

Estudio comparativo de las características individuales y poblacionales de tres moluscos bentónicos (*Brachidontes rodriguezii*, *Buccinastrum deforme* y *Bostrycapulus odites*) entre sitios con diferente aporte de nutrientes en la Bahía de San Antonio



Autora: Luciana Pigato

Directora: Lorena P. Storero

Co-directora: Ma. Soledad Avaca

Licenciatura en Biología Marina

Escuela Superior de Ciencias Marinas

Universidad Nacional del Comahue

2023



ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	2
RESUMEN.....	3
ABSTRACT.....	4
1. INTRODUCCIÓN.....	5
2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS.....	9
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	11
3.1. Sitio y especies de estudio.....	12
3.2. Muestreo a campo y procesamiento de las muestras	19
3.3. Análisis de datos.....	23
4. RESULTADOS.....	25
4.1. Características individuales.....	26
a. Tallas y pesos individuales	26
b. Índice de condición.....	36
4.2. Características poblacionales.....	41
a. Densidad.....	41
b. Estructuras de tallas y pesos.....	45
c. Proporción de sexos y talla de cambio de sexo.....	52
d. Relaciones morfométricas.....	56
e. Relación largo/peso.....	61
5. DISCUSIÓN.....	66
6. CONCLUSIONES.....	77
7. BIBLIOGRAFÍA.....	78

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, a mamá por haberme dado la vida, y dedicarme gran parte de la suya, por enseñarme a ser quien soy y como quiero ser.

A papá por darme el apoyo y sostén durante estos años para poder realizar la carrera, por estar siempre a pesar de la distancia.

A Franco por compartir la vida conmigo, por apoyarme en los buenos momentos, y en los no tan buenos, por enseñarme tanto.

A mis directoras Lore y Sole por guiarme durante toda la tesina, por su acompañamiento, sus consejos, sus charlas y preocupación tanto en lo académico como en lo personal. Por la oportunidad de seguir trabajando y creciendo juntas en lo que sigue.

A toda mi familia, por brindarme su apoyo y creer en mí: Mica, Romi, Rauli y Colo. Y en especial a mi abuela Vilma y a mi madrina, por estar siempre de forma incondicional.

A Naza por su amistad, por ser una persona tan linda y compartir tanto conmigo.

A mis amigos por todo el apoyo y ayuda en los momentos difíciles (mención especial a Vicen), por su preocupación por mi carrera, su ayuda en muestreos y por todos los momentos compartidos durante estos años, las risas de todos los días, los mates acompañando esas largas charlas, las guerras de algas.

Al Consejo Interuniversitario por la Beca de Estímulo a las Vocaciones Científicas con la cual pude realizar mi tesina.

A la Escuela Superior de Ciencias Marinas.

A Lorenzo, Warrior y Abacuc por hacer mis días más fáciles y felices.

Y a todos los que ayudaron a mi crecimiento profesional y personal a lo largo de estos años.

RESUMEN

Los sistemas costeros son ambientes donde operan múltiples factores de estrés de origen natural y antrópico. Entre los factores antrópicos más recurrentes se encuentra la contaminación por aumento en la descarga de nutrientes, que ocasiona el proceso de eutrofización. El objetivo de esta tesina fue evaluar las variaciones en las características individuales y poblacionales de tres especies de moluscos con diferente rol trófico en sitios de la Bahía de San Antonio con distinto aporte de nutrientes de origen antrópico. Las especies estudiadas fueron el mejillín *Brachidontes rodriguezii* (filtrador), la lapa *Bostrycapulus odites* (filtradora) y el caracol *Buccinastrum deforme* (carroñero) en sitios con alto, moderado y bajo aporte de nutrientes. *B. rodriguezii* presentó menor densidad y mayor tamaño corporal (individuos más largos y robustos) en el sitio con mayor aporte de nutrientes. *B. odites* mostró escasa variación en las características estudiadas, presentando similar densidad, tallas y talla al cambio de sexo entre los tres sitios de estudio. *B. deforme* no estuvo presente en el sitio con bajo aporte de nutrientes y no mostró variaciones marcadas en las características individuales y poblacionales entre sitios con alto y moderado aporte de nutrientes. Las características individuales y poblacionales de los moluscos, en general, fueron diferentes entre los sitios estudiados, sin embargo, su relación con el rol trófico no mostró un patrón específico, sugiriendo que otros factores ambientales no evaluados en esta tesina podrían estar relacionados con las variaciones observadas. Los resultados de este trabajo permiten ampliar el conocimiento sobre estas especies comunes en la Bahía de San Antonio, y a la vez proponer al mejillín, tal como se ha señalado en otros estudios, como una especie con potencial bioindicador de la salud del ecosistema.

Palabras clave: eutrofización, molusco, densidad, rol trófico, Bahía de San Antonio

ABSTRACT

Coastal systems are environments where multiple stress factors of natural and anthropogenic origin operate. Among anthropogenic factors, the most common is the pollution due to the increase of nutrient supply land-derived, which causes the eutrophication process. This study aimed to evaluate the variations in the individual and population characteristics of three species of mollusks with different trophic roles among sites located in San Antonio Bay with differences in nutrient load of anthropic origin. The species studied were the mussel *Brachidontes rodriguezii* (filter feeder), the limpet *Bostrycapulus odites* (filter feeder) and the snail *Buccinastrum deforme* (scavenger) in sites with high, moderate and low nutrient load. *B. rodriguezii* showed lower density, larger body size (larger total size and more robust individuals) at the high-nutrient site. *B. odites* showed little variation in the studied characteristics, presenting similar density, sizes and size at sex change, among the three study sites. *B. deforme* was not found in the site with low nutrient load and did not show marked variations in the characteristics among sites with high and moderate nutrient load. The individual and population characteristics of the mollusks were, in general, different among studied sites; however, their relationship with the trophic role did not show a clear pattern, suggesting that other environmental factors not evaluated in this study could be related to the observed variations. The results of this work contribute to the knowledge of these common species in San Antonio Bay and also allow us to propose the mussel, as it has been suggested in other studies, as a species with potential bioindicator of the health of the ecosystem.

Keywords: eutrophication, mollusk, density, trophic role, San Antonio Bay

1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas costeros son ambientes con alta productividad y con crecientes asentamientos urbanos, donde operan múltiples factores de estrés, tanto naturales como antrópicos. Entre los factores antrópicos más recurrentes se encuentra la contaminación por aumento en la descarga de nutrientes (Peterson y Estes 2001). La contaminación por nutrientes es la introducción, directa o indirecta, de nitrógeno o fósforo en exceso que resulta en efectos deletéreos para los recursos o sus hábitats (Rabalais 2005), y representa una amenaza para la integridad, y los bienes y servicios que proveen los ecosistemas (*National Research Council* 2000). Las principales fuentes de aporte de nutrientes son la agricultura, el urbanismo y la industrialización, mediante el uso de fertilizantes, la deforestación, y la descarga de aguas residuales urbanas e industriales, entre otras (Nixon 1995, Valiela 2006, Rodríguez et al. 2017). Como resultado de la alta concentración de nutrientes incorporados a los sistemas costeros ocurre el proceso de eutrofización (Duarte 1995, Arévalo et al. 2007), que consiste en el aumento de materia orgánica, incluyendo el aumento del florecimiento de fitoplancton y macroalgas, generalmente especies oportunistas como por ejemplo las Ulvales (Nixon 1995, Teichberg et al. 2010). En etapas tempranas de eutrofización, el aumento de la productividad primaria y el crecimiento de macroalgas pueden tener efectos beneficiosos sobre otros componentes del ecosistema incluyendo el secuestro de nutrientes y aumento en la disponibilidad de alimento para consumidores (Valiela 1995); mientras que, en etapas avanzadas, puede provocar efectos negativos como el aumento en la frecuencia de floraciones de algas nocivas, y eventos de hipoxia-anoxia que pueden conducir a mortalidades en masa de diferentes organismos (Valiela et al. 1992, Diaz 2001). Así, el proceso de eutrofización puede causar una reorganización de las comunidades naturales, impactar en el funcionamiento del

ecosistema, y afectar la provisión de sus servicios ecosistémicos (Worm et al. 2006, Conley et al. 2009, Cloern et al. 2011).

Los moluscos son componentes importantes en las comunidades intermareales, tanto en abundancia como en diversidad de especies y de roles ecológicos (Hansen y Kristensen 1997, Kaiser 2005). Por su ubicación en la interfase sedimento/agua y las características de su historia de vida, los moluscos sedentarios o con escasa movilidad son potenciales bioindicadores de las condiciones ambientales, ya que pueden integrar y reflejar el efecto de los estresores locales (Veríssimo et al. 2011, Harayashiki et al. 2020). A su vez, diferentes estudios señalan variaciones en las tasas de crecimiento individual (Kirby y Miller 2005), en la forma de la concha (Vallarino 2002, Arrighetti et al. 2019), en la densidad (Vallarino y Elías 2006, Cabral-Oliveira et al. 2014), así como cambios en la reproducción y en el metabolismo (Arrighetti et al. 2019) en moluscos presentes en sitios con diferente aporte de nutrientes. Particularmente, el mejillín *Brachidontes rodriguezii* ha sido utilizado en diversos estudios como indicador de contaminación por descargas de aguas residuales, ya que presenta altas abundancias en sitios no impactados en contraposición con los sitios impactados en los cuales se observan menores abundancias y son dominados por otras especies oportunistas (Vallarino y Elías 2006, Becherucci et al. 2018, Arrighetti et al. 2019). Estos efectos negativos sobre el mejillín estarían relacionados con una obstrucción del mecanismo filtrador en condiciones de aumento excesivo de materia orgánica o por mortalidad por enterramiento debida a la alta tasa de sedimentación (López Gappa et al. 1990, Lenihan 1999). Además, los mejillines de sitios con alta concentración de materia orgánica pueden mostrar un menor índice de condición, regresión de las gónadas y una forma individual diferente (por ejemplo, individuos más robustos) a los de sitios no impactados (Vallarino 2002, Arrighetti et al. 2019). En contraposición, otros estudios

han reportado un efecto positivo sobre mejillines al presentar mayores tallas en sitios con alto aporte de nutrientes de origen antrópico (Vallarino et al. 2014).

El efecto de la eutrofización puede variar dependiendo del rol trófico de las especies (Jessen et al. 2015). Los moluscos presentan una gran diversidad de roles tróficos incluyendo predadores (ej. pulpos), carroñeros (ej. diferentes especies de caracoles) o filtradores (ej. lapas y bivalvos), entre otros. En este sentido, dependiendo de qué y cómo se alimenten, las especies pueden beneficiarse de una mayor productividad primaria (como consecuencia de un ambiente rico en materia orgánica), presentando tasas de crecimiento más rápidas, mayor fecundidad, y mayores densidades al tener mayor disponibilidad de alimentos, o por cambios en la elección de macroalgas con mayor calidad nutricional (Martinetto et al. 2010, 2011). Esto se observó en especies filtradoras (*Crassostrea virginica*, Kirby y Miller 2005), ramoneadoras (*Melarhaphes neritoides*, Alcántara 2015) y detritívoras (*Heleobia australis*, Neves et al. 2013). Fox et al. (2009) compararon un estuario eutrofizado y uno oligotrófico y observaron que los grupos de moluscos herbívoros y predadores fueron menos abundantes en el estuario eutrofizado, mientras que el grupo de moluscos omnívoros no mostró diferencias entre los estuarios. Sin embargo, en algunas especies encontraron respuestas diferentes, por ejemplo, los bivalvos presentaron mayores abundancias en el estuario no eutrofizado, mientras que la lapa *Crepidula* sp. no mostró diferencias entre los estuarios. Por otro lado, el caracol *Echinolittorina punctata* no mostró variaciones en los patrones de abundancia o crecimiento en relación con un gradiente de contaminación por nutrientes (Alcántara 2015). Así, las características individuales y poblacionales de los moluscos en sitios con diferente aporte de nutrientes parecen ser altamente variables dependiendo no solo de las características ecológicas de las especies, incluyendo su modo de vida y reproducción, el rol trófico, y la asociación con el fondo, entre otros, sino

también de las condiciones locales de cada hábitat en particular (Alcántara 2015, Du et al. 2011).

El ecosistema costero de la Bahía de San Antonio (Golfo San Matías, Río Negro), presenta alta biodiversidad, con características físicas y oceanográficas particulares, y en este ecosistema se han evaluado los cambios ecológicos asociados al proceso de eutrofización desde hace más de 15 años. En la bahía el enriquecimiento con nutrientes de origen antrópico sostiene una alta biomasa de macroalgas, a la vez que la alta tasa de recambio del sistema remueve aguas anóxicas y nutrientes, minimizando los efectos deletéreos relacionados con la hipoxia sobre consumidores y efectos negativos en cascada sobre la trama trófica (Martinetto et al. 2010, Teichberg et al. 2010, Martinetto et al. 2011, Villares y Pastor de Ward 2020, Becherucci et al. 2021). Sin embargo, las altas densidades de plancton unicelular (particularmente las etapas meroplantónicas de *Ulva lactuca*) que se encuentran en aguas poco profundas de los canales internos de la bahía sugieren que el lavado no tiene un impacto significativo en los mismos (Saad et al. 2019). Numerosos trabajos previos remarcan las diferencias en el aporte de nutrientes entre estos canales y a su vez variaciones estacionales (Martinetto et al. 2010, Teichberg et al. 2010, Martinetto et al. 2011, Becherucci et al. 2021, Burgueño et al. 2022), las cuales podrían deberse a una mayor descarga de nutrientes durante los meses de verano por las actividades recreativas costeras y el turismo, que representa una de las principales actividades económicas en la localidad de San Antonio Oeste (Carbone et al. 2011). Por ejemplo, Martinetto et al. (2010) observaron mayor abundancia de invertebrados en un canal eutrofizado en comparación con otro no eutrofizado, entre estos *Buccinastrum deforme* (antes *Buccinanops globulosum*), mientras que *Brachidontes rodriguezii* no mostró diferencias entre canales, y *Heleobia australis* fue más abundante en el canal no eutrofizado. Más recientemente, otros autores también observaron diferencias en la abundancia de gasterópodos y diferencias en los

patrones de diversidad de moluscos intermareales entre canales con distinto aporte de nutrientes (Avaca et al. 2019, Coronel et al. 2019). Avaca et al. (2019) por ejemplo, encontraron un menor número de especies y mayor dominancia de algunos caracoles en los sitios próximos a asentamientos urbanos y con mayor aporte de nutrientes de origen antrópico, que en los sitios más alejados donde se encontró un mayor número de especies y mayor equitatividad. También se identificaron diferencias en las trayectorias del proceso de sucesión y en la composición final del ensamble de algas bentónicas entre canales de la bahía con distinta carga de nutrientes, encontrando un ensamble más diverso donde la carga de nutrientes es mayor (Fricke et al. 2016).

A pesar de la abundante información con la que se cuenta para la Bahía de San Antonio, la influencia del aporte de nutrientes sobre poblaciones de moluscos con distinto rol trófico aún no ha sido estudiada en detalle. En este marco, considerando todo lo mencionado, el crecimiento urbano sostenido en el área costera de la Bahía de San Antonio con el consecuente incremento en el aporte de nutrientes (i. e. ya sea por aguas residuales urbanas e industriales, entre otras fuentes), la hidrodinámica del sistema, la existencia de un ensamble diverso de moluscos, y las características ambientales y ecológicas particulares de la bahía, justifican la necesidad de evaluar y comprender las variaciones en las características individuales y poblacionales de moluscos bentónicos con distinto rol trófico en sitios con diferente aporte de nutrientes de origen antrópico.

2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

El objetivo general de este trabajo es evaluar variaciones en las características individuales y poblacionales de tres especies de moluscos bentónicos con distinto rol trófico

(filtrador y carroñero) en sitios que reciben diferente aporte de nutrientes (bajo, moderado, alto) de la Bahía de San Antonio. Los objetivos específicos son:

1 - Estudiar las características individuales (largo total, peso total seco, e índice de condición) de las especies en cada uno de los sitios.

2 - Caracterizar en cada sitio de estudio las poblaciones de moluscos en relación con su densidad, estructuras de tallas y pesos, proporción de sexos, relaciones morfométricas, y otras características particulares de cada especie como la talla de cambio de sexo.

3 - Comparar estacionalmente las características individuales y poblacionales de los moluscos en cada sitio estudiado.

4 - Relacionar las variaciones en las características individuales y poblacionales de los moluscos con el rol trófico de cada especie.

5 - Comparar y relacionar las características individuales y poblacionales de los moluscos con el aporte de nutrientes en cada sitio.

En esta tesina se plantea la hipótesis que los moluscos en la Bahía de San Antonio presentan variaciones en sus características individuales y poblacionales relacionadas al aporte de nutrientes del sitio en el que se encuentren, y que estas variaciones se relacionan también con el rol trófico de las especies. Para evaluar la hipótesis se estudiarán dos especies filtradoras (el mejillín *Brachidontes rodriguezii* y la lapa *Bostrycapulus odites*) y una carroñera (el caracol *Buccinastrum deforme*) en tres sitios de la Bahía de San Antonio, con diferencias marcadas respecto a la concentración de nutrientes (Canal SAO > Canal Control > Canal Escondido) y similares respecto a la exposición a otras variables ambientales, como la profundidad, el tiempo de residencia del agua y el tipo de sustrato (Carbone et al. 2007, Martinetto et al. 2010). De acuerdo al marco teórico, se espera que el caracol carroñero *B. deforme* forme poblaciones más

densas y los individuos muestren mayor talla, peso e índice de condición, en los sitios con mayor aporte de nutrientes (Canal SAO) que en los sitios con menor aporte (Canal Control y Canal Escondido) debido a la mayor disponibilidad de alimento (i. e. mayor abundancia de consumidores y consecuentemente mayor disponibilidad de carroña). A su vez, se espera que las especies filtradoras presenten menor densidad en los sitios con aporte alto de nutrientes (i.e. debido a que la alta carga de material en suspensión puede afectar su mecanismo filtrador obstruyendo las branquias, como así también pueden morir por enterramiento al aumentar la tasa de sedimentación); y que además, presenten mayores tallas, pesos e índice de condición en el sitio con mayor aporte (i.e. debido a que esta mayor carga de material también representa mayor disponibilidad de alimento). Además, se espera que en las tres especies se observen diferencias en las relaciones morfométricas y en las distribuciones de frecuencia de tallas y pesos entre los sitios, ya que las diferencias en la energía disponible (alimento) podrían conllevar un diferente uso de la misma tanto en el crecimiento como en la reproducción, reflejándose por ejemplo en la forma (i.e. individuos más robustos en el sitio con mayor aporte de nutrientes), y/o diferencias en la relación talla-peso entre sitios, o en algunos aspectos reproductivos como la presencia de huevos. Mientras que, en otras características como la proporción de sexos y la talla de cambio de sexo (en lapa) no se esperan diferencias entre los sitios, ya que estas características no estarían directamente relacionadas al aporte de nutrientes.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Sitios y especies de estudio

El estudio se llevó a cabo en la Bahía de San Antonio, Golfo San Matías, Río Negro, Argentina ($40^{\circ} 42' - 40^{\circ} 50' S / 64^{\circ} 43' - 65^{\circ} 07' O$; **Fig. 1**). La zona intermareal de la bahía se

caracteriza por fondos someros de tipo arenoso mezclado con canto rodado, y canales de marea donde el mejillín *Brachidontes rodriguezii*, el caracol globoso *Buccinastrum deforme* y la lapa *Bostrycapulus odites*, aparecen como especies comunes (Daleo et al. 2006, Roche et al. 2020). La Bahía de San Antonio presenta un canal al que confluyen canales de marea secundarios formando una red. Los canales seleccionados para este estudio fueron: el canal principal que bordea a la ciudad de San Antonio Oeste, de 4 km extensión y 0,9 m de profundidad; y un canal alejado de los asentamientos urbanos con 5,5 km de extensión y 0,9 m de profundidad (Carbone et al. 2007). El canal principal recibe el aporte de nutrientes de la ciudad y derivados de una planta procesadora de pescado sobre la costa, presenta alta concentración de nitrógeno inorgánico disuelto y floraciones de algas oportunistas (Martinetto et al. 2010, Teichberg et al. 2010). Las aguas residuales domésticas de la ciudad pasan principalmente a través de fosas sépticas domésticas hacia las aguas subterráneas y se filtran rápidamente a través de los sedimentos arenosos no consolidados que subyacen a la ciudad de San Antonio Oeste (Genchi et al. 2010, Martinetto et al. 2010). Si bien en 2017 se organizó un sistema de recolección de aguas negras en la localidad, no todos los hogares están conectados a este sistema (ARSA 2017). El canal más alejado presenta una extensión y profundidad similar al canal principal, pero alejado de los asentamientos urbanos, no recibe aportes significativos de nutrientes de origen antrópico (Becherucci et al. 2021, Gastaldi et al. 2021). También se consideró un canal control más pequeño y menos profundo paralelo al canal principal, separado de éste por una barra sedimentaria, que ha sido utilizado en numerosos estudios como un control del impacto del aporte de nutrientes de la ciudad (Martinetto et al. 2010, 2011, Fricke et al. 2016). El canal paralelo presenta menor concentración de amonio, nitrato y fosfato, baja biomasa y diversidad de macroalgas, y no recibe un aporte de nutrientes significativo (Martinetto et al. 2010, 2011, Fricke et al. 2016).

Estos canales se seleccionaron utilizando como *proxy* las variables ambientales presentadas por Gastaldi et al. 2021 (**Tabla 1**) y trabajos previos que remarcan sus diferencias (Martinetto et al. 2010, Teichberg et al. 2010, Martinetto et al. 2011, Becherucci et al. 2021). En cada canal se seleccionó un sitio de muestreo (**Fig. 1**), incorporando las denominaciones utilizadas por los trabajos previos en la Bahía de San Antonio, el sitio Canal SAO se encuentra en el canal principal (alto aporte de nutrientes), el sitio Canal Escondido se encuentra en el canal más alejado (bajo aporte de nutrientes), y el sitio Canal Control se encuentra en el canal paralelo al principal (moderado aporte de nutrientes).

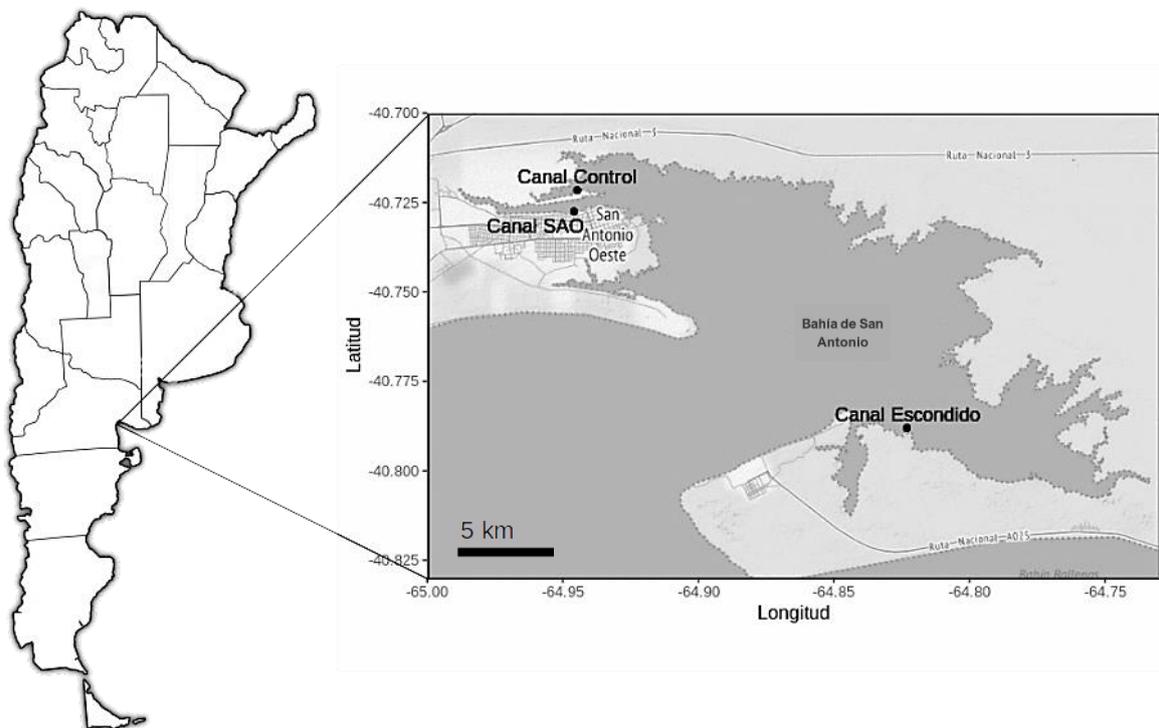


Fig. 1. Ubicación de la Bahía de San Antonio y los sitios de estudio. Imagen de la derecha tomada de Google Maps a través del paquete ggmap de RStudio.

Tabla 1. Valores de nutrientes disueltos registrados en muestras de agua de tres canales de la Bahía de San Antonio (Canal Escondido, Canal Control y Canal SAO) durante muestreos estacionales entre 2019 y 2020. PO_4^{3-} : fosfato, NH_4^+ : amonio, NO_2^- : nitrito, NO_3^- : nitrato. Tomado de Gastaldi et al. 2021, utilizados como *proxy* ambiental en esta tesina.

Estación	Sitio	PO_4^{3-}	NH_4^+	NO_2^-	NO_3^-
Primavera	Canal Escondido	121,2	53,24	8,66	13,84
	Canal Control	132,88	38,54	24,66	489,3
	Canal SAO	248,24	79,61	75,66	6465,28
Verano	Canal Escondido	160,62	51,72	12,33	85,48
	Canal Control	125,58	35,49	19	496,76
	Canal SAO	1258,72	808,74	126,33	4970,25
Otoño	Canal Escondido	129,96	152,62	14,33	131,35
	Canal Control	146,02	250,48	59	447,83
	Canal SAO	194,21	142,98	61	5439,43
Invierno	Canal Escondido	110,98	43,6	1,66	42,58
	Canal Control	108,06	38,53	19,66	498,35
	Canal SAO	103,68	33,97	41,33	3744,69

Las especies de moluscos seleccionadas para el presente trabajo fueron:

- a) el mejillín *Brachidontes rodriguezii* (d'Orbigny, 1846) se distribuye desde Rio Grande do Sul (Brasil) hasta Punta Ninfas, Chubut (Argentina 42°S; Adami et al. 2013). Esta especie es común en el medio litoral en bancos costeros y fondos sedimentarios y rocosos hasta 100 metros

de profundidad, y habita en todos los canales de la Bahía de San Antonio (Castellanos 1967, Salas 2018; **Fig. 2**). El mejillinar en la Bahía de San Antonio forma un estrato continuo en monocapa, con densidades variables en un gradiente vertical siendo el horizonte inferior más denso que el horizonte medio (Salas 2018). Por ser filtrador, sésil y su amplia distribución, se ha utilizado en estudios de biomonitoreo ambiental en ecosistemas costeros incluyendo la Bahía de San Antonio (Vázquez et al. 2007, Arias et al. 2009, Machado-Schiaffino et al. 2009, Buzzi et al. 2017, Oliva et al. 2017). Se alimenta de partículas en suspensión en el agua como diatomeas y detritos orgánicos (Penchaszadeh 1973), y es fuente de alimento de otros moluscos y aves playeras (González et al. 1996, García et al. 2010, Storero et al. 2016). Es una especie dioica de fecundación externa, que presenta hermafroditismo en baja frecuencia como estrategia reproductiva alternativa; del huevo se origina una larva veliger libre, nadadora y planctotrófica (Penchaszadeh 1973, Torroglosa 2015).



