

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y OCEANOGRÁFICAS  
DEPARTAMENTO DE ZOOLOGÍA  
BIOLOGÍA



LA SEQUÍA Y SU INCIDENCIA EN LA ESTRUCTURA FUNCIONAL DEL  
ENSAMBLAJE DE AVES EN EL HUMEDAL ESTUARINO LENGUA,  
PENÍNSULA DE HUALPÉN, BIOBÍO, CHILE.

FRANCISCA VALENTINA BARRÍA CONCHA

SEMINARIO DE TÍTULO PARA OPTAR AL TÍTULO DE BIÓLOGO

CONCEPCIÓN- CHILE

ABRIL, 2023.

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN

Este Seminario de Título ha sido realizado en Laboratorio de Mastozoología, Departamento de Zoología de la Universidad de Concepción, Concepción, Chile,

Profesor guía

**Dr. Enrique Rodriguez Serrano**

Universidad de Concepción

Profesores evaluadores

**Dr. Cristian Hernandez Ulloa**

Universidad de Concepción

**Dr. Alfredo Saldaña Mendoza**

Universidad de Concepción

Coordinador seminario de título

**Dr. Víctor Hernández Santander**

Universidad de Concepción

## AGRADECIMIENTOS

Agradecer a mi familia es poco, pero centraré el esfuerzo en mi línea materna porque es la que más carga ha llevado desde mi gestación hasta el momento. Mamita espero que cada dolor de parto haya valido la pena.

A ti también papá, por los tres trabajos que tuviste en su momento para cuidar de nuestra familia pequeña y algo rota, pero siempre valiente y unida. A mi tata, que a mis ojos es de quien más aprendí a no rendirme con nada y ser fuerte hasta el final, a mi abuelita que con tanto amor me crió y nutrió como si fuera mi propia madre y a mi bis abuela: Señora Enedina, una de sus bisnietas está peleando un postgrado, gracias por dejarme leer tus libros y comentarlos conmigo las noches de verano. A mi hermano, gracias por estar ahí cuando mi corazón se rompía y perdía el aliento unos minutos, no garantizo deje de ser una mujer enamoradiza, gracias por recordarme que vine a algo más que eso al mundo.

Le agradezco igual esta tesis a Alice in Chains, Nirvana, Arctic Monkeys, Los Prisioneros, Los Tres, Avril Lavigne, Paramore y a la música en general, los artistas mencionados han acompañado mi mente curiosa desde que mi papá me regaló mi mp3 a los 7 años, y Concepción teniendo tocatas siempre colaboraron mucho también.

Profesor Enrique, gracias por aceptarme en su laboratorio con los desafíos que implica acoger una mujer descrita por otros académicos como intelectualmente inquieta, inquieta sobre todo.

Se acabaron los agradecimientos, esta tesis se la dedico a Zoé, Grace Slick, Miel Bowie y Maitén Barrett, los gatos de mi corta vida. Sobre todo a ti Miel, que apareciste abandonado recién nacido en la autopista de Talcahuano, razón por la cual tenía que pedir permiso en la universidad y el trabajo para ir a darte el MamiStop cada tres horas.

‘Nuestra vida no ha sido hecha para rodearla de sombras y tristezas’

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. ÍNDICE DE FIGURAS.....	5
2. RESUMEN .....	6
3. ABSTRACT.....	7
4. INTRODUCCIÓN.....	8
4.1 Hipótesis .....	12
4.2 Objetivos.....	14
5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	14
6. RESULTADOS.....	19
7. DISCUSIÓN.....	28
8. CONCLUSIONES .....	31
9. LITERATURA CITADA .....	32
10. ANEXO .....	35

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Imagen del sector salobre (36°46'06"S, 73°09'45"W) registrada el 15 de Enero de 2022.....	7
<b>Figura 2.</b> Promedio de índices de Shannon y Simpson por ambiente dentro del humedal.. ..	13
<b>Figura 3.</b> Los datos levantados para el decenio, la diversidad avifaunística.....	13
<b>Figura 4:</b> Riqueza funcional dentro del microhábitat Dulceacuícola.....	16
<b>Figura 5:</b> FRic de ambiente Salobre en las cuatro estaciones del año a lo largo de la década	17
<b>Figura 6:</b> FRic de ambiente Marino para las cuatro estaciones a lo largo de la década.....	18
<b>Figura 7:</b> FDiv del ambiente dulce en sus cuatro estaciones de la década.....	19

<b>Figura 8:</b> FDiv en ambiente Salobre de la década en Otoño, Invierno, Primavera y Verano hasta 2022.....	20.
<b>Figura 9:</b> FDiv o Divergencia funcional de ambiente Marino a lo largo del tiempo en sus cuatro estaciones.....	21.
<b>Figura 10:</b> Equidad Funcional o FEve calculada para la década en ambiente Dulce del humedal..	22
<b>Figura 11:</b> FEve para el ambiente Salobre del Humedal Lenga desde 2012 a la fecha. En tres de las cuatro estaciones (Otoño, Invierno y Primavera).....	23
<b>Figura 12:</b> La equidad funcional de ambiente Marino a través del tiempo.....	24
<b>Figura 13:</b> Índice FSpe (Bellwood et al. 2006); especialización funcional de ambiente dulceacuícola a través del tiempo.....	25
<b>Figura 14:</b> Especialización Funcional de ambiente Salobre a lo largo del tiempo.....	26
<b>Figura 15:</b> Especialización Funcional de Ambiente Marino a lo largo del tiempo.....	27

## **RESUMEN**

El cambio climático ha aumentado las temperaturas del planeta trayendo consigo una extensa e intensa sequía en los últimos 20 años a Chile. Por su geografía, la línea costera del país es albergue de aves residentes y migratorias que cumplen diversos roles funcionales en sus ecosistemas. El Humedal Lengua, ubicado en la Península de Hualpén, está sometido a una gran presión climática. Analizamos la estructura comunitaria de la avifauna del estuario, delimitando sus entidades funcionales, una estimación de variaciones en la composición y abundancia entre años y estaciones en la estructura del estuario por medio de variables ambientales, asociando estadísticamente rasgos funcionales a los cambios en el paisaje del humedal (caudal del río, temperaturas, precipitaciones). Los resultados indican que el aumento en las temperaturas mínimas sumado a la redundancia funcional de entidades que habitan el espejo de agua están volviendo el Humedal Lengua un sitio cada vez más rico en especies y sus cantidades al resistir, más no implica un futuro seguro: la extinción poblacional de 15 de sus 39 Entidades Funcionales establecidas catalogadas como vulnerables, deja paso a especies invasoras y una disminución de los procesos ecosistémicos producto de un uso ineficiente de recursos.

## **ABSTRACT**

Climate change has increased the planet's temperatures, bringing with it an extensive and intense drought in the last 20 years to Chile. Due to its geography, the country's coastline is home to resident and migratory birds that play various functional roles in its ecosystems. The Lengua Wetland, located on the Hualpén Peninsula, is subject to great climatic pressure. We analyze the community structure of the estuary avifauna, delimiting its functional entities, an estimate of variations in the composition and abundance between years and seasons in the structure of the estuary through environmental variables, statistically associating functional features to changes in the wetland landscape (river flow, temperatures, rainfall). The results indicate that the increase in minimum temperatures added to the functional redundancy of entities that inhabit the water mirror are making the Lengua Wetland an increasingly rich site in species and their quantities to resist, but does not imply a secure future: the population extinction of 15 of its 39 established Functional Entities cataloged as vulnerable, It gives way to invasive species and a decrease in ecosystem processes as a result of an inefficient use of resources.

## INTRODUCCIÓN

### CAMBIO CLIMÁTICO

El agua es el componente esencial de los biomas del mundo. Inclusive en ecosistemas desérticos hay ecosistemas acuáticos, capaces de albergar multitud de organismos unicelulares, algas, plantas y animales. El cambio climático (Ayala-Carcedo, F.J., 2002) implica un alza en las temperaturas y disminución en las precipitaciones. Para los humedales, ecosistemas de alta diversidad biológica y alta productividad, esto conlleva la evaporación de la lámina libre del espejo de agua producido por cambios en el régimen higrométrico del aire y los vientos, además, el aumento de las temperaturas que es secundado por una subida del nivel medio del mar por expansión térmica del agua.



Figura 1: Imagen del sector salobre (36°46'06"S, 73°09'45"W) registrada el 15 de Enero de 2022.

De acuerdo con la Convención RAMSAR (Ramsar 1971) los humedales marinos y costeros son ambientes ecotonales en una confluencia marino-dulceacuícola y son altamente sensibles a las

masas de agua que entran y salen de ellos (Niering, 1985). En el Humedal Lenga existe un porcentaje muy alto de avifauna chilena residente, además de ser un sitio importante como ruta de aves migratorias en América (Morrison & Myers, 1987). Esto sumado a la confluencia habida entre la desembocadura del Río Lenga hasta el mar, que permite una concentración de poblaciones de aves debido a la alta productividad.

## **EFFECTOS A NIVEL DE COMUNIDAD**

El ensamblaje de aves es importante por su capacidad de transferencia energética entre niveles tróficos, reaccionan rápido a sucesos ambientales, abandonando sistemas poco convenientes y creando cambios dinámicos en la estructura local. En relación a lo indicado, las diferencias en la heterogeneidad física y variabilidad de microhábitats repercute en los patrones espaciotemporales de las aves (Gonzalez- Gajardo et al, 2009). La diversidad funcional, definida como el grado de diferencias de roles entre componentes taxonómicos en una comunidad (Tilman, 2001), permite comprender los procesos que modulan el ecosistema incorporando atributos influyentes en el desempeño, procesos y funcionamiento del ecosistema (Violle et al.,2007).

La diversidad funcional (Mason, 2013) es una arista importante de los ensamblajes biológicos que permite tener información sobre mecanismos que influyen en el éxito de las especies que componen estos gremios funcionales. Los gremios, o Entidades funcionales, basan su relación con el medio ambiente por medio de rasgos, los cuales a su vez contienen atributos, que son el valor específico que se le da a este rasgo funcional. Por ejemplo, en aves, la forma de la ranfoteca puede ser elegida un rasgo funcional caracterizado por contener variedad de atributos: esta puede ser curva y alargada como en limícolas o curva y afilada como en rapaces.

Según el Reporte de la Evolución del Clima (Dirección Meteorológica de Chile, 2021), desde 2007 se observa una importante disminución en la pluviosidad del país, con especial protagonismo en la Región del Biobío, donde se sitúa en la península de Hualpén el Humedal Lenga.

