

**Diversidad y recambio espacial de las plantas vasculares del humedal marino costero de Carquín-Hualmay (Lima – Perú)**

**Diversity and spatial variation of vascular plant in the Carquin-Hualmay marine coastal wetland (Lima – Peru)**

*Leslie Carmen Alberca*

Carrera de Biología Marina, Universidad Científica del Sur, Lima, PERÚ  
Telf.: 947912038, [leslie.bio.bom@gmail.com](mailto:leslie.bio.bom@gmail.com)  
<https://orcid.org/0000-0002-0455-2174>

*Héctor Aponte Ubillús*

Carrera de Biología Marina, Universidad Científica del Sur, Lima, PERÚ  
<https://orcid.org/0000-0001-5249-9534>

Recibido: 10-IV-2021; aceptado: 25-V-2021; publicado online: 31-VII-2021; publicado impreso: 30-VIII-2021

## Resumen

El humedal de Carquín-Hualmay tiene, hasta la fecha, la mayor riqueza por unidad de área vegetal de todos los humedales evaluados de la costa de Lima. En el presente estudio, se evaluó su diversidad y recambio espacial por cada estación del año. Para ello, se realizaron cuatro muestreos a lo largo de un año (uno por trimestre), en los cuales se realizaron 30 transectos utilizando la técnica de Point Quadrat. Con los datos obtenidos, se calcularon los índices de Simpson (diversidad por transecto), Shannon-Wiener (diversidad por transecto), Harrison (recambio espacial), Jaccard (recambio espacial) y los estimadores de diversidad Chao 2 (diversidad del humedal) y Jackknife 1 (diversidad del humedal). A fin de comparar los datos obtenidos, se tomaron de la literatura los valores de estos índices (diversidad por transecto y recambio espacial) y la riqueza (diversidad del humedal) de otros cuatro humedales costeros de Lima y se realizaron pruebas estadísticas. La diversidad encontrada en Carquín-Hualmay presentó valores promedio de 0.39, 0.66, 0.17 y 0.27 para los índices de Simpson, Shannon-Wiener, Harrison y Jaccard respectivamente; los estimadores Chao 2 y Jackknife 1 tuvieron valores promedio mensuales de 23.98 y 22.58 respectivamente. Los valores de los índices de Simpson y Harrison fueron más altos que los que se conocían para el humedal de Puerto Viejo y Santa Rosa; el humedal de Paraíso tiene mayor diversidad por transecto y Medio Mundo mayor recambio espacial. La riqueza de Carquín-Hualmay es mayor a la de los humedales de Paraíso, Medio Mundo y Puerto Viejo pero menor que el humedal de Santa Rosa. A pesar de que el humedal de Carquín-Hualmay tiene un área reducida, mantiene valores altos de diversidad a diferentes escalas; la actividad humana podría contribuir con el deterioro de sus comunidades y la llegada de nuevas especies, muchas de ellas no nativas, por ello es importante conservar este humedal como parte del corredor costero del Pacífico.

**Palabras clave:** corredor biológico, índices de diversidad, impactos antropogénicos, humedales, plantas vasculares.

## Abstract

The Carquín-Hualmay wetland has, to date, the greatest vegetal richness per unit of area of all the evaluated wetlands on the coast of Lima. In the present study, its diversity and spatial variation was evaluated for each season of the year. For this, four samplings were carried out over a year (one per quarter), in which 30 transects were carried out using the Point Quadrat technique. The Simpson (diversity by transects), Shannon-Wiener (diversity by transects), Harrison (spatial variation), Jaccard (spatial variation) indexes and the diversity estimators Chao 2 (wetland diversity) and Jackknife 1 (wetland diversity) were calculated. In order to compare the data, the values of these indices (diversity by transects and spatial variation) and the richness (wetland diversity) of four other coastal wetlands of Lima were taken from the literature and statistical analysis was made. The diversity found in Carquín-Hualmay had average values of 0.39, 0.66, 0.17 and 0.27 for the Simpson, Shannon-Wiener, Harrison and Jaccard indices respectively; Chao 2 and Jackknife 1 had monthly average values of 23.98 and 22.58 respectively. These results were higher than those known in terms of diversity and spatial variation (just for Simpson and Harrison indexes) for the Puerto Viejo and Santa Rosa wetlands; the Paraíso wetland has greater diversity by transects and the Medio Mundo greater spatial variation. The richness of Carquín-Hualmay is higher than that of the Paraíso, Medio Mundo and Puerto Viejo wetlands but lower than the one of Santa Rosa wetland. Despite the fact that the Carquín-Hualmay wetland has a small area, it maintains high diversity values at different scales; human activity could contribute to diminish their community diversity and with the arrival non-native species, because of that is very important to conserve this wetland as part of the Pacific coastal corridor.

**Keywords:** biological corridor, diversity indices, anthropogenic impacts, wetlands, vascular plants.

**Citación:** Carmen-Alberca, L. & H. Aponte. 2021. Diversidad y recambio espacial de las plantas vasculares del humedal marino costero de Carquín-Hualmay (Lima - Perú).