Fig. 2. *Brachidontes rodriguezii* en el intermareal de Canal SAO, en la Bahía de San Antonio. La flecha y círculo indican a un individuo.

b) el caracol *Buccinastrum deforme* (King, 1832) endémico del Océano Atlántico Sudoccidental, se distribuye desde Uruguay (34°S) a Santa Cruz, Patagonia Argentina (48°S) (Castellanos 1967). Esta especie habita desde el intermareal hasta 10 m de profundidad, donde pasa la mayor parte del tiempo enterrado (Narvarte 2006; **Fig. 3**). Se alimenta de carroña, principalmente de cangrejos y moluscos, es dioico de fecundación interna y su desarrollo es directo. Las hembras depositan ovicápsulas sobre su propia concha, en cuyo interior se desarrolla un único embrión que se alimenta de reservas intracapsulares (Avaca et al. 2012). Puede vivir hasta siete años, y en el Golfo San Matías alcanza tallas de hasta 60 mm de largo. Presenta gran variabilidad entre poblaciones para muchas características biológicas como tamaño máximo y talla de madurez, fecundidad y morfometría de la concha y rádula (Narvarte 2006, Narvarte et al. 2008, Avaca 2010, Avaca et al. 2012). En la Bahía de San Antonio hay

registros del fenómeno de imposex (i.e. superposición de caracteres masculinos en hembras causado por exposición a derivados de compuestos organo-estañosos, Smith 1971) (Willers 2004, Avaca et al. 2015). Este fenómeno se relaciona con el tráfico marítimo ya que tales compuestos se encuentran presentes en pinturas antiincrustantes, y se manifiesta con la aparición de un pene en las hembras o la formación del vaso deferente, y en ocasiones con la oclusión del gonoporo y/o glándulas accesorias de las hembras (Bigatti et al. 2009).



Fig. 3. *Buccinastrum deforme* en el intermareal de Canal SAO, en la Bahía de San Antonio. La flecha y círculo indican a un individuo.

c) la lapa *Bostrycapulus odites* (Collin, 2005) se distribuye en un amplio rango latitudinal y longitudinal del Atlántico Sur, desde el sur de Brasil hasta la Patagonia Argentina, y también se encuentra en las costas de Sudáfrica (Collin 2005). Se ha reportado como especie invasora fuera de su hábitat nativo, por ejemplo, en el mar Mediterráneo (Izquierdo et al. 2007). Esta especie habita en todos los canales de la Bahía de San Antonio, tanto en el intermareal como en

el submareal somero, se encuentra en fondos duros y blandos hasta 12 m de profundidad y como epibionte de moluscos (Roche et al. 2020; **Fig. 4**). Ha sido utilizada como bioindicador ambiental en relación a la contaminación por metales pesados en la Bahía de San Antonio (Laitano et al. 2013). Es una especie filtradora y hermafrodita protándrica, que experimenta cambios de sexos a mediados de su adultez, de machos a hembras (Cledón et al. 2016). En la transición sexual ocurre la reabsorción del pene, el desarrollo de una papila genital femenina y estructuras reproductivas asociadas, así como un cambio de la producción de espermatozoides a ovocitos en la gónada y la fecundación es interna a través de la cópula (Lesoway y Henry 2019). Forma pilas de individuos sujetos a rocas, y las hembras llevan las cápsulas con huevos dentro de la valva, de las cuales emergen larvas veliger metamorfoseadas, presentando desarrollo directo (Parodiz 1939).



Fig. 4. *Bostrycapulus odites* en el intermareal de Canal SAO, en la Bahía de San Antonio. La flecha y círculo indican a un individuo.

3.2. Muestreo a campo y procesamiento de muestras

Se realizaron muestreos estacionales en el año 2021 durante la bajamar en el estrato inferior del intermareal de los tres sitios de estudio. Para los muestreos de mejillín y caracol, se utilizaron unidades muestrales cuadradas distribuidas al azar (mejillín: 0,15 m x 0,15 m x 0,03 m de profundidad, n = 10 por sitio y estación; caracol: 1 m x 1 m, n = 5 por sitio y estación). Para mejillín, se barrió cada unidad muestral con una espátula de metal removiendo a todos los individuos. Para caracol se utilizaron cebos de cangrejos muertos de la especie *Neohelice granulata* y luego de 15 minutos se recolectaron todos los caracoles dentro de la unidad de muestreo (Daleo et al. 2012, Narvarte et al. 2017, Storero et al. 2022). El muestreo de lapas se realizó utilizando transectas de banda fija, las cuales se recorrieron recolectando las lapas en la superficie y bajo las piedras (10 m de largo x 1 m de ancho, n = 4 por sitio y estación; **Fig. 5**). Los individuos recolectados de cada especie fueron conservados en freezer (-18°C) hasta el momento de su estudio.

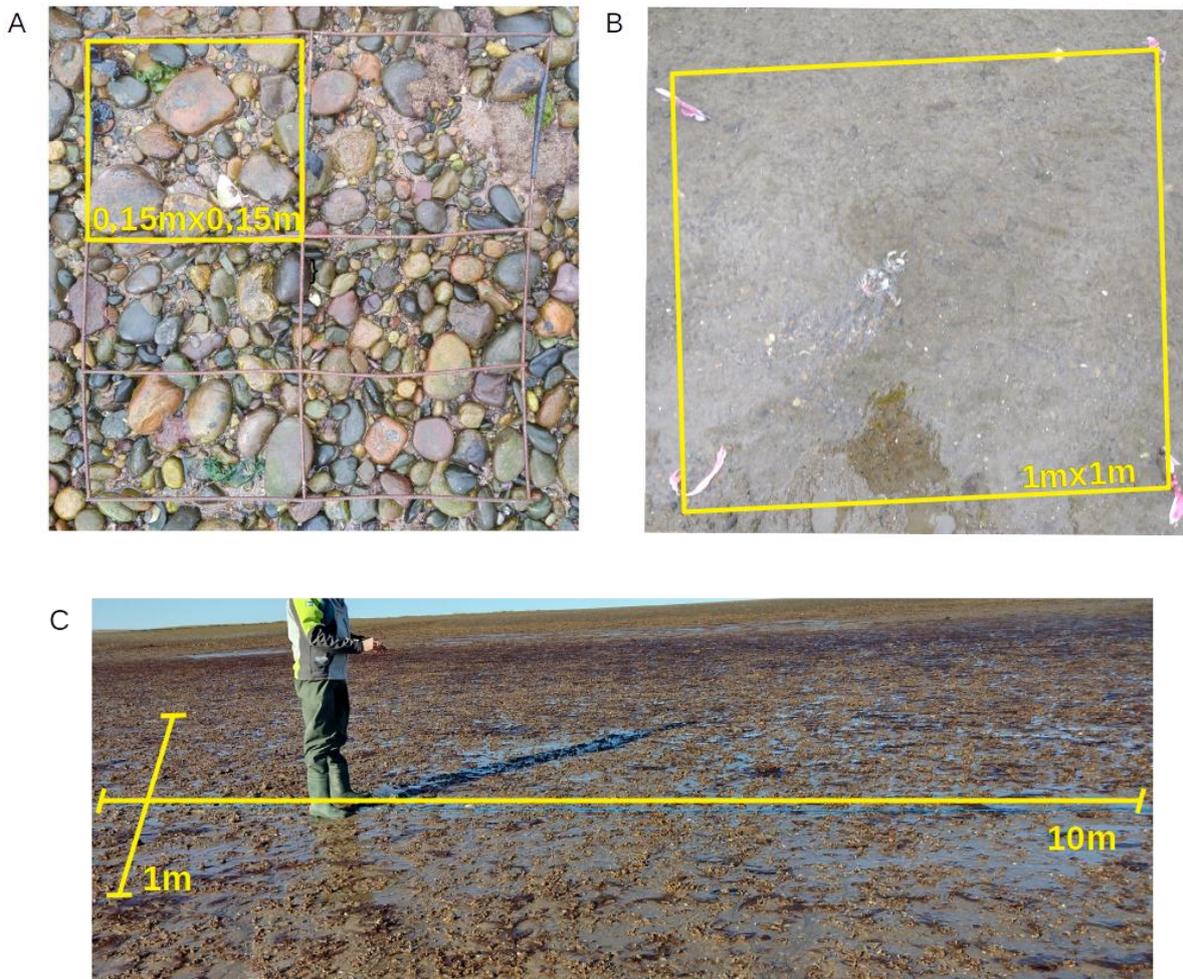


Fig. 5. Métodos de muestreo utilizados para recolectar las tres especies de moluscos. A) Unidad muestral cuadrada para mejillín y (B) caracol. C) Transecta de banda fija para lapa.

En laboratorio, se midió con calibre ($\pm 0,01$ mm) el largo total (LT, mm, antero-posterior), y/o ancho total (AT, mm, dorso-ventral) y espesor total (ET, mm, lateral) de la concha o valva según la especie, el peso total húmedo (PTh, g) y el peso total seco (PTs, g) a partir del peso de la concha o valva seca más el tejido blando seco (**Fig. 6**). El peso seco se registró utilizando una balanza analítica luego de secar las partes blandas de los individuos en estufa a $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 24 h.



Fig. 6. Medidas morfométricas registradas en (de izquierda a derecha) *Brachidontes rodriguezii*, *Buccinastrum deforme* y *Bostrycapulus odites* respectivamente. LT: largo total, AT: ancho total, ET: espesor total.

Para los caracoles, se determinó el sexo en base a la presencia de pene y ausencia de glándulas accesorias en el caso de los machos, y a la presencia de glándulas femeninas en el caso de las hembras (Avaca 2010) teniendo en cuenta el fenómeno de imposex (**Fig. 7**). Para las lapas se determinó el sexo en base a la presencia de pene en machos, y la presencia de ovipositor y/o masas de huevo en hembras (**Fig. 8**). Al momento de la determinación del sexo de las lapas, no se registró la presencia en simultáneo de pene y ovipositor y/o masas de huevos, es decir de individuos intersex (Cledón et al. 2016).

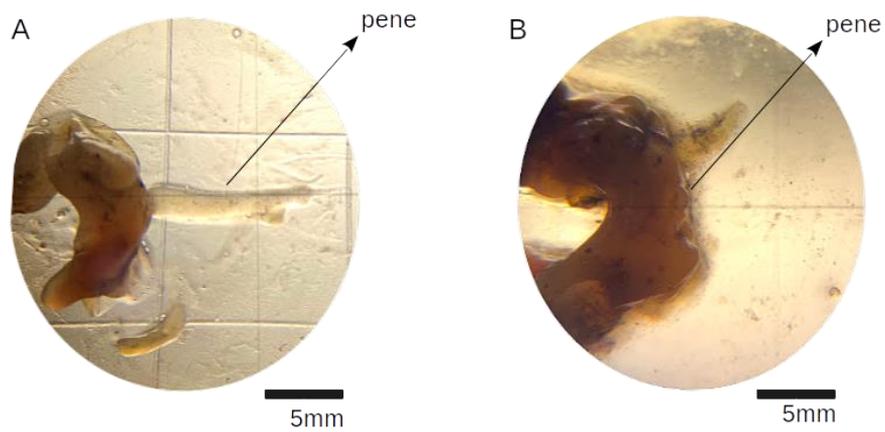


Fig. 7. Caracteres utilizados para la determinación del sexo en *Buccinastrum deforme*. A) machos normales y B) hembras con imposex (en esta imagen no se logra observar las glándulas accesorias). Aumento: 0,8X.

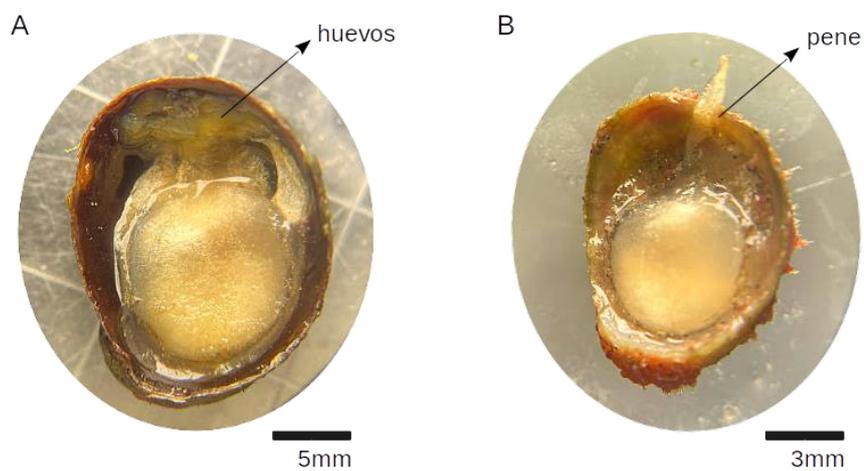


Fig. 8. Caracteres utilizados para la determinación del sexo en *Bostrycapulus odites*. A) masas de huevos en el interior de la concha en la hembra y ausencia de pene. B) presencia de pene en machos. Aumento: 0,8X.

Para *B. rodriguezii* y *B. odites*, debido al gran volumen de las muestras colectadas, las mediciones morfogravimétricas así como la determinación del sexo en la lapa, se realizaron en una submuestra de cada réplica. Para *B. deforme* solo se tomó una submuestra para el registro del peso del tejido blando (tamaño submuestra, $n = 40$). Previo al registro de las variables en todas las especies y réplicas se realizó el conteo total de individuos para calcular la densidad (número de individuos por metro⁻²) en cada sitio de estudio.

3.3. Análisis de datos

Las tallas (LT y ET) y pesos secos (PTs) medios individuales fueron comparados entre estaciones y sitios (y sexos en el caracol y la lapa) mediante ANOVA de dos y tres vías respectivamente. Para evaluar la condición general de los individuos, se calculó un índice de condición (IC) de acuerdo a: $IC = \text{Peso del tejido blando seco} / \text{Peso total seco} \times 100$. Este índice se comparó entre sitios y estaciones mediante ANOVA de dos vías (factores: sitio y estación) en mejillín, y para caracol y lapa se analizó mediante ANOVA de tres vías considerando además el factor sexo. Para evaluar diferencias en la densidad de cada especie entre sitios y estaciones se utilizó ANOVA de dos vías (factores: sitio y estación).

Las tallas (LT y ET) y pesos secos (PTs) individuales se utilizaron para construir distribuciones de frecuencias y se compararon entre estaciones y sitios (y sexos en el caracol y la lapa) mediante la prueba Kolmogorov-Smirnov. Las modas en cada distribución fueron distinguidas cualitativamente y se analizó su progresión estacional. Del total de variables morfogravimétricas registradas y analizadas se seleccionaron para esta tesina los resultados del largo (LT) y espesor (ET) en el mejillín, largo (LT) en caracol y lapa, y el peso total seco (PTs) en las tres especies debido a similitudes en los resultados entre las distribuciones del largo (LT) y ancho (AT).

Para caracol y lapa se calculó la proporción de sexos y se comparó entre sitios y estaciones utilizando la prueba Chi cuadrado. Además, para la lapa se estimó la talla de cambio de sexo (largo total al cual el 50% de los individuos es hembra) ajustando un modelo logístico a los datos de proporción de machos y hembras por clase de talla:

$$H(LT) = 1 / (1 + e^{-c * (LT - LT_{50})})$$

donde $H(LT)$ es la proporción de hembras a la talla LT , c es la intensidad de la curvatura y LT_{50} es la talla a la cual el 50% de los individuos son hembras. La estimación de los parámetros se realizó mediante el método de máxima verosimilitud (Aubone y Wohler 2000).

Para evaluar si existen variaciones en la forma de los moluscos entre sitios, se estudiaron las relaciones morfométricas para cada especie mediante técnicas de morfometría clásica. Para ello, se calcularon diferentes índices morfométricos de acuerdo a la especie. Para mejillín se calculó el ancho relativo (AT/LT) y el espesor relativo (ET/LT) y se comparó entre sitios mediante ANOVA de una vía. Para lapas solo se comparó ancho relativo (AT/LT) mediante ANOVA de dos vías entre sexos y sitios. Además, para comparar el crecimiento entre sitios se estimó la relación LT/PTs para las tres especies (considerando los sexos por separado en caracol y lapa) y se analizó entre sitios utilizando ANCOVA. En mejillín, para evaluar si existe una variación densodependiente en la forma de los individuos se evaluó la relación entre los índices morfométricos (AT/LT y ET/LT) y la densidad, mediante el análisis de Correlación de Spearman.

Previo a cada análisis (ANOVA de una, dos y tres vías y ANCOVA) para todas las variables analizadas se corroboraron los supuestos de normalidad y homocedasticidad. Cuando no se cumplieron los supuestos aun transformando los datos, este análisis fue preferido debido al tamaño muestral, dado que el ANOVA es un análisis robusto ante el incumplimiento de algunos de los supuestos, siempre y cuando se trate de tamaños muestrales grandes (Underwood

1997). Cuando se detectaron diferencias significativas en el ANOVA, se realizaron comparaciones múltiples a posteriori con la prueba de Tukey.

En todos los análisis, excepto en la densidad para la cual se utilizó el n total de cada muestra, para mejillín y lapa se utilizaron los datos de las submuestras previamente mencionadas (n=40). Para lapa, los individuos en los cuales no se pudo identificar el sexo correctamente fueron registrados como inmaduros (n=3), y no fueron considerados para los análisis con distinción de sexos. Para caracol, todos los análisis se realizan con el n total de cada muestra, excepto los análisis que involucran el peso seco en los que se utilizó la submuestra (n=40).

Para realizar los análisis estadísticos se utilizó RStudio y, en particular, los siguientes paquetes: rcompanion, FSA, MASS, ggpubr, plyr, fdth, car, carData, outliers, agricolae, emmeans, rapportools, rstatix, FinCal, broom, magrittr, effects, multcomp, multcompView, ISLR, ggpmisc, scales. Para graficar se utilizó el paquete ggplot2.

4. RESULTADOS

El mejillín *B. rodriguezii* y la lapa *B. odites* se registraron en los tres sitios de estudio mientras que el caracol *B. deforme* se registró en dos de ellos (Canal SAO y Canal Control). Cabe destacar que en el caso de *B. odites* no se realizaron los muestreos de verano y para *B. deforme* no se pudieron coleccionar individuos en el muestreo de invierno en Canal Control debido a malas condiciones climáticas e inconvenientes en la logística. Se contabilizaron en total 7574 mejillines, 8012 lapas y 865 caracoles. Las tres especies mostraron variaciones en las características individuales y poblacionales analizadas en los diferentes sitios, y estas se detallan a continuación.

4.1. Características individuales

a. Tallas y pesos medios individuales

Las tallas (LT y ET) medias de los mejillines mostraron una interacción significativa entre sitios y estaciones (**Tabla 2**; ANOVA de dos vías, $p < 0,05$; **Fig. 9** y **Fig. 10**), es decir que las estaciones se comportaron de diferente manera en cada sitio (Tukey, $p \leq 0,05$). En general, se observó una tendencia de menores a mayores tallas desde el verano hasta la primavera en Canal SAO, mientras que en Canal Escondido se observó la tendencia opuesta, y en Canal Control las tallas fueron similares en todas las estaciones. Las menores tallas se encontraron en Canal Control, mientras que Canal Escondido y Canal SAO presentaron tallas mayores y similares entre si (excepto el espesor que fue mayor en Canal SAO) (Tukey, $p \leq 0,05$).

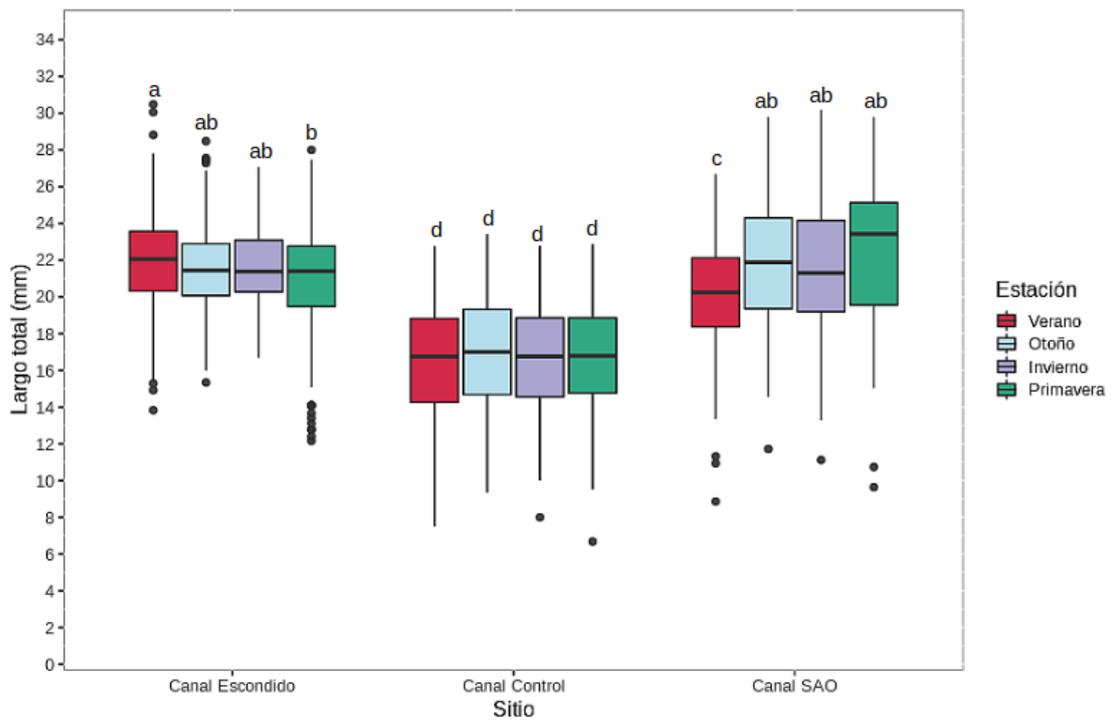


Fig. 9. Largo total de *Brachidontes rodriguezii* en tres sitios (Canal Escondido, Canal Control y Canal SAO) de la Bahía de San Antonio durante el período de estudio (verano, otoño, invierno y primavera). La línea en la caja representa la mediana, los límites de la caja el primer cuartil y el tercer cuartil, y los bigotes representan los valores mínimo y máximo. Los puntos representan valores atípicos. Letras distintas indican diferencias significativas (Tukey, $p \leq 0,05$).

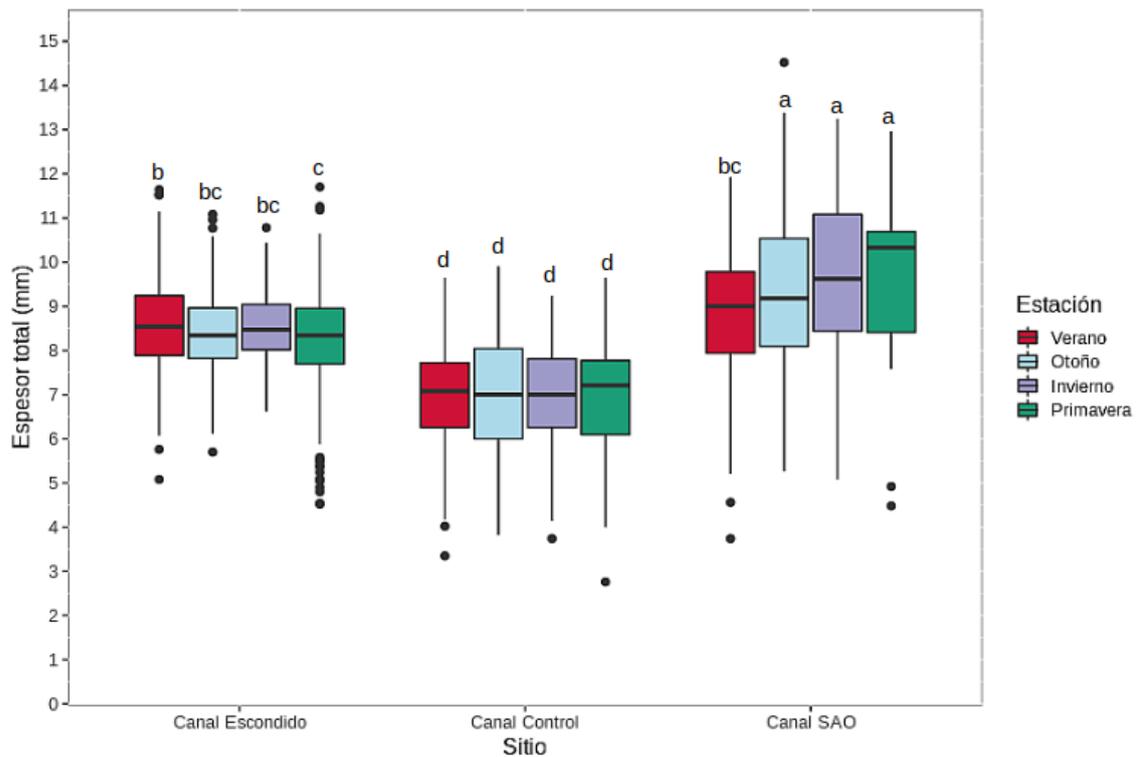


Fig. 10. Espesor total de *Brachidontes rodriguezii* en los tres sitios (Canal Escondido, Canal Control y Canal SAO) de la Bahía de San Antonio durante el período de estudio (verano, otoño, invierno y primavera). La línea en la caja representa la mediana, los límites de la caja el primer cuartil y el tercer cuartil, y los bigotes representan los valores mínimo y máximo. Los puntos representan valores atípicos. Letras distintas indican diferencias significativas (Tukey, $p \leq 0,05$).

Los pesos secos (PTs) medios individuales de los mejillines también mostraron interacción significativa entre los factores (**Tabla 2**; ANOVA de dos vías, $p < 0,05$; **Fig. 11**), ya que las estaciones se comportaron de diferente manera en cada sitio (Tukey, $p \leq 0,05$). En general, se observó un incremento en el peso desde el verano hasta la primavera en Canal SAO, mientras que en Canal Escondido y Canal Control el peso fue similar entre estaciones (Tukey, $p \leq 0,05$). El menor peso se registró en Canal Control. La variación encontrada en cada una de

las variables (largo, espesor y peso total) fue menor en Canal Escondido, y similar entre Canal SAO y Canal Control (por ejemplo: Coeficiente de variación, Peso total seco; Canal Escondido: 30%, Canal Control: 49% y Canal SAO: 50%).

