, donde se pueden visualizar los datos y acceder a los informes.

Resultados

Las comunidades crecidas en los LBU muestran un incremento en cuanto a biomasa y recubrimiento (Imágenes 9 y 10), aumentando también la complejidad de los ensamblajes ecológicos establecidos. De esta forma, las unidades han quedado completamente colonizadas por una gran variedad de organismos, lo que supone un éxito en términos de eficiencia de la tecnología LBU. Las especies más presentes son el briozoo *Schizoporella errata*, el nudibranquio *Cratena peregrina*, los hidrozoos *Eudendrium racemosum* y *Aglaophenia*, y algas rojas del orden de las *Ceramiales* así como la especie *Padina pavonica* dentro de las algas pardas.



Imágenes

- 9 – LBU impresión 3D de la Zona 3
- 10 – LBU CaCO3 de la Zona 4



Riqueza de especies

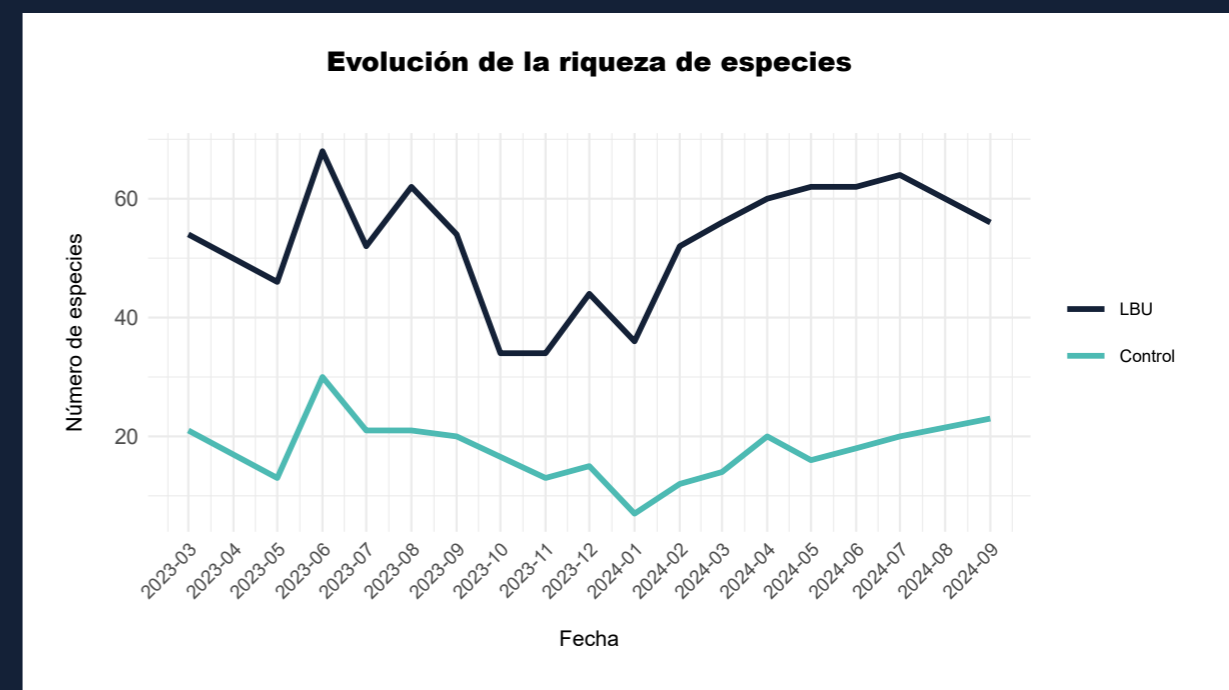
En la Figura 2 se muestra la evolución de la riqueza de especies desde la instalación de los LBU, así como su comparación con la pared de control. Durante los primeros meses posteriores a su instalación, se observa una fluctuación en este parámetro, con un descenso a partir de agosto de 2023 y valores mínimos entre octubre y noviembre del mismo año. La disminución de la biodiversidad a partir de esa fecha se considera un fenómeno natural y positivo, ya que indica que las unidades instaladas están siguiendo el ciclo natural típico de un ecosistema marino mediterráneo. Estos ciclos se caracterizan por un descenso en la biodiversidad durante el otoño e invierno debido a la limitada disponibilidad de recursos, como la luz solar, que restringe el crecimiento de muchas especies.

Además, la fluctuación global observada también evidencia positivamente la naturalización de las estructuras, ya que se identifican especies temporalmente dominantes cuya proporción puede variar según la estación del año, permitiendo mayor o menor espacio para otras especies.

En lo que va de 2024, la riqueza tiende a aumentar, alcanzando niveles relativamente estables con un máximo de 64 especies en julio de 2024. Se detectan oscilaciones similares en la pared de control, aunque los niveles de riqueza son considerablemente más bajos (20 especies) en comparación con los LBU.

Al analizar en detalle cada una de las zonas (Figura 3), se observa un mayor número de

Figura 2 – Evolución de la riqueza general en los LBU respecto a la pared del puerto, utilizada como control para comparar la evolución de las LBU.



