



Evaluación de la selectividad de trampas experimentales para la pesquería de verdillo (*Paralabrax nebulifer*)



Contenido

Contenido	2
Introducción	1
Objetivo general	2
Objetivos específicos	2
Metodología	2
Diseño Experimental.....	2
Variables y tratamientos.....	2
Unidad de muestra y tamaño muestral	4
Despliegue de Trampas	4
Variables Medidas.....	6
Análisis Estadístico	6
Resultados	8
Lances	8
Descripción general de la captura total	9
Distribución de tallas.....	12
Proporción de organismos por arriba de la L_{50}	13
Biomasa capturada por lance	14
Análisis estadístico.....	15
Conclusiones	19
Bibliografía	21

Introducción

La pesquería de verdillo (*Paralabrax nebulifer*) se realiza en la costa occidental de la Península de Baja California, en el noroeste de México. Las capturas se realizan principalmente en Baja California Sur (BCS), en donde el peso desembarcado de este recurso constituye alrededor del 96% del registro histórico (DOF, 2021). En las comunidades ribereñas del noroeste de BCS constituye una actividad de importancia económica ya que en algunos casos puede contribuir hasta con el 60% del volumen de captura total (Cota-Nieto et al., 2018).

El interés por el aprovechamiento del verdillo empezó a finales de la década de los 80 del siglo pasado, siendo utilizada la red agallera como arte de pesca. Para principio de los 90's se introduciría el uso de trampas, con lo cual las capturas aumentarían progresivamente hasta alcanzar registros por encima de 5,000 toneladas al principio de los 2010's (DOF, 2021). Actualmente las capturas anuales de verdillo se han mantenido relativamente estables alrededor de las 3,000 – 4,000 toneladas. La trampa de verdillo es construida con malla estructural de alambre galvanizado de 2"×2" el cual puede estar recubierto o no con cloruro de polivinilo (PVC). En las paredes laterales se instalan dos entradas en forma de cono y en medio de la trampa una cámara para contener la carnada con una luz de malla menor al resto de la jaula. Las dimensiones de las trampas pueden variar de una región a otra, pero se hace la recomendación de que mantengan un volumen máximo de 1m³, teniendo un peso total promedio de 2 2kg (DOF, 2021).

Uno de los principales desafíos en la gestión sostenible de esta pesquería es la captura de individuos por debajo de la talla de madurez sexual (L_{50}), estimada en 32 cm de longitud total (Cota-Nieto, sin publicar) en la región de Punta Abreojos en Baja California Sur. Una alternativa viable para aumentar la selectividad de las trampas consiste en modificar aspectos de su diseño, como la forma de la entrada y la instalación de dispositivos de escape (Bycatch Reduction Devices, BRDs), que permiten la liberación de individuos pequeños o que no son objetivo de la pesquería (Broadhurst, 2000; Eayrs, 2007). Diversos estudios han demostrado que la implementación de BRDs con aberturas adecuadas puede reducir significativamente la captura de juveniles sin afectar negativamente la eficiencia de captura de los adultos (Ahmad et al., 2022; Campbell et al., 2010). Sin embargo, los efectos de dichas modificaciones varían según la especie objetivo, el tipo de hábitat y el comportamiento de escape de los peces (Matsuoka, 2021).

En este contexto, el presente estudio tiene como objetivo evaluar el efecto de diferentes combinaciones de morfología de entrada (cuadrada, circular y rómbica) y luz de malla del dispositivo de escape (2"×3", 3"×3") en trampas para la captura de verdillo. Mediante un diseño factorial replicado espacialmente. Con los resultados obtenidos se identificará la configuración de trampa que maximice la proporción de individuos capturados con longitud total igual o superior a L_{50} .

Objetivo general

Evaluar la eficiencia de captura y la selectividad de diferentes diseños de trampas para la pesquería de verdillo, con el fin de identificar la combinación óptima de morfología de entrada (circular, cuadrada y rómbica) y dimensiones del dispositivo de escape ($2 \times 3''$, $3 \times 3''$) que maximice la proporción de individuos capturados con longitud total igual o superior a L_{50} (32 cm).

Objetivos específicos

1. Comparar la tasa de captura total e individual por tipo de trampa.
2. Evaluar la selectividad de cada diseño de trampa en función del tamaño de los individuos capturados.
3. Estimar la proporción de individuos capturados con longitud ≥ 32 cm (L_{50}) para cada combinación de diseño de entrada y dispositivo de escape.
4. Identificar el diseño de trampa más eficiente y selectivo para promover la sostenibilidad del recurso.

Metodología

Diseño Experimental

Diseño base

El diseño base de la trampa consistió en un prisma rectangular construido con malla de alambre galvanizado de $2 \times 2''$ con recubrimiento de PVC y unida con grapas biodegradables. Esta luz de malla es el estándar en la región de Punta Abreojos. En cada trampa se instalaron dos dispositivos de entrada en los costados. Además, dependiendo del tratamiento, se instaló un dispositivo de escape en una de las cabeceras.

Variables y tratamientos

El experimento se basó en dos factores relevantes del diseño de las trampas: la forma de la entrada y el tamaño del dispositivo de escape.

- **Formas de la entrada:** circular, cuadrada y rómbica (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

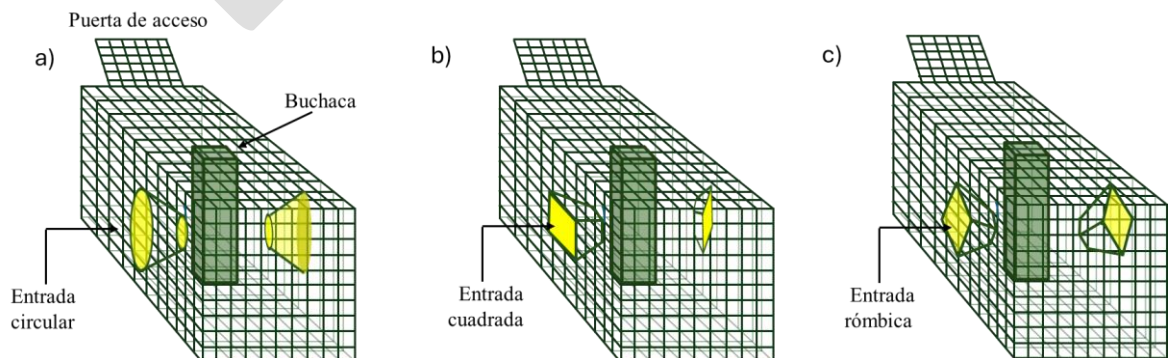


Figura 1. Estructura de la trampa verdillera. a) Trampa tradicional con malla de 2×2" y entrada circular, b) trampa tradicional modificada con entrada cuadrada, c) trampa tradicional modificada con entrada rómbica.

- **Tamaño del dispositivo de escape:** Dos tamaños de luz de malla experimentales: 2×3" y 3×3", instalados en la cabecera de las trampas (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Se incluye además el tamaño 2×2", el cual no es considerado como dispositivo de escape al ser del mismo tipo de luz de malla que el resto de la trampa.