## **HUMEDALES**

Si bien los humedales costeros reúnen concentraciones importantes de aves migratorias, son las de hábito residente quienes albergan la mayor cantidad de especies. Ambas, migratorias y residentes confluyen en los estuarios costeros de la Ruta Migratoria del Pacífico, dedicándose principalmente al forrajeo y descanso. Las aves residentes disminuyen en primavera, mientras que aumentan su volumen en otoño (Newcombe et al., 2019). La probabilidad de que las aves registradas sean funcionalmente diferentes aumenta con el número de especies en el ecosistema, de forma que hay una relación asintótica entre riqueza de especies y riqueza funcional que reflejaría la redundancia funcional de los ensamblajes (Flynn et al., 2009).

## **LENGA**

El Humedal estuarino Lenga es un ecosistema léntico, caracterizado por parte de su cuerpo de agua de aspecto paisajístico cerrado, donde el agua no tiene una corriente significativa, por tanto, el agua permanece en el mismo lugar sin correr ni fluir, como en lagunas o pantanos (Valdovinos, 2006). A raíz de dichos antecedentes queda en duda cómo las variables ambientales, enfatizando la hidrología del Humedal, influye en la diversidad y distribución de entidades funcionales. Responder esto mejora nuestra comprensión de cómo el cambio climático afecta a los organismos en los paisajes que habitan. De esta manera, el objetivo de este proyecto es investigar en qué magnitud los eventos de sequía afectan los patrones comunitarios de avifauna en el Estuario de Lenga, una zona de confluencia dulceacuícola y marina, la cual podría estar siendo sometida a la reducción en diversidad y abundancia de su avifauna producto del sostenido aumento en las temperaturas y duración de la sequía.

### **Hipótesis**

- (1) A raíz de la constante alza de temperaturas, la sequía será responsable de la baja en el número de especies del ensamblaje de aves del Humedal estuarino Lenga.
- (2) Las especies de aves dependientes del espejo de agua (Ej.: Anseriformes; Anatidae) descenderán en su número de individuos por ensamble.
- (3) La diversidad funcional del estuario se verá disminuida a lo largo de la década producto de la sequía que afecta el país.

## Objetivos

- (1) Evaluar las tendencias ambientales que afectan directamente al estuario: Precipitaciones por estación de año muestreado, caudal de río, temperaturas mínimas y máximas, todas ellas por estación y año de muestreo.
- (2) Analizar la riqueza, abundancia y equidad a través de los años en conjunto con la variación ambiental.
- (3) Establecer gremios según rasgos funcionales definidos en atributos de forrajeo. Como el humedal es sitio de descanso para aves migratorias, se eligió atributo extra el estatus migratorio por especie en orden de identificarla correctamente en el ensamble de aves.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó 1 censo mensual durante horas de la mañana entre 9:00 am y 15:00 pm, desde Enero a Diciembre de 2022 en 11 puntos de observación del humedal (Fig.2). El rango de observación es de 200 metros para cada punto usando binoculares de 12 x 50 y telescopio óptico terrestre para la observación. Los muestreos del año presente se acoplaron en una matriz anidada con observaciones de años anteriores en los mismos puntos que han sido homologados para este estudio. La duración de los conteos en cada punto es de 15 minutos, recurriendo a guías de campo (Jaramillo, 2005). Todas las aves serán determinadas hasta el nivel de especie.

Para evaluar los cambios en el ensamblaje de aves en la línea temporal, creamos una matriz de datos ambientales compuesta por las precipitaciones en milímetros por estación del año desde 2012, medida de caudal de río, temperaturas mínimas y máximas registradas para la zona del paisaje.

**Matriz Anidada: Atributos a partir de rasgos eco-morfológicos para cada especie y sus abundancias por estación.**

Con los datos colectados y depurados desde la plataforma E-Bird más el censo anual de 2022, analizaremos la riqueza y abundancia en la comunidad ornitológica del humedal. Esto tanto para análisis de diversidad taxonómica e identidad de gremios, definidos bajo el criterio de cuatro rasgos funcionales categóricos de distintos niveles o atributos cada uno. Al ser el estuario

un sitio de confluencia para aves migratorias y residentes (Cerde, 2014), el primer rasgo 'Estatus migratorio' fue categorizado en tres atributos: ave residente, ave migratoria de Invierno Austral y ave migratoria de verano boreal, esto según las rutas migratorias establecidas para las aves identificadas como tal. La diferencia radica en que de las dos últimas, las de Invierno Austral nidifican en el centro o sur de Chile, para salir del territorio nacional a través de sus altitudes. Mientras que las Migratorias de Verano Boreal son las aves que periódicamente se reproducen en el hemisferio norte durante el Invierno Austral, para descender en latitud en busca de alimento y posada.

El segundo rasgo funcional es principal método de forrajeo, este fue dividido en 7 atributos los cuales constan de: Cazadores persecutores (Pursuit), Picoteo de artrópodos en hojas (Gleaning), Caza de artrópodos desde el aire (Pouncing), Picoteo de artrópodos en suelo (Grazing), Excavadores (Digging), Carroñeros (Scavenging) y Zancudas (Probing).

El siguiente rasgo funcional es el componente principal de la dieta: Plantas (Plants), Invertebrados (Invertebrates) y Vertebrados (Vertebrates). Mientras que el cuarto rasgo funcional consta del substrato de forraje para estas especies de ave, donde clasificamos según si se alimentan desde Agua (Water), Barro (Mud), Suelo o Arena (Ground), Perchas o Juncos (Vegetation) y Cielo (Air).

Con ello, obtuvimos una matriz de rasgos por especie y para el análisis de variación comunitaria a lo largo de la década, se construyó una matriz de ambientes dentro del humedal, clasificados en tres según su cantidad de sales disueltas que dependen del área: Dulceacuícola, Salobre y Marino. Junto con ello, registramos las abundancias de las especies ordenadas en el tiempo con tres replicas al azar desde 2012 a 2021 correspondientes a tres estaciones del año, comparándolas con las cuatro estaciones en los tres ambientes registrados con los censos del año 2022, año muestreado en sus 4 estaciones como control.

Recopilamos las variables ambientales asociadas al paisaje del humedal: Precipitaciones, caudal, temperaturas mínimas y máximas registradas para cada estación del año.

Calculamos la riqueza de aves para cada ambiente en cada estación y estimamos la abundancia de las especies, su equitatividad funcional para observar la regularidad con la que se distribuyen las especies en el humedal, su divergencia funcional, pasa cuantificar lo lejos que se encuentran

las especies más abundantes del centro de dicho espacio y su dispersión funcional, que es la distancia media de los individuos al centro del espacio funcional.

## RESULTADOS

### Rasgos funcionales: Atributos eco-morfológicos de forrajeo (Método-Substrato-Dieta)

En los 11 puntos establecidos en ecosistema, se muestrearon un total de 131 especies de aves, correspondientes a 41 especies obtienen su alimento directamente de perchas o juncos (30,82%), 38 especies (28,57%) que obtienen su alimento del agua, 21 obtienen su alimento desde el barro (15,78%), 23 especies se alimentan del suelo (17,29%) y 12 especies se alimentan desde el aire (9,02%).

En cuanto al método principal de obtención de alimento, 31,57% de la avifauna del humedal es cazadora (n=42), un 28,57% correspondiente a 38 especies son zancudas o vadeadoras, seguido por un 21,80% de aves que obtienen su alimento desde plantas (n= 29), la cantidad de especies que consumen su alimentación entre el pasto corresponde a 15 especies, un 11,27%, el método de alimentación aérea de insectos es empleado por 5 especies del humedal (3,75%), las aves que excavan fueron 4 (3,00%) y finalmente dos especies son carroñeras (1,50%).

En cuanto al rasgo funcional 'Componente principal de la dieta', la mayor parte de las aves consume invertebrados (n=69; 51,87%), seguido por el consumo de animales vertebrados (n=37; 27,81%) y finalmente un 20,30% de las aves se alimenta principalmente de plantas (n=27).

### Rasgo funcional 'Migratory Status'

El cuarto rasgo funcional corresponde al Estatus Migratorio, donde se subdividió la categoría Migratoria en sus dos atributos principales dentro del estuario, las cuales son Migratoria de Invierno Austral y Migratoria de Verano Boreal. Invierno Austral se refiere a las especies de aves que tienen el habito de migrar dentro de las latitudes del país o continente neotropical, mientras que las aves de Verano Austral fueron clasificadas como las aves que migran desde el polo norte en dirección al sur del Neotrópico. 81,20% de ellas son especies residentes, mientras que

18,79% de ellas son de habito migratorio. 28% de las aves son migradoras de Invierno Austral, mientras que 72% de ellas son migradoras de Verano Boreal.

Ensamblaje de aves del Humedal Lengua a lo largo de la década 2012-2022:

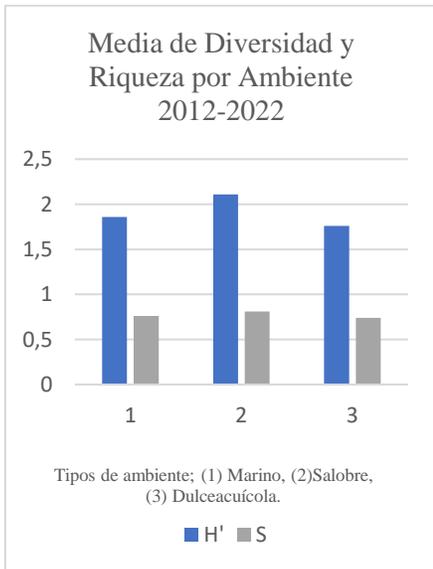


Figura 2: Promedio de índices de Shannon y Simpson por ambiente dentro del humedal.