Resultados

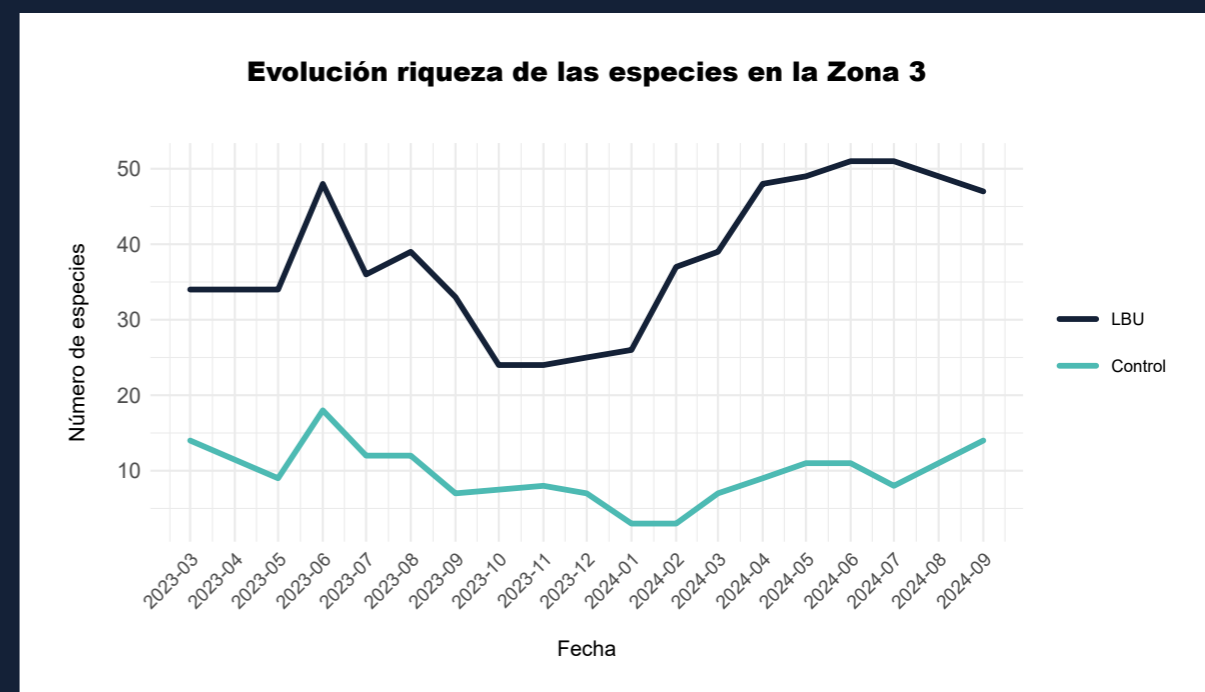
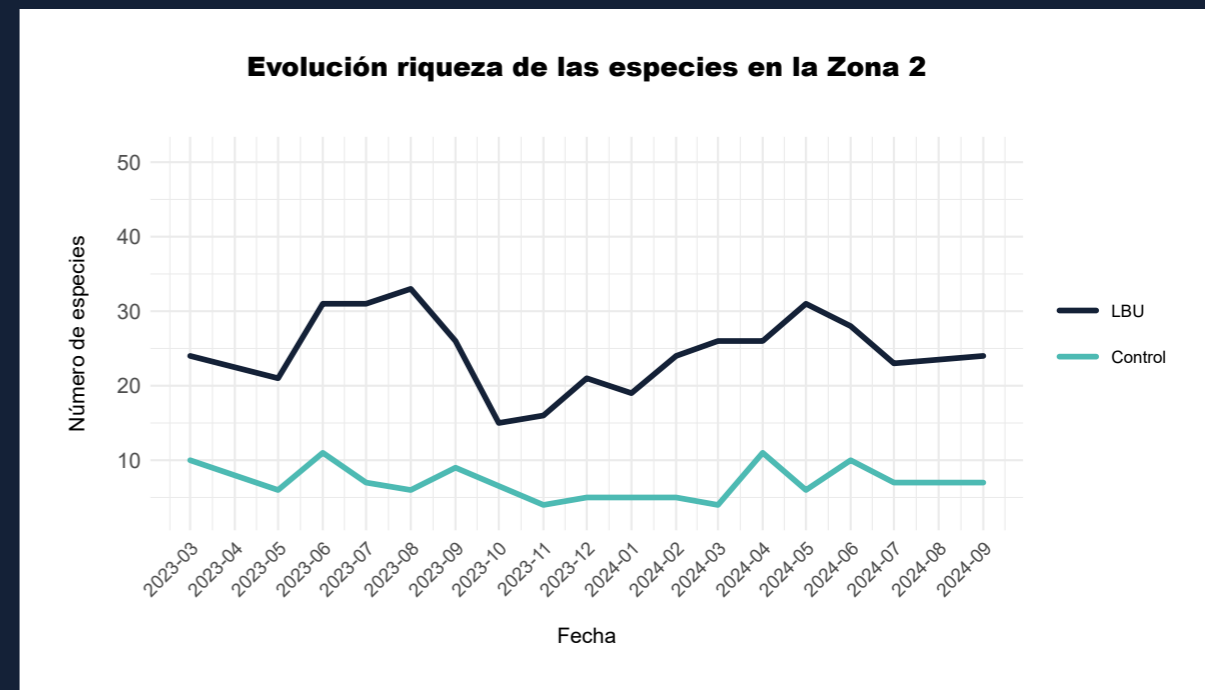
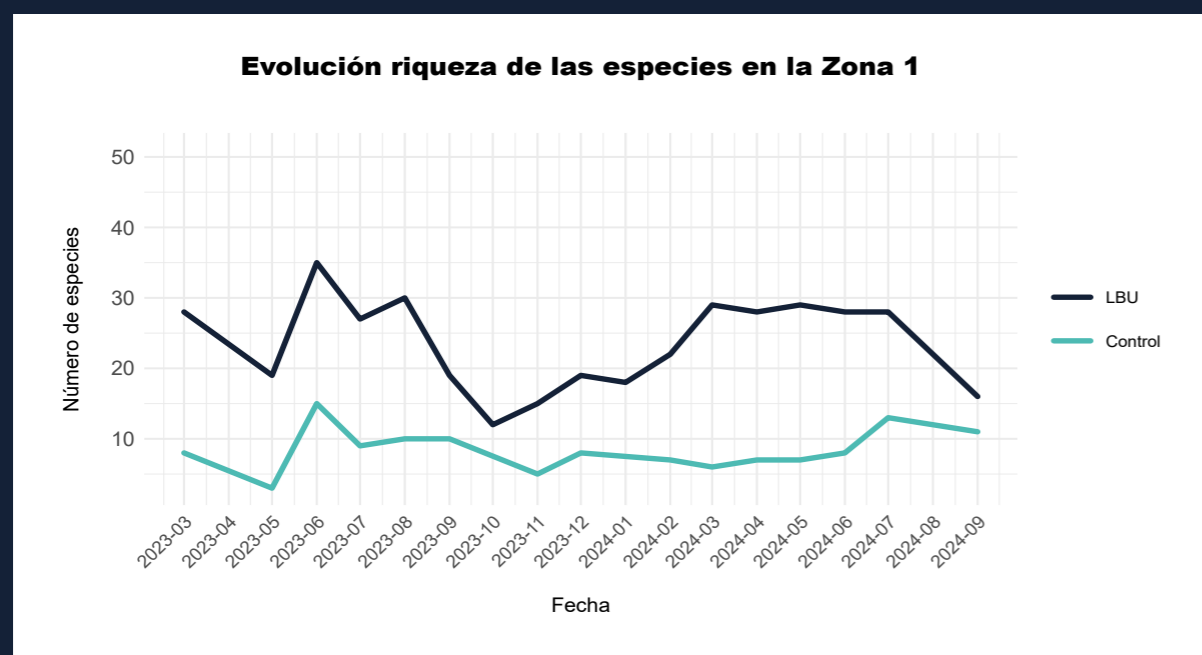
especies en los LBU que en las paredes de control. Esto confirma el buen funcionamiento de las unidades LBU, ya que cada unidad contribuye positivamente a la riqueza del puerto. La Zona 3 es la que presenta el mayor número de especies por monitoreo, con una media de 37 especies, un máximo de 52 en junio de 2024 y un mínimo de 24 en enero y febrero del mismo año. Esto contrasta con los resultados en la pared de control, donde la media fue de 9 especies y los valores máximo y mínimo fueron de 18 y 3 especies para junio de 2023 y enero de 2024, respectivamente. En cambio, la Zona 1 y la Zona 2 muestran valores inferiores en cuanto a la media de la riqueza, con 24 y 25 especies, respectivamente. A pesar de ello, todas las zonas muestran una evolución relativamente regular y acorde con la estacionalidad en cuanto al número de especies. Ejemplos claros son las puestas

de huevos de sepias o la alta presencia de nudibránquios alimentándose en las estructuras.

En general, se ha encontrado un total de 168 especies asociadas a las unidades LBU, frente a 80 encontradas en las paredes control. Al final de este apartado, en la [Tabla 2](#), se encuentra una lista de las especies encontradas en los LBU hasta el último monitoreo.

En líneas generales, se destaca que las unidades presentes en la Zona 3 (Bocana) son las que marcan la evolución global de la riqueza en el puerto y presentan valores mucho mayores en comparación con el resto de las zonas. Así, el máximo identificado en la Zona 3 excede en gran medida a los de las demás zonas (52 en la Zona 3, 35 en la Zona 1 y 33 en la Zona 2). Este comportamiento podría deberse, fundamentalmente, a su ubicación en el

Figura 3 – Evolución de la riqueza general por zonas del Club Nàutic Estartit. Número de especies presentes en los LBU y en las paredes control.



puerto. El hecho de situarse en la bocana facilita la llegada de nutrientes, larvas y huevos y el agua está más oxigenada.

Por otro lado, aunque las Zonas 1 (Inauguración) y 2 (Garbí) presentan un patrón de oscilaciones similar al de la Zona 3, los resultados son menores en todos los meses. Esto sugiere que, por un lado, las

Zonas 1 y 2 deben tener características similares, y por otro lado, el hecho de estar más recluidas dentro del puerto las limita en biodiversidad, posiblemente debido a una menor frecuencia en el movimiento de corrientes que transporte nutrientes y larvas, o un deterioro de las características físicoquímicas en comparación con la Zona 3.

Resultados

Especies en función de su estatus

El estatus de una especie se clasifica en tres categorías posibles: especie autóctona, alóctona o de estatus desconocido. Las especies autóctonas son aquellas presentes en el Mediterráneo, ya sea endémicas o con un origen evolutivo en este mar. Las especies alóctonas son aquellas que tienen su origen fuera del Mediterráneo y han llegado a él por diversos mecanismos. Finalmente, las especies de estatus incierto son aquellas que no han sido estudiadas suficientemente para determinar su clasificación o que no se han podido clasificar hasta el nivel de especie.