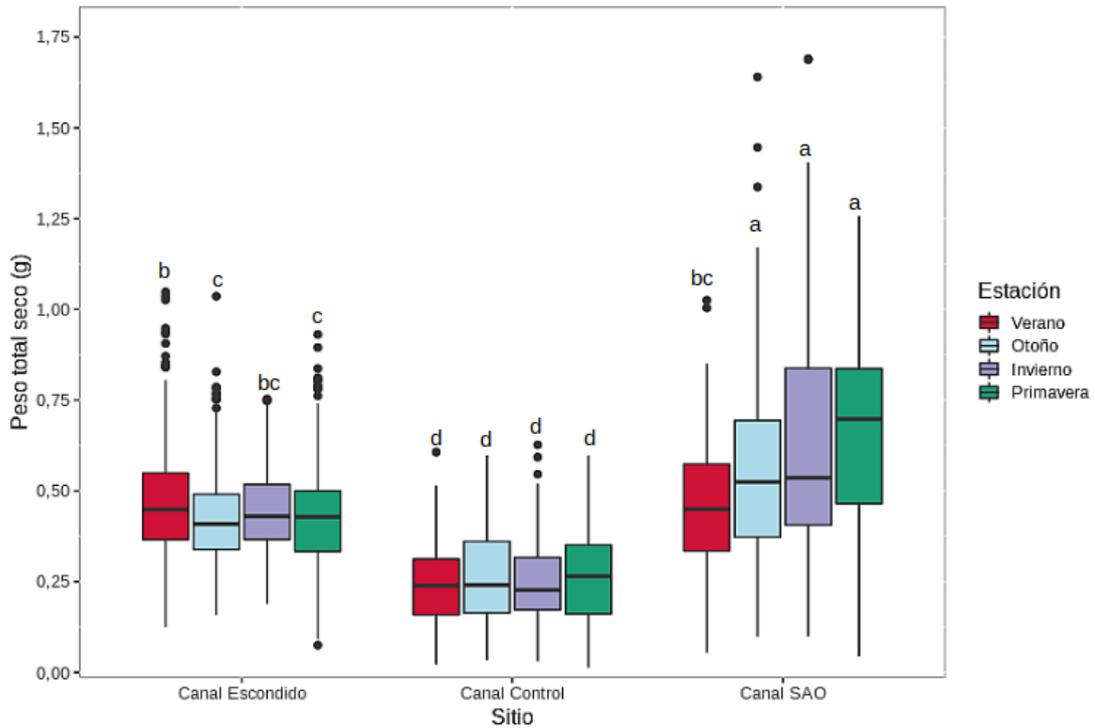


Fig. 11. Peso total seco de *Brachidontes rodriguezii* en los tres sitios (Canal Escondido, Canal Control y Canal SAO) de la Bahía de San Antonio durante el período de estudio (verano, otoño, invierno y primavera). La línea en la caja representa la mediana, los límites de la caja el primer cuartil y el tercer cuartil, y los bigotes representan los valores mínimo y máximo. Los puntos representan valores atípicos. Letras distintas indican diferencias significativas (Tukey, $p \leq 0,05$).

Tabla 2. Resultados de ANOVAs de dos vías: comparación de las tallas (LT y ET) y pesos (PTs) medios de *Brachidontes rodriguezii* entre estaciones (verano, otoño, invierno y primavera) y sitios (Canal Escondido, Canal Control y Canal SAO) en la Bahía de San Antonio. Valores en negrita indican diferencias significativas $p < 0,05$.

Fuente de Variación	Largo total			Espesor total			Peso total seco		
	gl	F	p	gl	F	p	gl	F	p
Estación	3	1,41	0,23	3	6,93	0,001	3	4,75	0,01
Sitio	2	470,47	<2.10⁻¹⁶	2	386,69	<2.10⁻¹⁶	2	315,83	<2.10⁻¹⁶
Estación:Sitio	6	8,33	6.10⁻⁰⁹	6	6,85	3.10⁻⁰⁷	6	13,83	1.10⁻¹⁵
Residuales	2228			2228			2228		

Las tallas (LT) y pesos (PTs) medios de los caracoles presentaron interacción entre sitios y estaciones, y además entre sitios y sexos en los pesos (**Tabla 3**; ANOVA de tres vías, $p < 0,05$; **Fig. 12** y **Fig. 13**), es decir que los sexos y las estaciones no mostraron el mismo patrón en los tres sitios (Tukey, $p \leq 0,05$). En general, las hembras presentaron mayor LT y PTs que los machos, y para ambos sexos los caracoles de Canal Control presentaron menor LT y PTs que en Canal SAO.

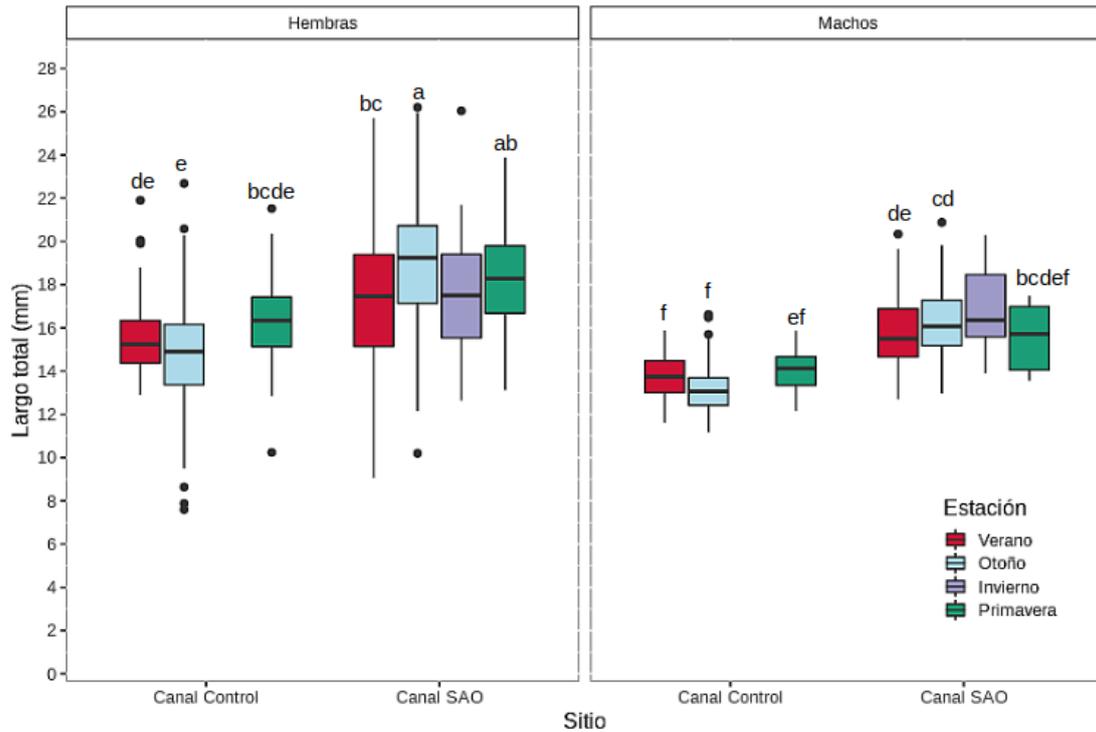


Fig. 12. Largo total de *Buccinastrum deforme* en los sitios (Canal Control y Canal SAO) de la Bahía de San Antonio durante el período de estudio (verano, otoño, invierno y primavera). La línea en la caja representa la mediana, los límites de la caja el primer cuartil y el tercer cuartil, y los bigotes representan los valores mínimo y máximo. Los puntos representan valores atípicos. Letras distintas indican diferencias significativas (Tukey, $p \leq 0,05$), el invierno no fue considerado en el análisis estadístico debido a la falta de datos en Canal Control.

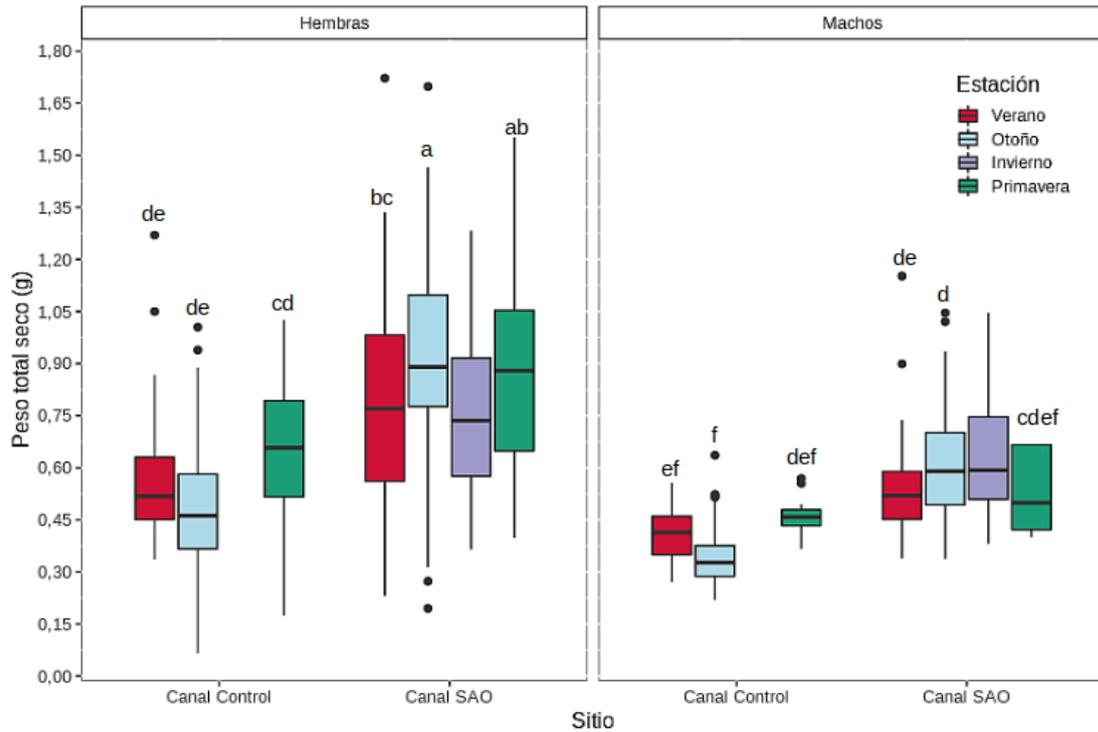


Fig. 13. Peso total seco de *Buccinastrum deforme* en los sitios (Canal Control y Canal SAO) de la Bahía de San Antonio durante el período de estudio (verano, otoño, invierno y primavera). La línea en la caja representa la mediana, los límites de la caja el primer cuartil y el tercer cuartil, y los bigotes representan valores mínimo y máximo. Los puntos representan valores atípicos. Letras distintas indican diferencias significativas (Tukey, $p \leq 0,05$), el invierno no fue considerado en el análisis estadístico debido a la falta de datos en Canal Control.

Tabla 3. Resultados de ANOVAs de tres vías: comparación de las tallas (LT) y pesos (PTs) medios de *Buccinastrum deforme* entre estaciones, sitios (Canal Control y Canal SAO) y sexos. Las comparaciones se realizaron considerando verano, otoño y primavera, al no contar con los datos de invierno en uno de los sitios de estudio. Valores en negrita indican diferencias significativas $p < 0,05$.

Fuente de Variación	Largo total			Peso total seco		
	gl	F	p	gl	F	p
Estación	2	8,32	0,001	2	7,47	0,001
Sitio	1	269,60	<2.10⁻¹⁶	1	199,34	<2.10⁻¹⁶
Sexo	1	148,05	<2.10⁻¹⁶	1	124,35	<2.10⁻¹⁶
Estación:Sitio	2	14,74	5.10⁻⁰⁷	2	9,26	0,001
Estación:Sexo	2	1,30	0,27	2	0,17	0,84
Sitio:Sexo	1	1,10	0,29	1	11,96	0,001
Estación:Sitio:Sexo	2	1,56	0,21	2	0,30	0,73
Residuales	789			484		

Las tallas (LT) medias de las lapas presentaron diferencias significativas entre sexos, entre sitios y entre estaciones (**Tabla 4**; ANOVA de tres vías, $p < 0,05$; **Fig. 14**). Las hembras presentaron mayor LT que los machos en los tres sitios y en todas las estaciones (Tukey, $p \leq 0,05$). Además, las hembras presentaron mayor LT en primavera en los tres sitios, mientras que en los machos no se observaron diferencias entre estaciones.

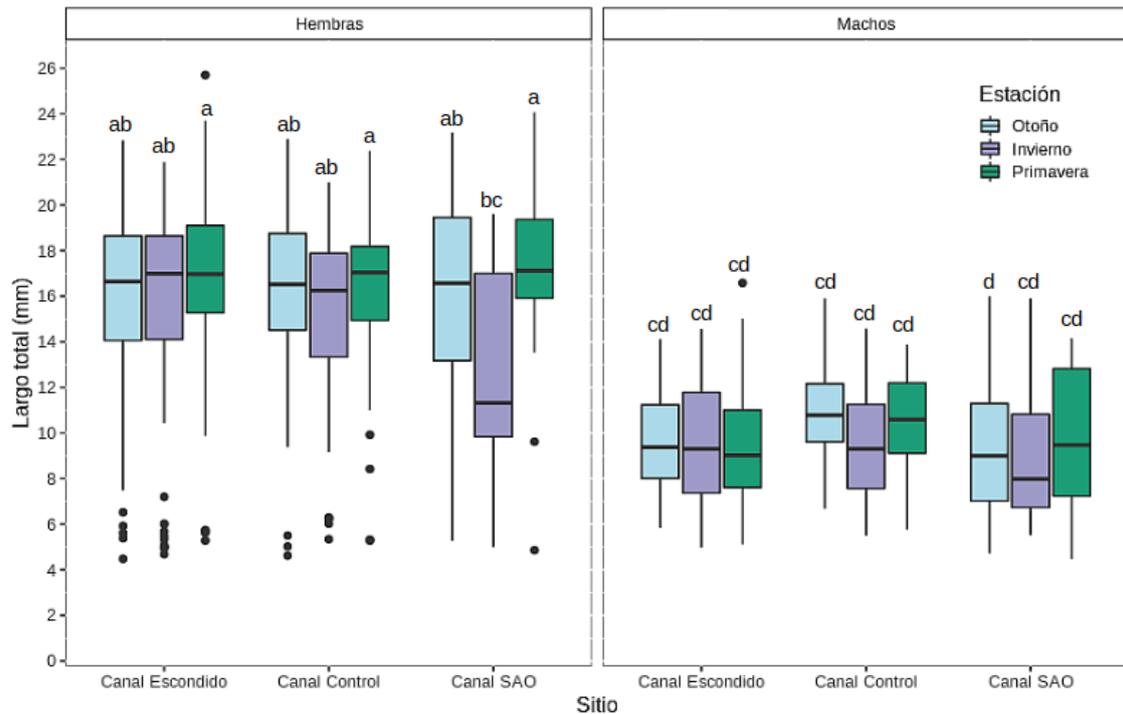


Fig. 14. Largo total de *Bostrycapulus odites* en los tres sitios (Canal Escondido, Canal Control y Canal SAO) de la Bahía de San Antonio durante el período de estudio (otoño, invierno y primavera). La línea en la caja representa la mediana, los límites de la caja el primer cuartil y el tercer cuartil, y los bigotes representan valores mínimo y máximo. Los puntos representan valores atípicos. Letras distintas indican diferencias significativas (Tukey, $p \leq 0,05$).

Los pesos (PTs) medios individuales también mostraron diferencias significativas entre sexos y estaciones, pero no entre sitios. La interacción fue significativa entre sexos y estaciones (**Tabla 4**; ANOVA de tres vías, $p < 0,05$; **Fig. 15**), es decir que los sexos mostraron diferente patrón en las estaciones (Tukey, $p \leq 0,05$). Los mayores PTs se encontraron en Canal SAO y Canal Escondido durante la primavera y, en general, las hembras presentaron mayor PTs que los machos (Tukey, $p \leq 0,05$).

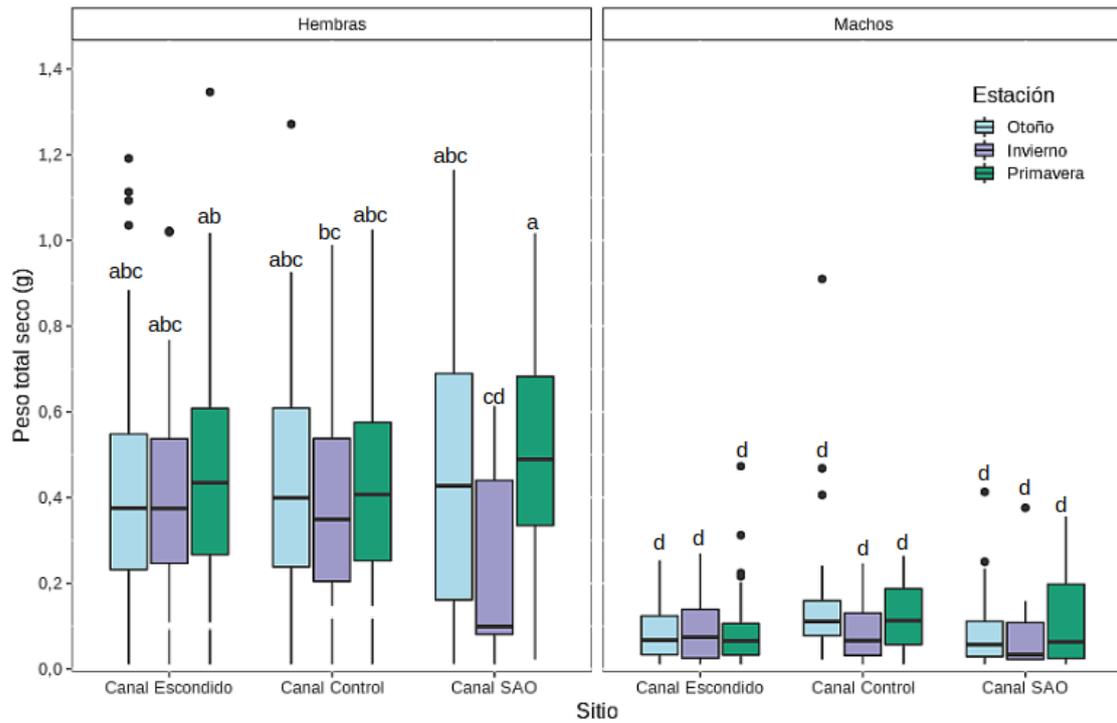


Fig. 15. Peso total seco de *Bostrycapulus odites* en los tres sitios (Canal Escondido, Canal Control y Canal SAO) de la Bahía de San Antonio durante el período de estudio (otoño, invierno y primavera). La línea en la caja representa la mediana, los límites de la caja el primer cuartil y el tercer cuartil, y los bigotes representan los valores mínimo y máximo. Los puntos representan valores atípicos. Letras distintas indican diferencias significativas (Tukey, $p \leq 0,05$).

Tabla 4. Resultados de ANOVAs de tres vías: comparación de las tallas (LT) y pesos (PTs) medios de *Bostrycapulus odites* entre estaciones (otoño, invierno y primavera), sitios (Canal Escondido, Canal Control y Canal SAO) y sexos. Valores en negrita indican diferencias significativas $p < 0,05$.

Fuente de Variación	Largo total			Peso total seco		
	gl	F	p	gl	F	p
Estación	2	4,08	0,02	2	5,32	0,01
Sitio	2	7,47	0,001	2	2,28	0,10
Sexo	1	912,37	<2.10⁻¹⁶	1	614,06	<2.10⁻¹⁶
Estación:Sitio	4	2,16	0,07	4	2,37	0,05
Estación:Sexo	2	2,63	0,07	2	3,17	0,04
Sitio:Sexo	2	1,82	0,16	2	0,99	0,37
Estación:Sitio:Sexo	4	1,42	0,22	4	1,21	0,31
Residuales	1039			1039		

b. Índice de condición

En *B. rodriguezii* el índice de condición presentó interacción significativa entre sitios y estaciones (**Tabla 5**; ANOVA de dos vías, $p < 0,05$). En general, se observó una tendencia de mayores a menores valores del índice en Canal Control y Canal SAO desde el verano hacia la primavera, mientras que en Canal Escondido los valores fueron menos variables. El índice de condición presentó los mayores valores en verano en los tres sitios (**Fig. 16**).

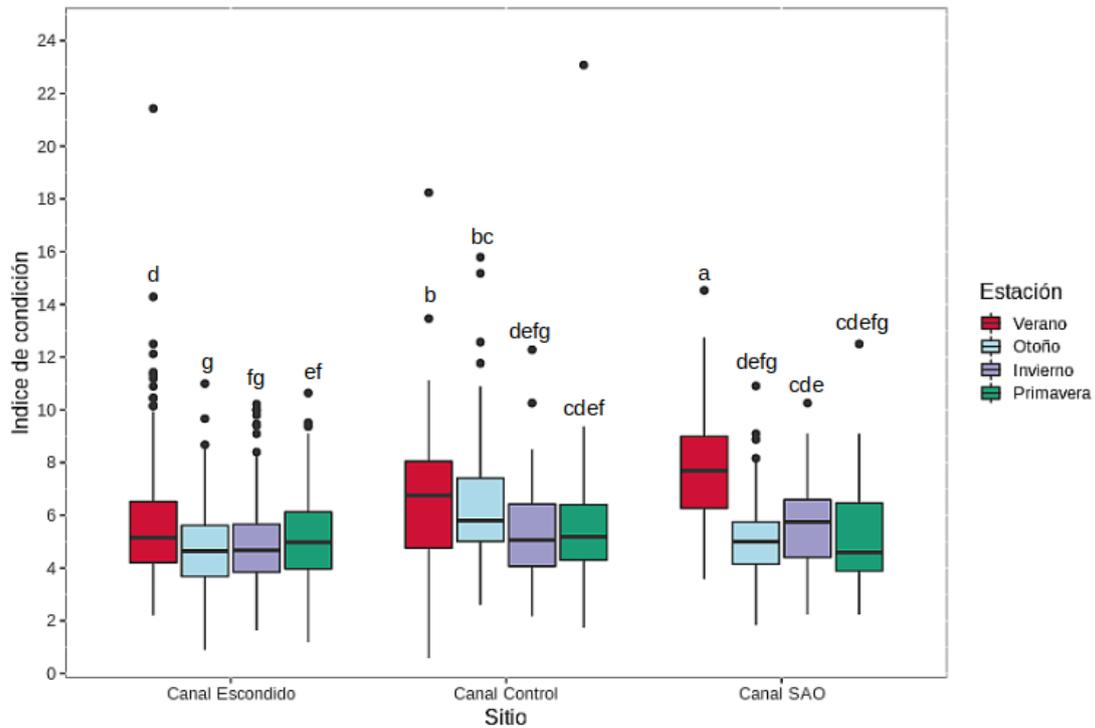


Fig. 16. Índice de condición de *Brachidontes rodriguezii* en tres sitios (Canal Escondido, Canal Control y Canal SAO) de la Bahía de San Antonio durante el período de estudio (verano, otoño, invierno y primavera). La línea en la caja representa la mediana, los límites de la caja el primer cuartil y el tercer cuartil, y los bigotes representan los valores mínimo y máximo. Los puntos representan valores atípicos. Letras distintas indican diferencias significativas (Tukey, $p \leq 0,05$).

Tabla 5. Resultados de ANOVA de dos vías: comparación del índice de condición de *Brachidontes rodriguezii* entre las estaciones del año (verano, otoño, invierno y primavera) y los sitios (Canal Escondido, Canal Control y Canal SAO). Valores en negrita indican diferencias significativas $p < 0,05$.

Fuente de variación	<i>B. rodriguezii</i>		
	gl	F	p
Estación	3	48,87	< 2.10 ⁻¹⁶
Sitio	2	68,64	< 2.10 ⁻¹⁶
Estación:Sitio	6	10,83	6.10 ⁻¹²
Residuales	2227		

En *B. deforme* el índice de condición presentó diferencias entre estaciones, sitios y sexos, como también interacción significativa entre los sitios y las estaciones (**Tabla 6**; ANOVA de tres vías, $p < 0,05$), es decir que los sitios mostraron patrones estacionales diferentes (Tukey, $p \leq 0,05$; **Fig. 17**). En general, en Canal SAO se observó una tendencia de mayores a menores valores del índice desde el verano hacia la primavera, mientras que en Canal Control los valores fueron menos variables. El índice de condición fue mayor en verano en Canal SAO en las hembras, presentando estas en general mayores valores que los machos. También en Canal SAO el índice mostró valores más variables entre estaciones (Coeficiente de variación; Canal SAO: 26%, Canal Control: 19%).

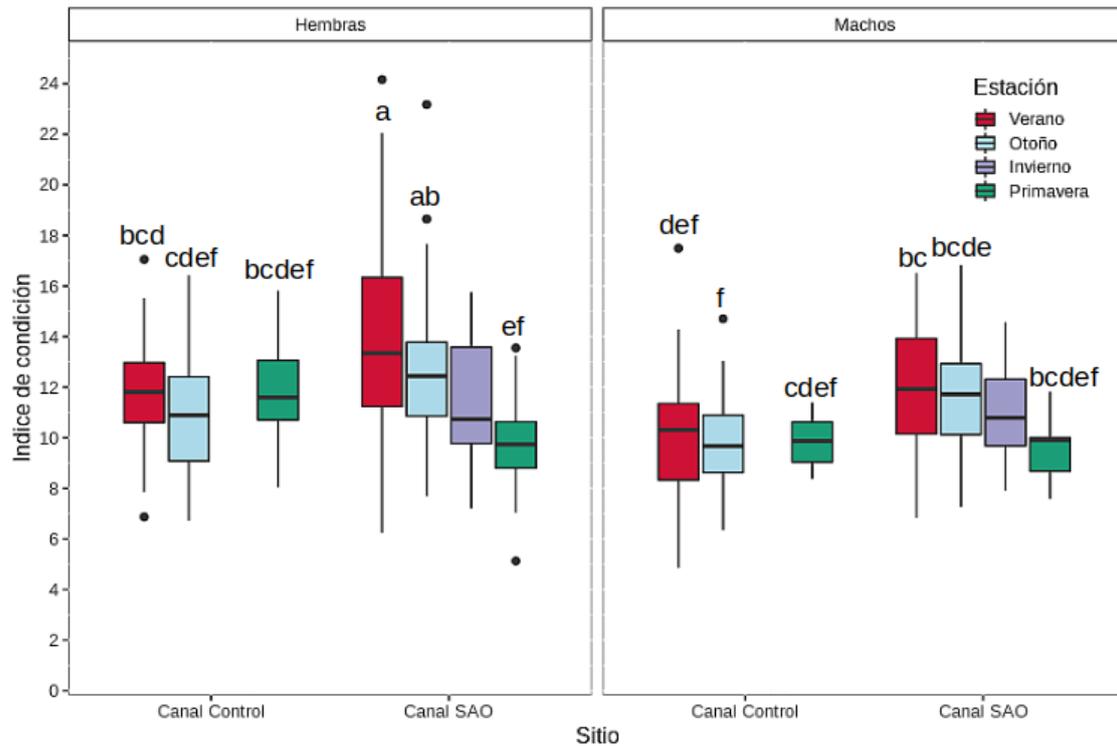


Fig. 17. Índice de condición de hembras y machos de *Buccinastrum deforme* en dos sitios (Canal Control y Canal SAO) de la Bahía de San Antonio durante el periodo de estudio (verano, otoño, invierno y primavera). La línea en la caja representa la mediana, los límites de la caja el primer cuartil y el tercer cuartil, y los bigotes representan los valores mínimo y máximo. Los puntos representan valores atípicos. Letras distintas indican diferencias significativas (Tukey, $p \leq 0,05$), el invierno no fue considerado en el análisis estadístico debido a la falta de datos en Canal Control.