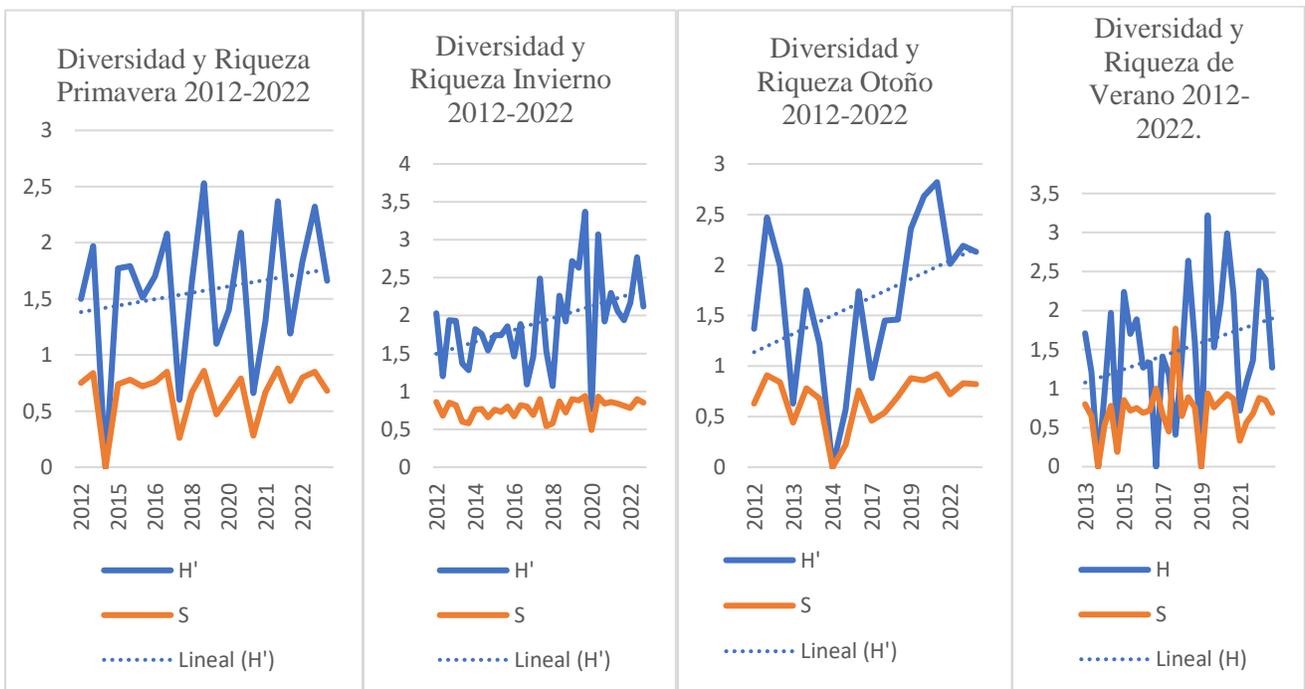


Figura 3: Según los datos levantados para el decenio, la diversidad avifaunística va en sostenido y marcado aumento, si bien hay dominancias establecidas en ciertos puntos. En el anexo (matriz

completa) podemos ver como por ejemplo en un punto dado en el tiempo muestral, la diversidad es cercana a cero pero la dominancia (S) es 1, implicando entonces que una población es la que manda en el ambiente en este caso, marino. La especie es *Phalacrocorax brazilianus*. El cormorán Yeco, es un suliforme piscívoro que se distribuye a lo largo de todo Chile y su dominancia en el humedal se debe a que nidifica en colonias empedradas, las cuales abundan en los puntos de muestreo marino.

En el otoño de la década, la tendencia al aumento de la diversidad es evidente. En las estaciones 'intermedias' (Otoño-Primavera) ocurre que, como regla, las especies de aves residentes retornan al ecosistema utilizando el espacio anteriormente abarcado por la residencia estacional en Verano-Invierno de aves de hábito migratorio. En Invierno, las aves migratorias de Invierno austral, especies como *Phoenicopterus chilensis*, llegan al Humedal Lengua. Se observa una tendencia clara de aumento en diversidad para el invierno de la década. Podemos visualizar como la tendencia continua en aumento como en las tres estaciones anteriores. En Primavera, las especies residentes vuelven tras el abandono de las migradoras de invierno austral y su aumento en diversidad y riqueza confirma que el Humedal ofrece un espacio importante de descanso y residencia para aves de paso y que dentro de su dinamismo, mantienen como sitio fijo el estuario Lengua.

Para evaluar cuál de las variables ambientales fue la más relevante sobre la avifauna, se aplicó el criterio de AICC donde el peso indica que es la Temperatura Mínima junto a las Precipitaciones quienes influyeron en el aumento de la riqueza del estuario, por lo que las dos primeras hipótesis son rechazadas.

### **Análisis de diversidad funcional para rasgos ecomorfológicos:**

Utilizamos los rasgos para establecer los gremios establecidos en el humedal. De un total de 240 combinaciones de atributos a los rasgos escogidos, resultaron 39 Entidades Funcionales, para cada una se estableció su riqueza funcional, redundancia funcional, sobre redundancia y vulnerabilidad funcionales.

La redundancia funcional (Fred) es la cantidad de especies prestando una función en el ecosistema dentro de su ensamble (Entidad Funcional), donde la posibilidad de perder una

especie dentro del gremio es compensada por otra que contribuye de manera similar en su labor gremial. Este índice fue calculado ya que, para cualquier variación ambiental, un ecosistema va a contener múltiples organismos en sus entidades que amortiguan las posibles presiones. (Villéger et al. 2010).

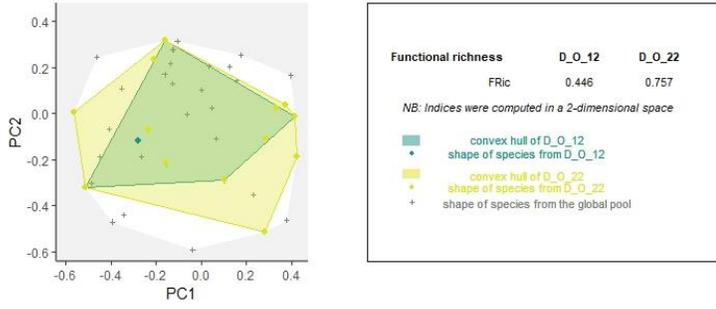
La sobre redundancia funcional fue nula, este índice (FORed) se calcula para averiguar posibles sobre-representaciones en la fauna para una misma labor en el funcionamiento, el humedal no posee sobre-redundancia funcional, lo cual implica que cada espacio esta utilizado en su máximo óptimo, equilibrio.

La Vulnerabilidad Funcional, por el contrario, está presente en 15 de los 39 gremios y es inversamente proporcional a la Redundancia Funcional: A mayor redundancia funcional mayor es la vulnerabilidad. Esto porque la redundancia en número de especies de su entidad, son la variedad de respuestas ante las variaciones del ambiente, a mayor FRed, menor FVul producto de una mayor cantidad de 'soluciones' que barajan las especies dentro de su Entidad Funcional, la cual contiene el rasgo y atributo clave de su éxito en el ecosistema.

(I.-) Riqueza funcional por ensambles:

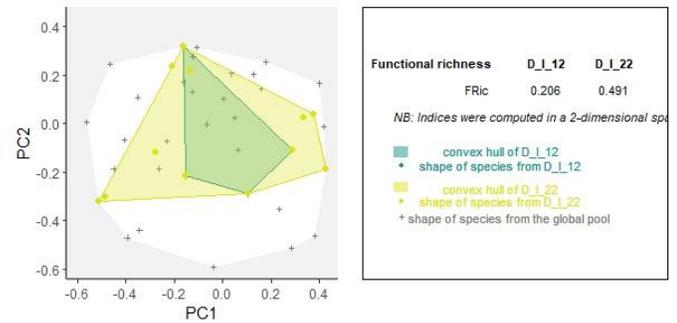
1.-) Ambiente Dulceacuícola a través de la década

Functional Richness of 'D\_O\_12' and 'D\_O\_22'



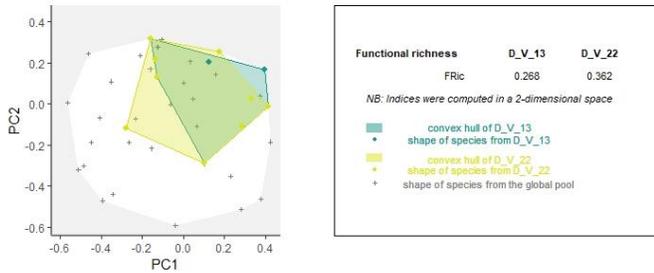
made with mFD package

Functional Richness of 'D\_I\_12' and 'D\_I\_22'



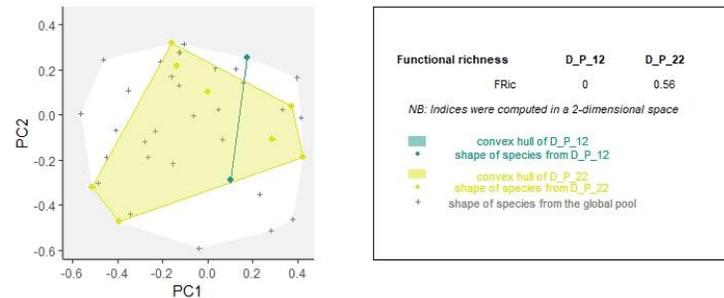
made with mFD package

Functional Richness of 'D\_V\_13' and 'D\_V\_22'



made with mFD package

Functional Richness of 'D\_P\_12' and 'D\_P\_22'



made with mFD package

Figura 4: Riqueza funcional dentro del microhábitat Dulceacuícola; a lo largo de las cuatro estaciones vemos como los índices aumentaron en la década. La primavera del 2012 la riqueza funcional fue cercana a nula y se recuperó notablemente en la línea temporal. La estación de Primavera es una de marcada transición entre aves residentes y migratorias australes.