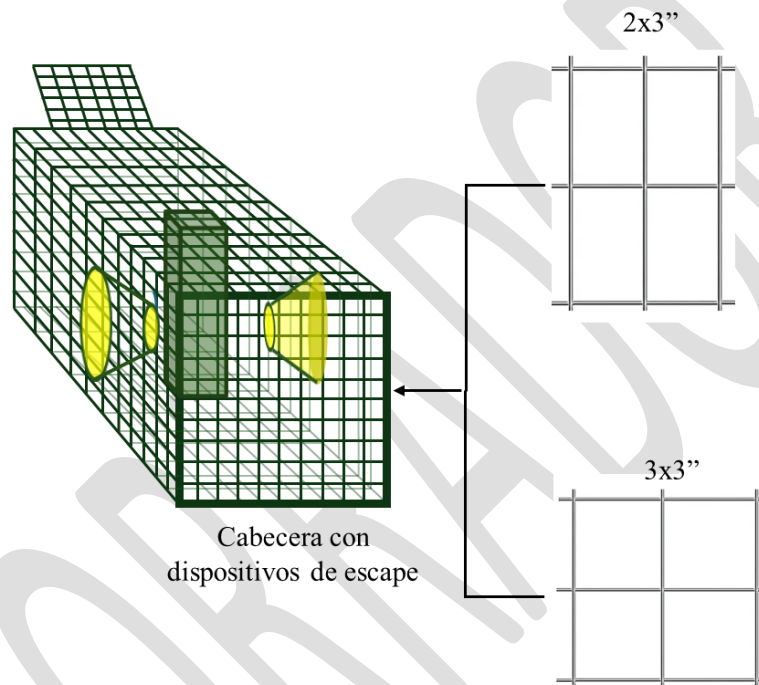


Figura 2. Ubicación y dimensiones de los dispositivos de escape.

Este diseño genera un total de nueve combinaciones experimentales: tres formas de entrada para cada uno de los dos tamaños de escape y el diseño sin escape (

Tabla 1). El tratamiento 1A que está equipado con entrada circular y sin dispositivo de escape fue identificado como control al ser la trampa convencional utilizada por los pescadores en la región de Punta Abreojos. Por lo que fue modificada para incorporar todas las combinaciones de tratamiento.

Tabla 1. Claves de identificación para cada tratamiento por tipo de entrada y dispositivo de escape.

Luz de malla del dispositivo de escape	Dispositivo de entrada		
	Circular	Cuadrada	Rómbica
2x2"	1A	2A	3A
2x3"	1B	2B	3B

Unidad de muestra y tamaño muestral

El sitio de pesca elegido para el experimento de selectividad fue el conocido como El Soruyo. Se realizaron un máximo de cuatro lances por día para cada uno de los nueve tratamientos. Se implementó una rotación diaria de las posiciones de las trampas dentro del sitio de pesca con la finalidad de reducir el efecto de las variaciones locales (por ejemplo, cambios en el relieve del fondo, corrientes o presencia de estructuras submarinas). Esta rotación permitió una mejor representación del entorno y una distribución más equitativa del esfuerzo de pesca.

Despliegue de Trampas

Para garantizar la estandarización del esfuerzo de pesca y la comparabilidad entre tratamientos, se definió una duración fija para la operación de las trampas. Todas las trampas se encarnaron con una mezcla de bonita y sardina (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Cada trampa se sumergió durante 40 minutos (tiempo de remojo). De esta manera, se permitió evaluar el desempeño relativo de cada diseño en condiciones controladas de exposición.



Figura 3. Carnada utilizada en las trampas del experimento de selectividad de verdillo: a) sardina y b) bonita

Al término de este periodo, las trampas fueron recuperadas y la captura obtenida se separó individualmente por trampa y por lance. Cada muestra fue rotulada con un código de identificación que incluía el día, el tratamiento correspondiente y el número de lance. Posteriormente, a cada costal se le añadió hielo para su conservación (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).



Figura 4. Método de separación de los organismos capturados, clasificados por tipo de trampa utilizada y número de lance.

Al término de cada jornada de pesca, las muestras fueron trasladadas a las instalaciones de la SSCP Punta Abrejos para su procesamiento. Cada organismo fue identificado y se procedió a la toma de datos morfométricos, registrando de manera estandarizada la longitud y el peso vivo totales (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Se realizaron en total cinco jornadas de pesca, del 24 al 28 de noviembre de 2025, coincidiendo con la temporada baja de capturas de verdillo.



Figura 5. Monitoreo morfométrico de los organismos capturados por grupo experimental.

Variables Medidas

Transcurrido el tiempo de remojo, se recuperaron las trampas con ayuda de una polea y un motor instalado en la embarcación. Posteriormente cada trampa se abrió y su contenido fue almacenado en costales etiquetados con la trampa y el bloque espacial de procedencia. Los organismos colectados fueron llevados a la planta de procesamiento de la cooperativa Punta Abreojos donde se procedió a registrar la especie, longitud y peso totales.

Análisis Estadístico

Modelo para el número de organismos capturados

El número total de organismos por lance es una variable discreta de conteo no negativa. La distribución de Poisson es el punto de partida natural para este tipo de datos; sin embargo, en pesquerías tropicales los conteos de captura presentan con frecuencia sobredispersión, es decir, la varianza observada excede la media ($\text{var} > \mu$), lo que viola el supuesto de equidispersión de Poisson y produce errores estándar subestimados (Hilbe, 2011). Para acomodar esta variabilidad adicional, se ajustó un modelo lineal generalizado con distribución binomial negativa tipo 2 (*nbinom2*) y una función de enlace logarítmica (McCullagh y Nelder, 1989). Esta parametrización incorpora un parámetro de dispersión θ que actúa como un factor de inflación de la varianza ($\text{var} = \mu + \mu^2/\theta$), lo que permite que el modelo describa adecuadamente la heterogeneidad observada entre lances. El enlace logarítmico garantiza que las predicciones sean siempre positivas y que los coeficientes se interpreten como cambios proporcionales en la tasa de captura (razones de tasas, *rate ratios*):

$$\log(\mu_{\sim i}) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \text{forma}_{\sim i} + \beta_2 \cdot \text{escape}_{\sim i} + \beta_3 \cdot (\text{forma} \times \text{escape})_{\sim i}$$

donde $\mu_{\sim i}$ es el número esperado de organismos en el lance i . La interacción $\text{forma} \times \text{escape}$ permite que el efecto del tamaño del escape sobre la captura varíe según la forma de la trampa, o viceversa.

Modelo para la biomasa capturada

La biomasa total por lance es una variable continua y estrictamente positiva. Este tipo de variables suele presentar una distribución asimétrica a la derecha, lo que hace inadecuado el uso de modelos lineales ordinarios con supuesto de normalidad (Venables y Ripley, 2002). Se ajustó, por tanto, un modelo lineal generalizado con familia Gamma y función de enlace logarítmica (McCullagh y Nelder, 1989). La distribución Gamma describe apropiadamente datos positivos con varianza proporcional al cuadrado de la media ($\text{var} = \mu^2/\nu$), lo que refleja la heteroscedasticidad típica de la biomasa de captura. El enlace logarítmico permite interpretar los efectos como razones de biomasa entre tratamientos. En los lances donde la biomasa registrada fue exactamente cero debido a valores faltantes de peso individual, dicho valor fue reemplazado por 0.001 kg antes del ajuste, dado que la distribución Gamma no admite observaciones nulas; este número de registros afectados fue documentado en cada análisis. La estructura del predictor lineal fue análoga a la del modelo de conteo:

$$\log(\mu_{\sim i}) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \text{forma}_{\sim i} + \beta_2 \cdot \text{escape}_{\sim i} + \beta_3 \cdot (\text{forma} \times \text{escape})_{\sim i}$$

Ambos modelos fueron ajustados con la función `glmTMB` del paquete homónimo en R (Brooks et al., 2017), que ofrece un marco unificado para modelos de conteo y continuos con distribuciones flexibles.