En *B. odites* el índice de condición presentó diferencias significativas entre estaciones, sitios y sexos, como también interacción significativa entre estación-sexo, y sitio-sexo (**Tabla 6**; ANOVA de tres vías, $p < 0,05$), es decir que el índice de condición varió de diferente manera en cada estación y sitio (Tukey, $p \leq 0,05$; **Fig. 18**). Tanto los machos como las hembras de Canal Control mostraron un menor valor del índice de condición en comparación con los otros dos sitios. Sin embargo, en las hembras los mayores valores se registraron en Canal SAO,

mientras en los machos se encontraron en Canal Escondido, excepto en primavera. En ambos sexos, los menores valores se observaron en invierno.

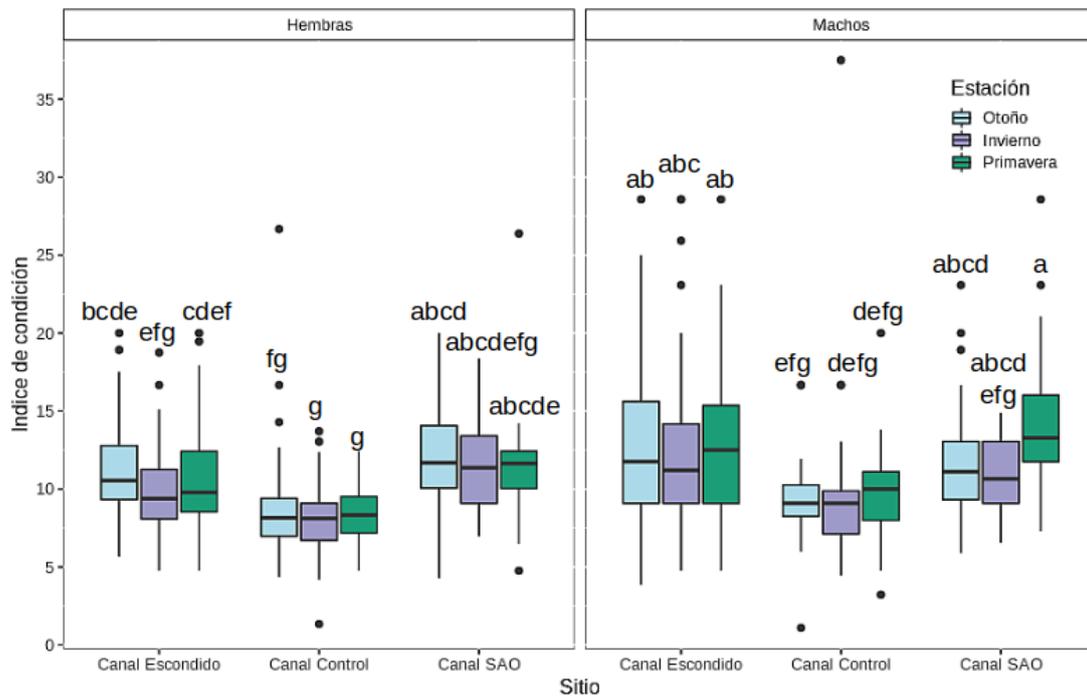


Fig. 18. Índice de condición de hembras y machos de *Bostrycapulus odites* en tres sitios (Canal Escondido, Canal Control y Canal SAO) de la Bahía de San Antonio durante el periodo de estudio (otoño, invierno y primavera). La línea en la caja representa la mediana, los límites de la caja el primer cuartil y el tercer cuartil, y los bigotes representan los valores mínimo y máximo. Los puntos representan valores atípicos. Letras distintas indican diferencias significativas (Tukey, $p \leq 0,05$).

Tabla 6. Resultados de ANOVAs de tres vías: comparación del índice de condición de *Buccinastrum deforme* y *Bostrycapulus odites* entre las estaciones del año, sitios (Canal Escondido, Canal Control y Canal SAO) y sexos. Las comparaciones se realizaron considerando verano, otoño y primavera en *B. deforme* y otoño, invierno y primavera en *B. odites*. Valores en negrita indican diferencias significativas $p < 0,05$.

Fuente de Variación	<i>B. deforme</i>			<i>B. odites</i>		
	gl	F	p	gl	F	p
Estación	2	17,89	3.10⁻⁰⁸	2	9,77	6.10⁻⁰⁵
Sitio	1	42,21	2.10⁻¹⁰	2	84,08	<2.10⁻¹⁶
Sexo	1	34,96	6.10⁻⁰⁹	1	57,79	6.10⁻¹⁴
Estación:Sitio	2	13,02	3.10⁻⁰⁶	4	1,80	0,13
Estación:Sexo	2	1,69	0,19	2	3,39	0,03
Sitio:Sexo	1	0,01	0,97	2	3,97	0,02
Estación:Sitio:Sexo	2	0,72	0,49	4	1,34	0,25
Residuales	484			1039		

4.2. Características poblacionales

a. Densidad

La densidad de *B. rodriguezii* mostró diferencias entre sitios pero no entre estaciones (**Tabla 7**; ANOVA de dos vías, $p < 0,05$). Las mayores densidades se encontraron en Canal Escondido (media \pm error estándar; $1160,83 \pm 205,77$ ind.m⁻²) que presentó una densidad promedio aproximadamente 20 veces mayor a la de los otros sitios (Tukey, $p \leq 0,05$; media \pm error estándar; Canal Control: $52,50 \pm 26,50$ ind.m⁻²; Canal SAO: $50,25 \pm 27,90$ ind.m⁻²; **Fig.**

19). Si bien en todos los sitios las densidades fueron variables, el Canal Escondido presentó la menor variación (Coeficiente de variación; Canal Escondido: 17%, Canal Control: 50% y Canal SAO: 55%).

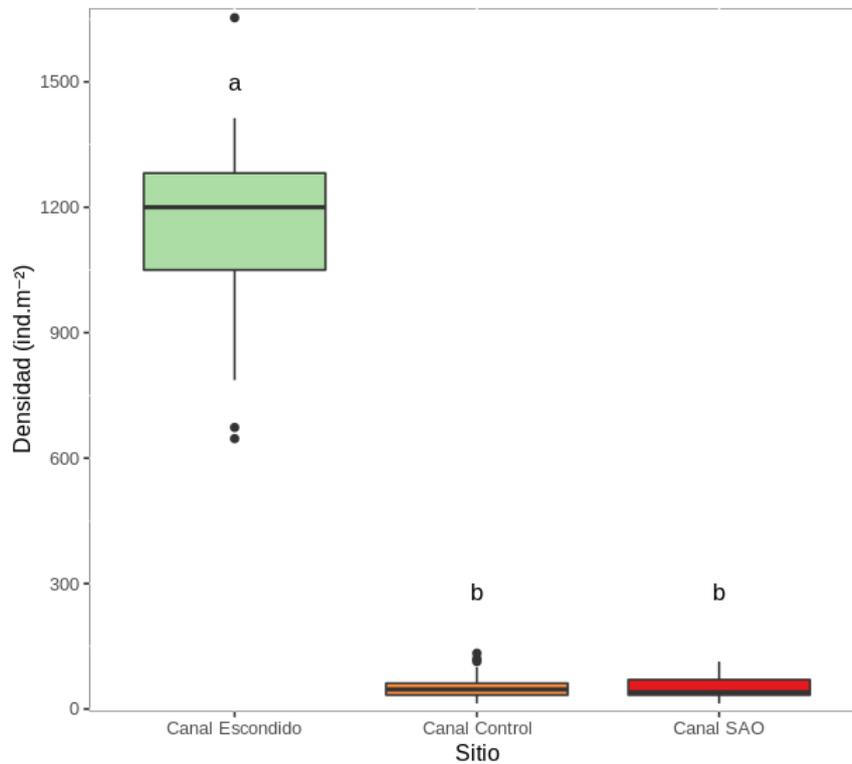


Fig. 19. Densidad de *Brachidontes rodriguezii* en tres sitios (Canal Escondido, Canal Control y Canal SAO) de la Bahía de San Antonio. La línea en la caja representa la mediana, los límites de la caja el primer cuartil y el tercer cuartil, y los bigotes representan los valores mínimo y máximo. Los puntos representan valores atípicos. Letras distintas indican diferencias significativas (Tukey, $p \leq 0,05$).

En *B. deforme* la comparación de las densidades arrojó diferencias significativas sólo entre estaciones (**Tabla 7**; ANOVA de dos vías, $p < 0,05$; **Fig. 20**). Las mayores densidades se observaron en verano en Canal SAO (media \pm error estándar; $51,2 \pm 18,59$ ind.m⁻²) y las

menores en invierno y primavera en ambos sitios. Las densidades en ambos sitios mostraron alta variabilidad (Coeficiente de variación: 84-89%).

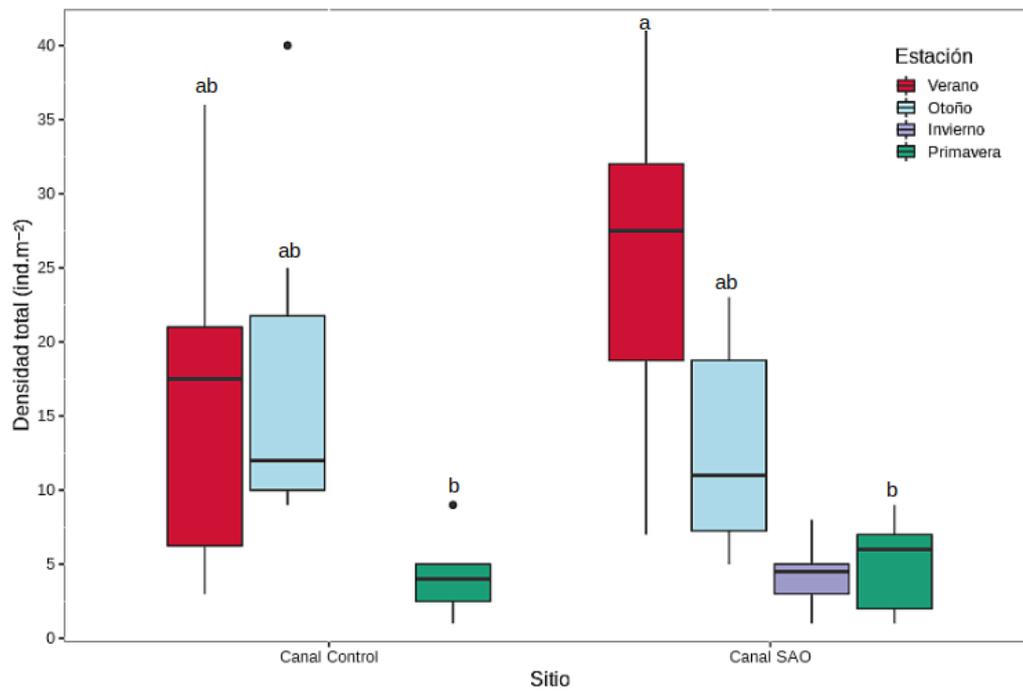


Fig. 20. Densidad de *Buccinastrum deforme* por estación en dos sitios (Canal Control y Canal SAO) de la Bahía de San Antonio. La línea en la caja representa la mediana, los límites de la caja el primer cuartil y el tercer cuartil, y los bigotes representan los valores mínimo y máximo. Los puntos representan valores atípicos. Letras distintas indican diferencias significativas (Tukey, $p \leq 0,05$), el invierno no fue considerado en el análisis estadístico debido a la falta de datos en Canal Control.

La densidad de *B. odites* no mostró diferencias estadísticas entre sitios ni entre estaciones (media \pm error estándar; Canal Escondido: $29,16 \pm 17,58$ ind.m⁻²; Canal Control: $32,39 \pm 28,03$ ind.m⁻²; Canal SAO: $13,55 \pm 12,73$ ind.m⁻²; **Tabla 7**; ANOVA de dos vías, $p > 0,05$; **Fig. 21**). Las densidades fueron variables en todos los sitios, y Canal Escondido presentó la menor

variación (Coeficiente de variación; Canal Escondido: 60%, Canal Control: 86% y Canal SAO: 93%).

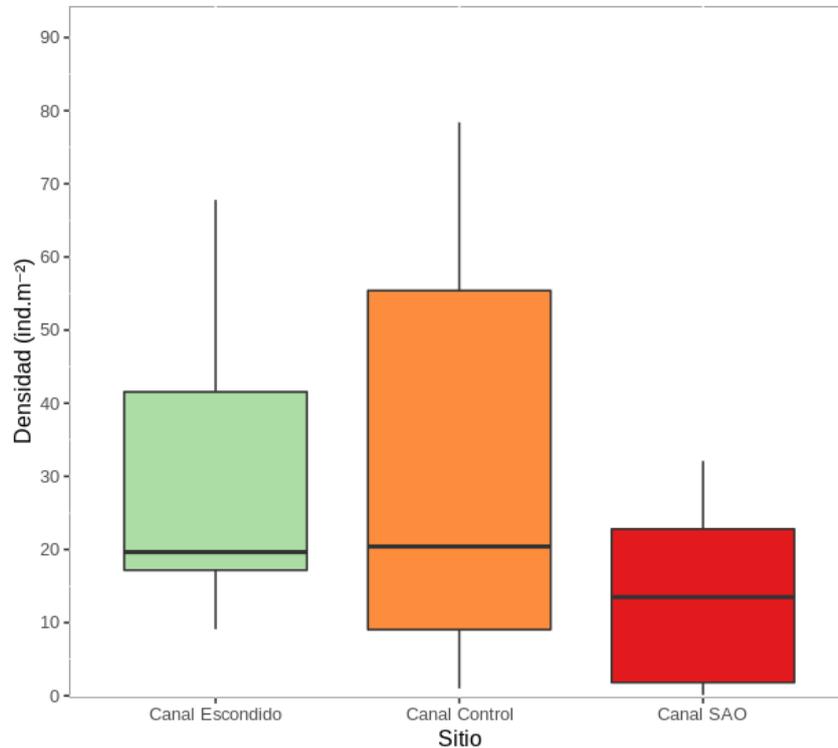


Fig. 21. Densidad de *Bostrycapulus odites* en tres sitios (Canal Escondido, Canal Control y Canal SAO) de la Bahía de San Antonio. La línea en la caja representa la mediana, los límites de la caja el primer cuartil y el tercer cuartil, y los bigotes representan los valores mínimo y máximo.

Tabla 7. Resultados de ANOVAs de dos vías para la comparación de la densidad de *Brachidontes rodriguezii*, *Buccinastrum deforme* y *Bostrycapulus odites* entre estaciones y sitios. Valores en negrita indican diferencias significativas, $p < 0,05$.

Fuente de variación	<i>B. rodriguezii</i>			<i>B. deforme</i>			<i>B. odites</i>		
	gl	F	p	gl	F	p	gl	F	p
Estación	3	2,24	0,08	2	11,96	2.10⁻⁰⁴	2	1,31	0,28
Sitio	2	1167,79	<2.10⁻¹⁶	1	0,09	0,77	2	2,10	0,14
Estación:Sitio	6	1,27	0,27	2	1,23	0,30	4	0,23	0,91
Residuales	107			24			21		

b. Estructuras de tallas y pesos

Las distribuciones de frecuencias de largo total (LT) y espesor total (ET) de *B. rodriguezii* mostraron diferencias significativas entre los sitios estudiados. Además, se observaron diferencias estacionales en Canal SAO y en Canal Escondido, pero no en Canal Control (Kolmogorov Smirnov, $p \leq 0,05$; **Figs. 22 y 23**). El rango de distribución para LT fue entre 12,16 - 30,48 mm en Canal Escondido, 6,68 - 23,42 mm en Canal Control, y 8,86 - 30,18 mm en Canal SAO. El rango de distribución para ET fue entre 52 - 11,70 mm en Canal Escondido, 2,76 - 9,91 mm en Canal Control, y 3,74 - 14,52 mm en Canal SAO. Si bien las tallas máximas de Canal Escondido y Canal SAO fueron similares, este último presentó mayor proporción de individuos de tallas grandes (**Fig. 22**). Cualitativamente se observó que las distribuciones de frecuencias de las tallas (LT y ET) fueron unimodales en la población de Canal Escondido mientras que, en los otros sitios y en algunas estaciones del año, se observó más de una moda (por ejemplo, en largo total: Canal SAO, verano: 14 mm, 20 mm aproximadamente).

La moda del LT en Canal Escondido y Canal SAO fue ca. 22 mm mientras que en Canal Control fue menor, ca. 17 mm. En cuanto al ET la moda en Canal Escondido y Canal Control fue ca. 8 mm, mientras que en Canal SAO fue ca.10 mm.

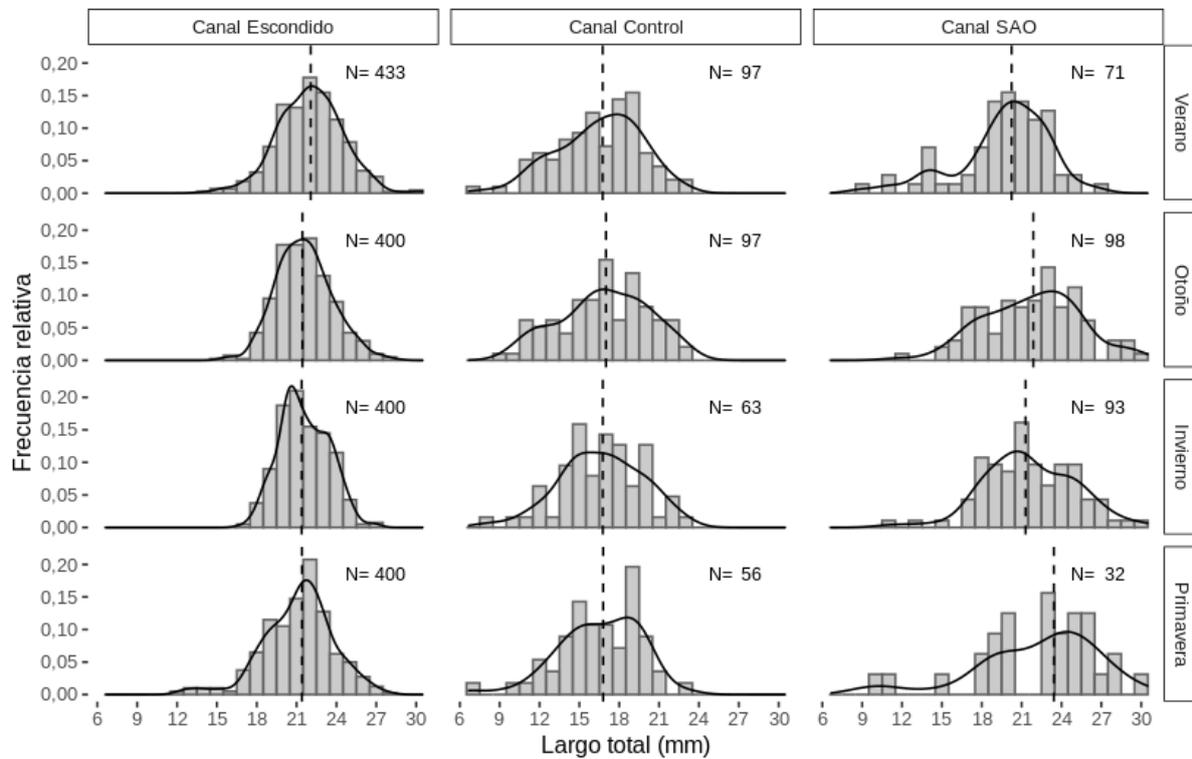


Fig. 22. Distribución de frecuencias de largo total de *Brachidontes rodriguezii* en los tres sitios (Canal Escondido, Canal Control y Canal SAO) de la Bahía de San Antonio durante el período de estudio (verano, otoño, invierno y primavera). La línea punteada representa la mediana. La línea sólida representa la tendencia de los datos. N = número de individuos.

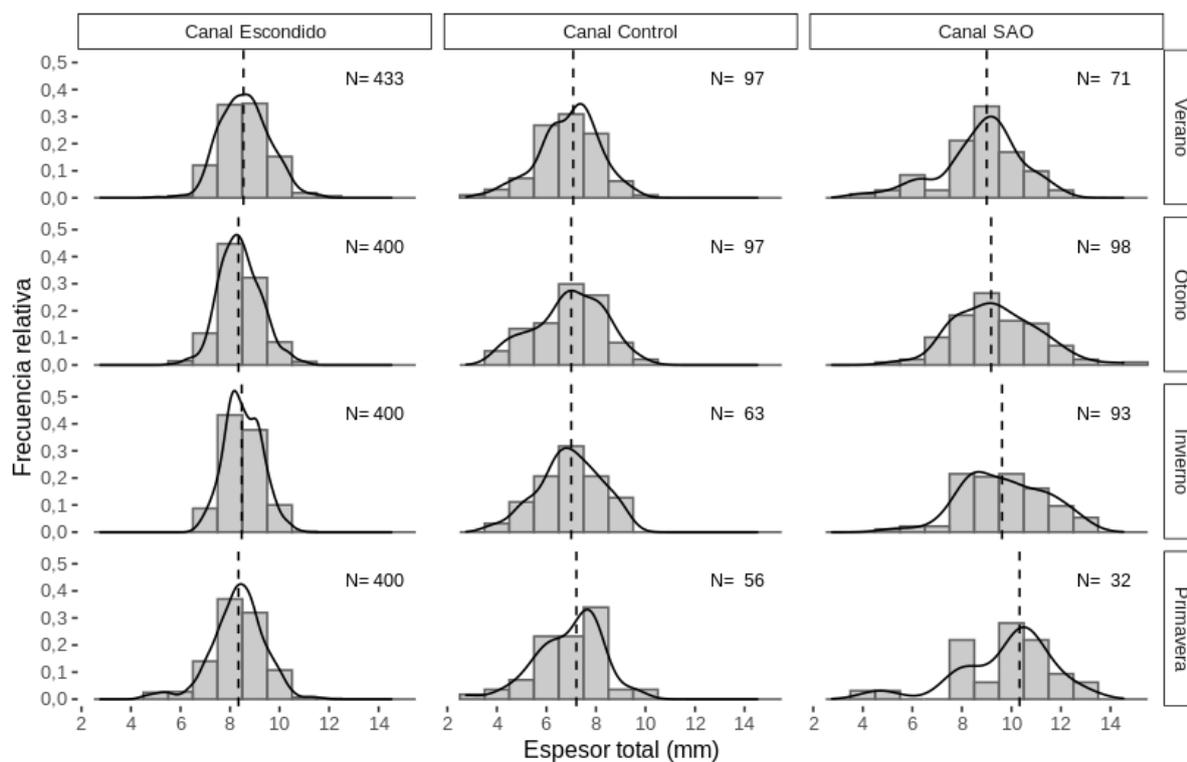


Fig. 23. Distribución de frecuencias de espesor total de *Brachidontes rodriguezii* en tres sitios (Canal Escondido, Canal Control y Canal SAO) de la Bahía de San Antonio durante el período de estudio (verano, otoño, invierno y primavera). La línea punteada representa la mediana. La línea sólida representa la tendencia de los datos. N = número de individuos.

Las distribuciones de frecuencias de peso total seco (PTs) presentaron diferencias significativas entre sitios (Kolmogorov Smirnov, $p \leq 0,05$; **Fig. 24**). Dentro de cada sitio, sólo se encontraron diferencias en algunas estaciones en Canal SAO y Canal Escondido. El rango para PTs fue entre 0,07 - 1,04 g en Canal Escondido, 0,01 - 0,62 g en Canal Control, y 0,04 - 1,69 g en Canal SAO. El PTs de mayor frecuencia en Canal Escondido fue ca. 0,4 g, y en Canal Control ca. 0,3 g, mientras que en Canal SAO fue variable entre estaciones.

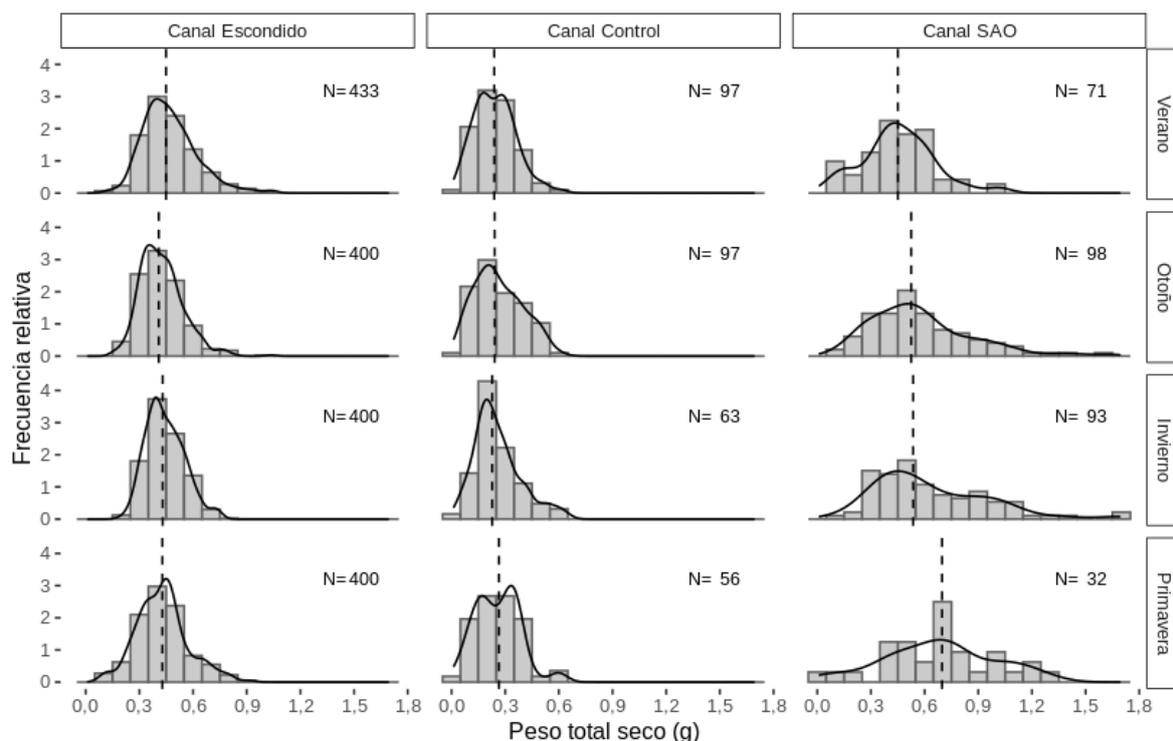


Fig. 24. Distribución de frecuencias de peso total seco de *Brachidontes rodriguezii* en tres sitios (Canal Escondido, Canal Control y Canal SAO) de la Bahía de San Antonio durante el período de estudio (verano, otoño, invierno y primavera). La línea punteada representa la mediana. La línea sólida representa la tendencia de los datos. N = número de individuos.