## Ambiente Salobre a través de la década:

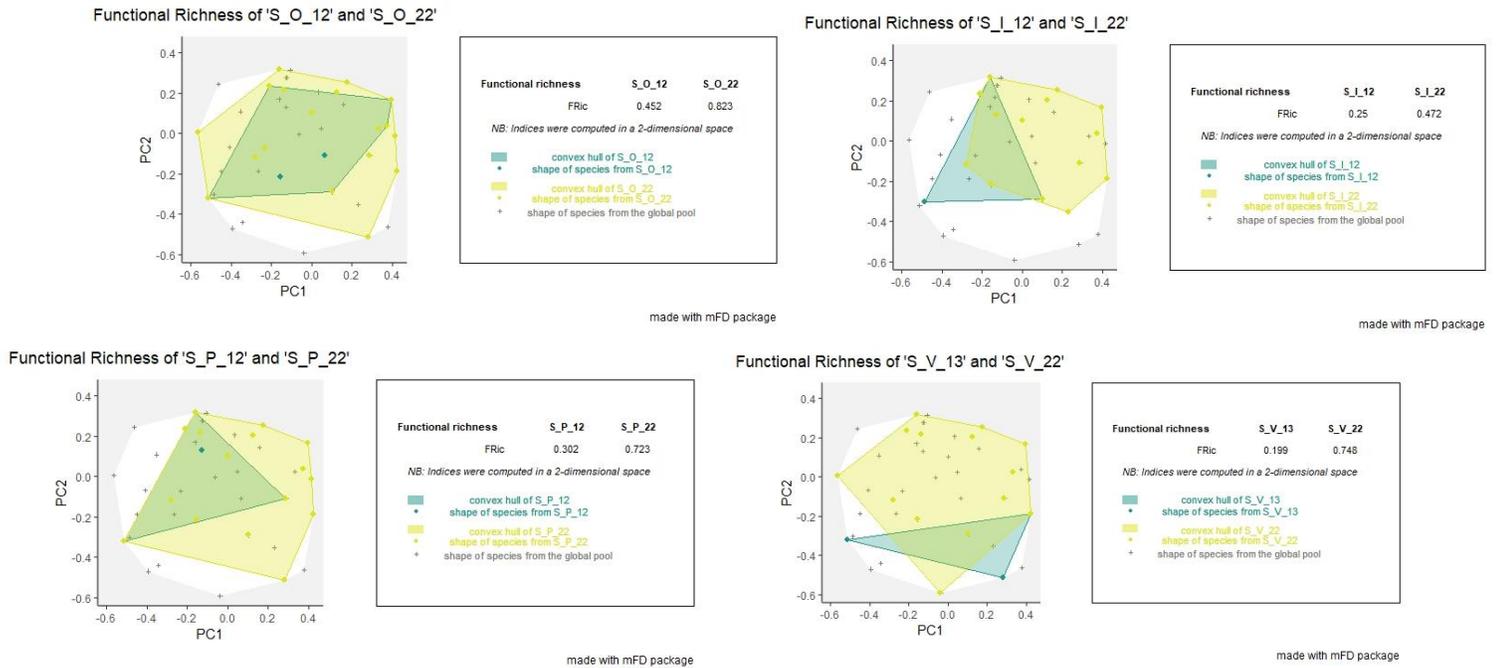
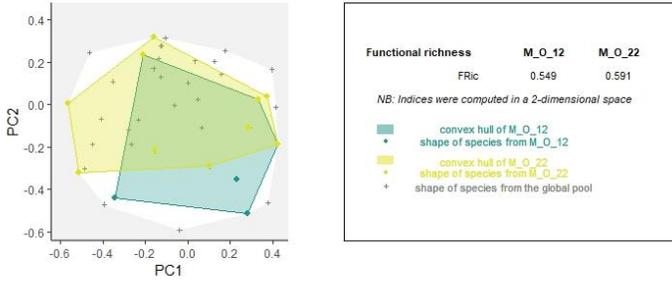


Figura 5: FRic de ambiente Salobre en las cuatro estaciones del año a lo largo de la década. El ambiente salobre, zona de confluencia dulceacuícola y marina, ha aumentado y sostenido el uso del casco convexo (volumen que da forma a las entidades funcionales que viven del ensamblaje) aumentando su riqueza funcional, lo cual implica hay un aumento en la cantidad de energía circundante en el ecosistema.

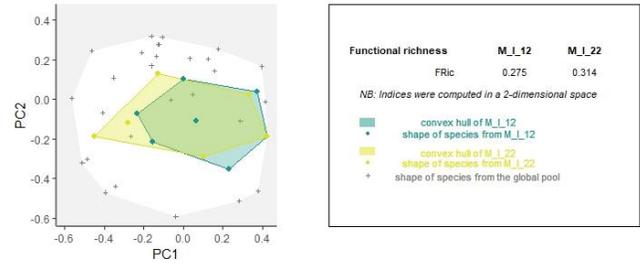
## Ambiente Marino:

Functional Richness of 'M\_O\_12' and 'M\_O\_22'



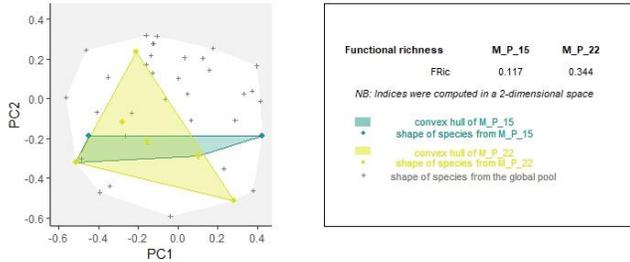
made with mFD package

Functional Richness of 'M\_I\_12' and 'M\_I\_22'



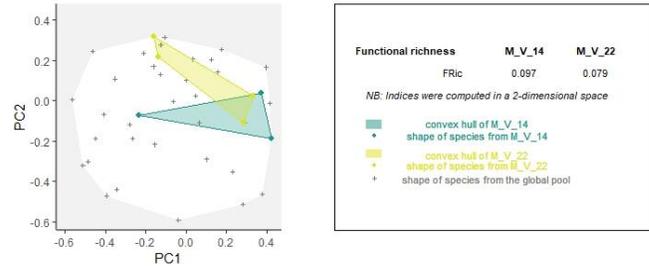
made with mFD package

Functional Richness of 'M\_P\_15' and 'M\_P\_22'



made with mFD package

Functional Richness of 'M\_V\_14' and 'M\_V\_22'

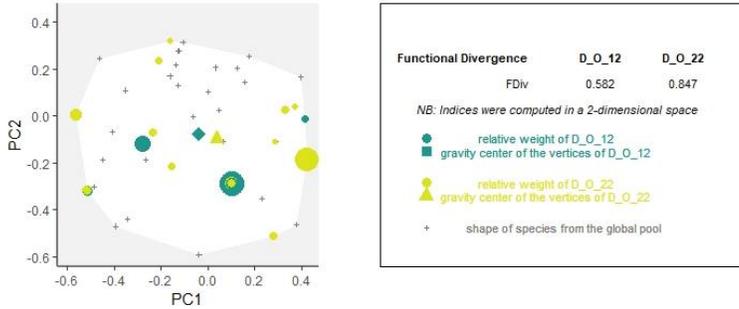


made with mFD package

Figura 6: FRic de ambiente Marino para las cuatro estaciones a lo largo de la década. Cabe destacar que la riqueza funcional de Verano Marino ha disminuido en los últimos 10 años. El año que se formulo la pregunta que dio paso a esta investigación, el espejo de agua se redujo dramáticamente y la barra de arena que pasa entre el ambiente Salobre hacia el Marino no conectaron, generando un ambiente altamente precario para las aves del ensamble, esto extraído de los rasgos funcionales que evaluamos basados en dieta. El Verano Marino debería ser o responder en teoría con el mismo aumento de especies que contienen los demás ambientes, sin embargo, la respuesta no es positiva. Considerando que las aves son animales dinámicos que eligen donde descansar, que la costa de Chile y en específico Lengua es sitio de descanso de aves migratorias Boreales, los análisis indican que los gremios pertenecientes al área Marina o buscaron otro refugio o fueron desplazados hacia el final de la década debido a las altas presiones que si bien los humedales amortiguan, no implica protejan directamente sus individuos ya que no está viéndose cumplida la labor de obtención de alimento

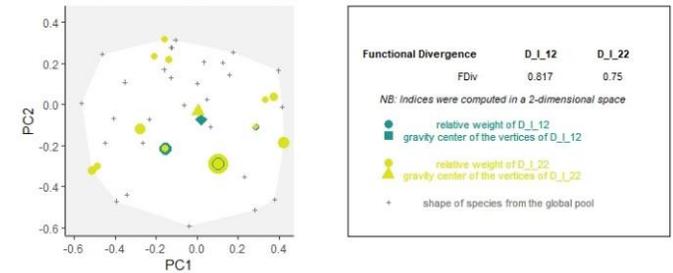
## (II) Divergencia Funcional: Ambiente Dulceacuícola

Functional Divergence of 'D\_O\_12' and 'D\_O\_22'



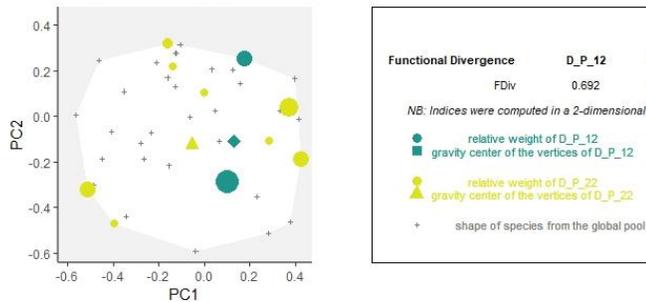
made with mFD package

Functional Divergence of 'D\_I\_12' and 'D\_I\_22'



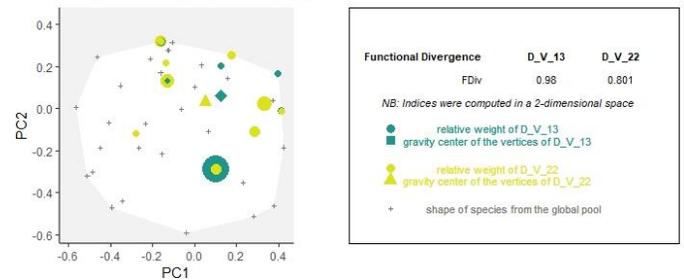
made with mFD package

Functional Divergence of 'D\_P\_12' and 'D\_P\_22'



made with mFD package

Functional Divergence of 'D\_V\_13' and 'D\_V\_22'

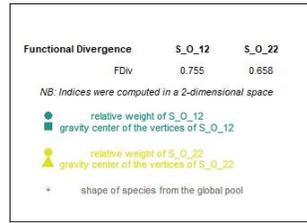
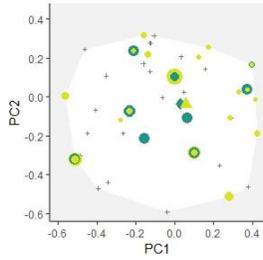


made with mFD package

Figura 7: FDiv del ambiente dulce en sus cuatro estaciones de la década. En Invierno y Verano disminuye la divergencia funcional, cuando la divergencia funcional decrece implica un aumento en la competencia y disminución en los procesos ecosistémicos producto de un uso poco eficiente de los recursos alimenticios. Por el contrario, en Otoño y Primavera la divergencia aumenta, lo cual indica un mejor aprovechamiento del Humedal producto de un aumento en el grado de diferenciación de nicho.