Estrategia de selección de modelo

Para cada variable respuesta se siguió una estrategia de selección en dos pasos. En el primer paso se ajustó el modelo con interacción ($\text{forma} \times \text{escape}$) y se evaluó su significación mediante un análisis de tipo III basado en la razón de verosimilitud (LRT), implementado con la función `Anova` del paquete `car` (Fox y Weisberg, 2019). Cuando la interacción resultó estadísticamente significativa ($p < 0.05$), se retuvo el modelo que incluía los nueve tratamientos como factor único (modelo completo), ya que los efectos de forma y escape no son interpretables de forma independiente. Cuando la interacción no fue significativa ($p \geq 0.05$), se adoptó el modelo aditivo ($\text{forma} + \text{escape}$), que estima un efecto principal para cada factor y ofrece mayor poder estadístico al reducir el número de parámetros. En ambos casos, los efectos principales se examinaron mediante la prueba tipo III, que evalúa cada término ajustando por los demás, y es recomendable cuando los niveles del diseño no están perfectamente balanceados (Langsrud, 2003).

Medias marginales estimadas y comparaciones múltiples

Las medias marginales estimadas (EMMs) se obtuvieron a partir del modelo final mediante el paquete `emmeans` (Lenth, 2024), expresando los resultados en la escala original

de la variable respuesta, es decir, como número de organismos por lance (modelo de conteo) o como kilogramos por lance (modelo de biomasa). Las EMMs representan las predicciones del modelo bajo condiciones promediadas sobre los demás factores del diseño, siendo más robustas que las medias aritméticas cuando el diseño es desbalanceado.

Cuando el modelo final incluyó los nueve tratamientos completos, se realizaron comparaciones por pares entre todos los tratamientos con corrección de Tukey y Kramer para controlar la tasa de error familiar en comparaciones múltiples (Tukey, 1953; Kramer, 1956). Cuando se retuvo el modelo aditivo, las comparaciones se realizaron de forma separada para los niveles de forma y para los niveles de escape. En ambos casos, los tratamientos estadísticamente homogéneos fueron identificados mediante letras compactas (Piepho, 2004), de modo que los tratamientos que comparten la misma letra no difieren significativamente entre sí ($\alpha = 0.05$). Las razones de tasas (*rate ratios*) del modelo de conteo y las razones de biomasa del modelo Gamma se reportan con sus intervalos de confianza asintóticos al 95%, obtenidos por transformación de los intervalos del predictor lineal.

Todos los análisis estadísticos y la generación de figuras se realizaron en R v4.x (R Core Team, 2024).

Resultados

Lances

Se realizaron un total de 140 lances al término de las cinco jornadas de pesca. De estos, se detectó que 137 trabajaron; es decir, que capturaron peces o se encontró evidencia de que estos entraron y comieron la carnada (Figura 6). A primera instancia, se observa una diferencia notable en la cantidad de organismos retenidos entre los distintos grupos experimentales. Al respecto, esto sugiere una relación negativa entre los organismos capturados y el tamaño de la luz de malla del dispositivo de escape. Se capturaron 1,308 organismos con las trampas con dispositivo de escape A (luz de malla de 2"×2") y 235 con dispositivo de escape B (luz de malla de 2"×3"). Destaca la baja captura de las trampas con luz de malla de 3"×3" (dispositivo de escape C), donde solo fueron capturados 12 especímenes en todos los lances; los diseños de jaula con el dispositivo de escape C fueron los tratamientos con menor éxito en la captura de organismos; tan solo entre el 7 y el 27% de los lances retornaron con organismos (Tabla 2).

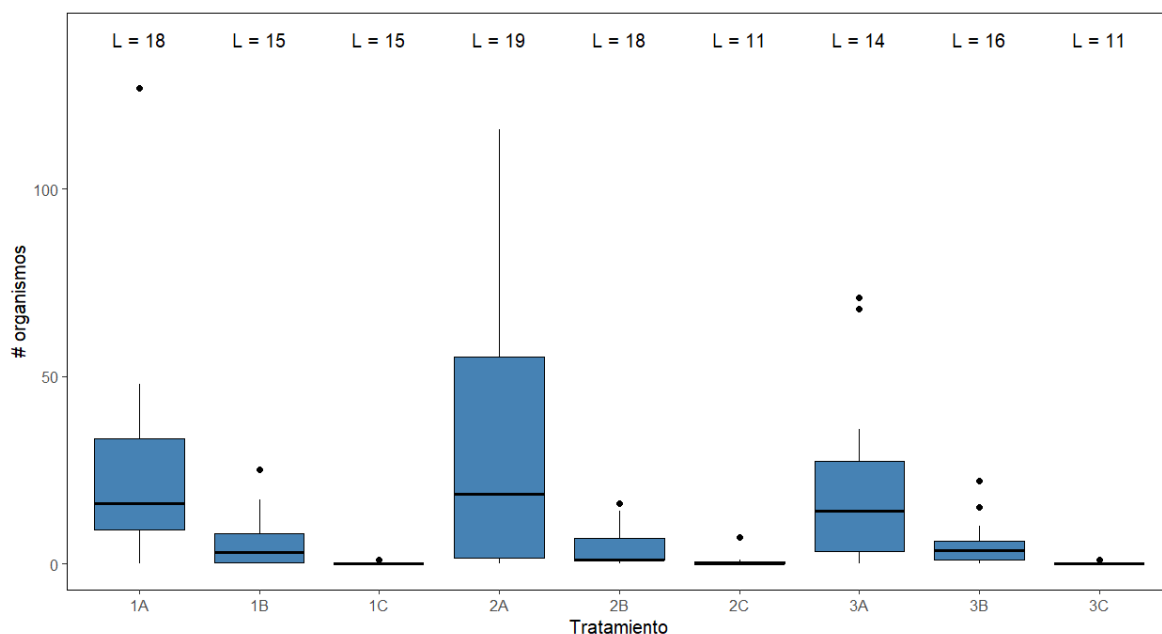


Figura 6. Diagrama de cajas donde se muestra el número de organismos capturados por lance para cada tratamiento. L = total de lances que trabajaron por cada tratamiento.

Tabla 2. Relación de lances que trabajaron por tratamiento. Se compara con el número de trampas que se recuperaron sin captura.

Tratamiento	Lances que trabajaron	Lances sin captura	% de éxito
1A	18	1	94.4%
1B	15	5	66.7%
1C	15	14	6.7%
2A	19	3	84.2%
2B	18	4	77.8%
2C	11	8	27.3%
3A	14	1	92.9%
3B	16	3	81.3%
3C	11	9	18.2%
Total:	137	48	

Descripción general de la captura total

Se capturó un total de 1,555 organismos. Se registró una alta predominancia de la especie objetivo en las capturas, el 98.6% fueron identificados como verdillo (1,533 organismos), por lo que se puede considerar que esta trampa es muy selectiva para esta especie. De los 704.8 kg registrados, 682.6 kg correspondieron a verdillo y tan solo 22.2 kg a la fauna de acompañamiento. Esta última estuvo compuesta por seis especies, siendo las

más representativas pierna (*Caulolatilus princeps*; 0.8%) y vieja colorada (*Semicossyphus pulcher*; 0.3%) (Tabla 2).

Tabla 3. Especies capturadas con las trampas experimentales durante las jornadas de pesca. Se muestran el número de organismos y el respectivo porcentaje de cada especie.