Las distribuciones de frecuencias de LT y PTs en el caracol *B. deforme* presentaron diferencias significativas entre sexos en todos los sitios y estaciones (Kolmogorov Smirnov; $p \leq 0,05$; **Figs. 25 y 26**). En ambos sexos se observaron diferencias en las distribuciones entre sitios, como también diferencias estacionales en Canal Control, pero no en Canal SAO.

Cualitativamente, las distribuciones de LT y PTs fueron unimodales y bimodales tanto en machos como en hembras en Canal Control, mientras que en Canal SAO fueron bimodales (por ejemplo, machos en invierno) o no se observó moda evidente, (probablemente por el bajo número de individuos de la muestra). Sin tener en cuenta la estacionalidad, los rangos de distribución LT observados fueron entre 7,60 - 22,68 mm en Canal Control, y 9,06 - 26,20 mm en Canal SAO. Los rangos de distribución de PTs fueron 0,06 - 1,27 g en Canal Control, y 0,19

- 1,72 g en Canal SAO. La moda de LT y PTs en las hembras de ambos sitios varió entre estaciones. En los machos, el LT de mayor frecuencia fue ca. 16 mm en Canal SAO y ca. 13 mm en Canal Control; mientras que el PTs más frecuente fue ca. 0,5 g en Canal SAO y ca. 0,4 g en Canal Control.

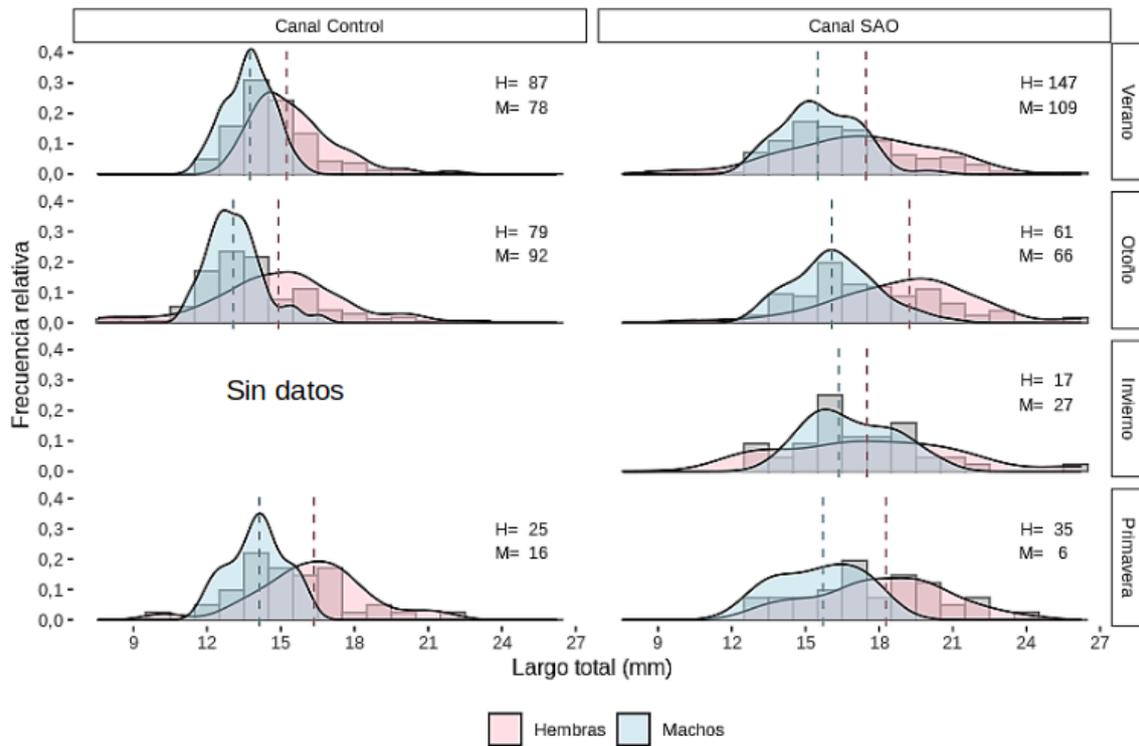


Fig. 25. Distribución de frecuencias de largo total de *Buccinastrum deforme* por sexos, en los sitios (Canal Control y Canal SAO) de la Bahía de San Antonio durante el período de estudio (verano, otoño, invierno y primavera). La línea punteada representa la mediana. La línea sólida representa la tendencia de los datos. H = hembras, M = machos, representan la cantidad de individuos.

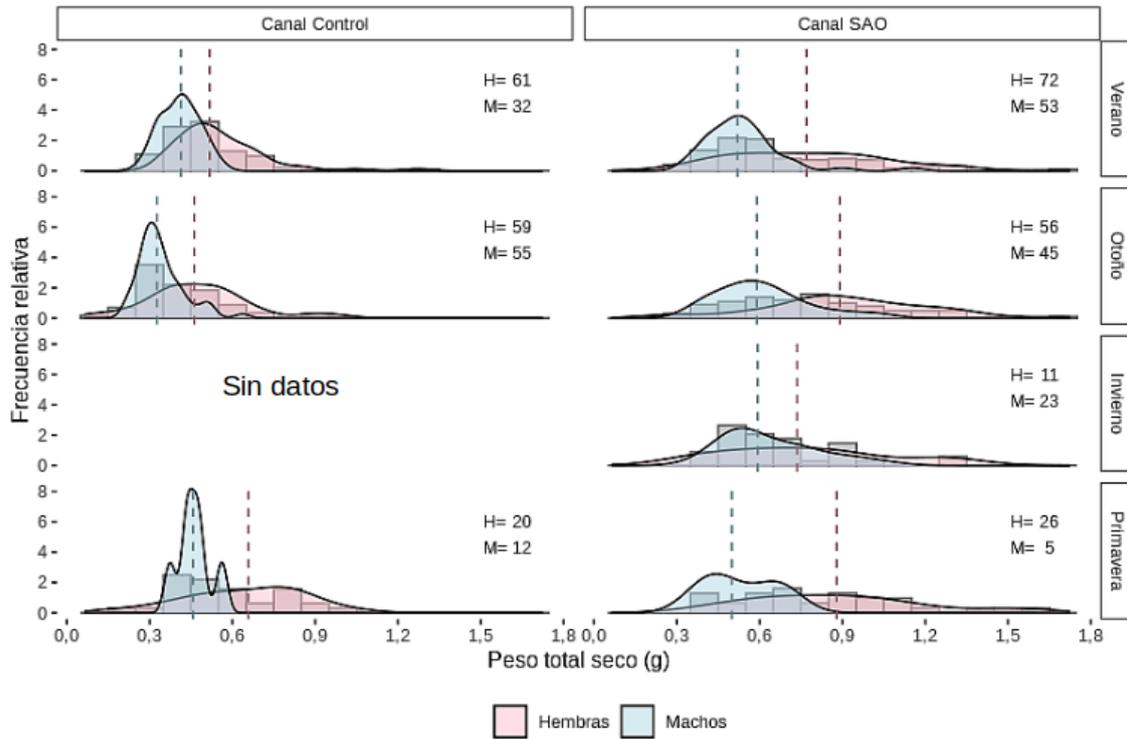


Fig. 26. Distribución de frecuencias de peso total seco de *Buccinastrum deforme* por sexos, en los sitios (Canal Control y Canal SAO) de la Bahía de San Antonio durante el período de estudio (verano, otoño, invierno y primavera). La línea punteada representa la mediana. La línea sólida representa la tendencia de los datos. H = hembras, M = machos, representan la cantidad de individuos.

Las distribuciones de frecuencias de LT y PTs para *B. odites*, presentaron diferencias significativas entre sexos en todos los sitios y estaciones (Kolmogorov Smirnov; $p < 0,05$; **Figs. 27 y 28**).

Para las hembras, las distribuciones de frecuencias de LT no mostraron diferencias significativas entre sitios ni estaciones en Canal Escondido y Canal Control, mientras que en Canal SAO se encontraron diferencias significativas entre estaciones. Por el contrario, para los machos no se encontraron diferencias significativas entre sitios ni entre estaciones dentro de cada sitio. Las distribuciones de frecuencias de LT fueron en general bimodales, y los rangos

de distribución fueron 4,48 – 25,70 mm en Canal Escondido, 4,18 – 22,90 mm en Canal Control, y 3,72 – 24,06 mm en Canal SAO (**Fig. 27**). El LT de mayor frecuencia en las hembras de Canal Escondido fue ca. 18 mm y en Canal Control ca. 17 mm; mientras que en machos la moda fue ca. 9 mm en Canal Escondido y 10 mm en Canal Control. En ambos sexos en Canal SAO, las modas de LT fueron variables entre estaciones.

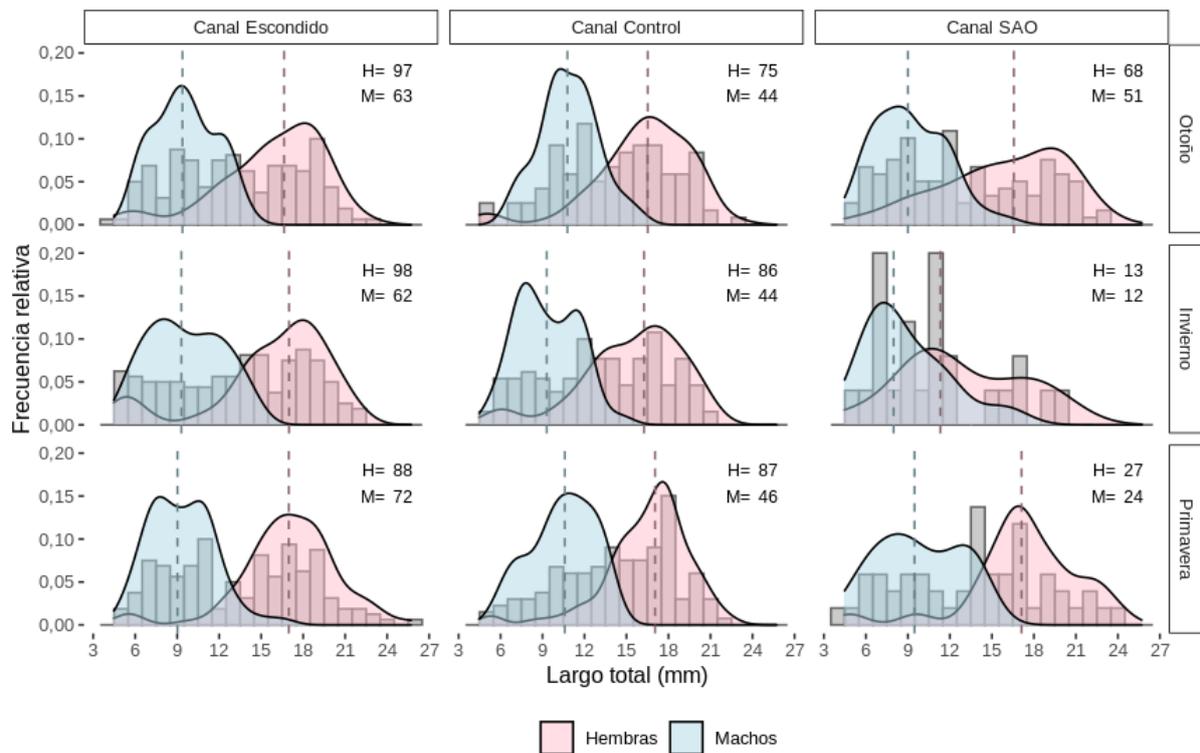


Fig. 27. Distribución de frecuencias de largo total de *Bostrycapulus odites* por sexos, en tres sitios (Canal Escondido, Canal Control y Canal SAO) de la Bahía de San Antonio durante el período de estudio (otoño, invierno y primavera). La línea punteada representa la mediana. La línea sólida representa la tendencia de los datos. H = hembras, M = machos, representan la cantidad de individuos.

Las distribuciones de frecuencias de PTs en las hembras de *B. odites* no presentaron diferencias entre sitios, y tampoco estacionales excepto en Canal SAO (Kolmogorov Smirnov,

$p < 0,05$; **Fig. 28**). En los machos, en general no se observaron diferencias entre sitios y tampoco entre estaciones en Canal Escondido y Canal SAO, excepto en Canal Control. Los rangos de distribución de PTs fueron 0,01 - 1,34 g en Canal Escondido, 0,01 - 1,64 g en Canal Control, y 0,01 - 1,79 g en Canal SAO. El PTs de mayor frecuencia en las hembras de Canal Escondido y Canal Control fue ca. 0,4 g, mientras que en Canal SAO fue más variable entre estaciones. En machos, la moda para todos los sitios y estaciones fue ca. 0,1 g.

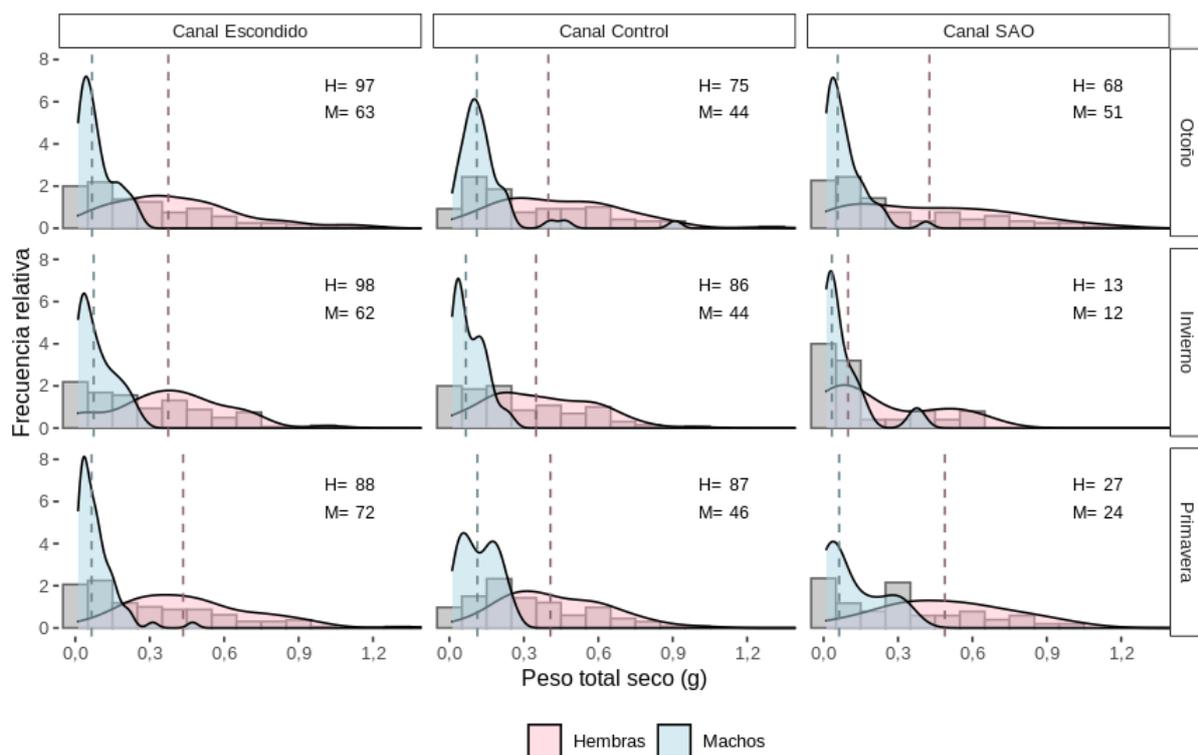


Fig. 28. Distribución de frecuencias de peso total seco de *Bostrycapulus odites* por sexos, en los tres sitios (Canal Escondido, Canal Control y Canal SAO) de la Bahía de San Antonio durante el período de estudio (otoño, invierno y primavera). La línea punteada representa la mediana. La línea sólida representa la tendencia de los datos. H = hembras, M = machos, representan la cantidad de individuos.

c. Proporción de sexos y talla de cambio de sexo

Para el caracol *B. deforme*, se determinó el sexo de 845 individuos. La proporción de sexos fue de 1:1 en Canal Control en todas las estaciones del año, mientras que en Canal SAO se observó mayor proporción de hembras que de machos en verano y primavera (Chi cuadrado, $p \leq 0,05$; **Fig. 29**).

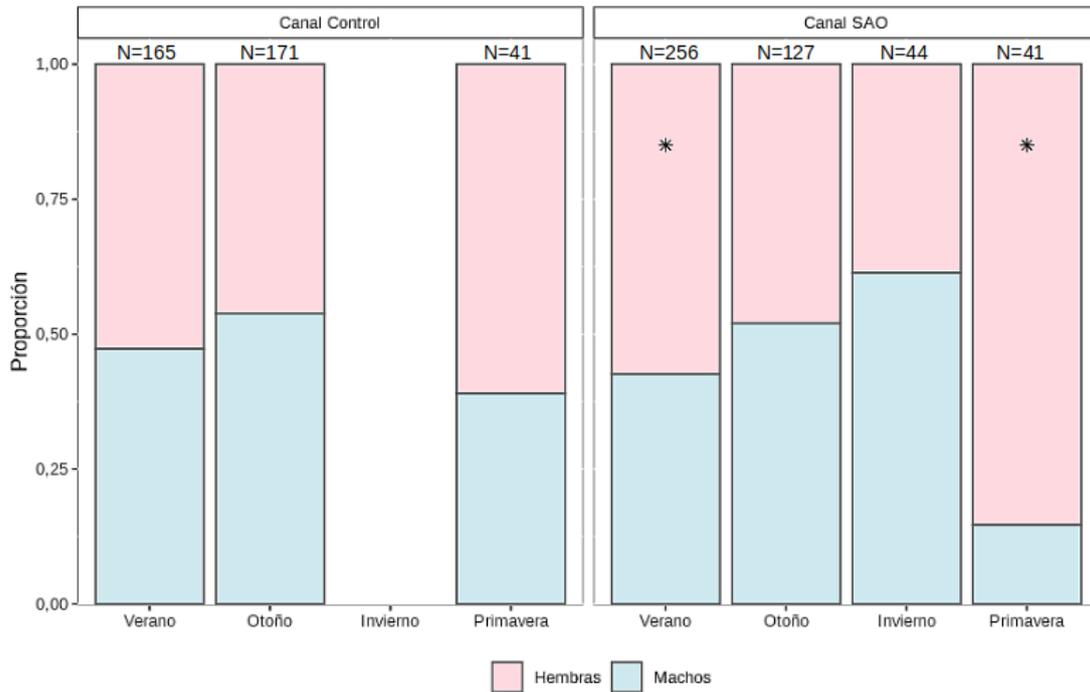


Fig. 29. Proporción de machos y hembras de *Buccinastrum deforme* en dos sitios (Canal Control y Canal SAO) de la Bahía de San Antonio. * diferencias significativas (Chi cuadrado, $p < 0,05$) en la proporción de sexos 1:1. N = representa la cantidad de individuos.

Con respecto a *B. odites* se determinó el sexo de 1058 individuos, y tres individuos se clasificaron como inmaduros. La proporción de sexos fue 1:1 en Canal SAO mientras que las hembras presentaron mayor proporción que los machos en otoño e invierno en Canal Escondido, y en todas las estaciones analizadas en Canal Control (Chi cuadrado, $p \leq 0.05$; **Fig. 30**). En los tres sitios, se registró la presencia de hembras con huevos en primavera,

representando el 21,4% en Canal SAO, el 17,1% en Canal Escondido, y el 8% en Canal Control del total de hembras de primavera.

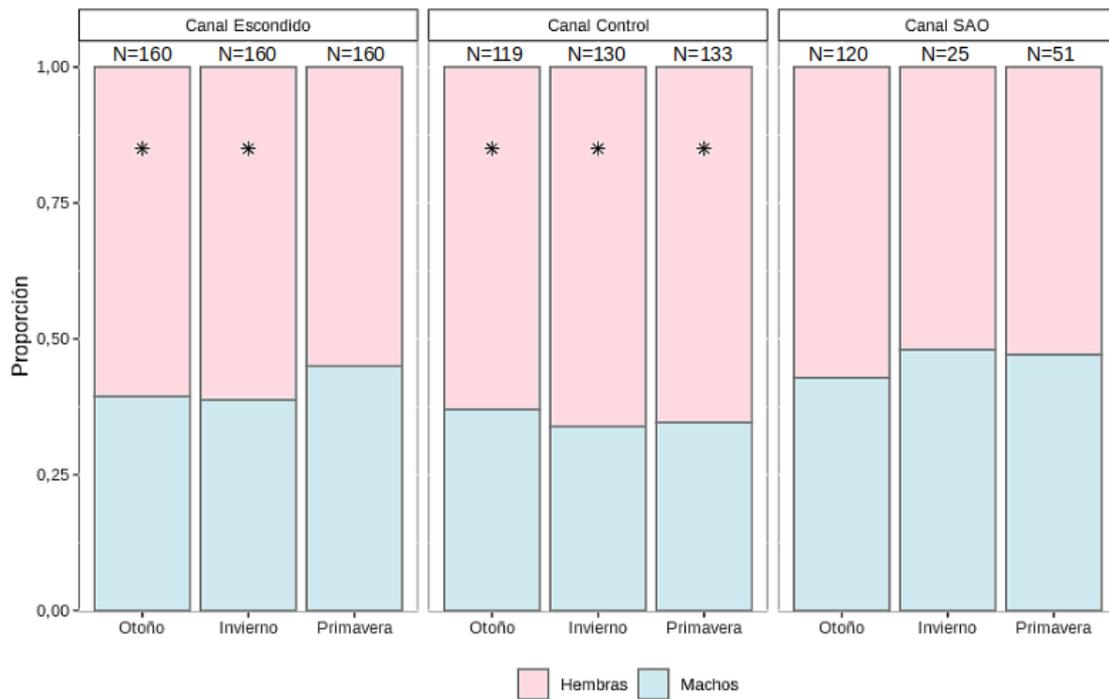


Fig. 30. Proporción de machos y hembras de *Bostrycapulus odites* en los tres sitios de estudio (Canal Escondido, Canal Control y Canal SAO). * indica diferencias significativas (Chi cuadrado, $p < 0,05$) en la proporción de sexos 1:1. N = representa la cantidad de individuos.

En lapas, la talla a la cual el 50% de los individuos cambian de sexo (LT_{50}) fue similar en los tres sitios de estudio ($LT_{50} \sim 13$ mm; modelo logístico, $p > 0,05$; **Fig. 31; Tabla 8**).

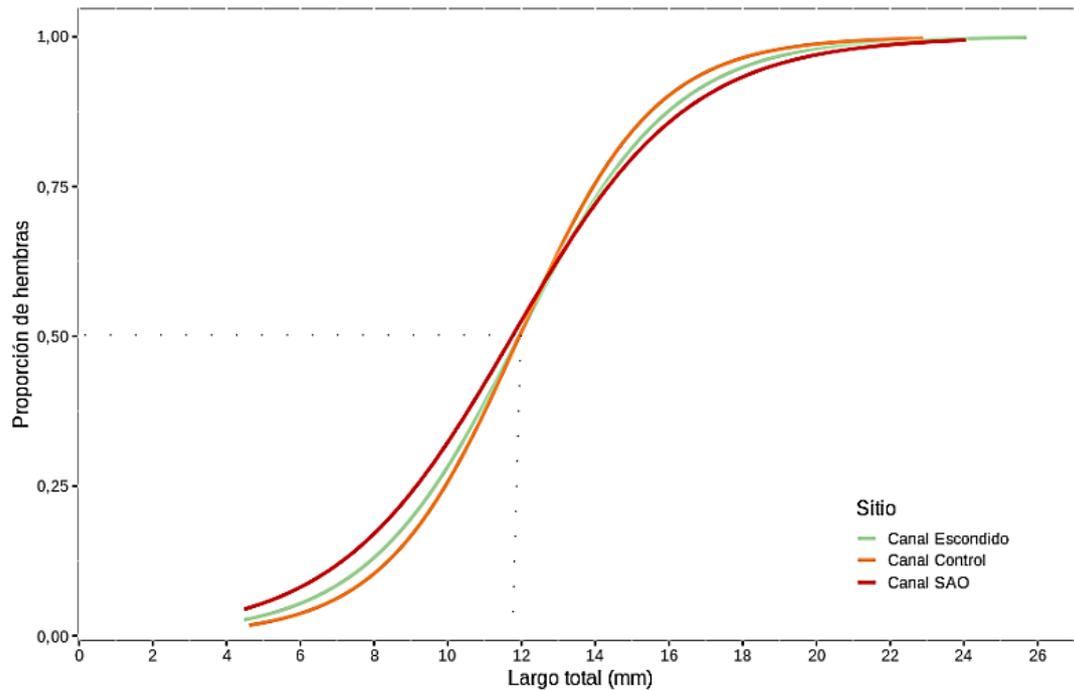


Fig. 31. Curvas logísticas ajustadas a la proporción de hembras de *Bostrycapulus odites* por talla (Largo total) para estimar la talla de cambio de sexo de machos a hembras, en los sitios de estudio (Canal Escondido, Canal Control y Canal SAO) en la Bahía de San Antonio. La línea punteada representa el LT_{50} (talla de cambio de sexo).

Tabla 8. Parámetros del modelo logístico para la proporción de hembras en función de la talla (LT) en *Bostrycapulus odites* entre sitios de la Bahía de San Antonio (Canal Escondido, Canal Control y Canal SAO). Intervalos de confianza entre paréntesis. c = intensidad de la curvatura; LT_{50} = talla a la cual el 50% de los individuos son hembras; N = número total de individuos.

	Canal Escondido	Canal Control	Canal SAO
c	0,46 (0,38-0,54)	0,50 (0,4-0,6)	0,75 (0,54-0,95)
LT_{50}	12,95 (10,62-15,28)	12,76 (10,02-15,5)	15,26 (10,97-19,55)
N	480	384	197

d. Relaciones morfométricas

El índice AT/LT estudiado para el mejillín *B. rodriguezii* mostró diferencias significativas entre sitios (ANOVA de una vía, $F_{(2, 2228)} = 155,6$, $p < 2.10^{-16}$) siendo mayor en Canal Control (Tukey, $p \leq 0,05$; **Fig. 32**), indicando que los mejillines de Canal Control presentarían una forma más redondeada que los mejillines de Canal Escondido y Canal SAO que fueron más estrechos. El índice ET/LT mostró diferencias significativas entre los tres sitios estudiados (ANOVA de una vía, $F_{(2, 2228)} = 571,6$, $p < 2.10^{-16}$) siendo en Canal SAO > Canal Control > Canal Escondido (Tukey, $p \leq 0,05$; **Fig. 33**), e indicando que Canal SAO presenta los individuos más robustos, seguidos de Canal Control, y Canal Escondido con los individuos más delgados.