En el Club Náutico Estartit, el número de especies autóctonas es significativamente mayor en comparación con el de especies

alóctonas y de estatus desconocido (Figura 4). Respecto al número de especies alóctonas, la tendencia en los últimos siete meses ha sido un aumento, mientras que el número de especies de estatus incierto se mantiene relativamente estable. En total, se han identificado 167 especies, de las cuales el 68% son autóctonas, el 26% de estatus incierto y solo el 5% alóctonas.

En la Tabla 3 se puede observar el detalle de aparición de cada una de las especies alóctonas identificadas.

Figura 4 – Especies en función de su estatus. Número de especies de cada clasificación para los muestreos de marzo de 2023 a julio de 2024

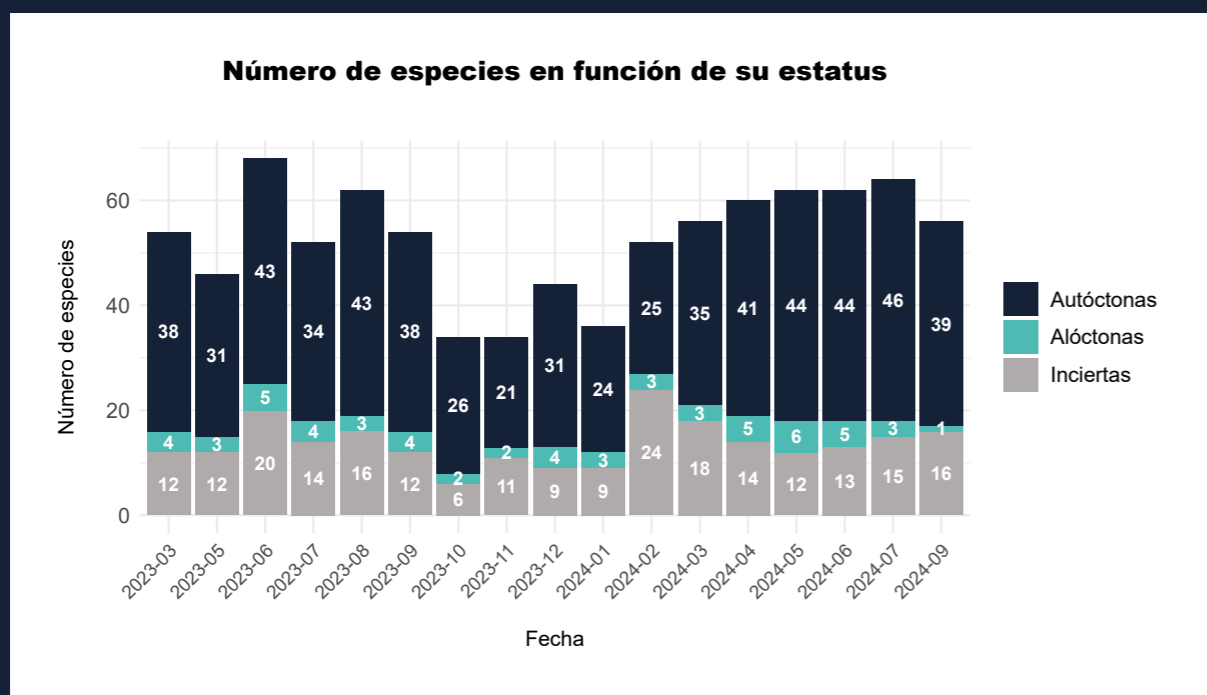


Tabla 2 – Listado de las especies encontradas en los LBU. Las especies alóctonas quedan representadas con un asterisco (*) al lado de su nombre científico, mientras que las especies sin información se representan con un (°).

Algas pardas	<i>Colpomenia sp</i> [°]	Crustáceos	<i>Palaemon sp</i> [°]
	<i>Dictyota sp</i> [°]		<i>Paguridae</i>
	<i>Ericaria brachycarpa</i> [°]		<i>Pagurus anachoretus</i>
	<i>Ericaria sp</i> [°]		<i>Pagurus sp</i>
	<i>Chrysonephos lewisii</i> *		<i>Palaemon elegans</i>
	<i>Dictyota cyanoloma</i> *	Equinodermos	<i>Coscinasterias tenuispina</i>
	<i>Cladostephus spongiosus</i>		<i>Echinaster sepositus</i>
	<i>Colpomenia sinuosa</i>		<i>Marthasterias glacialis</i>
	<i>Dictyota dichotoma</i>		<i>Holothuria sp</i> [°]
	<i>Dictyota dichotoma var. intricata</i>	Esponjas	<i>Porifera</i> [°]
	<i>Dictyota fasciola</i>		<i>Crambe crambe</i>
	<i>Dictyota implexa</i>		<i>Leucosolenia sp</i>
	<i>Dictyota spiralis</i>		<i>Sycon raphanus</i>
	<i>Ericaria selaginoides</i>		<i>Sycon sp</i>
	<i>Halopteris filicina</i>	Hidrozoos	<i>Hydrozoa</i> [°]
<i>Halopteris sp</i>	<i>Bougainvillia muscus</i>		
<i>Hydroclathrus clathratus</i>	<i>Eudendrium racemosum</i>		
<i>Padina pavonica</i>	<i>Pennaria sp</i>		
<i>Taonia atomaria</i>	<i>Turritopsis sp</i>		
<i>Zanardinia typus</i>	<i>Anomia ephippium</i>		
<i>Ceramiales</i> [°]	<i>Caloria quatrefagesi</i>		
<i>Dasya sp</i> [°]	<i>Cerithium vulgatum</i>		
<i>Asparagopsis armata</i> *	<i>Columbella rustica</i>		
<i>Bonnemaisonia asparagoides</i>	<i>Cratena peregrina</i>		
<i>Ellisolandia elongata</i>	Moluscos	<i>Edmundsella pedata</i>	
<i>Lithophyllum sp</i>		<i>Flabellina affinis</i>	
<i>Mesophyllum sp</i>		<i>Hexaplex trunculus</i>	
<i>Plocamium cartilagineum</i>		<i>Mimachlamys varia</i>	
<i>Sphaerococcus coronopifolius</i>		<i>Mytilus galloprovincialis</i>	
<i>Chlorophyta</i> [°]		<i>Ostrea edulis</i>	
<i>Cladophora sp</i> [°]		<i>Stramonita haemastoma</i>	
<i>Phaeophyceae</i> [°]		<i>Trinchesia ocellata</i>	
<i>Acetabularia acetabulum</i>		<i>Anomia sp</i> [°]	
<i>Bryopsis sp</i>		<i>Bivalvia</i> [°]	
<i>Cladophora vagabunda</i>	<i>Cerithium sp</i> [°]		
<i>Codium bursa</i>	<i>Gastropoda</i> [°]		