Nombre común	Nombre científico	n	Porcentaje
Verdillo	<i>Paralabrax nebulifer</i>	1533	98.6%
Pierna	<i>Caulolatilus princeps</i>	13	0.8%
Vieja colorada	<i>Semicossyphus pulcher</i>	5	0.3%
Lupón	<i>Pristigenys serrula</i>	1	0.1%
Mojarra mueluda	<i>Calamus brachysomus</i>	1	0.1%
Rocot	<i>Sebastes mystinus</i>	1	0.1%
Zorrillo	<i>Paralabrax auroguttatus</i>	1	0.1%
Total		1555	100.0%

Las tallas de toda la captura oscilaron entre una mínima de 24.5 cm y una máxima de 54.3 cm, con un promedio de 33.8 cm (Figura 7; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). En cuanto al peso total, el promedio fue de 0.453 kg, con máximo y mínimo de 1.900 kg y 0.235 kg, respectivamente (Figura 8; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

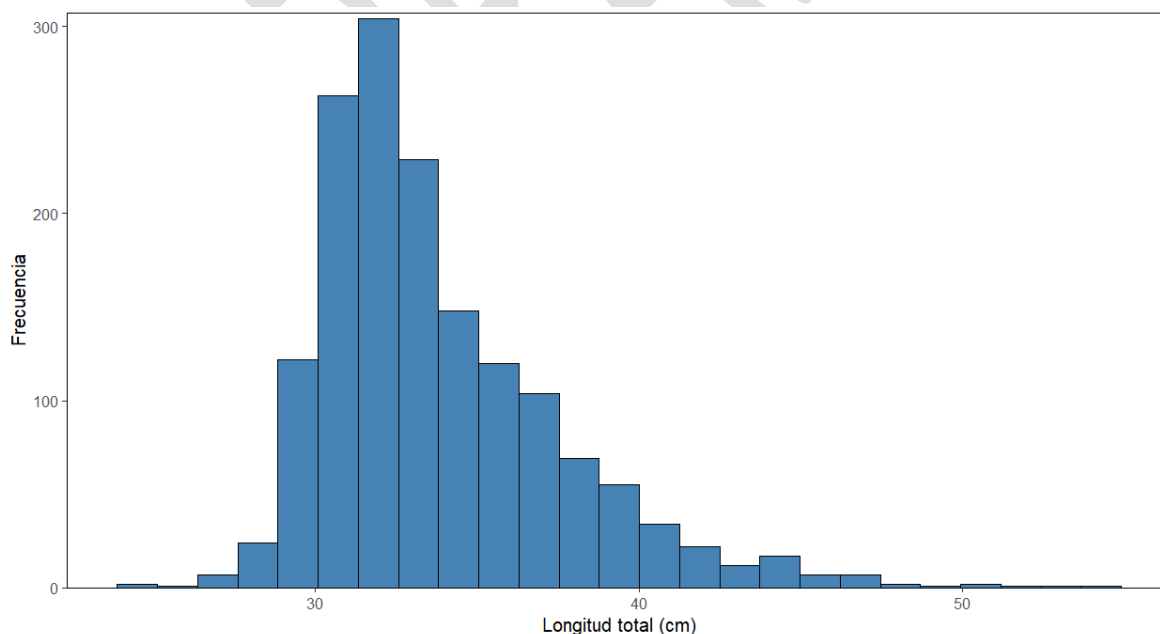


Figura 7. Frecuencia de longitud total (cm) de los organismos capturados con las trampas experimentales durante las jornadas de pesca. Incluye especie objetivo y fauna de acompañamiento.

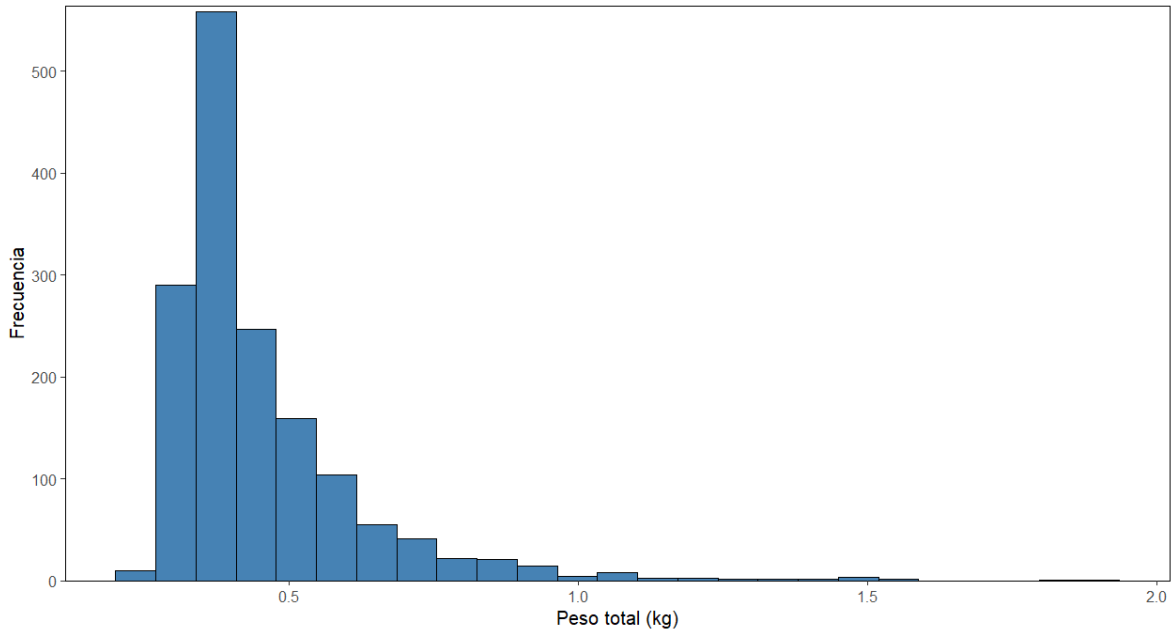


Figura 8. Frecuencia de peso total (kg) de los organismos capturados con las trampas experimentales durante las jornadas de pesca. Incluye especie objetivo y fauna de acompañamiento.

Distribución de tallas

La distribución de tallas mostró diferencias marcadas entre tratamientos, evidenciando un efecto importante tanto de la geometría de entrada como del tamaño del dispositivo de escape sobre la selectividad de las trampas. En general, los tratamientos con dispositivos de escape pequeños (A: 2×2") presentaron distribuciones concentradas alrededor de tallas inferiores o cercanas a la L₅₀ (32 cm), mientras que los tratamientos con escapes mayores (B: 2×3", C: 3×3") desplazaron la distribución hacia organismos de mayor talla (Figura 9).