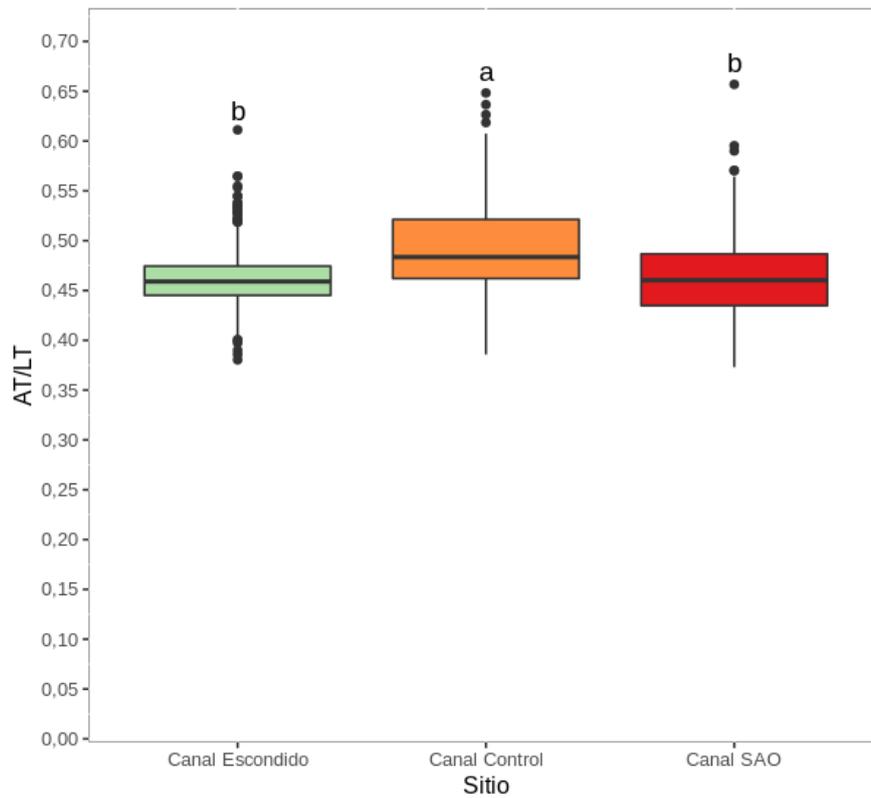


Fig. 32. Índice morfométrico AT/LT de *Brachidontes rodriguezii* en los tres sitios de estudio (Canal Escondido, Canal Control y Canal SAO). La línea en la caja representa la mediana, los límites de la caja el primer cuartil y el tercer cuartil, y los bigotes representan los valores mínimo y máximo. Letras distintas indican diferencias significativas (Tukey, $p \leq 0,05$).

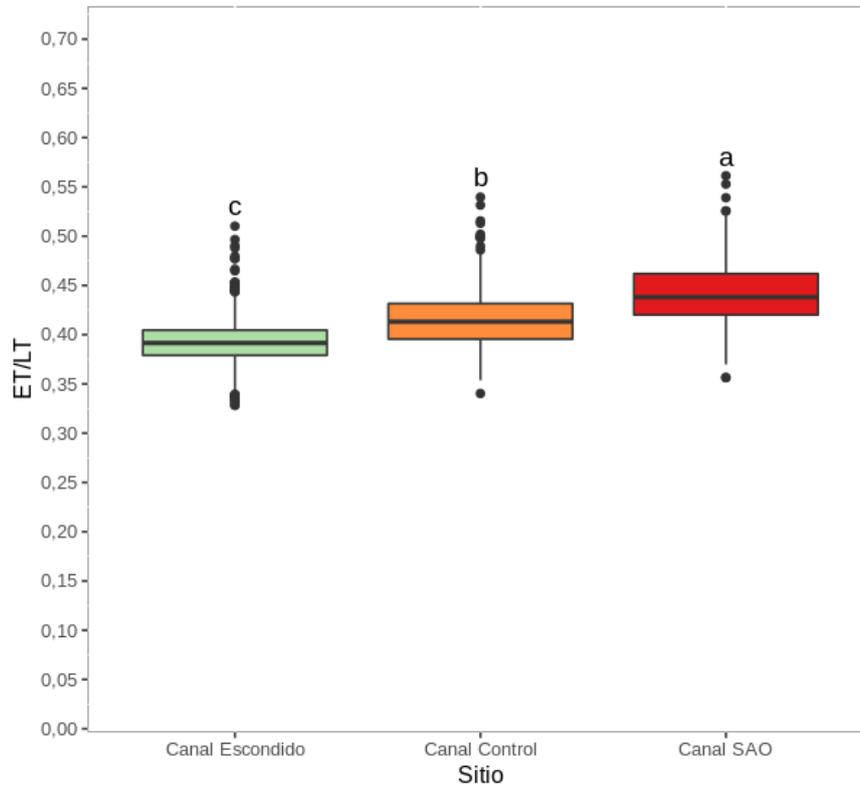
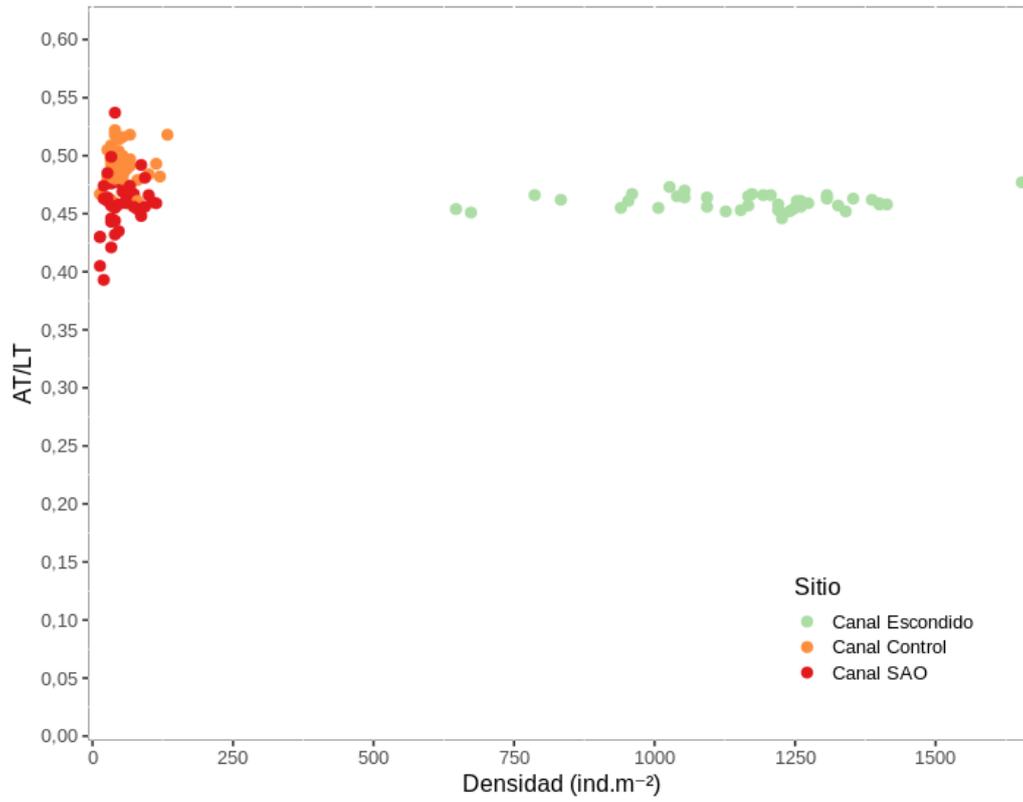


Fig. 33. Índice morfométrico ET/LT de *Brachidontes rodriguezii* en los tres sitios de estudio (Canal Escondido, Canal Control y Canal SAO). La línea en la caja representa la mediana, los límites de la caja el primer cuartil y el tercer cuartil, y los bigotes representan los valores mínimo y máximo. Letras distintas indican diferencias significativas (Tukey, $p \leq 0,05$).

Para *B. rodriguezii* la correlación entre el índice AT/LT y la densidad de individuos no fue significativa en ninguno de los sitios de estudio (Correlación de Spearman; Canal SAO: $r = 0,23$; $p = 0,15$; Canal Control: $r = -0,11$; $p = 0,49$; Canal Escondido: $r = -0,01$; $p = 0,90$; **Fig. 34**). El índice ET/LT tampoco mostró correlación con la densidad en ninguno de los sitios (Canal SAO: $r = -0,16$; $p = 0,32$; Canal Control: $r = 0,07$; $p = 0,62$; Canal Escondido: $r = 0,17$; $p = 0,27$; **Fig. 35**).



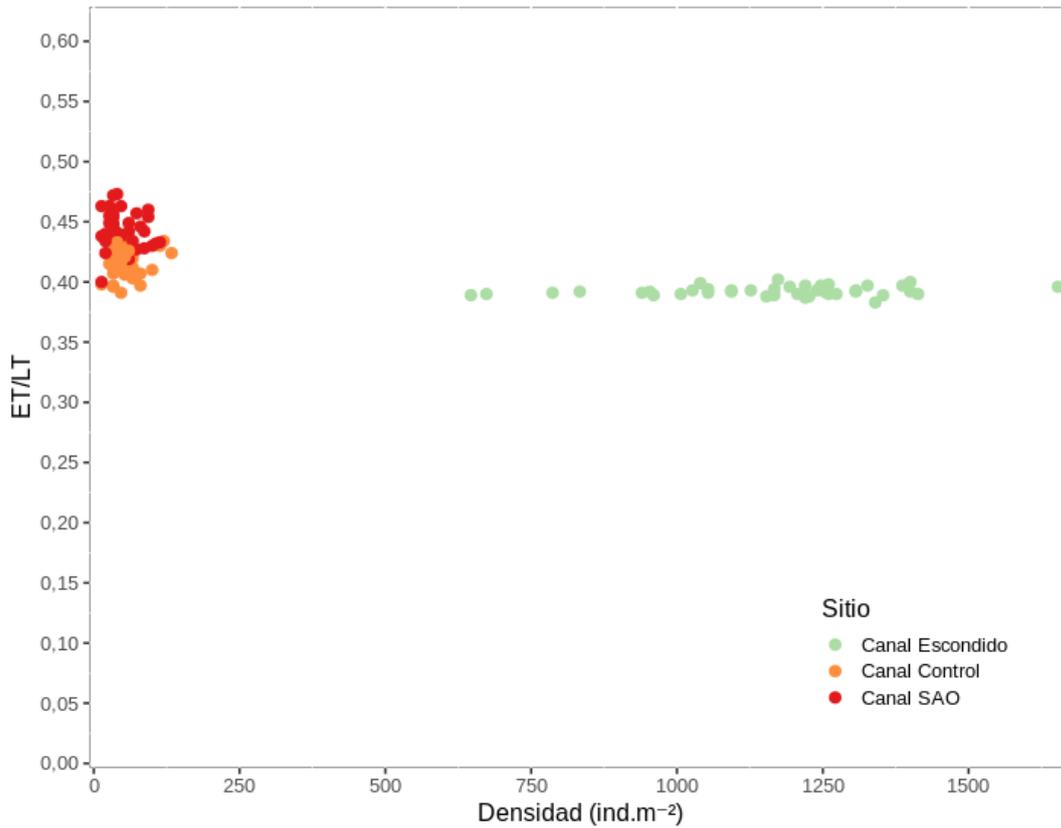


Fig. 35. Correlación de Spearman entre el índice ET/LT y la densidad de *Brachidontes rodriguezii* para los tres sitios de estudio (Canal Escondido, Canal Control y Canal SAO).

El índice AT/LT en *B. odites* no mostró diferencias significativas entre sexos pero sí entre sitios (ANOVA de dos vías; sexo: $F_{(1; 1051)} = 1,44$, $p = 0,23$; sitio: $F_{(2; 1051)} = 4,03$, $p = 0,02$; sexo:sitio: $F_{(2; 1051)} = 2,40$, $p = 0,09$), y estas diferencias se observaron particularmente en Canal SAO (Tukey, $p \leq 0,05$; **Fig. 36**).

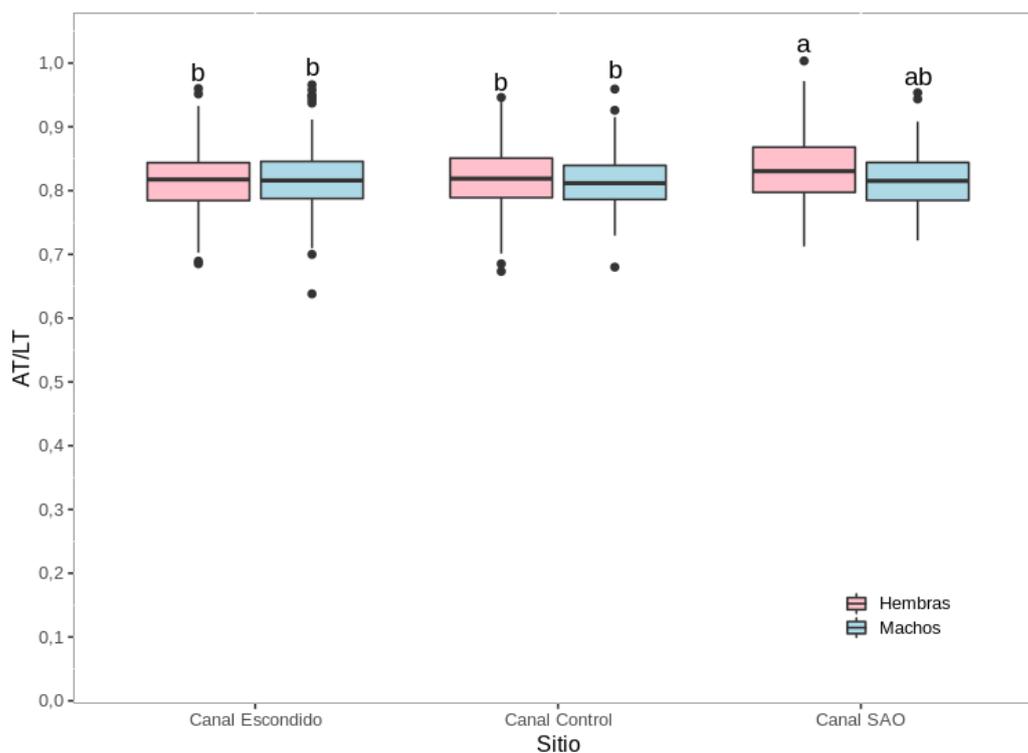


Fig. 36. Índice morfométrico AT/LT en *Bostrycapulus odites* por sitios (Canal Escondido, Canal Control y Canal SAO) y sexos. La línea en la caja representa la mediana, los límites de la caja el primer cuartil y el tercer cuartil, y los bigotes representan los valores mínimo y máximo. Letras distintas indican diferencias significativas (Tukey, $p \leq 0,05$).

e. Relación largo/peso

El incremento en peso total seco (PTs) por unidad de largo (LT) en *B. rodriguezii* presentó diferencias significativas entre sitios, la mayor pendiente se registró en Canal SAO (**Tabla 9**; ANCOVA, $p < 0,05$; **Fig. 37**).

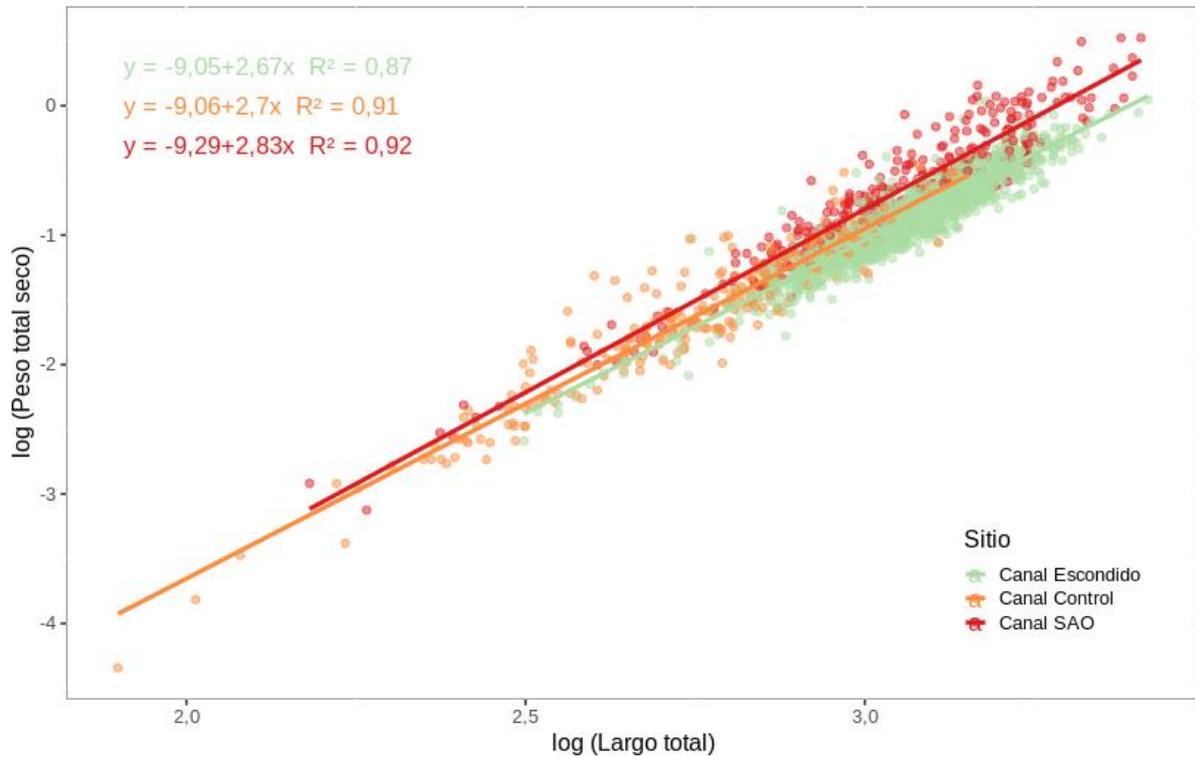


Fig. 37. Relación entre el log largo total y el log peso total seco de *Brachidontes rodriguezii* en cada uno de los sitios de estudio (Canal Escondido, Canal Control y Canal SAO).

Para *B. deforme* el incremento en PTs por unidad LT no presentó diferencias significativas entre sitios, así como tampoco entre sexos. Sin embargo, se hallaron diferencias significativas en las medias ajustadas entre las hembras de ambos sitios (Canal SAO y Canal Control; **Tabla 9**; ANCOVA, $p < 0,05$; **Fig. 38**).

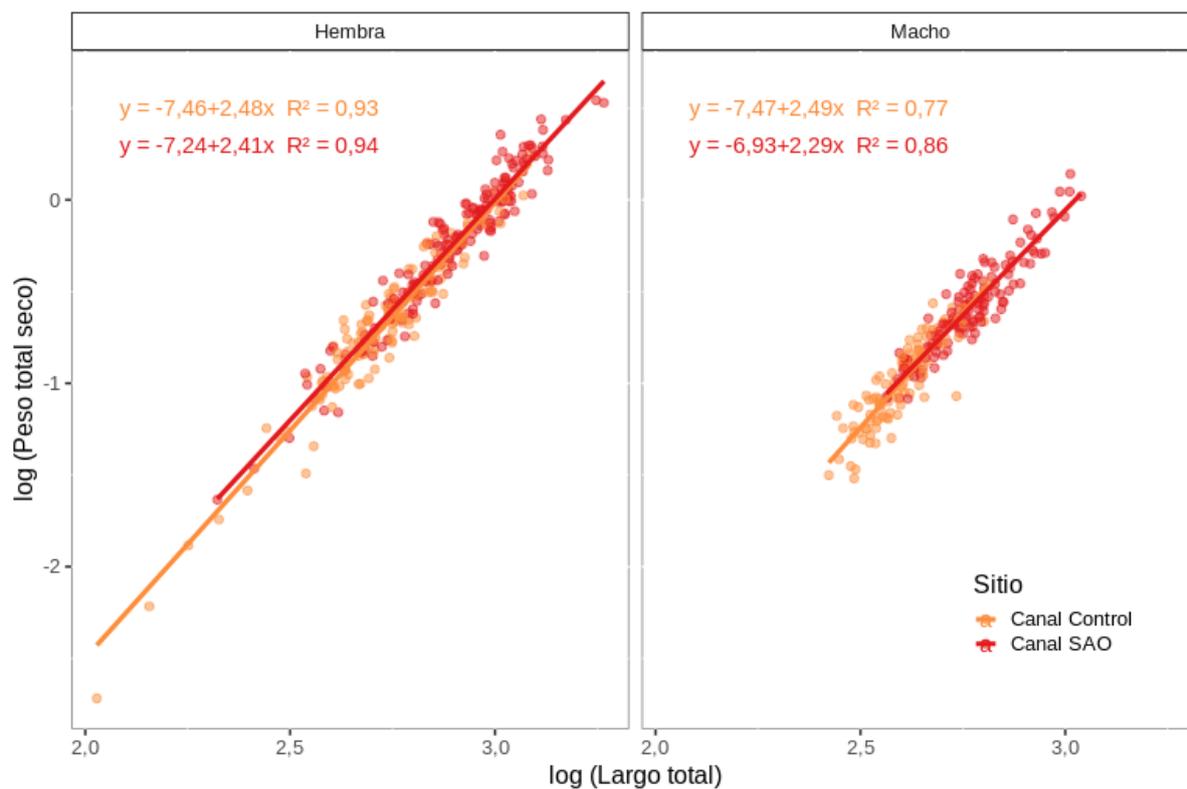


Fig. 38. Relación entre el log del largo total y el log del peso total seco en hembras y machos de *Buccinastrum deforme* entre los sitios estudiados (Canal Control y Canal SAO).

En *B. odites* el incremento en PTs por unidad de LT presentó diferencias significativas entre sexos. Particularmente, los machos mostraron diferencias significativas en las medias ajustadas (**Tabla 9**; ANCOVA, $p < 0,05$; **Fig. 39**).

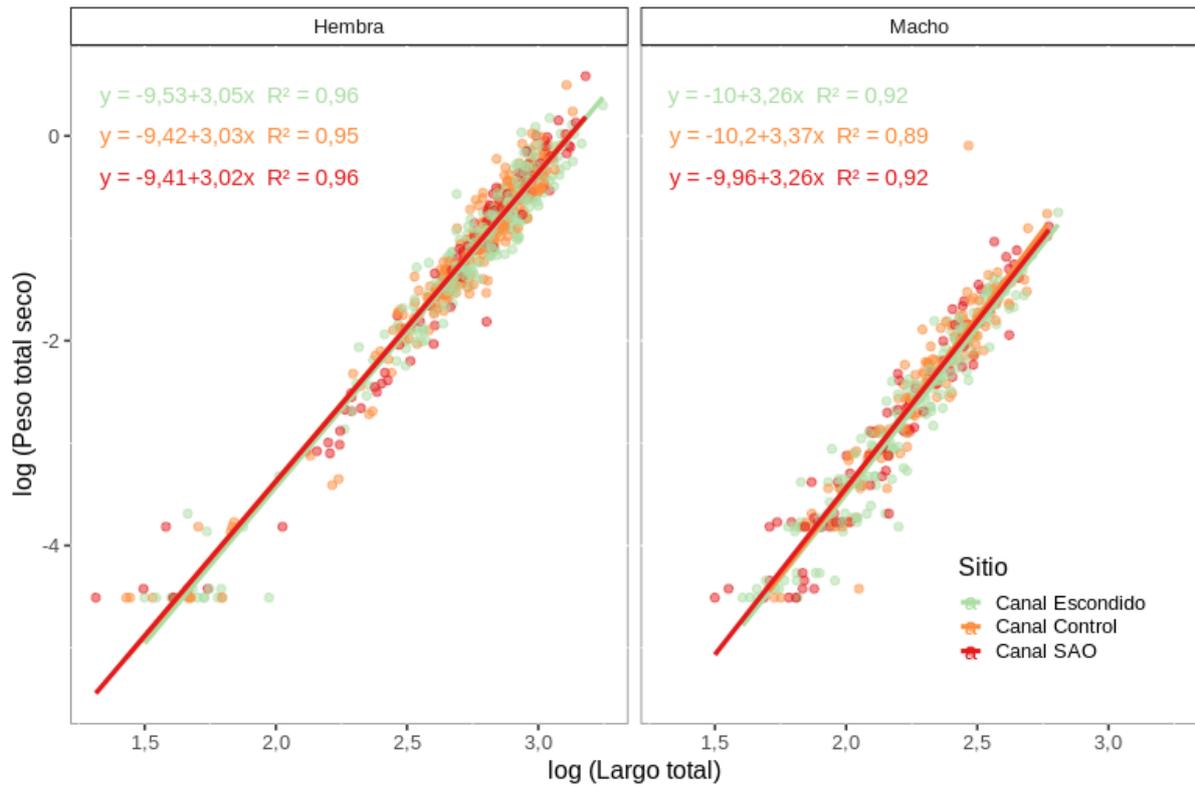


Fig. 39. Relación entre el log del largo total y el log del peso total seco en hembras y machos de *Bostrycapulus odites* en cada uno de los sitios estudiados (Canal Escondido, Canal Control y Canal SAO).

Tabla 9. Resultados de ANCOVAs: comparación de la relación LT/PTs de *Brachidontes rodriguezii*, *Buccinastrum deforme* y *Bostrycapulus odites* entre sitios (Canal Escondido, Canal Control y Canal SAO). Para *B. deforme* y *B. odites* para cada sexo por separado. P: pendiente. M. ajus: media ajustada. H = hembras. M = machos. Valores en negrita indican diferencias significativas $p < 0,05$.

Fuente de		<i>B. rodriguezii</i>										
Variación		P.			M. Ajus.							
	gl	F	p	gl	F	p						
Entre	2	4,87	0,01	2	386,02	0,001						
Total	1603				1603							

Fuente de		<i>B. deforme</i>											
variación		P. H			M. Ajus. H			P. M			M. Ajus. M		
	gl	F	p	gl	F	p	gl	F	p	gl	F	p	
Entre	1	0,81	0,36	1	6,46	0,01	1	1,27	0,26	1	0,15	0,69	
Total	302				303				302				303

Fuente de		<i>B. odites</i>											
variación		P. H			M. Ajus. H			P. M			M. Ajus. M		
	gl	F	p	gl	F	p	gl	F	p	gl	F	p	
Entre	2	0,17	0,84	2	2,19	0,11	2	0,24	0,78	2	5,51	0,01	
Total	639				641				639				641

5. DISCUSIÓN

En esta tesina se describen diferencias en las características individuales y poblacionales de tres especies de moluscos con distinto rol trófico presentes en sitios de la Bahía de San Antonio con diferente aporte de nutrientes de origen antrópico. En cuanto a las especies filtradoras se observó que el mejillín *Brachidontes rodriguezii* presentó poblaciones menos densas, pero individuos de un mayor tamaño (largo, espesor y peso) en el sitio con aporte alto de nutrientes, mientras que la lapa *Bostrycapulus odites* no presentó diferencias en densidad ni en el peso entre los sitios, pero sí en otras características como el índice de condición y proporción de sexos. Así, no se encontró un patrón común para especies con similar rol trófico y la respuesta de cada especie al ambiente pareciera estar relacionada con otros aspectos no considerados en este trabajo. Por otra parte, el caracol carroñero *Buccinanastrum deforme* no estuvo presente en el sitio con menor aporte de nutrientes, y mostró diferencias en las tallas en los sitios con alto y moderado aporte de nutrientes, pero no mostró diferencias en la densidad. La hipótesis planteada en este trabajo sugería que los moluscos en la Bahía de San Antonio presentan variaciones en sus características individuales y poblacionales dependiendo del aporte de nutrientes del sitio en el que se encuentren, y que estas variaciones se relacionan con el rol trófico de cada especie. En este sentido, si bien se encontraron diferencias en algunos aspectos investigados, no se encontró un patrón claro relacionado con el aporte de nutrientes y/o con el rol trófico de las especies. A continuación, se discuten detalladamente las diferencias encontradas para cada especie y aspecto investigado.