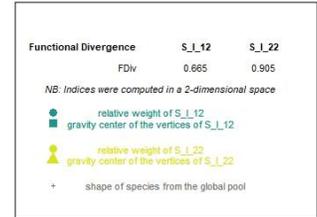
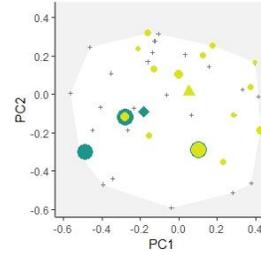
## Ambiente Salobre:

Functional Divergence of 'S\_O\_12' and 'S\_O\_22'



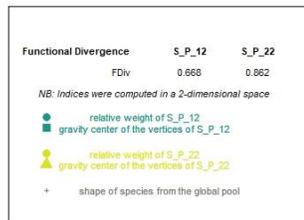
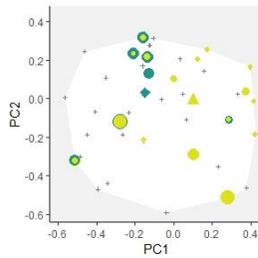
made with mFD package

Functional Divergence of 'S\_I\_12' and 'S\_I\_22'



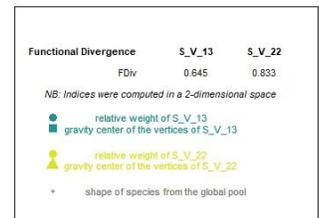
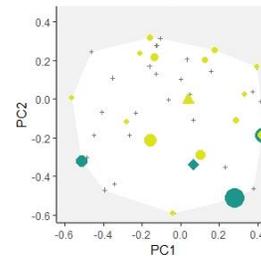
made with mFD package

Functional Divergence of 'S\_P\_12' and 'S\_P\_22'



made with mFD package

Functional Divergence of 'S\_V\_13' and 'S\_V\_22'

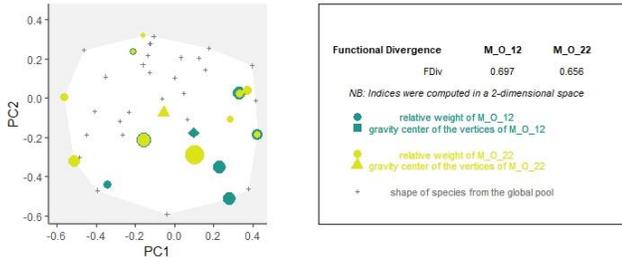


made with mFD package

Figura 8: FDiv en ambiente Salobre de la década en Otoño, Invierno, Primavera y Verano hasta 2022. Para el ambiente salobre han aumentado en las cuatro estaciones la Divergencia funcional, esto significa que el aumento de la riqueza taxonómica y funcional está explotando de manera correcta y en equilibrio los elementos de los cuales dependen el forrajeo de ellas.

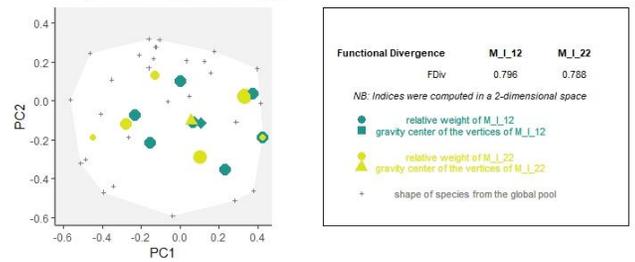
## Ambiente Marino:

Functional Divergence of 'M\_O\_12' and 'M\_O\_22'



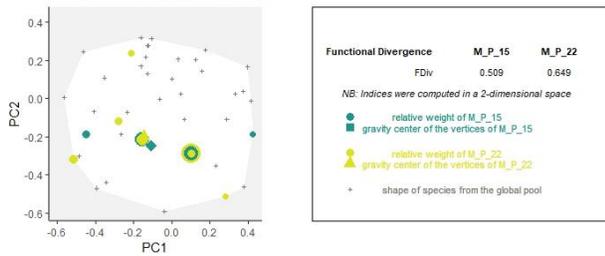
made with mFD package

Functional Divergence of 'M\_I\_12' and 'M\_I\_22'



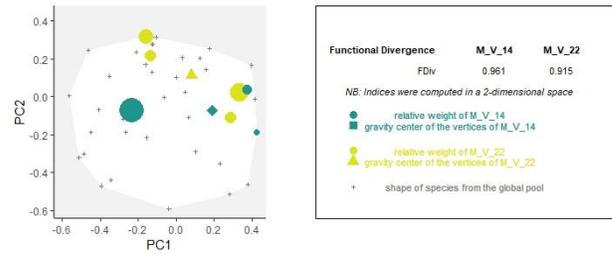
made with mFD package

Functional Divergence of 'M\_P\_15' and 'M\_P\_22'



made with mFD package

Functional Divergence of 'M\_V\_14' and 'M\_V\_22'

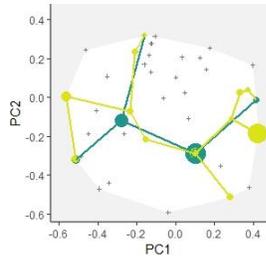


made with mFD package

Figura 9: FDiv o Divergencia funcional de ambiente Marino a lo largo del tiempo en sus cuatro estaciones. La tendencia es a la disminución de la divergencia funcional. Cuando la divergencia funcional disminuye la diferenciación de nicho también, por ende la competencia por recursos aumenta y la posibilidad de un uso ineficiente de los recursos del humedal también.

(III.-) Equidad Funcional:  
 Ambiente Dulceacuícola

Functional Evenness of 'D\_O\_12' and 'D\_O\_22'



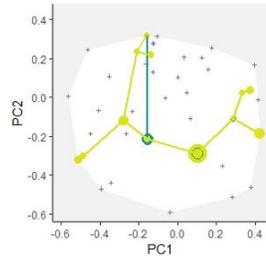
Functional Evenness	D_O_12	D_O_22
FEve	0.5	0.506

NB: Indices were computed in a 2-dimensional space

- relative weight of D\_O\_12
- mst of D\_O\_12
- relative weight of D\_O\_22
- mst of D\_O\_22
- + shape of species from the global pool

made with mFD package

Functional Evenness of 'D\_I\_12' and 'D\_I\_22'



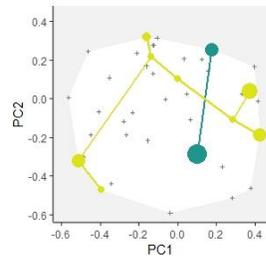
Functional Evenness	D_I_12	D_I_22
FEve	0.286	0.483

NB: Indices were computed in a 2-dimensional space

- relative weight of D\_I\_12
- mst of D\_I\_12
- relative weight of D\_I\_22
- mst of D\_I\_22
- + shape of species from the global pool

made with mFD package

Functional Evenness of 'D\_P\_12' and 'D\_P\_22'



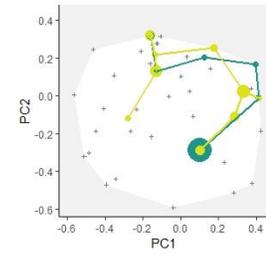
Functional Evenness	D_P_12	D_P_22
FEve	0	0.511

NB: Indices were computed in a 2-dimensional space

- relative weight of D\_P\_12
- mst of D\_P\_12
- relative weight of D\_P\_22
- mst of D\_P\_22
- + shape of species from the global pool

made with mFD package

Functional Evenness of 'D\_V\_13' and 'D\_V\_22'



Functional Evenness	D_V_13	D_V_22
FEve	0.602	0.358

NB: Indices were computed in a 2-dimensional space

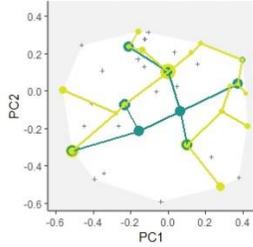
- relative weight of D\_V\_13
- mst of D\_V\_13
- relative weight of D\_V\_22
- mst of D\_V\_22
- + shape of species from the global pool

made with mFD package

Figura 10: Equidad Funcional o FEve calculada para la década en ambiente Dulce del humedal. La equidad funcional es un índice que homogeniza la distribución de las abundancias devolviendo en sus 'ramas' la utilización del nicho funcional dentro del convexo geométrico ilustrado. Vemos como el numero aumenta levemente desde el 2012, siendo drástica la disminución a través del tiempo en la zona dulceacuícola veraniega, donde el FEve pasa desde un inicial 0,6 a 0,4. Esto implica que el verano en el sitio de agua dulce del Humedal de Lengua si bien está siendo utilizado (las entidades son las cruces dentro del casco) esta volviéndose funcionalmente abandonadas o menos trabajadas que al inicio del estudio.

## Ambiente Salobre

Functional Evenness of 'S\_O\_12' and 'S\_O\_22'



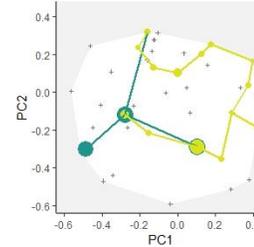
Functional Evenness	S_O_12	S_O_22
FEve	0.602	0.464

NB: Indices were computed in a 2-dimensional space

- relative weight of S\_O\_12
- mst of S\_O\_12
- relative weight of S\_O\_22
- mst of S\_O\_22
- + shape of species from the global pool

made with mFD package

Functional Evenness of 'S\_I\_12' and 'S\_I\_22'



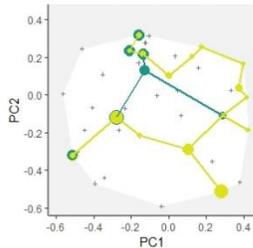
Functional Evenness	S_I_12	S_I_22
FEve	0.696	0.454

NB: Indices were computed in a 2-dimensional space

- relative weight of S\_I\_12
- mst of S\_I\_12
- relative weight of S\_I\_22
- mst of S\_I\_22
- + shape of species from the global pool

made with mFD package

Functional Evenness of 'S\_P\_12' and 'S\_P\_22'



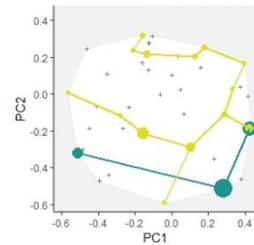
Functional Evenness	S_P_12	S_P_22
FEve	0.52	0.415

NB: Indices were computed in a 2-dimensional space

- relative weight of S\_P\_12
- mst of S\_P\_12
- relative weight of S\_P\_22
- mst of S\_P\_22
- + shape of species from the global pool

made with mFD package

Functional Evenness of 'S\_V\_13' and 'S\_V\_22'



Functional Evenness	S_V_13	S_V_22
FEve	0.401	0.431

NB: Indices were computed in a 2-dimensional space

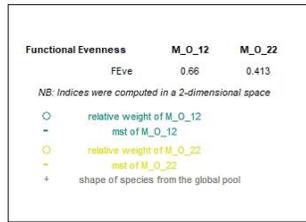
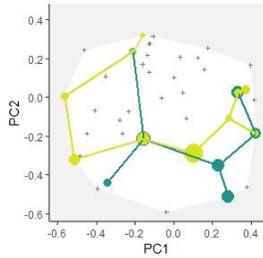
- relative weight of S\_V\_13
- mst of S\_V\_13
- relative weight of S\_V\_22
- mst of S\_V\_22
- + shape of species from the global pool

made with mFD package

Figura 11: FEve para el ambiente Salobre del Humedal Lengua desde 2012 a la fecha. En tres de las cuatro estaciones (Otoño, Invierno y Primavera) la utilización óptima del nicho funcional disminuyó, solo con el Verano manteniéndose dentro de un FEve= 0,4. El ambiente salobre, en imágenes anteriores, ha sido señalado como el mas rico en especies y entidades funcionales, sin embargo la medida de equidad funcional indican que la subutilización de los recursos que ofrece el humedal tiende al aumento al registrar disminución al termino de este estudio en comparación con su inicio.