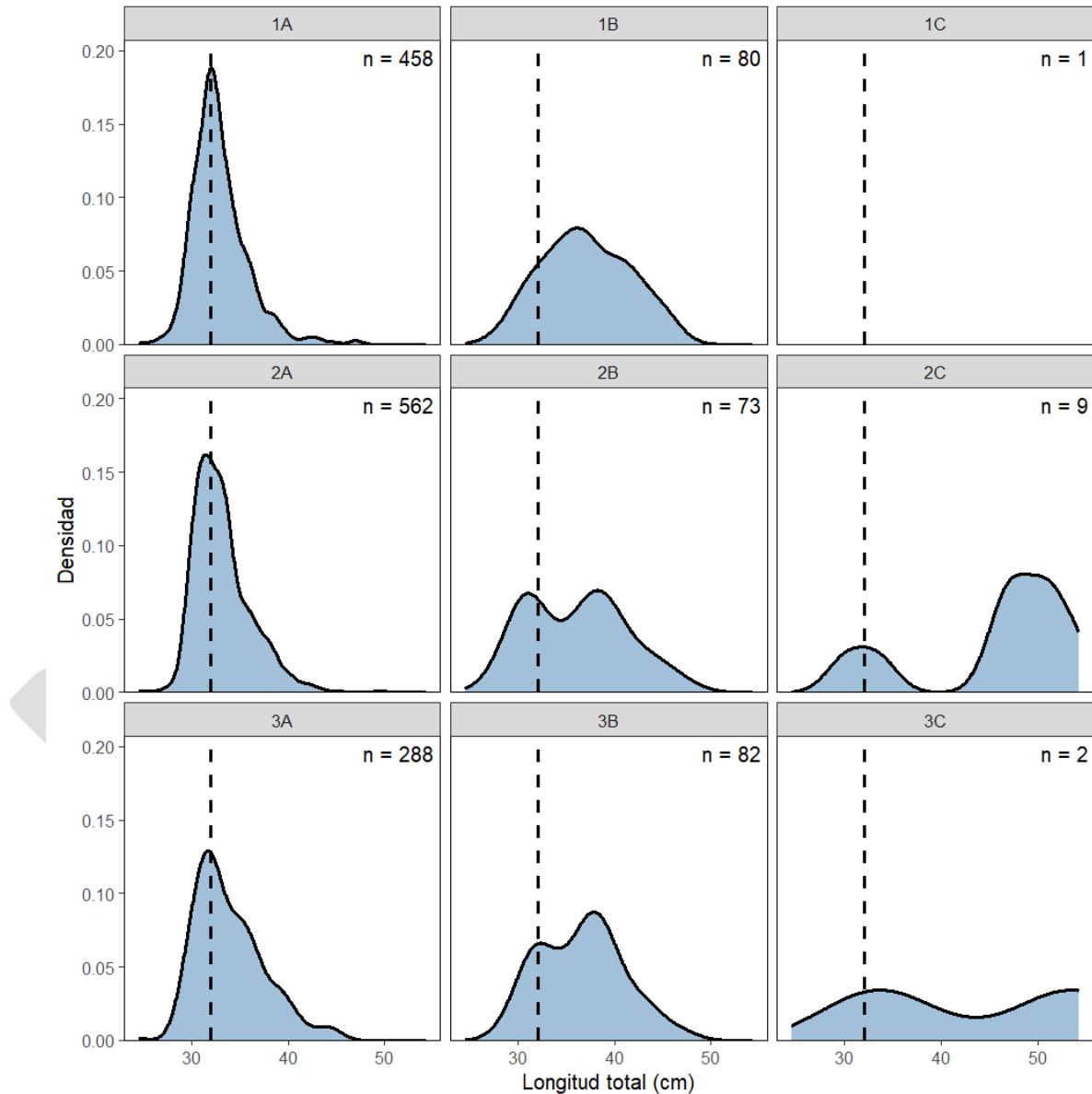


Figura 9. Distribución de tallas de los organismos capturados por tratamiento. Formas de la entrada: 1 = circular, 2 = cuadrada y 3 = rómbica; dispositivos de escape: A = malla de 2" × 2", B = malla de 2" × 3" y C = malla de 3" × 3"; n = número de organismos capturados. La línea punteada indica el valor de la L₅₀ para verdillo (32 cm).

Los tratamientos 1A, 2A y 3A mostraron distribuciones unimodales relativamente estrechas, con máximos de densidad alrededor de 31–33 cm. Estos tratamientos conservaron una proporción considerable de individuos menores o cercanos a la L₅₀. Entre ellos, el tratamiento 2A presentó la mayor cantidad de organismos capturados (n = 562), seguido de 1A (n = 458) y 3A (n = 288), lo que indica una alta eficiencia de captura pero menor capacidad de exclusión de tallas pequeñas. En contraste, los tratamientos con escape B (1B, 2B y 3B) mostraron un desplazamiento de las distribuciones hacia tallas mayores. Las densidades máximas se localizaron aproximadamente entre 34 y 38 cm, con una reducción evidente de organismos por debajo de 32 cm. Este patrón sugiere un incremento en la selectividad hacia individuos grandes asociado al aumento del tamaño del escape. Particularmente, los tratamientos 2B y 3B presentaron distribuciones multimodales o bimodales, lo que podría reflejar heterogeneidad en el comportamiento de ingreso y escape de los organismos, diferencias en la estructura de tallas disponible en el ambiente o efectos asociados a la interacción entre forma de entrada y dispositivo de escape. Los tratamientos con escape C (3"×3") presentaron tamaños de muestra extremadamente bajos (1C: n = 1; 2C: n = 9; 3C: n = 2), por lo que su interpretación debe realizarse con cautela. No obstante, el tratamiento 2C mostró una tendencia hacia la captura de organismos considerablemente más grandes, con una distribución centrada principalmente por encima de 45 cm. Este patrón sugiere una selectividad muy alta hacia organismos grandes y una fuerte exclusión de tallas pequeñas.

Proporción de organismos por arriba de la L₅₀

La proporción de organismos capturados por encima de la L₅₀ fue mayor en las trampas equipadas con dispositivos de escape de 2"×3" ; con valores de 91%, 76 % y 89% para las entradas circular, cuadrada y rómbica, respectivamente (Figura 10). Estas trampas ocuparon el segundo lugar en volumen total de captura (137.6 kg). Posteriormente tenemos las trampas con dispositivo de escape de 2" × 2", que registraron proporciones de capturas por encima de la L₅₀ de 67 % para la entrada circular, 63 % para la entrada cuadrada y 66 % para la entrada rómbica. Estos tratamientos registraron proporciones menores que las registradas por los tratamientos con dispositivos de escape de 2" × 3"; sin embargo, capturaron más organismos y, por consiguiente, mayor peso vivo. Las trampas con diseño de dispositivo de escape de 3" × 3" no mostraron resultados concluyentes debido a la poca cantidad de organismos capturados (uno para la entrada circular, nueve para la cuadrada y dos para la rómbica).

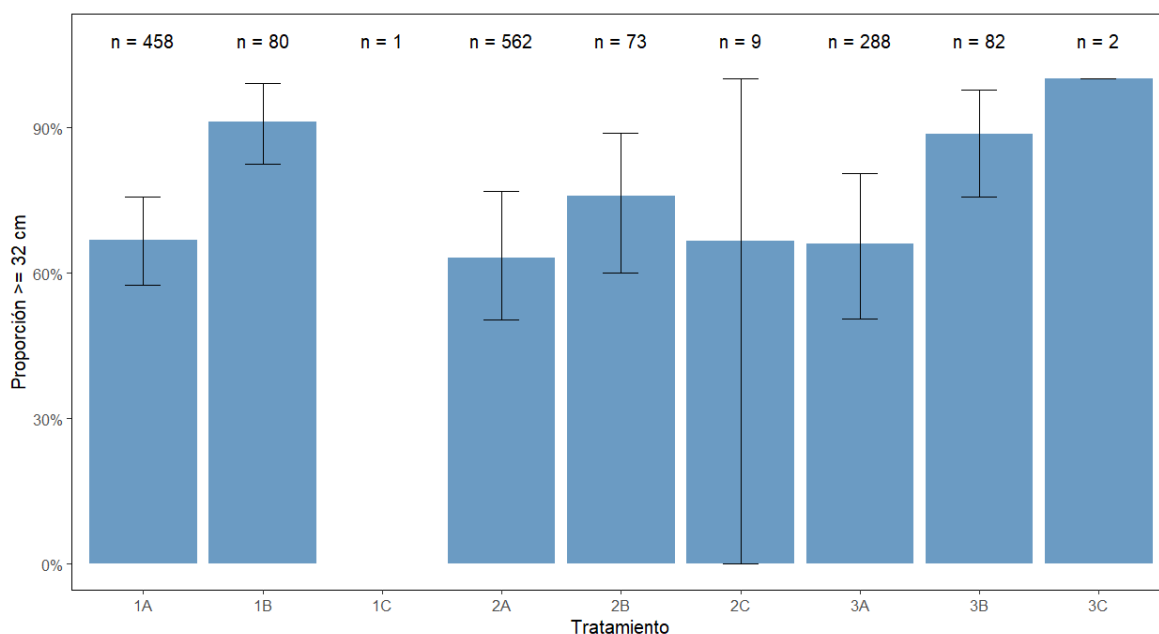


Figura 10. Proporción de organismos con una longitud total de a 32 cm capturados en cada tratamiento.