Las tres especies de moluscos presentaron en general mayores tallas o pesos en el sitio con mayor aporte de nutrientes (**Fig. 40**). Para el mejillín *B. rodriguezii* si bien el largo total máximo fue similar tanto para Canal SAO como para Canal Escondido, en este último los individuos de tallas grandes fueron poco comunes y se encontraron sólo en verano. Con

respecto al espesor y al peso seco total, los valores máximos fueron mayores en el sitio con alto aporte de nutrientes. Las tallas (largo y espesor) encontradas en este trabajo para *B. rodriguezii* fueron menores a los reportados en sitios localizados en sectores más externos de la Bahía de San Antonio (y probablemente con menor aporte de nutrientes que los sitios aquí estudiados) donde el largo total máximo alcanzado por los individuos fue de 37 mm (Punta Verde y Punta Delgado, Salas 2018). Sin embargo, fueron similares a los reportados para otros intermareales rocosos de la costa bonaerense y patagónica (Arribas et al. 2014), y mayores a los de sustratos artificiales de playas arenosas en la costa bonaerense (Torroglosa 2015). La variación en las tallas en relación con el nivel de aporte de nutrientes concuerda con lo observado en otros sitios costeros, en donde se registraron mayores tallas de mejillines en sitios cercanos a la fuente de contaminación orgánica (Vallarino 2002). En sitios eutrofizados, es decir con un mayor aporte de materia orgánica, la mayor calidad y/o cantidad de alimento disponible permitiría a los individuos alcanzar tallas mayores (Vallarino 2002, Kirby y Miller 2005, Llanos et al. 2019). Esto también podría explicar las variaciones en el largo y peso seco medio de las lapas *B. odites*. En el Canal SAO se registran valores de materia orgánica, fosfatos, nitratos y nitritos superiores a los otros dos sitios de estudio, lo cual indicaría, según otros autores, una mayor calidad y cantidad de alimento disponible para los organismos (**Tabla 1**; Martinetto et al. 2010, Gastaldi et al. 2021). Para *B. deforme*, el largo y peso seco máximos también se registraron en Canal SAO. Estos valores se encuentran dentro del rango de tallas y pesos reportados en trabajos previos para esta especie en la Bahía de San Antonio (Narvarte et al. 2008, Avaca 2010), sin embargo, aquí se encontraron diferencias entre sitios, registrando caracoles con mayores tallas y pesos medios en el sitio con mayor aporte de nutrientes. Esto estaría en concordancia con la predicción planteada en esta tesina, en la que los caracoles mostrarían un mayor índice de condición, mayor talla (largo) y peso seco en el sitio con mayor aporte de nutrientes, lo cual, a su vez, podría estar relacionado con la mayor disponibilidad de alimento (i. e. mayor

abundancia de consumidores y consecuentemente mayor disponibilidad de carroña). Para la lapa *B. odites*, los individuos de mayor largo y peso también se registraron en Canal SAO, y al igual que para mejillín, si bien en los otros sitios también se registraron estos tamaños corporales fueron poco frecuentes. Las tallas de lapas registradas en este estudio son similares a las reportadas previamente en la Bahía de San Antonio (Ocampo et al. 2021) y en la costa de Mar del Plata (Cledón et al. 2016); y mayores a las conocidas en otros puntos de su distribución como en Brasil (Cledón et al. 2016).

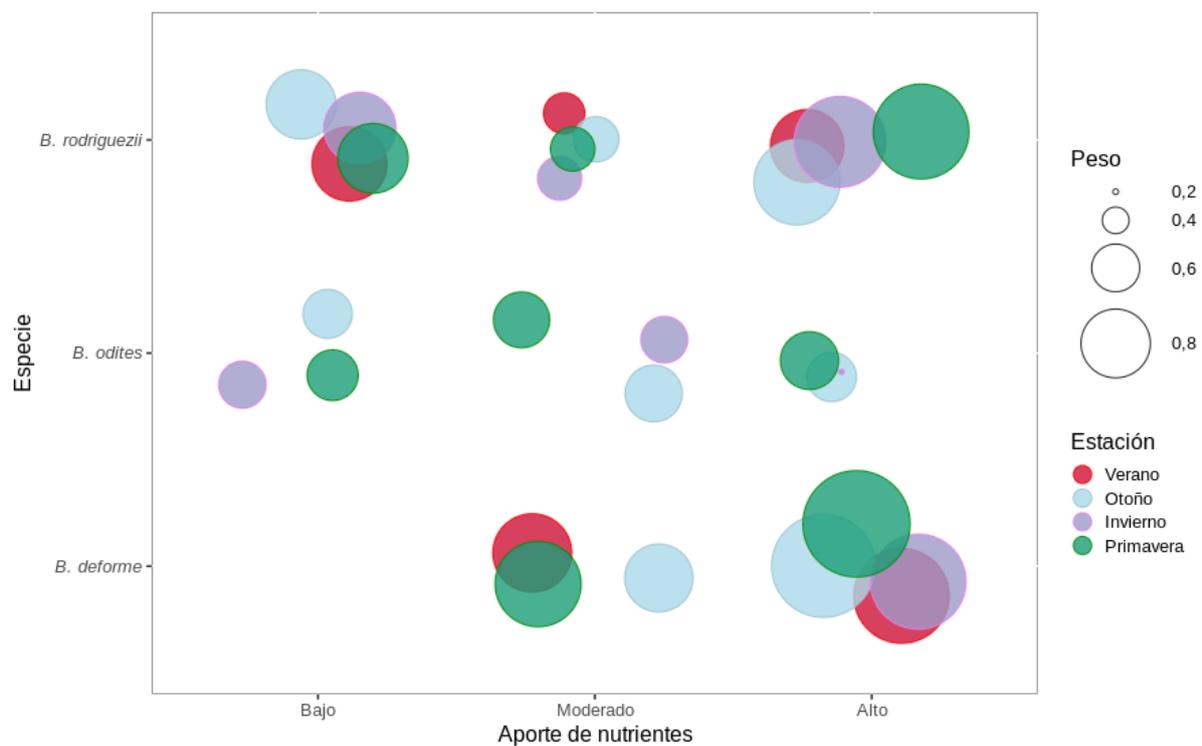


Fig. 40. Peso total seco (g) por estaciones de *Brachidontes rodriguezii*, *Buccinastrum deforme* y *Bostrycapulus odites*, ordenados según su rol trófico en los tres sitios de la Bahía de San Antonio con diferente aporte de nutrientes, según el rol trófico.

El índice de condición refleja la cantidad de energía destinada, y por lo tanto disponible, para el crecimiento y la reproducción de los individuos, y está relacionado, entre otros factores, con la disponibilidad de alimentos (Brenner et al. 2014). A diferencia de las tallas (largo y

espesor) y peso seco medios, el índice de condición de los tres moluscos no mostró un patrón marcado en relación con el aporte de nutrientes de los sitios o con el rol trófico de las especies (**Fig. 41**). Por ejemplo, *B. rodriguezii* presentó mayores valores del índice de condición en el sitio con aporte alto de nutrientes, mientras que el índice de condición de *B. odites* mostró valores similares entre sitios con alto y bajo aporte de nutrientes. Así, en ambas especies filtradoras la asignación de energía ante una oferta alta de alimento pareciera diferir. Además, en general los mayores valores del índice se encontraron en la estación más cálida en las tres especies. Otros trabajos realizados en mejillines de la Bahía de San Antonio también encuentran mayores valores del índice de condición en verano (Salas 2018, Burgueño et al. 2021) mientras que para *B. odites* los trabajos previos no reportan variaciones estacionales (Ocampo et al. 2021). Para *B. deforme*, se observó una mayor variación del índice de condición en el sitio con alto aporte que en el sitio con aporte moderado, lo cual podría relacionarse indirectamente con cambios en la disponibilidad de alimento en el ambiente.

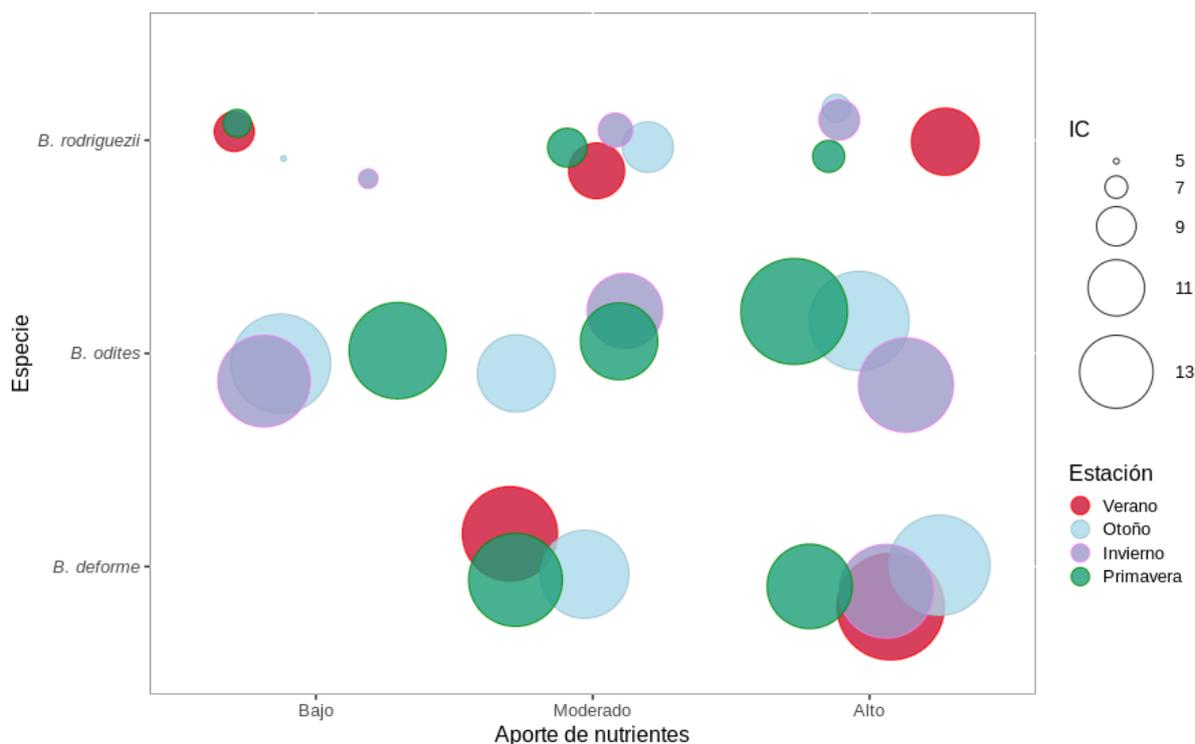


Fig. 41. Índice de condición de *Brachidontes rodriguezii*, *Buccinastrum deforme* y *Bostrycapulus odites* por estación en los tres sitios de la Bahía de San Antonio con diferente aporte de nutrientes, según el rol trófico. IC = índice de condición.

Respecto a la densidad, sólo *B. rodriguezii* mostró diferencias significativas entre los sitios (**Fig. 42**). La densidad de mejillín fue aproximadamente 20 veces mayor en el sitio con menor aporte en comparación con los sitios con aporte alto y moderado. El estudio realizado una década atrás por Martinetto et al. (2010) tampoco mostró diferencias en la densidad de mejillines entre el Canal SAO y Canal Control, sin embargo, es llamativo que las densidades de mejillín reportadas previamente para otros sectores de la Bahía de San Antonio son hasta seis veces superiores a las registradas en esta tesina teniendo en cuenta el mismo nivel del intermareal (Salas 2018). Si bien estas diferencias podrían indicar que el aporte de nutrientes (evidente en el Canal SAO y el Canal Control) no estaría afectando a los mejillines ubicados en canales de la Bahía de San Antonio más alejados de los asentamientos urbanos, también podrían estar relacionadas con las características sitio-específicas de distintos sectores de la

bahía. Por otra parte, en esta tesina no se observaron diferencias estacionales en la densidad de mejillines, a diferencia de lo descrito para otros sitios de la Bahía de San Antonio en los que se reportan densidades máximas durante los meses cálidos (Salas 2018). En relación con esto, Vallarino (2002) menciona que hay un efecto a corto plazo de la contaminación orgánica sobre la población de mejillín en Mar del Plata (por aumento del aporte orgánico durante la época estival debida al turismo), observando menores densidades, pero mayores tallas, durante el verano en sitios impactados. En el Canal SAO, se ha observado un incremento significativo de los valores de nutrientes en el verano (Gastaldi et al. 2021), sin embargo, las densidades de mejillines no presentaron variaciones estacionales. Esto podría estar relacionado con las características oceanográficas de la Bahía de San Antonio y el gran intercambio de agua promovido por el régimen macromareal, el cual previene los efectos negativos de la eutrofización sobre las poblaciones bentónicas (Martinetto et al. 2010, 2011, Teichberg et al. 2010, Villares y Pastor de Ward 2020, Becherucci et al. 2021).

En contraposición a lo observado en mejillín, la lapa *B. odites* no mostró diferencias significativas en la densidad entre sitios (**Fig. 42**). Para esta especie se hallaron densidades medias similares a las de otros sitios costeros de poca profundidad (20 ind.m⁻²; Izquierdo et al. 2007), y otras especies de lapas, como *Crepidula* sp. tampoco evidencian diferencias en densidad entre sitios con diferente aporte de nutrientes (Fox et al. 2009). Si bien el mejillín y la lapa son filtradores, otras características de su historia de vida son muy disímiles, lo cual podría influir en las diferencias observadas en estas especies entre sitios con diferente aporte de nutrientes. Entre los miembros de la familia Calyptraeidae se han reportado varias especies con potencial invasor, entre ellas *B. odites*, siendo de especial preocupación e incluida dentro de las 100 peores especies invasoras del Mar Mediterráneo por su impacto sobre la diversidad local (Streftaris y Zenetos 2006, Cledón et al. 2016). En general, las especies con potencial invasor se caracterizan por su amplia tolerancia a condiciones ambientales variables, y su

presencia es común en sitios impactados (Paiva et al. 2018). Así, el amplio rango de tolerancia a distintos factores ambientales (e. g. temperatura, salinidad, nutrientes) podría explicar por qué especies con similar rol trófico muestran diferentes patrones de densidad en los mismos sitios. Por otro lado, se ha observado en algunas especies de la familia Calyptraeidae del género *Crepidula* y *Crepipatella*, una alternancia del pastoreo y la filtración durante la fase móvil del ciclo de vida para suplir sus requerimientos energéticos, y una dependencia únicamente de la alimentación por filtración al convertirse en hembra sésil (Navarro y Chaparro 2002, Chaparro et al. 2018). Este cambio ontogenético en la importancia del pastoreo y la alimentación por filtración parece ser específico de algunas especies (Navarro y Chaparro 2002, Chaparro et al. 2005), pero podría explicar algunas de las diferencias observadas entre machos y hembras (por ejemplo, en el índice de condición) y sería un factor a tener en cuenta al evaluar el efecto del aporte de nutrientes en las especies de lapas.

En contraposición a lo encontrado en esta tesina, donde *B. deforme* no se encontró presente en el sitio con menor aporte de nutrientes y las densidades fueron similares entre el sitio con aporte alto y moderado, trabajos previos reportaron mayores abundancias en el sitio con mayor aporte de nutrientes (Martinetto et al. 2010). Una de las predicciones de esta tesina sugería que en los sitios con mayor aporte la población de caracoles se vería favorecida debido a la mayor abundancia de consumidores y, consecuentemente, mayor disponibilidad de carroña. Si bien la ausencia de caracol en el sitio con bajo aporte de nutrientes podría sustentar la hipótesis planteada, cabe destacar que las especies no siempre ocupan todos los hábitats disponibles, como también que su ausencia en este sitio podría relacionarse con otros factores diferentes del aporte de nutrientes (por ejemplo, por factores naturales como variables físico-químicas, u otros tipos de contaminación de origen antrópico como los metales pesados). En este sentido, las respuestas indirectas de las especies de moluscos carnívoras o carroñeras a la eutrofización son más complejas y dependen de la interacción de numerosos factores (Cloern

2001). En otras especies de moluscos, se reportaron tanto relaciones positivas entre la abundancia de moluscos carnívoros con la cobertura de macroalgas, y por lo tanto en sitios eutrofizados (Urrea et al. 2013), como casos en las que no se encontraron variaciones entre sitios con diferente aporte de nutrientes (*E. punctata*, Alcántara 2015). Así, las variaciones en las características poblacionales de *B. deforme* en relación al diferente aporte de nutrientes en la Bahía de San Antonio no quedan claras aún y deben ser estudiadas en mayor profundidad.

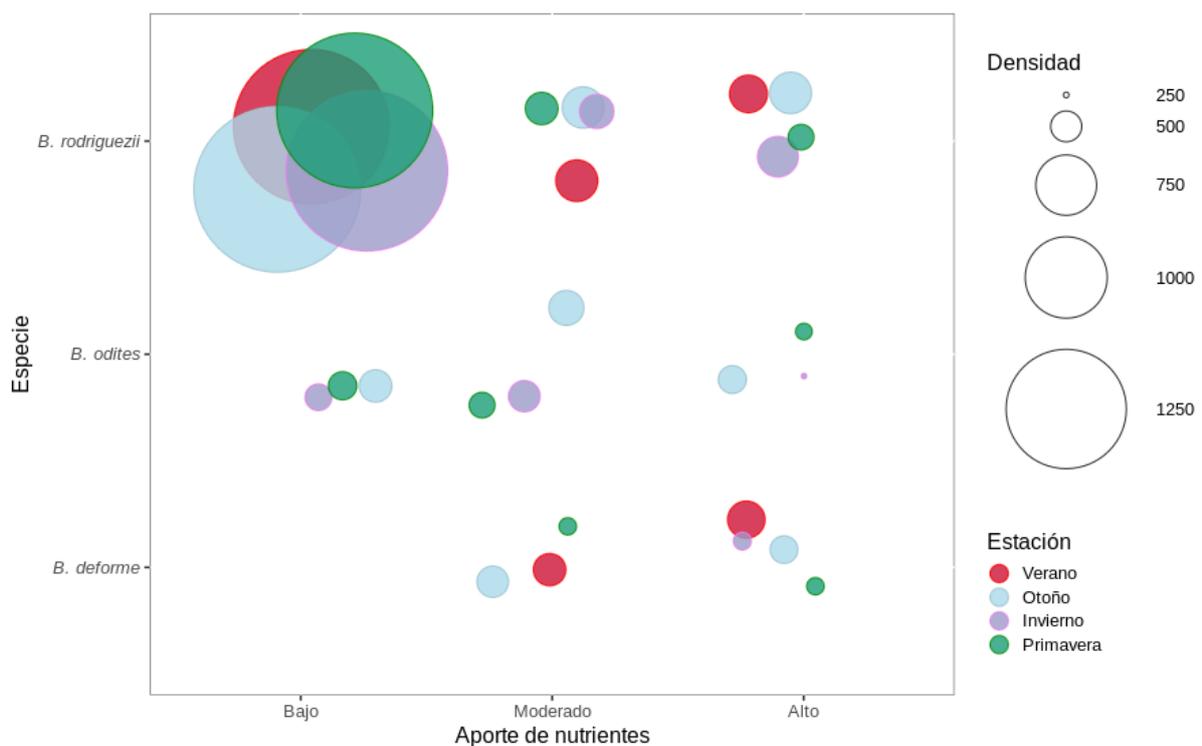


Fig. 42. Densidad (ind.m⁻²) de *Brachidontes rodriguezii*, *Buccinastrum deforme* y *Bostrycapulus odites* por estación en los tres sitios de la Bahía de San Antonio con diferente aporte de nutrientes, según el rol trófico.

Los aspectos reproductivos investigados en *B. deforme* y *B. odites* como proporción de sexos mostraron diferencias entre sitios con distinto aporte de nutrientes en algunas estaciones, mientras la talla de cambio de sexo (en lapa), no mostró diferencias entre sitios. Es importante considerar que, si bien el caracol y la lapa difieren en su rol trófico, presentan similitudes en

sus aspectos reproductivos tales como desarrollo directo y cuidado de las masas de huevos por parte de las hembras, a la vez que muestran particularidades propias de las especies. Para *B. deforme*, la proporción de sexos fue en general 1:1, con excepción de Canal SAO durante verano y primavera, estaciones en las que se encontró una mayor proporción de hembras que de machos. Si bien no hay registros de diferencias comportamentales entre sexos para *B. deforme* (Daleo et al. 2006), las desviaciones observadas a favor de las hembras en las estaciones cálidas podrían estar relacionadas con la época reproductiva (i. e. la cual ocurre hacia finales de la primavera y verano) y el comportamiento de las hembras durante el período de desove (Avaca et al. 2015). Para *B. odites*, la proporción sexual fue 1:1 en Canal SAO mientras que, en Canal Escondido y Canal Control, la proporción de hembras superó a la de machos a lo largo de todo el período de estudio. Sin embargo, la talla (LT) de cambio de sexo fue similar entre sitios (~13 mm) y coincidente con la talla reportada para esta especie en el Golfo San Matías (Cledón et al. 2016). Además, en los tres sitios estudiados en esta tesina se encontraron durante primavera hembras incubando huevos, en un porcentaje similar para los sitios de alto y bajo aporte de nutrientes, y menor para el sitio de aporte moderado. Otros autores reportaron que para algunas especies de moluscos la mayor disponibilidad de alimento aumentaría el éxito reproductivo (Navarro e Iglesias 1995, Hendriks et al. 2003), sin embargo, los resultados de esta tesina no permiten establecer una relación entre la presencia de huevos y el aporte de nutrientes de cada sitio.

Las estructuras duras de los moluscos, como conchas o valvas y en especial su forma, pueden resultar informativas de las condiciones ambientales en las cuáles los organismos crecen y habitan, a la vez que las relaciones morfométricas permiten describir y comparar las formas biológicas (Roth y Mercer 2000). Entre los sitios con distinto aporte de nutrientes, se encontraron diferencias en los índices morfométricos en las dos especies filtradoras. Los mejillines fueron más robustos (mayor ET/LT) en el sitio con alto aporte de nutrientes, mientras

que el índice AT/LT no mostró un patrón claro en relación con el aporte de nutrientes, y su variación podría relacionarse con otros factores ambientales no contemplados en este trabajo. Asimismo, en este trabajo no se encontró relación entre la densidad y la forma de los individuos (AT/LT y ET/LT) a diferencia de lo reportado por Salas (2018) en otros bancos de mejillines de la Bahía de San Antonio. En relación con el aporte de nutrientes, otros estudios también reportan mejillines más robustos en las áreas con alta concentración de nutrientes, e individuos más alargados y delgados en los sitios control sin aporte de nutrientes (Vallarino 2002, Arrighetti et al. 2019). En este sentido, un estudio de laboratorio realizado en *Mytilus edulis* reportó que los individuos se hacen más estrechos (menos robustos) ante la disminución de alimento (Alunno-Bruscia et al. 2001), lo cual podría explicar las variaciones en la forma registrada para los mejillines del Canal SAO. En *B. odites*, también se hallaron diferencias en el índice AT/LT entre sitios, siendo las hembras de Canal SAO más redondeadas que hembras y machos de los demás sitios. Otros autores reportan además conchas más gruesas para *B. odites*, en el Canal SAO, característica que ha sido relacionada a altos niveles de TBT mientras que la eutrofización no ha sido considerada (Laitano et al. 2013). En este sentido, el reporte de variaciones en la morfología de la concha/valva de moluscos en relación con el impacto antrópico, que incluye otras formas de contaminación además del aporte de nutrientes, es relativamente común y ha sido propuesto como una herramienta eficiente para el monitoreo del impacto antrópico en distintas zonas costeras (Márquez et al. 2011, Nuñez et al. 2012, Primost et al. 2015, Laitano y Fernández-Gimenez 2016, Márquez et al. 2017, Begliomini et al. 2017). En este trabajo, tanto mejillín como lapa mostraron variaciones en la forma de valva/concha por lo que podrían utilizarse, en conjunto con otras variables biológicas, como posibles indicadores de contaminación, siempre y cuando se descarte el efecto de otras variables, como por ejemplo mediante experimentos en condiciones controladas de laboratorio.

Para *B. odites* y *B. deforme* el incremento en peso seco por unidad de largo fue similar entre los sitios estudiados, sin embargo, *B. rodriguezii* presentó un incremento en peso por unidad de largo mayor en el sitio con mayor aporte de nutrientes. Estas diferencias están en concordancia con los mayores pesos secos encontrados en el sitio con alto aporte y, probablemente, con la mayor disponibilidad de alimento en el mismo (Martinetto et al. 2010, Saad et al. 2019). En este sentido, otros estudios reportaron aumentos de las tasas de crecimiento de moluscos filtradores como respuesta a la eutrofización (Kirby y Miller 2005).

Los resultados de esta tesina permitieron evidenciar variaciones en las características individuales y poblacionales de tres especies de moluscos con distinto rol trófico entre sitios con distinto aporte de nutrientes. Los resultados obtenidos no mostraron relación con el rol trófico, debido a que se observaron diferentes respuestas en las dos especies filtradoras para la mayoría de las variables evaluadas. Particularmente el mejillín *B. rodriguezii* se considera un buen bioindicador de sitios impactados, ya que puede integrar y reflejar las condiciones ambientales, y el efecto de los estresores locales (Veríssimo et al. 2011, Harayashiki et al. 2020). Por otro lado, el efecto de la eutrofización en moluscos carroñeros como *B. deforme*, es indirecto y, por lo tanto, es necesario considerar otros factores (Storero et al. 2022) que podrían estar influyendo en las variaciones de las características evaluadas en estos organismos. De esta manera surge la necesidad de plantear nuevos estudios con otras especies de moluscos que contemplen roles tróficos diferentes a los abordados en esta tesina, como también estudios que evalúen el efecto del aporte de nutrientes en condiciones controladas de laboratorio, para poder descartar las posibles influencias de otros factores ambientales como también de otros tipos de contaminación.