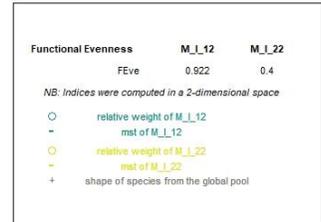
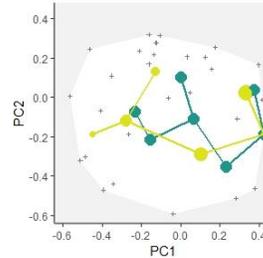
## Ambiente marino

Functional Evenness of 'M\_O\_12' and 'M\_O\_22'



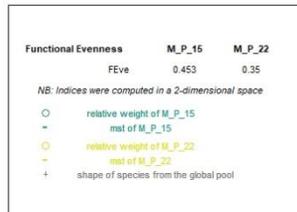
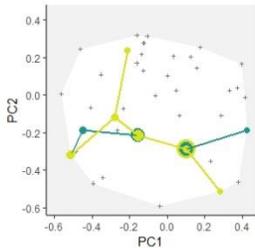
made with mFD package

Functional Evenness of 'M\_I\_12' and 'M\_I\_22'



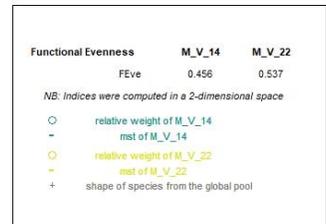
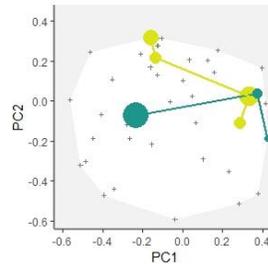
made with mFD package

Functional Evenness of 'M\_P\_15' and 'M\_P\_22'



made with mFD package

Functional Evenness of 'M\_V\_14' and 'M\_V\_22'



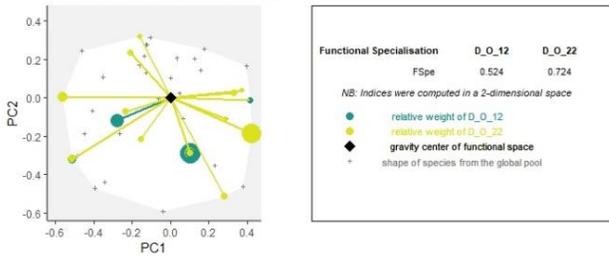
made with mFD package

Figura 12: La equidad funcional de ambiente Marino a través del tiempo; los resultados indican que salvo en Verano, la equidad con la cual los recursos del humedal están siendo empleados ha disminuido, implicando que la productividad del nicho funcional ha decrecido puesto que las aves de las Entidades Funcionales que pertenecen a esas estaciones anuales no explotan los mismos recursos que las de Verano, el cual como hemos descrito contiene especies migratorias boreales, las cuales en sus entidades funcionales sí hacen un uso eficiente de los recursos siendo la única estación en su ambiente que ha aumentado la equidad funcional.

# Especialización Funcional

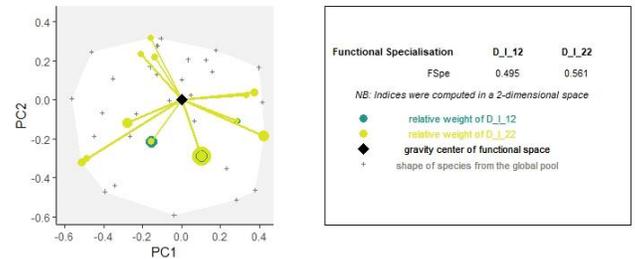
## Fpe dulceacuícola

Functional Specialization of 'D\_O\_12' and 'D\_O\_22'



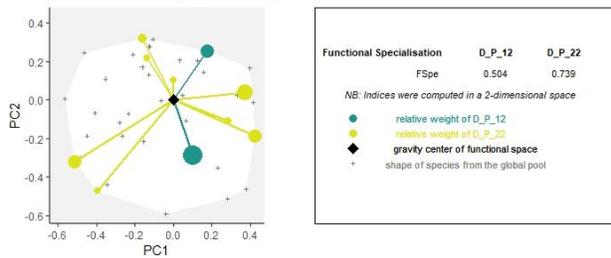
made with mFD package

Functional Specialization of 'D\_I\_12' and 'D\_I\_22'



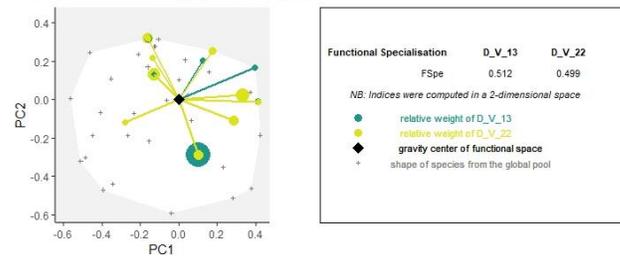
made with mFD package

Functional Specialization of 'D\_P\_12' and 'D\_P\_22'



made with mFD package

Functional Specialization of 'D\_V\_13' and 'D\_V\_22'

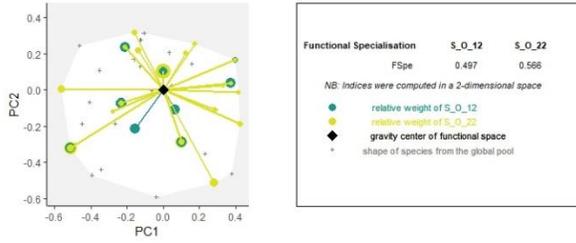


made with mFD package

Figura 13: Índice FSpe (Bellwood et al. 2006); especialización funcional de ambiente dulceacuícola a través del tiempo. Este índice permite averiguar las diferencias generales entre las especies de las entidades funcionales sin tomar en cuenta sus abundancias. Mientras mas especialista, más lejos del centro de gravedad. Solo en Verano la especialización funcional disminuye en sus pesos relativos dentro del espacio funcional.

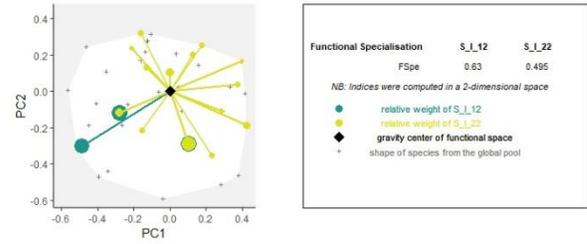
# Fspe Salobre

Functional Specialization of 'S\_O\_12' and 'S\_O\_22'



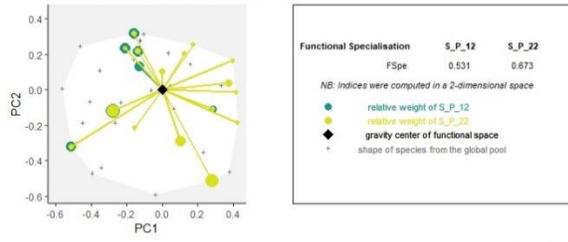
made with mFD package

Functional Specialization of 'S\_I\_12' and 'S\_I\_22'



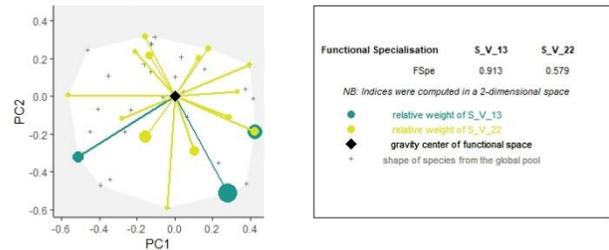
made with mFD package

Functional Specialization of 'S\_P\_12' and 'S\_P\_22'



made with mFD package

Functional Specialization of 'S\_V\_13' and 'S\_V\_22'

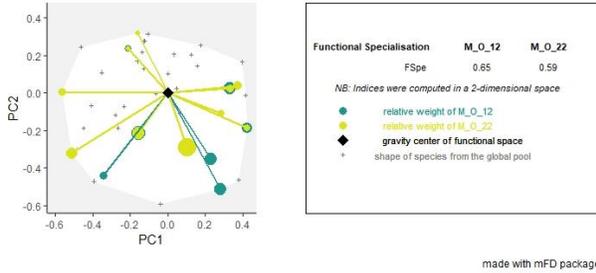


made with mFD package

Figura 14: Especialización Funcional de ambiente Salobre a lo largo del tiempo; El ambiente salobre, en sus estaciones de Invierno y Verano, ha disminuido la distancia media ponderada en su convexo geométrico sobre todo en Verano independiente del aumento en el número de especies (ramas del árbol) hacia el final del estudio.

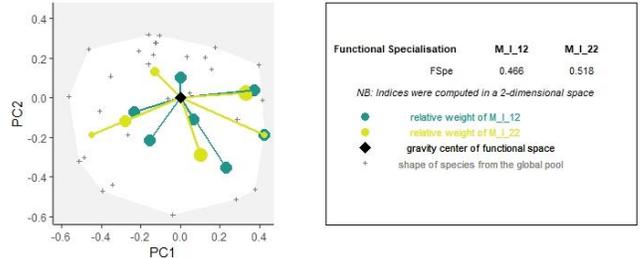
# FSp Marina

Functional Specialization of 'M\_O\_12' and 'M\_O\_22'



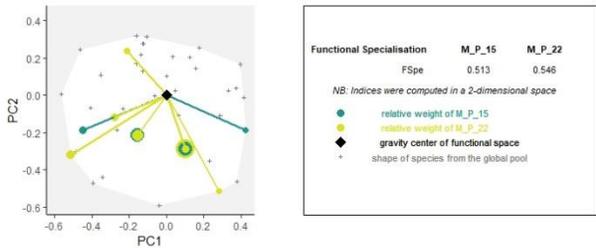
made with mFD package

Functional Specialization of 'M\_I\_12' and 'M\_I\_22'



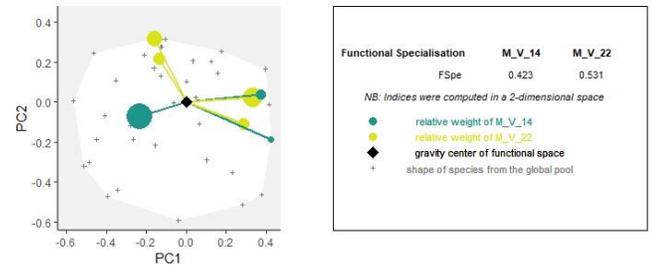
made with mFD package

Functional Specialization of 'M\_P\_15' and 'M\_P\_22'



made with mFD package

Functional Specialization of 'M\_V\_14' and 'M\_V\_22'



made with mFD package

Figura 15: Especialización Funcional de Ambiente Marino a lo largo del tiempo; La FSp de este ambiente se ha mantenido con ligeras variaciones a lo largo del periodo de estudio. La especialización de las entidades parece ser mas importantes en Otoño y Primavera, alejándose casi por completo del centro de gravedad del espacio funcional.