Biomasa capturada por lance

La biomasa capturada por lance presentó una elevada variabilidad entre tratamientos y entre lances individuales (Figura 11). Los tratamientos con dispositivos de escape tipo A (2"×2") mostraron consistentemente mayores valores de biomasa retenida en comparación con los tratamientos con escapes tipo B (2"×3"). Particularmente, los tratamientos 2A y 1A registraron las mayores medianas y los valores máximos más altos de biomasa capturada, alcanzando capturas superiores a 45 kg/lance en algunos eventos aislados. Asimismo, estos tratamientos presentaron una amplia dispersión y presencia de valores extremos, reflejando una alta heterogeneidad en el rendimiento de captura entre lances. En contraste, los tratamientos con escapes 2"×3" mostraron medianas considerablemente menores y una distribución más concentrada hacia valores bajos de biomasa, lo que sugiere una reducción importante en la retención total de organismos. Los tratamientos con escapes tipo C (3"×3") presentaron biomasa muy baja y escasa variabilidad; sin embargo, debido al reducido tamaño de muestra, estos resultados deben interpretarse con cautela. En conjunto, la figura evidencia un patrón consistente con los análisis estadísticos inferenciales, indicando que los escapes pequeños incrementan la biomasa retenida, mientras que los escapes grandes favorecen una menor captura total, pero potencialmente una mayor selectividad hacia organismos de talla comercial.

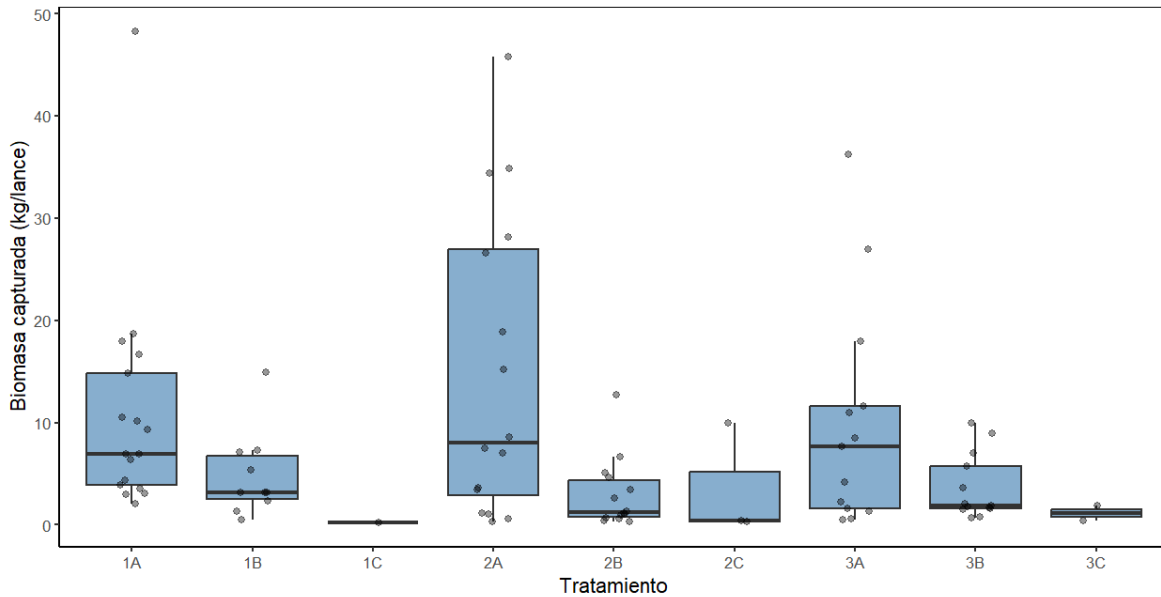


Figura 11. Diagrama de cajas que muestra la biomasa capturada (kg) por lance para cada tratamiento. Los puntos representan los lanzes individuales.

Análisis estadístico

Se decidió excluir del análisis estadístico a los tratamientos con escape tipo C (3”×3”) debido al bajo número de observaciones. Esto tuvo la finalidad de evitar estimaciones inestables y sesgos asociados a una replicación insuficiente. Los análisis realizados evidenciaron patrones consistentes entre selectividad, capturabilidad y biomasa capturada, mostrando que el principal factor asociado al desempeño de las trampas fue el tamaño del dispositivo de escape, mientras que la forma de entrada presentó un efecto comparativamente menor.

Selectividad de organismos $\geq L_{50}$

El análisis de selectividad mostró diferencias significativas asociadas al tamaño del dispositivo de escape, mientras que la forma de entrada no presentó efectos estadísticamente detectables sobre la proporción de organismos con longitud total por encima de la L_{50} .

Las trampas equipadas con escapes de 2”×3” presentaron una probabilidad estimada de captura de organismos ≥ 32 cm de 81.9% (IC_{95%}: 74.5–87.6%), significativamente mayor que la observada en trampas con escape de 2×2” (63.5%; IC_{95%}: 58.0–68.7%). Las comparaciones *post-hoc* de Tukey confirmaron diferencias significativas entre ambos tamaños de escape ($p < 0.001$), agrupándolos en categorías estadísticas distintas (“a” y “b”) (Tabla 4). Estos resultados indican que el incremento en el tamaño del escape favoreció la liberación de organismos pequeños y aumentó la retención relativa de organismos de talla comercial.

Tabla 4. Probabilidad estimada de captura de organismos $\geq L_{50}$ según el tamaño del dispositivo de escape. Intervalos de confianza al 95%

Dispositivo de escape	Probabilidad	SE	IC inf	IC sup	Grupo
2"x2"	0.635	0.027	0.580	0.687	a
2"x3"	0.819	0.033	0.745	0.876	b

En contraste, las diferencias entre formas de entrada no fueron significativas ($p > 0.05$). Las entradas redondas presentaron una probabilidad estimada de captura de organismos ≥ 32 cm de 76.1% (IC95%: 68.8–82.2%), seguidas de las entradas rómbicas con 74.7% (IC95%: 66.2–81.6%) y cuadradas con 70.2% (IC95%: 62.1–77.3%) (Tabla 5). Las pruebas *post-hoc* mostraron un amplio traslape entre intervalos de confianza y asignaron a todas las formas el mismo grupo estadístico ("a"), indicando ausencia de diferencias significativas. Los resultados evidencian que el tamaño del dispositivo de escape fue el principal factor asociado a la selectividad de las trampas (Figura 12).

Tabla 5. Probabilidad estimada de captura de organismos $\geq L_{50}$ según la forma de entrada. Intervalos de confianza al 95%

Forma de entrada	Probabilidad	SE	IC inf	IC sup	Grupo
Redonda	0.761	0.034	0.688	0.822	a
Cuadrada	0.702	0.039	0.621	0.773	a
Rombica	0.747	0.039	0.662	0.816	a