Resultados

Algas verdes	<i>Codium sp</i>	Moluscos	<i>Mollusca</i> ^o
	<i>Flabellia petiolata</i>		<i>Mytilus sp</i> ^o
	<i>Sphacelaria cirrosa</i>		<i>Nudibranchia</i> ^o
	<i>Sphacelaria sp</i>		<i>Ostreidae</i> ^o
	<i>Sphacelariales</i>		<i>Magallana gigas</i> *
	<i>Valonia macrophysa</i>		<i>Blenniidae</i> ^o
	<i>Valonia sp</i>		<i>Engraulidae</i> ^o
Anélidos y gusanos	<i>Polychaeta</i> ^o	Peces	<i>Gobiidae</i> ^o
	<i>Polycirrus sp</i> ^o		<i>Centrolabrus melanocercus</i>
	<i>Spirorbis sp</i> ^o		<i>Chelon labrosus</i>
	<i>Bonellia viridis</i>		<i>Chromis chromis</i>
	<i>Filograna implexa</i>		<i>Coris julis</i>
	<i>Filograna sp</i>		<i>Dicentrarchus labrax</i>
	<i>Sabella discifera</i>		<i>Diplodus annularis</i>
	<i>Sabella spallanzanii</i>		<i>Diplodus sargus</i>
	<i>Sabellida</i>		<i>Diplodus sp</i>
	<i>Serpula sp</i>		<i>Diplodus vulgaris</i>
	<i>Spirobranchus triqueter</i>		<i>Gobius cruentatus</i>
	<i>Ascidia</i> ^o		<i>Gobius incognitus</i>
	<i>Botrylloides sp</i> ^o		<i>Gobius sp</i>
<i>Botryllus sp</i> ^o	<i>Mullus surmuletus</i>		
<i>Ciona sp</i> ^o	<i>Oblada melanura</i>		
<i>Didemnum sp</i> ^o	<i>Parablennius gattorugine</i>		
<i>Diplosoma sp</i> ^o	<i>Parablennius pilicornis</i>		
<i>Microcosmus sp</i> ^o	<i>Parablennius rouxi</i>		
<i>Pseudodistoma obscurum</i> ^o	<i>Parablennius sanguinolentus</i>		
<i>Ciona intestinalis</i> *	<i>Parablennius sp</i>		
<i>Clavelina lepadiformis</i> *	<i>Parablennius tentacularis</i>		
<i>Styela plicata</i> *	<i>Parablennius zvonimiri</i>		
<i>Botryllus schlosseri</i>	<i>Sarpa salpa</i>		
<i>Ciona robusta</i>	<i>Scorpaena maderensis</i>		
<i>Corella sp</i>	<i>Scorpaena porcus</i>		
<i>Diplosoma spongiforme</i>	<i>Scorpaena sp</i>		
Briozoos	<i>Bryozoa</i> ^o	<i>Seriola dumerili</i>	
	<i>Schizoporella errata</i> ^o	<i>Serranus cabrilla</i>	
	<i>Watersipora sp</i> ^o	<i>Serranus scriba</i>	
	<i>Celleporaria sp</i> *	<i>Sparus aurata</i>	

Briozoos	<i>Aglaophenia sp</i>	Peces	<i>Symphodus ocellatus</i>
	<i>Bugula neritina</i>		<i>Symphodus roissali</i>
	<i>Crisia sp</i>		<i>Symphodus rostratus</i>
	<i>Savignyella lafontii</i>		<i>Symphodus sp</i>
	<i>Schizobrachiella sanguinea</i>		<i>Symphodus tinca</i>
	<i>Schizobrachiella sp</i>		<i>Thalassoma pavo</i>
	<i>Tubulipora sp</i>		<i>Tripterygion delaisi</i>
Cnidario	<i>Sertularella sp</i> ^o		<i>Tripterygion melanurum</i>
Crustáceos	<i>Amphibalanus amphitrite</i> ^o	Otros	<i>Tripterygion sp</i>
	<i>Balanidae</i> ^o		<i>Puesta (huevos)</i>
	<i>Decapoda</i> ^o		<i>Indeterminado</i>

Tabla 3 – Inventario de especies alóctonas
En la siguiente tabla se recoge la información de qué especies alóctonas que se encontraron en cada zona estudiada

Zona	Especies alóctonas	Estación
1 – Moll Central	<i>Celleporaria sp.</i>	Primavera, verano, otoño
	<i>Chrysonephos lewisii</i>	Primavera
	<i>Clavelina lepadiformis</i>	Invierno, primavera, verano, otoño
	<i>Dictyota cyanoloma</i>	Primavera, verano
	<i>Magallana gigas</i>	Invierno
	<i>Styela plicata</i>	Invierno, primavera, verano, otoño
	2 – Garbí	<i>Celleporaria sp.</i>
<i>Ciona interstitialis</i>		Verano, otoño
<i>Clavelina lepadiformis</i>		Invierno, primavera, verano, otoño
<i>Magallana gigas</i>		Invierno
3 – Bocana	<i>Styela plicata</i>	Invierno, primavera, verano, otoño
	<i>Asparagopsis armata</i>	Primavera
	<i>Celleporaria sp.</i>	Invierno, primavera, verano, otoño
	<i>Chrysonephos lewisii</i>	Primavera
	<i>Clavelina lepadiformis</i>	Invierno, primavera, verano, otoño
	<i>Dictyota cyanoloma</i>	Primavera, verano
<i>Magallana gigas</i>	Invierno	
<i>Rugulopteryx okamurae</i>	Primavera	

Resultados

Biomasa

Una vez identificadas las especies presentes en los LBU, es crucial conocer su biomasa para entender el espacio que ocupan y su papel en el ecosistema. A nivel global, se ha observado una cantidad de biomasa significativamente mayor en los LBU en comparación con la pared control. Esta diferencia está relacionada con la variación en la riqueza de especies, ya que un mayor número de especies en los LBU debería correlacionarse con los valores de biomasa medidos. Aunque esta correlación suele ser cierta en la mayoría de los casos, puede no ser completamente determinante, ya que cada especie contribuye de manera diferente a la biomasa. Por ejemplo, algunas especies pequeñas aportan menos biomasa, mientras que otras, como los moluscos o cirrípedos con cobertura de carbonato de calcio, pueden tener una mayor representación en términos de biomasa. Además, las condiciones específicas de los LBU, en comparación con la pared del puerto, pueden favorecer una mayor proliferación y crecimiento en biomasa de estas especies.

La cantidad de biomasa es un indicador relevante para la salud del ecosistema. Cuanta más biomasa esté presente, mayor será la capacidad de crecimiento del ecosistema. Por ejemplo, un aumento en la biomasa de algas permitirá una mayor proporción de animales herbívoros que se alimenten de ellas, lo que a su vez incrementará la representación de animales carnívoros.

A lo largo de la evolución temporal de las unidades LBU (Figura 5), se observa una media de 68,76 kg de biomasa en peso

húmedo por muestreo, en comparación con 15,89 kg en la pared control. Esta biomasa alcanzó su mínimo en octubre de 2022 (4,24 kg), durante la transición entre finales del verano e inicio del otoño, y ha aumentado progresivamente hasta alcanzar su máximo en mayo de 2024 (97,65 kg). Este incremento de biomasa en primavera puede deberse a que las estructuras han estado sumergidas por más tiempo, permitiendo un crecimiento continuo debido al aumento en la concentración de nutrientes y la temperatura.

Analizando la biomasa total entre distintos grupos, se observa que, en promedio, 68,39 kg de biomasa asociada a los LBU corresponden a organismos bentónicos, mientras que 1,30 kg corresponden a peces. En comparación, la biomasa asociada a la pared control es de 15,52 kg para organismos bentónicos y 1,11 kg para peces.

Al examinar más detalladamente el comportamiento en cada una de las zonas (Figura 6), se observa que la Zona 1 presenta la mayor biomasa bentónica, con valores promedio de 9,25 kg frente a 1,91 kg en la pared control. Le sigue la Zona 3 con 8,79 kg en los LBU frente a 2,91 kg en la pared, y, por último, la Zona 2 con 7,93 kg en los LBU frente a 0,67 kg en la pared. En cuanto a la biomasa de peces, los resultados son menores pero relativamente similares entre zonas, con valores de 0,18 kg, 0,17 kg y 0,14 kg para las Zonas 2, 3 y 1, respectivamente, frente a 0,16 kg, 0,17 kg y 0,06 kg en sus respectivas paredes control.

Figura 5 – Biomasa total en las LBU y pared control
Biomasa presente en todos los LBU y las paredes control del puerto desde el primer muestreo en octubre 2022. Los valores de pared control corresponden a la superficie equivalente a los LBU.