## Análisis de especies indicadoras

Con el objeto de levantar datos sobre posibles especies sombrilla, aves que abarcan el suficiente territorio para subsistir y dentro del cual otras especies calzan, haciendo de esta una Especie Indicadora pues si se cumplen sus criterios, el ecosistema está sano, dentro de la comunidad, se ejecutó un análisis con el paquete de R llamado 'Indicspecies', donde a través de la matriz de ambientes por sector del humedal (dulce, salobre, marino) se obtuvo el mayor grado de significancia para las siguientes especies:

1.- Dulceacuicola= *Charadrius collaris*; en Chile nombrado Chorlo de collar, es una especie migratoria vadeadora que consume invertebrados en el limo.

2.- Salobre= *Haematopus palliatus*; de nombre común Pilpilén, es un ave residente del humedal que habita el continente americano y caza invertebrados en el suelo.

3.- Marino= *Rynchops niger*; especie conocida como Rayador, cuyo hábito es migratorio, se alimenta de invertebrados a través de la caza en la superficie del agua.

## DISCUSIÓN

El Humedal estuarino Lenga está compuesto por una comunidad avifaunística de 131 especies a la fecha, esto puesto que la cantidad de poblaciones va en aumento. Éstas 131 especies agrupadas en sus rasgos de forrajeo, fueron clasificadas en un total de 39 Entidades Funcionales. La riqueza funcional (FRic) del ambiente marino disminuyó hacia el final de la década. El Índice de divergencia funcional (FDiv) disminuye para las estaciones de Invierno y Verano. La equidad funcional (FEve) disminuyó para los tres ambientes del Humedal Lenga; en el ambiente dulce disminuye en verano, en salobre en Otoño, Invierno y Primavera mientras que en el ambiente marino solo aumenta en la estación Verano. La especialización funcional (FSpe) disminuyó a su vez en los tres ambientes en las estaciones de Verano, Otoño e Invierno. El análisis de especies indicadoras resultó en tres especies sombrillas para cada ambiente, siendo el ambiente dulce representado por *Charadrius collaris*, en el ambiente salobre por *Haematopus palliatus* y en el ambiente marino por *Rynchops niger*.

El marcado aumento a través del tiempo en número de especies y sus abundancias se ven explicados por el alza en las temperaturas mínimas registradas para la región. Sin embargo la FRic del ambiente marino del humedal se registró una disminución; esto nos demuestra el hecho de que hay recursos que ya no están siendo utilizados y por ende se ha reducido sostenidamente en ese sector la productividad del ecosistema.

La FDiv que decrece en las estaciones de Invierno y Verano indican cómo el ambiente dulceacuícola ha enfrentado sus especies que componen las Entidades Funcionales por los recursos alimentarios puesto que la diferenciación de nicho es menor, implicando entonces un uso ineficiente de los recursos proveídos por el humedal hacia el final de la década.

En cuanto a la FEve, los tres tipos de ambiente en los 11 puntos de muestreo revelan una disminución en la homogeneidad de las abundancias de las Entidades Funcionales en cuanto a su distribución, lo que significa que si bien los ambientes están siendo habitados en verdad los están desaprovechando. Esto es de preocupante interés puesto que un sitio energéticamente subutilizado crea espacio para la entrada de invasores.

En este sentido, la FSpe ha registrado disminuciones en sus tres ambientes en Verano (dulce y salobre) y en Otoño-Invierno. Esto revela que en la actualidad la especialización de las labores

en el ecosistema son más generales al estar más cercanas al centro de gravedad del convexo funcional.

Para las 39 Entidades Funcionales el Índice de Redundancia Funcional calculado indica que 23 de ellas cuentan con especies dentro que pueden reemplazar su labor gremial, por tanto podrán amortiguar las posibles presiones venideras ambientales, que arrojan una disminución en las precipitaciones y caudal de río. Junto con ello se estimó que no existen sobre-representaciones en las Entidades, por ende en general el espacio se encuentra en su máximo óptimo. Sin embargo, el Índice de Vulnerabilidad Funcional nos muestra en 16 gremios que su  $F_{Red}=F_{Vul}$ , lo cual además de implicar poblaciones en peligro de pérdida de hábitat, pronostica una futura falta de labor energética en el humedal, puesto que hay una especie por Entidad que de desaparecer, al ocurrir algún evento que amenace el equilibrio no habrá solución que especie alguna baraje.

Este último Índice indica que la mayoría de las Entidades Funcionales Vulnerables son de rasgo migratorio de atributo Boreal o Austral. Esto relaciona la baja en la especialización funcional de las estaciones de Invierno y Verano, se acopla a la disminución de la  $F_{Div}$  y su equidad, además de que el ambiente marino fue el único que disminuyó su riqueza funcional.

Otros estudios de diversidad funcional se han efectuado en peces y mamíferos, la mayoría con rasgos morfológicos sobre sus atributos, en común tienen las presiones del antropoceno y cómo estos rasgos responden funcionalmente acorde a las variaciones ambientales propias del cambio climático.

Las aves al ser organismos voladores, eligen los sitios de posada y en su ruta establecida se encuentra el litoral chileno donde se ubica el estuario de esta investigación. Los rasgos ecomorfológicos escogidos indican un desplazamiento de las aves residentes hacia el humedal, es probable que las variaciones ambientales amortiguadas por el humedal en sí y sus entidades funcionales con redundancia y sin vulnerabilidad estén ejerciendo resistencia y resiliencia, haciendo de Lengua un nuevo alojamiento y refugio para estas especies que se van sumando dando la tendencia al aumento taxonómico registrado.

En comparación a otros humedales del país, el más cercano sitio RAMSAR es el Humedal Moncul posee 93 especies de aves registradas, sabemos que el Humedal tiene una comunidad

compuesta por 131 especies de aves, en sus tres ambientes a lo largo solo del sitio de muestreo. Probablemente si extendiéramos el estudio a también horarios vespertinos y en la totalidad del Humedal, registraríamos aún más.

Proponemos un nuevo estudio para esta siguiente década en el mismo sector, puesto que las respuestas de las aves a las variaciones del ambiente y cambio climático no lograron mostrar un patrón establecido de estas a lo largo de 2012 y 2022. Además, el uso de dispositivos móviles para el registro de avifauna cada vez más al alcance de la ciudadanía y fuera del círculo académico permitiría una mejor visión desde la actualidad al futuro, pues las aplicaciones demuestran ser accesibles, intuitivas y depurables para fines investigativos.

## **CONCLUSIÓN**

La década de estudio en el Humedal Lengua ha arrojado luces esclarecedoras sobre la compleja red de interacciones entre las aves y su entorno. La creciente diversidad avifaunística, aunque enriquecedora, no es uniforme en todos los ambientes del humedal. La disminución de la riqueza funcional en el ambiente marino hacia el final de la década sugiere que este sector específico puede estar experimentando presiones ambientales únicas o cambios en la disponibilidad de recursos. El análisis de vulnerabilidad funcional proporciona una perspectiva crítica. Aunque la redundancia funcional ofrece una cierta resistencia a las variaciones ambientales, la presencia de vulnerabilidad funcional en gremios migratorios plantea desafíos. Estas especies, que dependen de condiciones específicas, podrían ser más susceptibles a cambios en su hábitat y recursos. Es fundamental abordar estas vulnerabilidades para mantener la estabilidad del ecosistema. La identificación de especies indicadoras, como *Charadrius collaris*, *Haematopus palliatus* y *Rynchops niger*, resalta la importancia de comprender la ecología única de cada ambiente. Estas especies no solo reflejan el estado de salud actual del ecosistema, sino que también actúan como centinelas de posibles desequilibrios. Su monitoreo continuo puede proporcionar advertencias tempranas de cambios significativos en el humedal.

El análisis temporal de la diversidad funcional, divergencia funcional y equidad funcional revela patrones estacionales interesantes. Las estaciones de Invierno y Verano, con disminuciones en

la divergencia funcional, sugieren momentos de competencia intensificada entre las especies. En contraste, la Primavera y el Otoño, con aumentos en la divergencia funcional, indican una mayor eficiencia en la utilización de recursos. La disminución general en la equidad funcional en todos los ambientes plantea preguntas sobre la utilización eficiente de recursos. Este fenómeno podría deberse a una serie de factores, como cambios en la disponibilidad de alimentos, presiones ambientales o incluso interferencias antropogénicas. La gestión adecuada y la comprensión de estas tendencias son fundamentales para garantizar la sostenibilidad a largo plazo del humedal.

Este estudio sienta las bases para futuras investigaciones y acciones de conservación. El análisis detallado de la avifauna en el Humedal Lenga proporciona una instantánea valiosa de su estado actual, pero también destaca la necesidad de una vigilancia continua. La implementación de medidas de conservación adaptativas, que tengan en cuenta las vulnerabilidades identificadas y las tendencias estacionales, será esencial para preservar la rica biodiversidad y la funcionalidad única de este ecosistema estuarino.

### **LITERATURA CITADA**

Ayala-Carcedo, F. J. (2002). Notas sobre impactos físicos previsibles del cambio climático sobre los lagos y humedales españoles. In III Congreso Ibérico de Planificación y Gestión de Aguas (pp. 360-364)

Cerda Peña, C. M. (2014). Asociación entre la distribución de aves Charadriiformes, atributos del hábitat y oferta trófica en el Estuario de Lenga.

González-Gajardo, A., Sepúlveda, P. V., & Schlatter, R. (2009). Waterbird assemblages and habitat characteristics in wetlands: influence of temporal variability on species-habitat relationships. *Waterbirds*, 32(2), 225-233.

Magneville, C., Loiseau, N., Albouy, C., Casajus, N., Claverie, T., Escalas, A., ... & Villéger, S. (2022). mFD: an R package to compute and illustrate the multiple facets of functional diversity. *Ecography*, 2022(1).