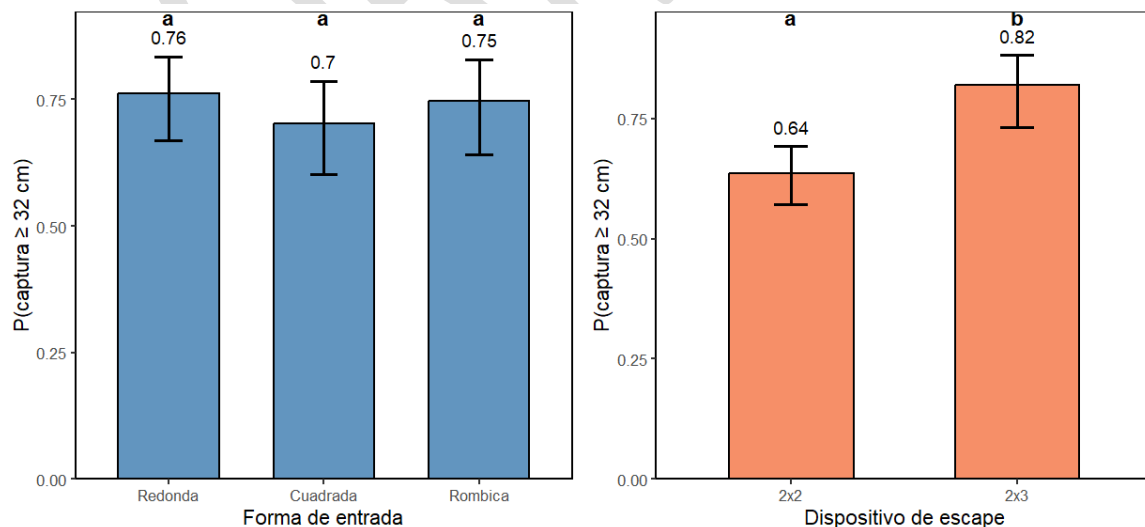


Figura 12. Probabilidad de capturar organismos $\geq L_{50}$ de acuerdo al tipo de forma de entrada (izquierda) o dispositivo de escape (derecha). Intervalos de confianza al 95%. Letras distintas encima de los intervalos de confianza indican que hay diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey.

Capturabilidad (número de organismos capturados/lance)

El análisis de capturabilidad mostró un patrón inverso al observado en selectividad. Las trampas con escapes de 2"×2" presentaron una captura promedio significativamente mayor, con una estimación de 27.9 organismos por lance (IC_{95%}: 21.0–37.2), mientras que las trampas con escape de 2×3" registraron únicamente 6.4 organismos por lance (IC_{95%}: 4.6–8.9) (Tabla 6). Las comparaciones múltiples de Tukey detectaron diferencias significativas entre ambos tamaños de escape ($p < 0.001$), agrupándolos en categorías estadísticas distintas ("a" y "b"). Esto indica que los escapes pequeños incrementan considerablemente la retención total de organismos.

Tabla 6. Número promedio de organismos capturados por lance según tamaño del dispositivo de escape. Intervalos de confianza al 95%

Dispositivo de escape	Probabilidad	SE	IC inf	IC sup	Grupo
2x2	27.9	4.1	21.0	37.2	a
2x3	6.4	1.1	4.6	8.9	b

Por otro lado, la forma de entrada no presentó diferencias estadísticamente significativas en el número de peces capturados. Las trampas redondas y cuadradas mostraron valores promedio cercanos a 14 organismos por lance, mientras que las trampas rómbicas presentaron una media ligeramente menor (~11.8 organismos), aunque todas permanecieron dentro del mismo grupo estadístico (Tabla 7; Figura 13). Estos resultados sugieren que los escapes pequeños aumentan considerablemente la retención total de organismos, incluyendo individuos por debajo de la L₅₀, mientras que los escapes grandes reducen el número total de organismos retenidos.

Tabla 7. Número promedio de organismos capturados por lance según la forma de entrada. Intervalos de confianza al 95%

Forma de entrada	Organismos/lance	SE	IC inf	IC sup	Grupo
Redonda	14.2	2.8	9.7	20.8	a
Cuadrada	14.2	2.6	9.9	20.5	a
Rombica	11.8	2.4	8.0	17.5	a

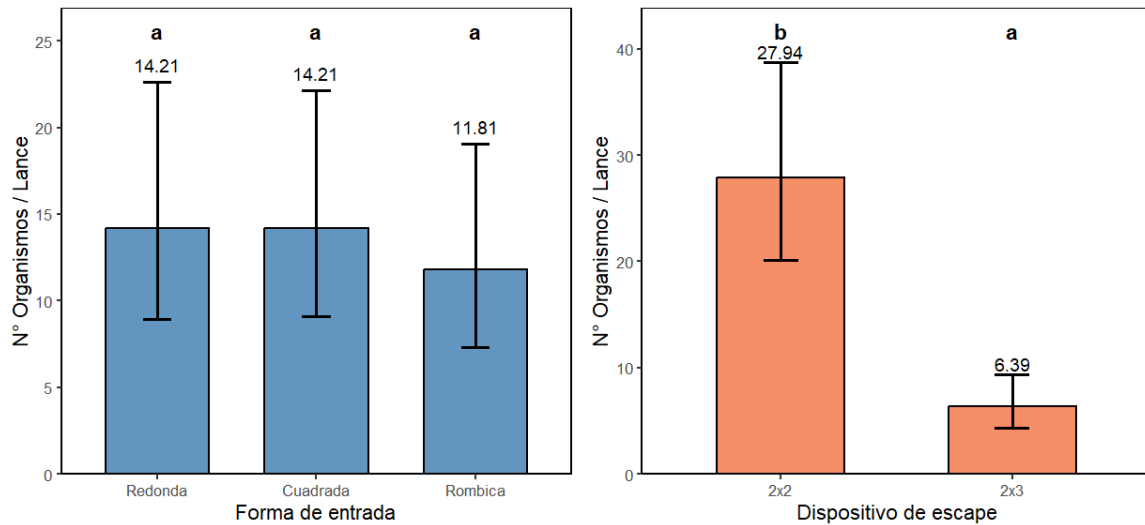


Figura 13. Capturabilidad (organismos capturados por lance) de acuerdo al tipo de forma de entrada (izquierda) o dispositivo de escape (derecha). Intervalos de confianza al 95%. Letras distintas encima de los intervalos de confianza indican que hay diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey.

Biomasa capturada por lance

El análisis de biomasa capturada mostró nuevamente un efecto significativo del tamaño del dispositivo de escape. Las trampas con escape de 2”×2” presentaron una biomasa promedio estimada de 11.9 kg por lance (IC_{95%}: 9.0–15.8 kg), significativamente superior a la registrada por trampas con escape de 2×3” (3.7 kg por lance; IC_{95%}: 2.7–5.1 kg) (Tabla 8). Las comparaciones *post-hoc* de Tukey confirmaron diferencias significativas entre ambos tamaños de escape ($p < 0.001$), asignándolos a grupos estadísticos diferentes (“a” y “b”). Esto indica que las trampas con escapes pequeños retienen una mayor biomasa total.

Tabla 8. Biomasa (kg) promedio capturada por lance según tamaño del dispositivo de escape. Intervalos de confianza al 95%

Dispositivo de escape	kg/lance	SE	IC inf	IC sup	Grupo
2x2	11.9	1.7	9.0	15.8	a
2x3	3.7	0.6	2.7	5.1	b

Por otra parte, las formas de entrada no mostraron diferencias significativas en biomasa capturada ($p > 0.05$). Las trampas redondas, cuadradas y rómbicas presentaron biomasa promedio similares (7.1, 6.9 y 6.1 kg por lance, respectivamente), compartiendo todas el mismo grupo estadístico (Tabla 9). Estos resultados indican que el tamaño del escape ejerce

una influencia mucho mayor sobre la biomasa retenida que la forma de entrada de la trampa (Figura 14).