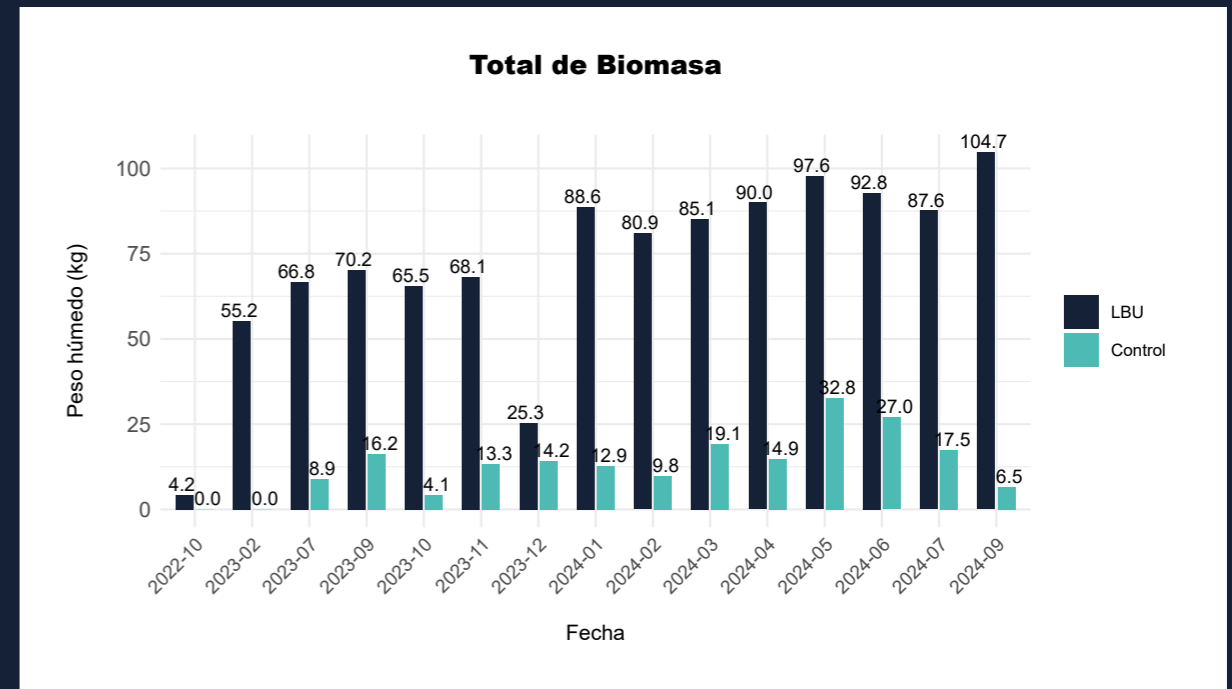
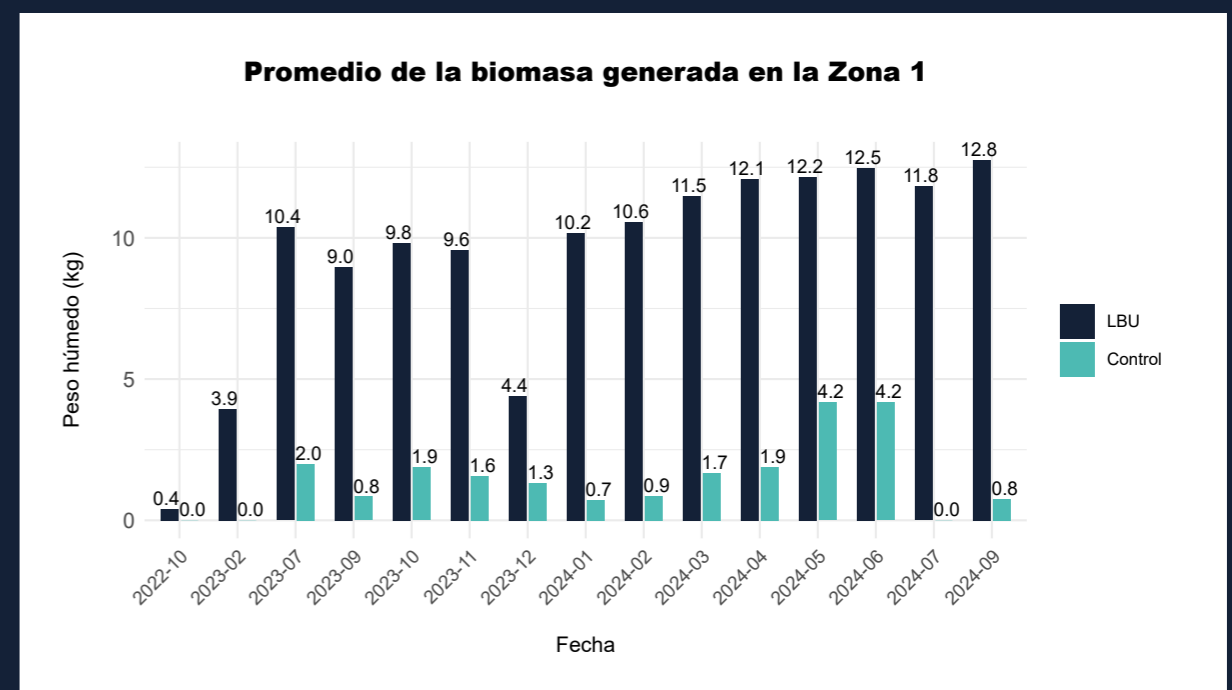
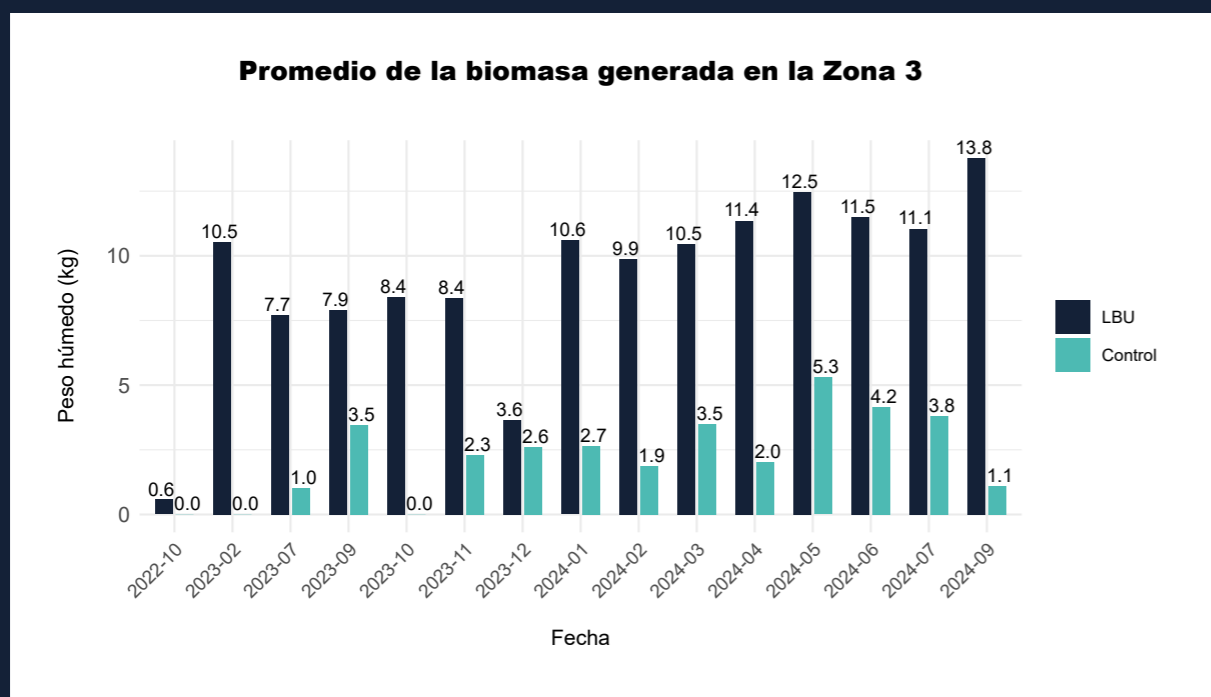
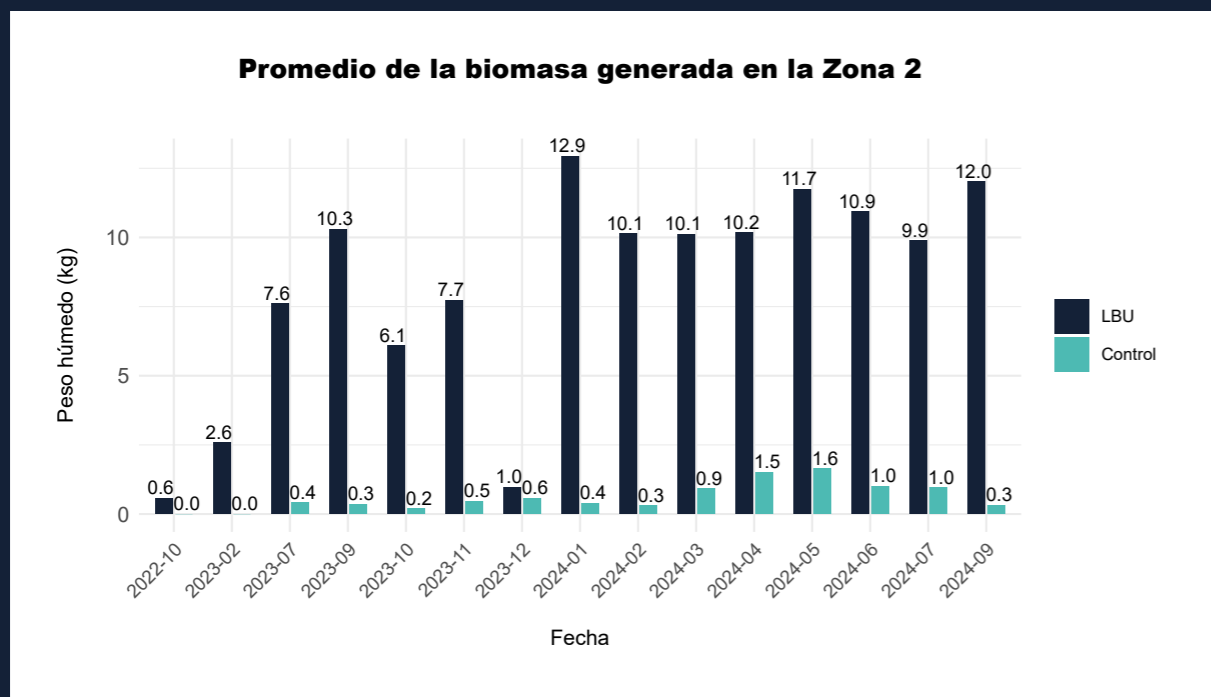