Marín Sanz, J., Marín, G., & González Bruzual, L. G. (2012). Variación estacional de la estructura comunitaria en aves playeras Charadriiformes de la Laguna de Punta de Mangle, Isla de Margarita, Venezuela.

Mason, N. W., de Bello, F., Mouillot, D., Pavoine, S., & Dray, S. (2013). A guide for using functional diversity indices to reveal changes in assembly processes along ecological gradients. *Journal of Vegetation Science*, 24(5), 794-806.

Niering, W. A., & Lowe, C. H. (1985). Vegetation of the Santa Catalina Mountains: community types and dynamics. *Plant community ecology: Papers in honor of Robert H. Whittaker*, 159-184

Resolución, V. I. I. I. (1971). Nuevos Lineamientos para la planificación del manejo de los sitios Ramsar y otros humedales. In 8a. Reunión de la Conferencia de las Partes Contratantes en la Convención sobre los Humedales (Ramsar, Irán.)

Robinson, J. A., & Warnock, S. E. (1997). The staging paradigm and wetland conservation. *Studies*, 9, 37-44.

Rozanski, R., Trenkel, V. M., Lorange, P., Valentini, A., Dejean, T., Pellissier, L., ... & Albouy, C. (2022). Disentangling the components of coastal fish biodiversity in southern Brittany by applying an environmental DNA approach. *Environmental DNA*, 4(4), 920-939.

Valdovinos, C. (2006). Humedales dulceacuícolas y biodiversidad. Universidad de Concepción.

Villéger, S., Brosse, S., Mouchet, M., Mouillot, D., & Vanni, M. J. (2017). Functional ecology of fish: current approaches and future challenges. *Aquatic Sciences*, 79, 783-801.

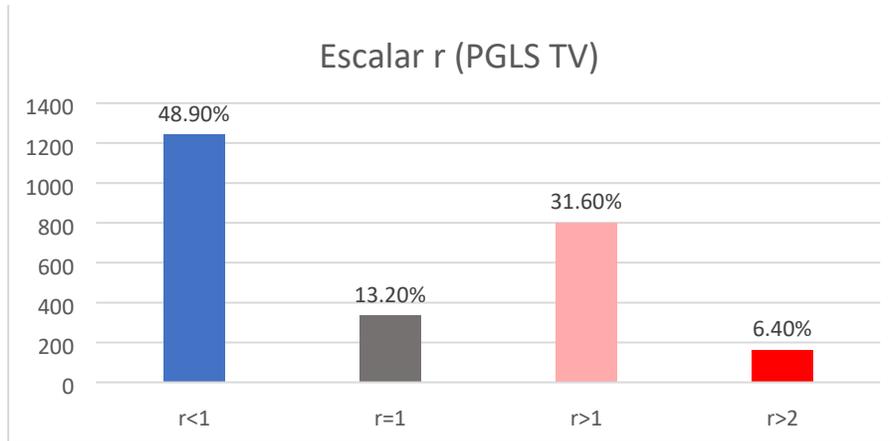
## ANEXO

Functional Entity	Functional Traits				Functional Indexes			
	Migration	Diet	Method	Substrate	N	fred	Fored	fvulin
fe_1	Resident	Invertebrates	Gleaning	Vegetation	17	17	0	0
fe_2	Resident	Plants	Probing	Water	13	13	0	0
fe_3	Resident	Plants	Grazing	Vegetation	10	10	0	0
fe_4	Resident	Invertebrates	Gleaning	Ground	9	9	0	0
fe_5	Resident	Vertebrates	Pursuit	Water	9	9	0	0
fe_6	Summer	Invertebrates	Probing	Mud	8	8	0	0
fe_7	Resident	Vertebrates	Pursuit	Vegetation	7	7	0	0
fe_8	Resident	Vertebrates	Pursuit	Air	5	5	0	0

fe_9	Resident	Invertebrates	Probing	Water	4	4	0	0
fe_10	Resident	Vertebrates	Pursuit	Ground	4	4	0	0
fe_11	Resident	Vertebrates	Pursuit	Mud	4	4	0	0
fe_12	Resident	Invertebrates	Pouncing	Air	3	3	0	0
fe_13	Resident	Invertebrates	Pursuit	Ground	2	2	0	0
fe_14	Summer	Vertebrates	Pursuit	Water	2	2	0	0
fe_15	Resident	Invertebrates	Probing	Mud	2	2	0	0
fe_16	Resident	Vertebrates	Scavenging	Air	2	2	0	0
fe_17	Winter	Invertebrates	Probing	Mud	2	2	0	0
fe_18	Summer	Invertebrates	Gleaning	Mud	2	2	0	0
fe_19	Resident	Plants	Grazing	Ground	2	2	0	0

fe_20	R e s i d e n t	Inver tebra tes	Dig ging	Ve get ati on	2	2	0	0
fe_21	R e s i d e n t	Inver tebra tes	Dig ging	Gr ou nd	2	2	0	0
fe_22	R e s i d e n t	Inver tebra tes	Pur suit	Mu d	2	2	0	0
fe_23	S u m m e r	Inver tebra tes	Pro bing	Wa ter	2	2	0	0
fe_24	Wi n t e r	Plant s	Pro bing	Wa ter	1	1	0	1
fe_25	R e s i d e n t	Verte brate s	Pro bing	Wa ter	1	1	0	1
fe_26	R e s i d e n t	Inver tebra tes	Gra zing	Gr ou nd	1	1	0	1
fe_27	Wi n t e r	Inver tebra tes	Pro bing	Gr ou nd	1	1	0	1
fe_28	R e s i d e n t	Inver tebra tes	Pur suit	Wa ter	1	1	0	1
fe_29	S u m m e r	Inver tebra tes	Pur suit	Gr ou nd	1	1	0	1
fe_30	R e s i d e n t	Inver tebra tes	Gra zing	Ve get ati on	1	1	0	1

fe_31	R e s i d e n t	In v e r t e b r a t e s	P o u n c i n g	V e g e t a t i o n	1	1	0	1
fe_32	R e s i d e n t	P l a n t s	P r o b i n g	V e g e t a t i o n	1	1	0	1
fe_33	R e s i d e n t	In v e r t e b r a t e s	P u r s u i t	V e g e t a t i o n	1	1	0	1
fe_34	W i n t e r	In v e r t e b r a t e s	P r o b i n g	W a t e r	1	1	0	1
fe_35	W i n t e r	V e r t e b r a t e s	P u r s u i t	W a t e r	1	1	0	1
fe_36	W i n t e r	In v e r t e b r a t e s	G r a z i n g	G r o u n d	1	1	0	1
fe_37	S u m m e r	In v e r t e b r a t e s	G l e a n i n g	V e g e t a t i o n	1	1	0	1
fe_38	S u m m e r	In v e r t e b r a t e s	P o u n c i n g	A i r	1	1	0	1
fe_39	S u m m e r	In v e r t e b r a t e s	P u r s u i t	M u d	1	1	0	1



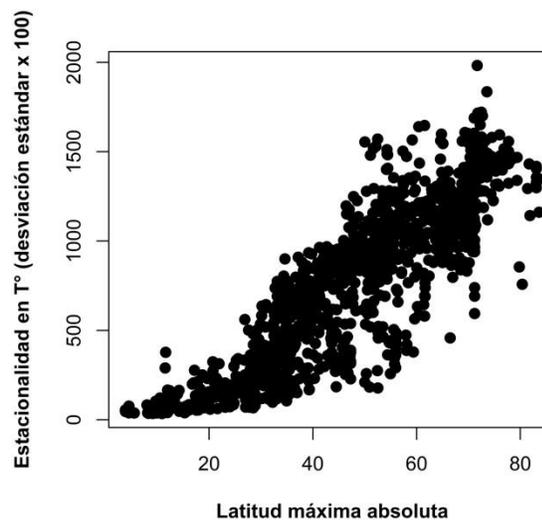
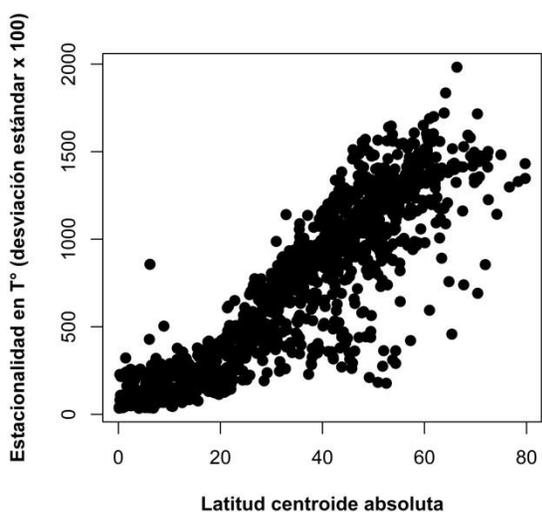
**Figura 1 Anexo.** Descripción porcentual del valor del escalar r en el modelo PGLS TV (ver Tabla 1).

**Tabla 1 anexo.** Modelos de regresión lineal de los cuantiles significativos no-filogenéticos más altos (cuantil 99 y 95) y más bajos (cuantil 1 y 5) entre log 10 tasa evolutiva root-tip como variable respuesta y latitud máxima absoluta y SD T° como variables predictoras. Utilizamos 10.000 aleatorizaciones de Bootstrap para establecer la significancia de los modelos.

Modelo	cuantil	intercepto	Valor p	pendiente	Valor p
Log 10 Tasa evolutiva root – tip ~ Latitud máxima absoluta	0.01	1.803795428	<0.05	-0.001266833	<0.05
Log 10 Tasa evolutiva root – tip ~ Latitud máxima absoluta	0.05	1.840342143	<0.05	-0.001387445	<0.05

Log 10 Tasa evolutiva root – tip ~ Latitud máxima absoluta	0.95	2.171845866	<0.05	-0.001487703	<0.05
Log 10 Tasa evolutiva root – tip ~ Latitud máxima absoluta	0.99	2.636659840	<0.05	-0.006820533	<0.05

Modelo	cuantil	intercepto	Valor p	pendiente	Valor p
Log 10 Tasa evolutiva root – tip ~ SD T°	0.01	1.797804	<0.05	-0.00003952018	<0.05
Log 10 Tasa evolutiva root – tip ~ SD T°	0.05	1.827623	<0.05	-0.00004480077	<0.05
Log 10 Tasa evolutiva root – tip ~ SD T°	0.95	2.168931	<0.05	-0.00006522447	<0.05
Log 10 Tasa evolutiva root – tip ~ SD T°	0.99	2.570000	<0.05	-0.0002924853	<0.05



**Figura 2 anexo.** Relación colineal entre latitud, latitud máxima y SD T°.