En la Bahía de San Antonio son múltiples los contaminantes como así también los factores de estrés (de origen antrópico y natural) que podrían afectar las características de los moluscos estudiados, actuando de forma sinérgica, aditiva o antagónica. De esta forma, la

historia de vida, el rol trófico, la reproducción y la tolerancia a diferentes condiciones ambientales de cada hábitat particular, pueden influir en las variaciones que presentan los moluscos relacionadas a la eutrofización, resultando beneficiosa para algunas especies y/o perjudicial o neutra para otras.

6. CONCLUSIONES

Los ecosistemas costeros están afectados por múltiples actividades humanas que generan diversos impactos, entre los que se encuentra el enriquecimiento por nutrientes. En esta tesina, se presenta información biológica y ecológica de tres especies de moluscos comunes en la Bahía de San Antonio, y la variación de sus características individuales y poblacionales en relación a su rol trófico y al diferente aporte de nutrientes que presentan los tres sitios de estudio. Las características individuales y poblaciones de los tres moluscos en general fueron diferentes en los sitios estudiados, sin embargo, su relación con el rol trófico no mostró un patrón marcado. El mejillín *B. rodriguezii* fue la especie que presentó mayor variación en sus características entre los sitios con diferente aporte de nutrientes. Esta especie presentó menor densidad, mayores tallas (largo y espesor) y peso seco corporal en el sitio con alto aporte de nutrientes. En contraposición, la lapa *B. odites* mostró escasa variación en las características entre los tres sitios de estudio, como en densidad, largo total y características reproductivas como talla de cambio de sexo. El caracol *B. deforme* no estuvo presente en el sitio con bajo aporte de nutrientes y no mostró variaciones marcadas en las características analizadas entre sitios con aporte de nutrientes alto y moderado, excepto en el largo, peso seco y el índice de condición. Los resultados de este trabajo permiten ampliar el conocimiento sobre estas especies comunes en la Bahía de San Antonio y, a la vez, proponer al mejillín, tal como se ha señalado en otros estudios, como una especie con potencial bioindicador de la salud del ecosistema.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Ageitos de Castellanos ZJ (1967)** Catálogo de moluscos marinos bonaerenses. Anales CIC, 3.
- Adami ML, Pastorino G, Orensanz JM (2013)** Phenotypic differentiation of ecologically significant *Brachidontes* species co-occurring in intertidal mussel beds from the southwestern Atlantic. *Malacología* 56 (1–2), 59–67.
- Alcántara Esteve M (2015)** Influencia de puntos de vertido sobre la abundancia/biomasa del molusco gasterópodo *Melarhaphé neritoides* (Linnaeus, 1758) y *Echinolittorina punctata* (Gmelin, 1791) (Mollusca, Gastropoda) en una zona del litoral valenciano (Mediterráneo occidental). Trabajo de fin de Grado de la Universidad de Valencia, Valencia, pp. 39.
- Allen J, Gross E, Courcoul C, Boulêtreau S, Compin A, et al. (2020)** Disentangling the direct and indirect effects of agricultural runoff on freshwater ecosystems subject to global warming: A microcosm study. *Water Research* 190, 116713.
- Alunno-Bruscia M, Bourget E, Fréchette M (2001)** Shell allometry and length-mass density relationship for *Mytilus edulis* in an experimental food-regulated situation. *Marine Ecology Progress Series* 219, 177–188.
- Arévalo R, Pinedo S, Ballesteros E (2007)** Changes in the composition and structure of Mediterranean rocky-shore communities following a gradient of nutrient enrichment: Descriptive study and test of proposed methods to assess water quality regarding macroalgae. *Marine Pollution Bulletin* 55: (1-6) 104–113.
- Arias AH, Spetter CV, Freije RH, Marcovecchio JE (2009)** Polycyclic aromatic hydrocarbons in water, mussels (*Brachidontes* sp., *Tagelus* sp.) and fish (*Odontesthes* sp.) from Bahía Blanca Estuary, Argentina. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 85(1), 67-81.

- Arribas LP (2014)** Efecto de los factores físico-químicos y biológicos en la estructura de la comunidad del intermareal rocoso en las provincias de Buenos Aires y Río Negro. Tesis de grado de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, pp. 174.
- Arrighetti F, Landro SM, Lambre ME, Penchaszadeh PE, Teso SV (2019)** Multiple-biomarker approach in the assessment of the health status of a novel sentinel mussel *Brachidontes rodriguezii* in a harbor area. *Marine Pollution Bulletin* 140: (3) 451-461.
- ARSA_Aguas Rionegrinas Sociedad Anónima (2017)** Aguas Rionegrinas finalizó importante obra en planta depuradora de San Antonio Oeste. <http://www.aguasrionegrinas.com.ar/joomla/index.php/2497-aguas-rionegrinas-finalizo-importante-obra-en-planta-depuradora-de-san-antonio-oeste>.
- Aubone A, Wöhler OC (2000)** Aplicación del método de máxima verosimilitud a la estimación de parámetros y comparación de curvas de crecimiento de von Bertalanffy. INIDEP informe técnico 37, pp. 21.
- Avaca MS (2010)** Estudio comparativo de las características biológicas y de la estructura demográfica del caracol *Buccinanops globulosus* en los golfos norpatagónicos. Tesis Doctoral de la Universidad Nacional del Sur (UNS), Bahía Blanca, pp. 194.
- Avaca MS, Narvarte MA, Martín PR (2012)** Size-assortative mating and effect of maternal body size on the reproductive output of the nassariid *Buccinanops globulosus*. *Journal of Sea Research* 69:16–22.
- Avaca MS, Martín P, Van Der Molen S, Narvarte M (2015)** Comparative study of the female gametogenic cycle in three populations of *Buccinanops globulosus* (Caenogastropoda: Nassariidae) from Patagonia. *Helgoland Marine Research* 69(1), 87-99.
- Avaca MS, Storero LP, Roche A, Cetra N, Maggioni M, et al. (2019)** Caracterización de los ensambles de moluscos bentónicos en distintos sitios de la Bahía de San Antonio. Informe Técnico Interno N° 26/2019 CIMAS, pp. 21.

- Becherucci M, Jaubet M, Saracho Bottero M, Llanos E, Elias R, Garaffo G (2018)** Rapid sewage pollution assessment by means of the coverage of epilithic taxa in a coastal area in the SW Atlantic. *The Science of the Total Environment* 628-629, 826-834.
- Becherucci ME, Alvarez MF, Iribarne O, Martinetto P (2019)** Eutrophication in a semi-desert coastal ecosystem promotes increases in N and C isotopic signatures and changes in primary sources. *Marine Environmental Research* 146, 71–79.
- Becherucci ME, Pereyra P, Narvarte M, Fanjul E, Iribarne O, Martinetto P (2021)** Tidal action and macroalgal photosynthetic activity prevent coastal acidification in an eutrophic system within a semi-desert region. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 256, 107374.
- Begliomini FN, Maciel DC, de Almeida SM, Abessa DM, Maranhão LA, et al. (2017)** Shell alterations in limpets as putative biomarkers for multi-impacted coastal areas. *Environmental Pollution* 226, 494–503.
- Bigatti G, Primost MA, Cledón M, Averbuj A, Theobald N, et al. (2009)** Biomonitoring of TBT contamination and imposex incidence along 4700 km of Argentinean shoreline (SW Atlantic: from 38S to 54S). *Marine Pollution Bulletin* 58 (5), 695–701.
- Brenner M, Broeg K, Frickenhaus S, Buck BH, Koehle A (2014)** Multi-biomarker approach using the blue mussel (*Mytilus edulis* L.) to assess the quality of marine environments: season and habitat-related impacts. *Marine Environmental Research* 95, 13–27.
- Burgueño Sandoval GM, Narvarte MA, Firstater FN (2021).** Epibiosis in sedimentary coastal environments: Effects of an introduced barnacle on a native mussel. *Marine Ecology* 42(5), e12674.
- Burgueño Sandoval GM, Storero LP, Avaca MS, Salas MC, Gastaldi M, et al. (2022)** Variación espacial de las características ambientales en un sistema macromareal eutrofizado. En: XI Jornadas Nacionales de Ciencias del Mar XIX Coloquio de Oceanografía. Comodoro Rivadavia, Argentina.

- Buzzi NS, Oliva AL, Arias AH, Marcovecchio JE (2017)** Assessment of trace metal accumulation in native mussels (*Brachidontes rodriguezii*) from a South American temperate estuary. *Environmental Science and Pollution Research* 24(18), 15781-15793.
- Cabral-Oliveira J, Mendes S, Maranhão P, Pardal M (2014)** Effects of sewage pollution on the structure of rocky shore macroinvertebrate assemblages. *Hydrobiologia* 726(1), 271-283.
- Carbone ME, Perillo GME, Piccolo MC (2007)** Dinámica morfológica de los ambientes costeros de Bahía San Antonio Oeste, Provincia de Río Negro. *Geoacta* 32, 83-91.
- Carbone ME, Piccolo MC, Perillo GME (2011)** Zonificación ambiental de la reserva natural Bahía San Antonio, Argentina. Aplicación del índice de calidad ambiental. *Investigaciones Geográficas* 56, 49–67.
- Chaparro OR, Montiel YA, Cubillos VM (2005)** Direct intracapsular development: implications for feeding mechanisms in early juveniles of the gastropod *Crepidula dilatata*. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 85(1), 163-169.
- Chaparro OR, Montory JA, Segura CJ, Cubillos VM, Salas-Yanquin LP, Thompson RJ (2018)** The influence of season and the tidal cycle on division of labour by the radula during feeding in the estuarine brooding gastropod *Crepidatella dilatata* (Calyptraeidae). *Helgoland Marine Research* 72(1), 1-11.
- Cledón M, Nuñez JD, Ocampo EH, Sigwart JD (2016)** Sexual traits plasticity of the potentially invasive limpet *Bostrycapulus odites* (Gastropoda: Calyptraeidae) within its natural distribution in South America. *Marine Ecology* 37(2), 433-441.
- Cloern JE (2001)** Our evolving conceptual model of the coastal eutrophication problem. *Marine Ecology Progress Series* 210:223-253.
- Cloern JE, Knowles N, Brown LR, Cayan D, Dettinger MD, et al. (2011)** Projected evolution of California's San Francisco Bay-Delta-River system in a century of climate change. *PLoS ONE* 6 (9): e24465.

- Collin R (2005)** Development, phylogeny, and taxonomy of *Bostrycapulus* (Caenogastropoda: Calyptraeidae), an ancient cryptic radiation. *Zoological Journal of the Linnean Society* 144(1), 75-101.
- Conley DJ, Carstensen J, Vaquer-Sunyer R, Duarte CM (2009)** Ecosystem thresholds with hypoxia. En: Andersen, J. H. & D. J. Conley (eds), *Eutrophication in Coastal Ecosystems Developments in Hydrobiology*, Book 207. Springer, Dordrecht, pp 21-29.
- Coronel JM, Roche MA, Maggioni M, Storero LP, Avaca MS (2019)** Diversidad de gasterópodos en sitios con diferente impacto antrópico en la Bahía de San Antonio (Golfo San Matías, Argentina). En: XVIII Congreso Latinoamericano de Ciencias del Mar, Mar del Plata, Argentina.
- Daleo P, Alberti J, Avaca MS, Narvarte M, Martinetto P, Iribarne O (2012)** Avoidance of feeding opportunities by the whelk *Buccinanops globulosum* in the presence of damaged conspecifics. *Marine Biology* 159: 2359 - 2365.
- Daleo P, Escapa M, Alberti J, Iribarne O (2006)** Negative effects of an autogenic ecosystem engineer: interactions between coralline turf and an ephemeral green alga. *Marine Ecology Progress Series* 315: 67-73.
- Diaz RJ (2001)** Overview of hypoxia around the world. *Journal of Environmental Quality* 30, 275–281.
- Du LN, Li Y, Chen X, Yang JX (2011)** Effect of eutrophication on molluscan community composition in the Lake Dianchi (China, Yunnan). *Limnologica - Ecology and Management of Inland Waters* 41: 213-219.
- Duarte CM (1995)** Submerged aquatic vegetation in relation to different nutrient regimes. *Ophelia* 41(1): 87-112.

- Fox SE, Teichberg M, Olsen YS, Heffner L, Valiela I (2009)** Restructuring of benthic communities in eutrophic estuaries: lower abundance of prey leads to trophic shifts from omnivory to grazing. *Marine Ecology Progress Series* 380: 43-57.
- Fricke A, Kopprio GA, Alemany D, Gastaldi M, Narvarte M, et al. (2016)** Changes in coastal benthic algae succession trajectories and assemblages under contrasting nutrient and grazer loads. *Estuaries and Coasts* 39(2): 462-477.
- García GO, Isacch JP, Laich AG, Albano M, Favero M, et al. (2010)** Foraging behaviour and diet of American Oystercatchers in a Patagonian intertidal area affected by nutrient loading. *Emu-Austral Ornithology* 110(2), 146–154.
- Gastaldi M, Avaca MS, Saad JF, Burgueño Sandoval GM, Salas MC, Storero LP (2021)** Variables físico-químicas del agua de mar de la Bahía San Antonio registradas en el marco del Proyecto PICT 2017 N°2383: reporte de los datos obtenidos. Informes científico-técnicos del Centro de Investigación Aplicada y Transferencia Tecnológica en Recursos Marinos “A.S” (UNCo-CONICET-PRN-INIDEP) N°12/2021, pp. 21.
- Genchi SA, Carbone ME, Piccolo MC, Perillo GME (2010)** Déficit hídrico en San Antonio Oeste, Argentina. *Revista de Climatología* 10, 29–43.
- González PM, Piersma T, Verkuil Y (1996)** Food feeding and refuelling of Red Knots during northward migration at San Antonio Oeste, Río Negro, Argentina. *Journal of Field Ornithology* 67, 575–591.
- Hansen K, Kristensen E (1997)** Impact of macrofaunal recolonization on benthic metabolism and nutrient fluxes in a shallow marine sediment previously overgrown with macroalgal mats. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 45(5): 613-628.
- Harayashiki CAY, Márquez F, Cariou E, Castro IB (2020)** Mollusk shell alterations resulting from coastal contamination and other environmental factors. *Environmental Pollution* 265: 114881.

- Hendriks IE, van Duren LA, Herman PMJ (2003)** Effect of dietary polyunsaturated fatty acids on reproductive output and larval growth of bivalves. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 296(2): 199-213.
- Izquierdo A, Loya A, Diaz-Valdes M, Ramos-Esplá AA (2007)** Non-indigenous species at the Alicante harbour (SE-Spain): *Oculina patagonica* De Angelis, 1908 and *Bostrycapulus aculeatus* (Gmelin, 1791). En: CIESM Congress Proceedings 38: 506-506. CIESM, Monaco.
- Jessen C, Bednarz VN, Rix L, Teichberg M, Wild C (2015)** Marine Eutrophication. En: Environmental Indicators, pp. 177-203.
- Kaiser MJ (2005)** Marine ecology: processes, systems, and impacts. Oxford University Press, pp. 501.
- Kirby MX, Miller HM (2005)** Response of a benthic suspension feeder (*Crassostrea virginica* Gmelin) to three centuries of anthropogenic eutrophication in Chesapeake Bay. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 62(4), 679–689.
- Laitano MV, Fernández-Giménez AV (2016)** Are mussels always the best bioindicators? Comparative study on biochemical responses of three marine invertebrate species to chronic port pollution. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 97(1), 50-55.
- Laitano MV, Nuñez JD, Cledón M (2013)** Shell alterations in the limpet *Bostrycapulus odites*: a bioindicator of harbour pollution and mine residuals. *Ecological Indicators* 34, 345–351.
- Lassen HH (1979)** Reproductive effort in Danish Mudsnailes (Hydribiidae). *Oecologia* 40: 365-369.
- Lenihan HS (1999)** Physical-biological coupling on oyster reefs: how habitat structure influences individual performance. *Ecological Monographs* 69(3), 251-275.
- Lesoway MP, Henry JQ (2019)** Sex determination, sexual development, and sex change in slipper snails. En: Tworzydło, W., Bilinski, S. (eds) *Evo-Devo: Non-model Species in Cell*

and Developmental Biology. Results and Problems in Cell Differentiation, vol 68. Springer, Cham, 155-182.

Llanos EN, Jaubet ML, Elías R (2019) The intertidal benthic community of SW Atlantic as an environmental indicator of 50 years of human-mediated changes. *Marine Biology Research* 15(8-9), 458-475.

López Gappa JJ, Tablado A, Magaldi NH (1990) Influence of sewage pollution on a rocky intertidal community dominated by the mytilid *Brachidontes rodriguezii*. *Marine Ecology Progress Series* 63, 63–175.

Machado-Schiaffino G, Bala LO, Garcia-Vazquez E (2009) Recovery of normal cytogenetic records in mussels after cessation of pollutant effluents in Puerto Madryn (Patagonia, Argentina). *Estuaries and Coasts* 32(4), 813–818.

Márquez F, González RJ, Bigatti G (2011) Combined methods to detect pollution effects on shell shape and structure in Neogastropods. *Ecology Indicators* 11(2), 248–254.

Marquez F, Primost MA, Bigatti G (2017) Shell shape as a biomarker of marine pollution historic increase. *Marine Pollution Bulletin* 114(2), 816-820.

Martinetto P, Daleo P, Escapa M, Alberti J, Isacch JP, et al. (2010) High abundance and diversity of consumers associated with eutrophic areas in a semi-desert macrotidal coastal ecosystem in Patagonia, Argentina. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 88: 357–364.

Martinetto P, Teichberg M, Valiela I, Montemayor D, Iribarne O (2011) Top-down and bottom-up controls in a high nutrient-high herbivory coastal environment. *Marine Ecology Progress Series* 432: 69-82.

Narvarte MA (2006) Biology and fishery of the whelk *Buccinanops globulosum* (Kiener, 1834) in northern coastal waters of the San Matías Gulf (Patagonia, Argentina). *Fisheries Research* 77(2), 131-137.

- Narvarte M, Salas MC, Avaca MS, Roche MA, Delucchi F, et al. (2017)** Beyond imposex: other sexual alterations in a nassariid snail from Patagonia. *Marine Biology Research* 13(4), 429-438.
- Narvarte MA, Willers V, Avaca MS, Echave ME (2008)** Population structure of the snail *Buccinanops globulosum* (Prosobranchia, Nassariidae) in San Matías Gulf, Patagonia Argentina: isolated enclaves? *Journal of Sea Research* 60(3), 144-150.
- Navarro E, Iglesias JI. (1995)** Energetics of reproduction related to environmental variability in bivalve molluscs. *Haliotis* 24: 43-55.
- Navarro JM, Chaparro OR (2002)** Grazing–filtration as feeding mechanisms in motile specimens of *Crepidula fecunda* (Gastropoda: Calyptraeidae). *Journal of experimental marine Biology and Ecology* 270(1), 111-122.
- National Research Council (2000)** Clean coastal waters: understanding and reducing the effects of nutrient pollution. National Academy Press, Washington, DC Nixon SW. 1995. Coastal marine eutrophication: a definition, social causes, and future concerns. *Ophelia* 41: 199-219.
- Neves RAF, Echeverría C, Pessoa L, Paiva P, Paranhos R, Valentin J (2013)** Factors influencing spatial patterns of molluscs in a eutrophic tropical bay. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 93(3), 577-589.
- Nixon SW (1995)** Coastal marine eutrophication: a definition, social causes, and future concerns. *Ophelia* 41: 199-219.
- Nuñez JD, Laitano MV, Cledón M (2012)** An intertidal limpet species as a bioindicator: Pollution effects reflected by shell characteristics. *Ecology Indicators* 14, 178–183.
- Ocampo EH, Pérez García M, Nuñez JD, Luppi TA (2021)** Impact on reproductive performance and body condition in a small limpet parasitized by a large castrator pea crab. *Journal of Morphology* 282(11), 1604-1615.

- Oehlmann J, Stroben E, Fioroni P (1992)** The rough tingle *Ocenebra erinacea* (Neogastropoda: muricidae): An exhibitor of imposex in comparison to *Nucella lapillus*. Helgoländer Meeresuntersuchungen 46(3), 311-328.
- Oliva AL, Arias AH, Quintas PY, Buzzi NS, Marcovecchio JE (2017)** Polycyclic aromatic hydrocarbons in mussels from a South American estuary. Archives of Environmental Contamination and Toxicology 72(4), 540-551.
- Paiva FF, Gomes WIA, Medeiros CR, Álvaro ÉLF, Ribeiro IMS, Molozzi J (2018)** Environmental factors influencing the occurrence of alien mollusks in semi-arid reservoirs. Limnetica 37(2), 187-198.
- Parodiz JJ (1939)** Las especies de Crepidula de las costas Argentina. Physis 17, 685–709.
- Penchaszadeh PE (1973)** Ecología de la comunidad del mejillín (*Brachidontes rodriguezii* d'Orb.) en el mediolitoral rocoso de Mar del Plata (Argentina): el proceso de recolonización. Physis A 32, 51–64.
- Penchaszadeh PE, Averbuj A, Cledón M (2001)** Imposex in gastropods from Argentina (South-Western Atlantic). Marine Pollution Bulletin 42(9):790–91.
- Peterson CH, Estes JA (2001)** Conservation and management of marine communities. Marine community ecology. Sinauer Associates, Sunderland, MA, pp. 469-507.
- Primost M, Bigatti G, Márquez F (2015)** Shell shape as indicator of pollution in marine gastropods affected by imposex. Marine and Freshwater Research 67(12), 1948-1954.
- Rabalais, NN, Norse, EA, Crowder, LB (2005)** The potential for nutrient over enrichment to diminish marine biodiversity. Marine Conservation Biology: the science of maintaining the sea's biodiversity. Island Press, Washington, DC, 109-122.
- Roche A, Cetra N, Maggioni M, Avaca S, Storero LP et al. (2020)** Caracterización de los moluscos bentónicos de la Bahía de San Antonio. Informe Técnico N°03-2020. Escuela Superior de Ciencias Marinas, Universidad Nacional del Comahue, pp. 44.

- Rodríguez Guzmán EP, Liriano Mateo PF, Pérez R (2017)** Indicadores físico-químicos y biológicos del proceso de eutrofización del oeste y norte del Lago Enriquillo. Tesis de Grado de la Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña, Santo Domingo, pp. 163.
- Roth VL, Mercer JM (2000)** Morphometrics in development and evolution. *American zoologist* 40(5), 801-810.
- Saad JF, Narvarte MA, Abrameto MA, Alder VA (2019)** Drivers of nano- and microplanktonic community structure in a Patagonian tidal flat ecosystem. *Journal of Plankton Research* 41(5), 621-639
- Salas MC, Narvarte MA, Defeo Gorospe O (2018)** Evaluación del mejillín *Brachidontes rodriguezii* como modificador del hábitat en ambientes intermareales de sustrato móvil y efectos sobre la estructura comunitaria asociada. Tesis Doctoral de la Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, pp. 166.
- Smith BS (1971)** Sexuality in the American mud snail, *Nassarius obsoletus* Say. *Proceedings of the Malacological Society of London* 39, 377–381.
- Storero LP, Avaca MS, Roche MA (2022)** Living under Ulva: the case of the scavenger snail *Buccinanops deformis* in a eutrophic macrotidal bay in Patagonia (Argentina). *Marine Ecology* 43(4), e12718.
- Storero LP, Botto F, Narvarte MA, Iribarne O (2016)** Influence of maturity condition and habitat type on food resources utilization by *Octopus tehuelchus* in Atlantic Patagonian coastal ecosystems. *Marine Biology* 163: 163- 179.
- Streftaris N, Zenetos A (2006)** Alien marine species in the Mediterranean: the 100 ‘worst invasives’ and their impact. *Mediterranean Marine Science* 7(1), 87–118.
- Teichberg M, Fox S, Olsen YS, Valiela I, Martinetto P et al. (2010)** Eutrophication and macroalgal blooms in temperate and tropical coastal waters: nutrient enrichment experiments with *Ulva spp.* *Global Change Biology* 16: 2624-2637.

- Torroglosa ME (2015)** Biología reproductiva y crecimiento de *Brachidontes rodriguezii* (d'Orbigny, 1846) en sustratos duros artificiales en playas arenosas de la provincia de Buenos Aires. Tesis de Doctorado de la Universidad de Buenos Aires, Argentina, pp. 143.
- Underwood AJ (1997)** Experiments in ecology. Their logical design and interpretation using analysis of variance. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 504.
- Urrea J, Rueda JL, Ramírez AM, Marina P, Tirado C, et al. (2013)** Seasonal variation of molluscan assemblages in different strata of photophilous algae in the Alboran Sea (western Mediterranean). Journal of Sea Research 83: 83–93.
- Valiela I (1995)** Marine Ecological Processes. New York: Springer, pp. 686.
- Valiela I (2006)** Global Coastal Change. Blackwell Publishing, Malden, MA, pp. 368.
- Valiela I, Foreman K, LaMontagne M, Hers D, Costa J, et al. (1992)** Couplings of watersheds and coastal waters- sources and consequences of nutrient enrichment in Waquoit Bay, Massachusetts. Estuaries 15, 443–457.
- Vallarino EA (2002)** La comunidad bentónica intermareal de *Brachidontes rodriguezii* (D'Orb.) y su relación con el efluente cloacal de la ciudad de Mar del Plata (38° S). Tesis Doctoral de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Mar del Plata, pp. 187.
- Vallarino EA, Elías R (2006)** A paradox in intertidal mussel beds of the SW Atlantic: increased diversity and reduced variability associated with sewage pollution. Current trends in ecology, Volume 1, 77-91.
- Vallarino EA, Garaffo GV, Jaubet ML, Sánchez MA, Rivero MS, Elías R (2014)** Response of mussel population to sewage impact in rocky-stony shore. Thalassas 30:51–56.
- Vázquez NN, Gil MA, Esteves JL, Narvarte MA (2007)** Monitoring Heavy Metal Pollution in San Antonio Bay, Río Negro, Argentina. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology 79 (2), 121–125.

- Veríssimo H, Neto JM, Teixeira H, Franco JN, Fath BD, et al. (2011)** Ability of benthic indicators to assess ecological quality in estuaries following management. *Ecological Indicators* 19: 130-143.
- Villares G, Pastor de Ward C (2020)** Increased biomass of free-living marine nematodes may be indicative of disturbances in the ecosystem of the San Antonio Bay. *Open Journal of Environmental Biology* 5(1): 001-06.
- Willers V (2004)** Utilización del caracol *Buccinanops globulosum* como indicador de contaminación por tributil estaño (TBT) en la Bahía de San Antonio (Río Negro, Patagonia, Argentina). Bachelor Degree thesis, Universidad Nacional de la Patagonia, Argentina, pp. 65.
- Workman C (1983)** Comparisons of energy partitioning in contrasting age - structured populations of the limpet *Patella vulgata* L. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 68(1), 81-103.
- Worm B, Barbier EB, Beaumont N, Duffy JE, Folke C, et al. (2006)** Impacts of biodiversity loss on ocean ecosystem services. *Science* 314, 787–790.