Figura 6 – Biomasa general en las LBU y pared control por zona
Biomasa representada en peso húmedo para cada zona. Se distingue la biomasa en las LBUs y la biomasa en las paredes del puerto, a forma de control. La biomasa de la pared equivale a la misma superficie de LBUs que hay en cada zona.



Resultados

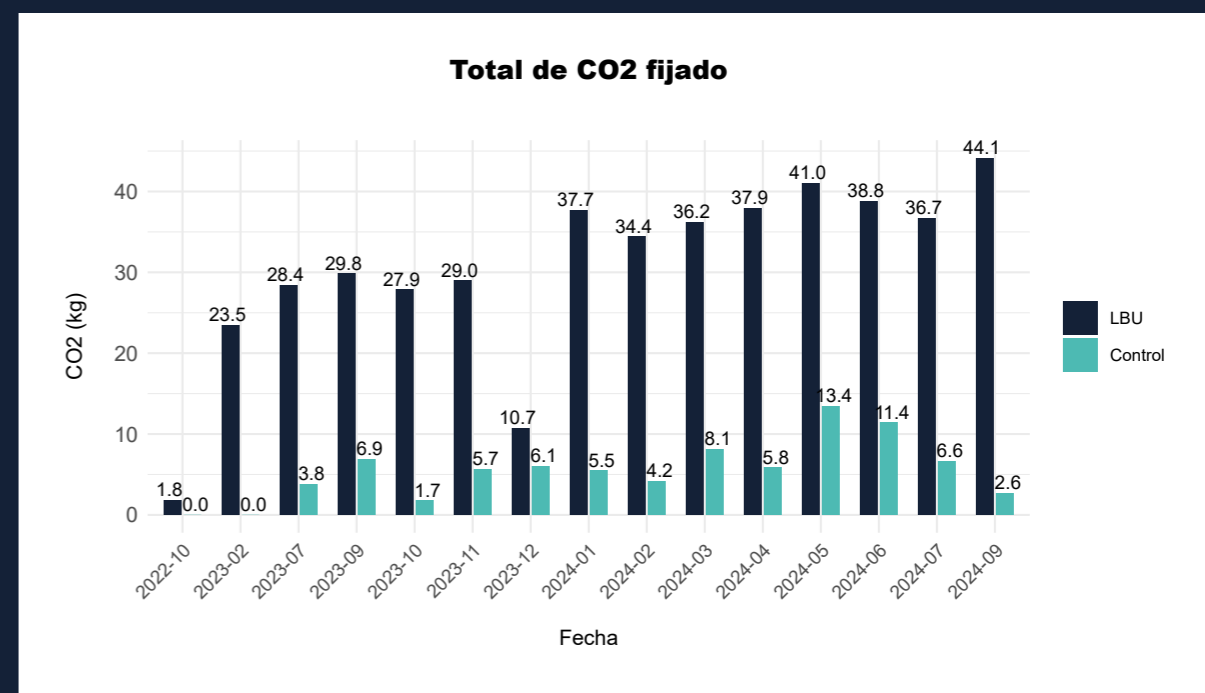


otros organismos a medida que se avanza en la red trófica. Esto ocurre porque todos los seres vivos están compuestos de materia orgánica, y el carbono es el elemento principal de su estructura. Por lo tanto, cuanto mayor sea la biomasa en un ecosistema, mayor será la cantidad de CO2 fijado. Este concepto es relevante porque, al fijarse el CO2, desaparece temporalmente de la atmósfera. Aunque es cierto que, al morir los organismos, el CO2 se reincorpora al medio y se libera a la atmósfera, mientras los organismos estén vivos, el CO2 permanecerá almacenado temporalmente en su cuerpo. Así, cuanto más grandes son estos organismos o cuanto más tiempo viven, más tiempo permanecerá el CO2 retenido.

es la biomasa, mayor es la cantidad de CO2 fijado. Por lo tanto, los ecosistemas generados por las estructuras LBU permiten una mayor fijación de CO2. Los resultados del total de CO2 fijado en las LBU y las paredes control del puerto, incluyendo todas las zonas, muestran que los organismos presentes en las unidades LBU han fijado un acumulado de 82,94 kg de CO2, con una media de 29,09 kg por monitoreo y valores máximo y mínimo de 41,01 kg y 1,81 kg para los meses de mayo de 2024 y octubre de 2022, respectivamente. Comparando estos resultados con los obtenidos en la pared control, se halla un acumulado de 21,68kg de CO2, con una media de 6,60 kg por monitoreo y valores máximos y mínimos de 13,44 kg y 1,75 kg de CO2 para el mes de mayo de 2024. Esto supone que los LBU han fijado, en promedio, casi 5 veces más CO2 en comparación con la pared control,

En la **Figura 7** se observa que la cantidad de CO2 fijado es proporcional a la cantidad de biomasa, de manera que cuanto mayor

Figura 7 - CO2 total fijado por las LBU y la pared
Los valores corresponden al CO2 total fijado de todos los LBU del puerto, y a la superficie de pared equivalente al número de estructuras totales.