Tabla 9. Biomasa (kg) promedio capturada por lance según la forma de entrada. Intervalos de confianza al 95%

Forma de entrada	kg/lance	SE	IC inf	IC sup	Grupo
Redonda	7.1	1.3	4.9	10.2	a
Cuadrada	6.9	1.2	4.8	9.8	a
Rombica	6.1	1.2	4.2	8.8	a

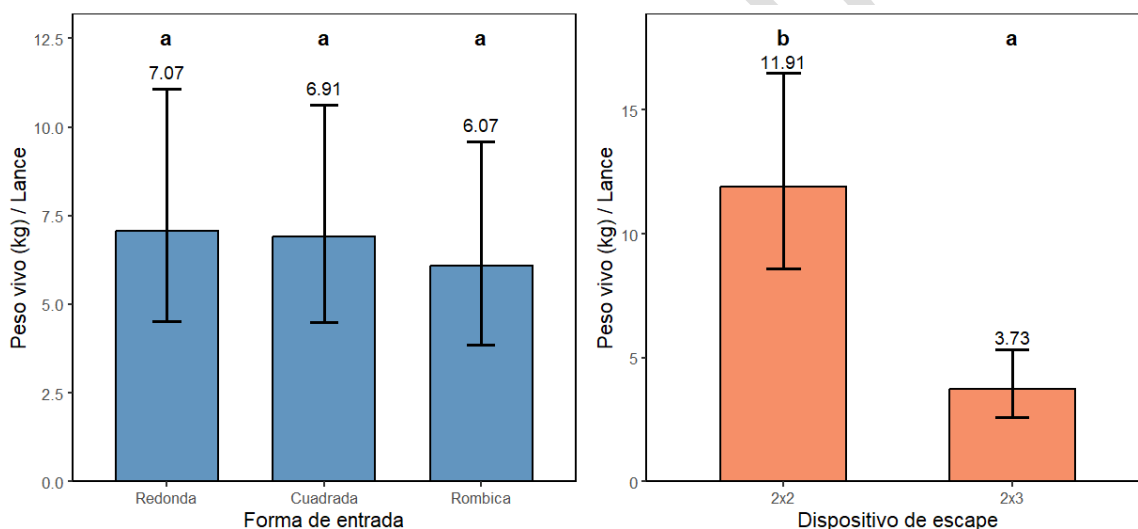


Figura 14. Biomasa (kg) promedio capturada por lance de acuerdo al tipo de forma de entrada (izquierda) o dispositivo de escape (derecha). Intervalos de confianza al 95%. Letras distintas encima de los intervalos de confianza indican que hay diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey.

Conclusiones

En términos generales, las distribuciones de las tallas de los organismos capturados indican que el incremento en el tamaño del dispositivo de escape produjo un desplazamiento progresivo hacia la captura de organismos de mayor talla, reduciendo simultáneamente la retención de individuos menores a la L_{50} (≥ 32 cm). Este efecto fue particularmente evidente en los tratamientos tipo B y C. Por otro lado, las diferencias entre formas de entrada parecieron ejercer un efecto secundario respecto al tamaño del escape, aunque las entradas cuadradas y rómicas asociadas a escapes grandes mostraron las distribuciones más orientadas hacia la L_{50} .

Los resultados indican que el tamaño del dispositivo de escape fue el principal factor determinante de la selectividad de las trampas, mientras que la forma de entrada tuvo una influencia comparativamente menor. Las trampas con escapes de mayor tamaño (2x3")

mostraron consistentemente mayores probabilidades de captura de organismos ≥ 32 cm, lo que sugiere un mayor potencial para reducir la captura de organismos sublegales y favorecer una explotación más selectiva del recurso.

La capturabilidad de las trampas fue también drásticamente afectada por el tipo de escape utilizado. Los diseños con escapes de 2"×3" y 3"×3" fueron responsables de que un mayor número de individuos se liberaran de estas trampas. Por consiguiente, el número de organismos retenidos por las trampas con escapes 2"×2" fue estadísticamente mayor. De igual forma, la biomasa capturada por lance fue mayor en las trampas con escapes 2"×2"; por lo tanto, proporcionando una mayor CPUE para los diseños de trampa que incorporan esta configuración de escape.

En conjunto, los resultados demuestran que el tamaño del dispositivo de escape constituye el principal factor que regula el equilibrio entre selectividad y rendimiento de captura en las trampas evaluadas. Los escapes pequeños (2"×2") maximizaron la capturabilidad y la biomasa retenida, pero incrementaron simultáneamente la retención de organismos menores a la talla objetivo. Por el contrario, los escapes grandes (2"×3") reducen significativamente la captura total, aunque mejoran de manera consistente la selectividad hacia organismos ≥ 32 cm.

Bibliografía

- Ahmad, N., Abdul-Razak, M., Ali, A., & Basir, F. (2022). Effectiveness of escape gaps in traps for improving size selectivity and reducing juvenile catch. *Fisheries Research*, 246, 106186.
- Broadhurst, M. K. (2000). Modifications to reduce bycatch in prawn trawls: A review and framework for development. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 10(1), 27–60.
- Brooks, M.E., Kristensen, K., van Benthem, K.J., Magnusson, A., Berg, C.W., Nielsen, A., Skaug, H.J., Mächler, M. y Bolker, B.M. (2017). glmmTMB balances speed and flexibility among packages for zero-inflated count data. *The R Journal*, 9(2), 378–400.
- Campbell, M. J., Sumpton, W. D., & Kirkwood, J. M. (2010). Effects of escape gaps on bycatch and target species in crab traps. *Marine and Freshwater Research*, 61(4), 356–363.
- Eayrs, S. (2007). A guide to bycatch reduction in tropical shrimp-trawl fisheries. FAO Fisheries Technical Paper No. 516. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Fox, J. y Weisberg, S. (2019). *An R Companion to Applied Regression* (3^a ed.). Sage Publications, Thousand Oaks.
- Hilbe, J.M. (2011). *Negative Binomial Regression* (2^a ed.). Cambridge University Press, Cambridge.
- Kramer, C.Y. (1956). Extension of multiple range tests to group means with unequal numbers of replications. *Biometrics*, 12(3), 307–310.
- Langsrud, Ø. (2003). ANOVA for unbalanced data: use Type II instead of Type III sums of squares. *Statistics and Computing*, 13(2), 163–167.
- Lenth, R.V. (2024). *emmeans: Estimated Marginal Means, aka Least-Squares Means*. R package version 1.x.
- Martínez-Andrade, F., Arreguín-Sánchez, F., & Solís-Ramírez, M. J. (2020). Análisis de la pesquería artesanal en el Pacífico mexicano: retos y perspectivas. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 55(2), 337–351.
- Matsuoka, T. (2021). Selectivity and behavioral response of fish to fishing gear: an overview of recent studies. *Fisheries Science*, 87, 571–584.
- McCullagh, P. y Nelder, J.A. (1989). *Generalized Linear Models* (2^a ed.). Chapman & Hall, Londres.

- Millar, R.B. y Fryer, R.J. (1999). Estimating the size-selectivity of fishing gears by conditioning on the total catch. *Journal of Animal Ecology*, 68, 648–659.
- Piepho, H.P. (2004). An algorithm for a letter-based representation of all pairwise comparisons. *Journal of Computational and Graphical Statistics*, 13(2), 456–466.
- R Core Team (2024). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Viena.
- Ramírez-Rodríguez, M., Ojeda-Ruíz, M., & Lluch-Cota, S. (2012). Artisanal fisheries in Baja California Peninsula: A regional review. *Ocean & Coastal Management*, 55, 73–83.
- Tukey, J.W. (1953). *The Problem of Multiple Comparisons*. Princeton University (manuscrito no publicado; citado en Miller, 1981).
- Venables, W.N. y Ripley, B.D. (2002). *Modern Applied Statistics with S* (4ª ed.). Springer, Nueva York.
- Venables, W.N. y Ripley, B.D. (2002). *Modern Applied Statistics with S* (4ª ed.). Springer, Nueva York.
- Wileman, D.A., Ferro, R.S.T., Fonteyne, R. y Millar, R.B. (Eds.) (1996). *Manual of Methods of Measuring the Selectivity of Towed Fishing Gears*. ICES Cooperative Research Report, 215.