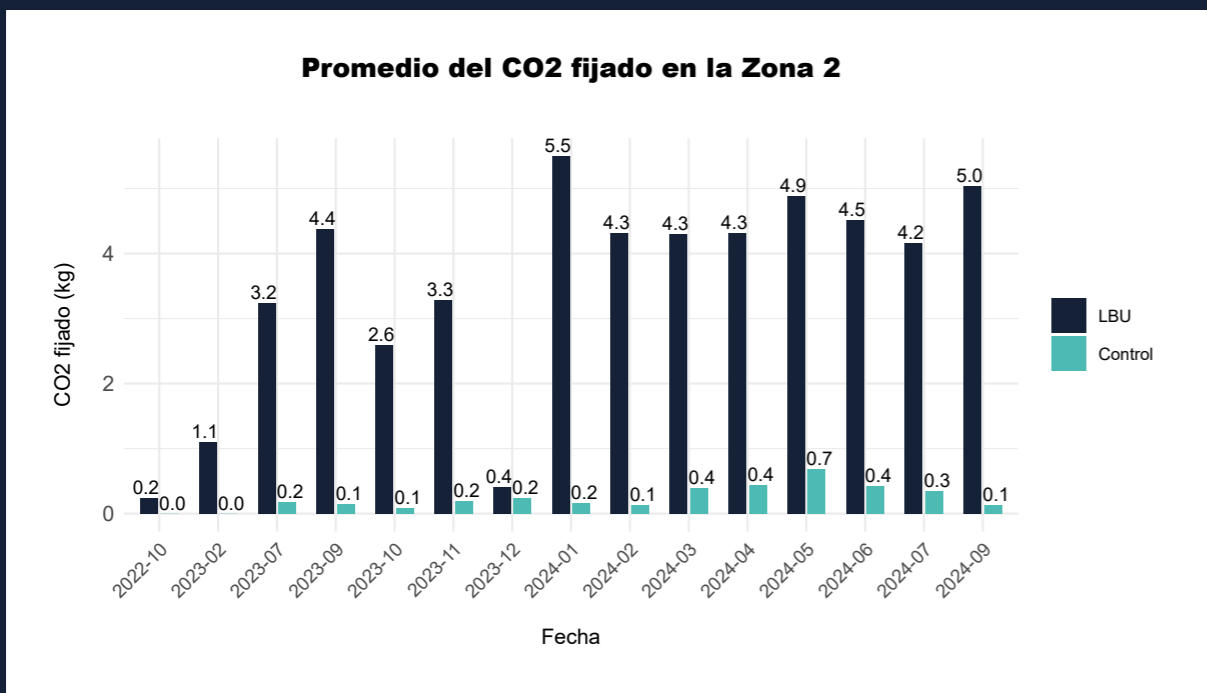
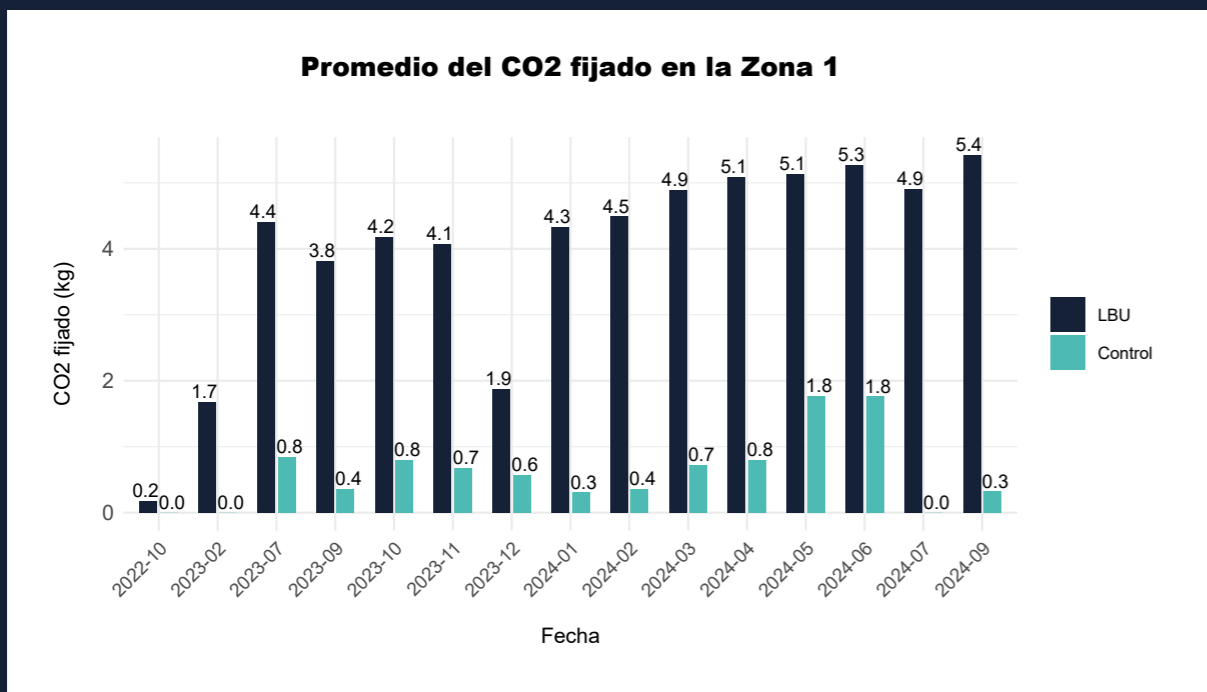
CO₂

El estudio del CO2 permite obtener información sobre la cantidad de CO2 fijado por los organismos presentes en las LBU y las paredes control (expresado en kg). La cantidad de biomasa presente

influye en la cantidad de CO2 que se fija en el ecosistema. El CO2 atmosférico solo puede ser fijado por organismos fotosintéticos, como las algas, pero se acumula en forma de materia orgánica en

Resultados

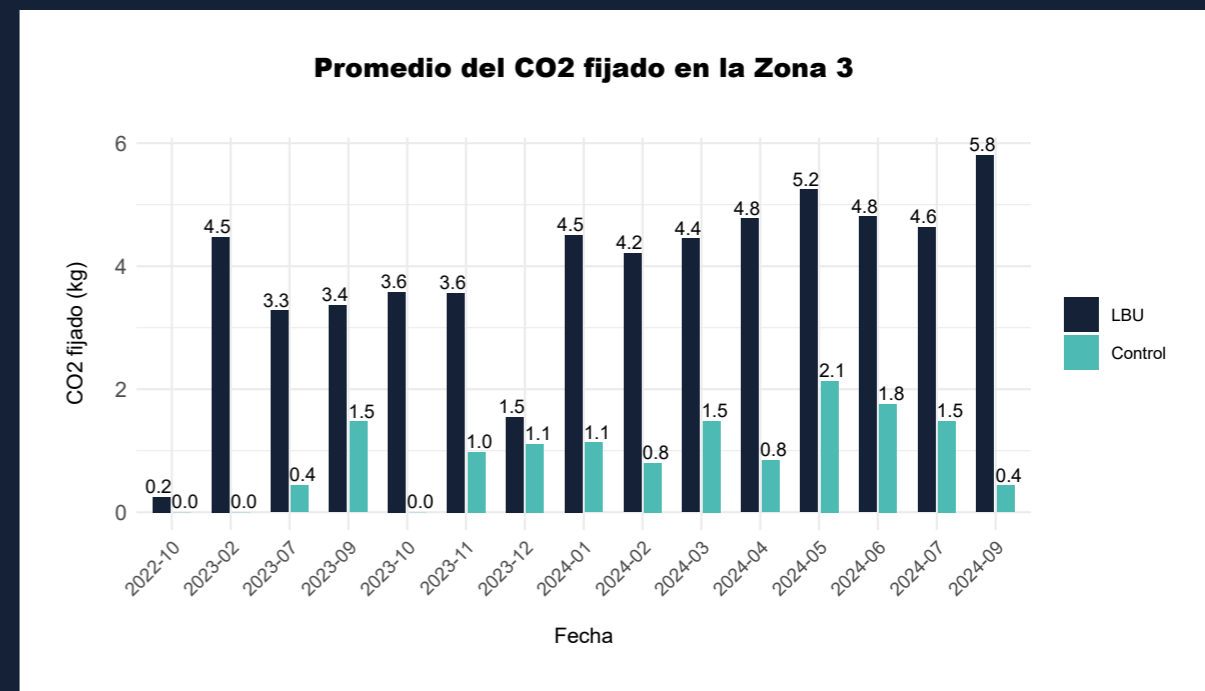
Figura 8 – CO2 fijado en las LBU y Pared por zona
El valor de la pared equivale a la superficie de LBUs que hay en cada zona.



y hasta 3 veces más en mayo de 2024.

Analizando en detalle el comportamiento de cada una de las zonas (Figura 8), se observa que la Zona 1 es la que fija la mayor cantidad de CO2, con 3,79 kg en los LBU.

Apenas por debajo se encuentra la Zona 3, con 3,74 kg de CO2, y, por último, la Zona 2 con 3,48 kg de CO2. En comparación, los controles muestran valores de 0,81 kg, 1,24 kg y 0,28 kg, respectivamente.



Calidad del agua

Los parámetros físico-químicos obtenidos a lo largo de los monitoreos proporcionan información sobre la calidad del agua y permiten establecer relaciones con la riqueza de especies y la biomasa en las unidades LBU.

La temperatura superficial del agua del Club Nàutic Estarrit (Figura 9) muestra una fluctuación estacional marcada, con un mínimo de 12 °C en enero de 2024 y un máximo de 22,3 °C en julio del mismo año, debido a la transición entre invierno y verano.

El oxígeno disuelto (mg/L) (Figura 10) presenta una fluctuación estacional, con valores mínimos de 6,70 mg/L en julio de 2024 y un pico de 10,11 mg/L en diciembre de 2023. Los valores más altos se miden en los meses fríos, mientras que los mínimos se registran en verano. Este comportamiento se debe probablemente a la gran actividad biológica y a la estratificación de la columna de agua, que

limita la oxigenación.

La turbidez del agua (Figura 11), monitoreada desde febrero de 2024 tras la implementación del sensor específico, muestra un máximo de 1669 NTU en marzo de 2024 y un mínimo de 1074 NTU en febrero del mismo año. Esta variación refleja una mayor presencia de partículas suspendidas, que puede ser atribuida a la actividad humana o a los cambios estacionales.

La concentración de clorofila (Figura 12) muestra picos en otoño y finales de invierno, mientras que alcanza mínimos a finales del verano. Durante los meses fríos, los vientos y tormentas rompen la estratificación del agua, lo que permite que los nutrientes asciendan a la superficie, favoreciendo grandes afloramientos algales. En los meses cálidos, el aumento de la temperatura provoca una nueva estratificación, limitando el acceso a nutrientes y reduciendo el crecimiento de algas debido al pastoreo.

Resultados

Figura 9 – Temperatura

Estudio realizado con los datos obtenidos en las 3 Zonas del puerto, haciendo una media de todas ellas para obtener la visión global del puerto.

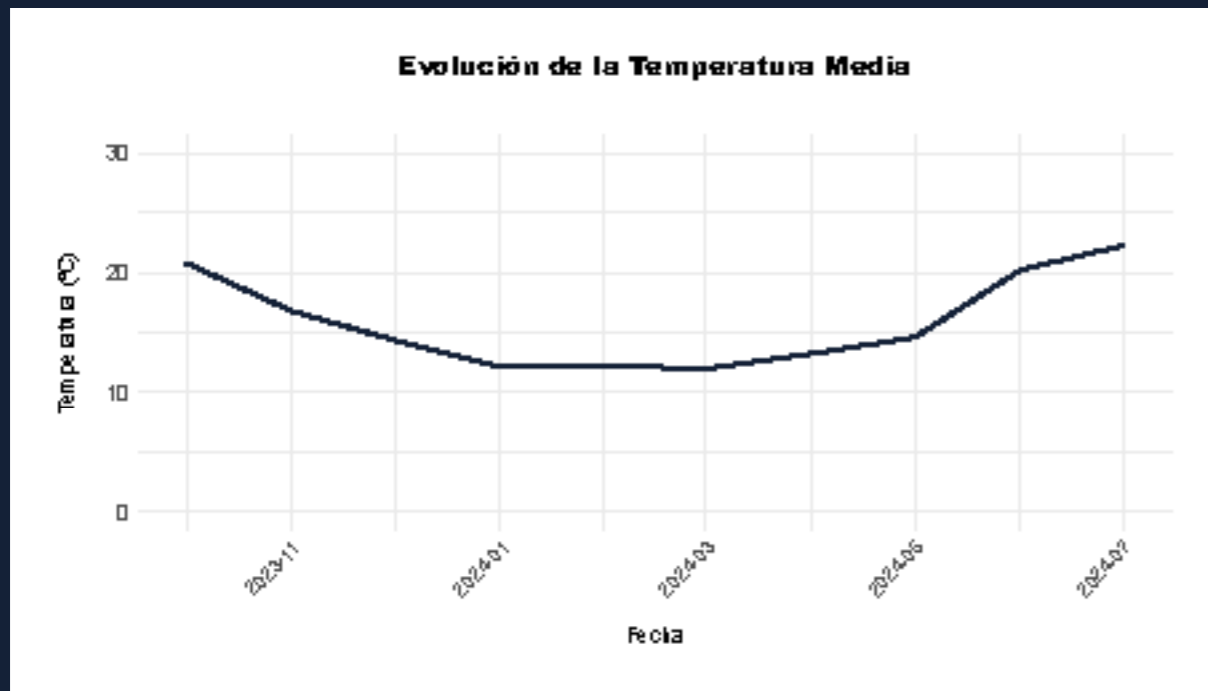


Figura 10 – Oxígeno disuelto

Estudio realizado con los datos obtenidos en las 3 Zonas del puerto, haciendo una media de todas ellas para obtener la visión global del puerto.



Figura 11 – Turbidez

Estudio realizado con los datos obtenidos en las 3 Zonas del puerto, haciendo una media de todas ellas para obtener la visión global del puerto.



Figura 12 – Clorofila a

Evolución temporal de la clorofila del agua superficial. Datos obtenidos de satélites, globales para todo el puerto.



Resultados

Proyecto SEAREG

El proyecto SEAREG tiene como objetivo la re-implantación de algunas especies clave en ecosistemas degradados. Para ello, se usan las unidades LBU a forma de base para que los individuos de las especies proliferen. En el caso del Club Nàutic Estartit se han replantado individuos de un género de macro-algas: *Cystoseira sp.* Son algas con una importancia elevada en ecosistemas mediterráneos, ya que aparte de realizar secuestro de carbono, proporcionan una mayor complejidad espacial a los ecosistemas que permiten la proliferación de más especies en la zona (Imágenes 11 y 12).

La re-implantación de las algas se realizó en la Zona 1, dónde se anclaron las placas

en el LBU de CaCO₃. Actualmente hay 4 placas con propágulos de *Cystoseira sp.* Dos están en la parte externa del LBU y dos están en el interior. Debido a las condiciones diferentes de las dos ubicaciones de plantación, se espera que las placas se desarrollen de forma diferente. Aunque la hipótesis proponía que las más expuestas estarían sometidas a una mayor depredación, mientras que las que están más protegidas tendrían una presión inferior, la realidad ha sido a la inversa. Los propágulos colocados en el exterior del LBU han quedado cubiertos de sedimento, lo que los ha protegido, mientras que los colocados en el interior del LBU han quedado más expuestos.



11



12

Imágenes

11 - *Cystoseira sp* en septiembre 2024

12 - *Cystoseira sp* en julio 2024





Ocean
Ecostructures