Arnaldoa 28(2):319-338 doi: <http://doi.org/10.22497/arnaldoa.282.28204>

## Introducción

Los humedales costeros son ecosistemas muy importantes a nivel mundial por los servicios ecosistémicos que brindan; entre ellos, se encuentran el almacenamiento de agua, protección contra tormentas, mitigación de crecidas, estabilización de costas, control de la erosión, recarga de acuíferos, depuración de aguas y la estabilización de las condiciones climáticas (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2013). Múltiples autores de diversas partes del mundo coinciden en que los humedales costeros son de gran importancia por albergar a una gran cantidad de organismos entre los que resaltan plantas, aves (migratorias y residentes), insectos, mamíferos y peces (Pineda, 2008; Heynes, 2014; Sonco, 2013; Medina-Rangel, 2011; Rosales, 2010; Rial, 2006; Vides, 2016; Pacheco *et al.*, 2015). Lamentablemente, muchos humedales son vulnerables a las actividades antrópicas; desde 1900 hasta el 2015 en todo el mundo han desaparecido aproximadamente un 64% de humedales debido a las actividades humanas (Convención de Ramsar sobre los Humedales, 2015). Como investigadores esto nos motiva a contribuir en su protección; una de las formas es estudiando su diversidad y recambio espacial de las especies vegetales. La diversidad se puede evaluar utilizando la riqueza de especies, patrones de diversidad (heterogeneidad y dominancia) dentro de una comunidad o área homogénea (Koleff *et al.*, 2003; Sonco, 2013; Pineda, 2008) y la diversidad total dentro de un ecosistema compuesto por varias y distintas comunidades (Koleff *et al.*, 2003; Sonco, 2013; Pineda, 2008). El recambio espacial evalúa el recambio de especies en un área determinada, así como la similitud que existe entre comunidades, dentro de una gradiente espacial (Anderson *et al.*, 2011; Koleff *et al.*, 2003; Moreno

& Rodríguez, 2010; Vellend, 2001, los mismos que se encuentran en la revisión de Calderón-Patrón *et al.*, 2012). Los estudios de la diversidad vegetal y recambio espacial nos permiten conocer la composición y características de las comunidades de plantas e inferir el impacto de los procesos antrópicos que allí ocurren, lo que permite a las entidades correspondientes tomar medidas adecuadas para su protección (Aponte & Ramírez, 2011).

En Perú, los humedales de la costa central se encuentran formando un corredor de diversidad biológica (Aponte & Cano, 2013) que permite tener un lugar de descanso a miles de aves migratorias (las cuales emplean la vegetación como refugio, sitio de anidamiento y zona de alimentación) y que alberga a más de 100 especies vegetales, así como a decenas de especies de mamíferos, arácnidos y reptiles (Aponte & Cano, 2013; Aponte & Ramírez, 2011; Arana & Salinas, 2003; Álvarez, 2007; Pacheco *et al.*, 2015; Paredes *et al.*, 2007; Paredes, 2010). Estos ecosistemas también son muy importantes en la costa peruana, debido a que brindan a la urbe diversos bienes y servicios ecosistémicos; por ejemplo, brindan forraje para su ganado, proveen de fibras para la producción de artesanías y brindan un espacio para actividades turísticas y recreativas (Aponte, 2017a).

En los humedales de la costa de Lima se han identificado de tres a cinco comunidades vegetales por humedal (generalmente juncales, vegetación acuática, gramadales y comunidades mixtas), las cuales presentan características distintivas en su estructura y composición; las actividades humanas que ocurren en estos ecosistemas (por ejemplo, la ganadería y agricultura en la riqueza y dominancia de las especies en las comunidades) suelen introducir nuevas especies o reducir el área de distribución

de aquellas que ya subsisten en el humedal (Aponte & Ramírez, 2011); por esta razón, la información presentada en este estudio puede funcionar como indicadora de las perturbaciones humanas que allí ocurren.

El humedal de Carquín-Hualmay, es uno de los humedales que forma parte del corredor biológico costero de Lima; el conocimiento sobre su riqueza de especies vegetales lo ubica como el humedal con mayor riqueza de especies por unidad de área de toda esta región; este humedal se encuentra afectado en algunas zonas por contaminación por residuos sólidos, uso del suelo como zona de ganadería y el vertido de agua de uso doméstico (Aponte & Cano, 2018). Conocer los diferentes componentes de la diversidad de especies de plantas es importante ya que permite tener una base para que se realicen monitoreos constantes y evaluaciones del estado en el que se encuentra; facilitando a su vez desarrollar una apropiada gestión para su conservación. A la fecha, en el humedal Carquín-Hualmay no se han realizado evaluaciones de su diversidad vegetal a nivel cuantitativo (con índices y estimadores); por ello, el presente trabajo busca evaluar la diversidad vegetal y recambio espacial de dicho humedal. Esto nos permite tener una aproximación de la diversidad biológica que existe en este ecosistema y evaluar su dinámica; al ser la primera evaluación de este tipo en el humedal nos permite tener una aproximación complementaria a la de la riqueza y brindar a los tomadores de decisión nueva información para su gestión.

### Materiales y métodos

#### Área de estudio

Se evaluó el humedal ubicado en los distritos de Carquín y Hualmay, los cuales pertenecen a la provincia de Huaura (Lima, Perú) al norte de Lima, en las coordenadas

11°06'06.62''S - 77°36'50.01''W (Figura 1); este humedal tiene 1 940 metros de largo y 60 metros de ancho promedio (la anchura que es variable a lo largo de la línea costera); se encuentra dividido por canales que abastecen con agua al humedal, los cuales se acumulan en algunos puntos donde las poblaciones aledañas aprovechan este recurso como zona de lavandería; además, posee una laguna de 200 metros de largo, junto con otros pequeños cuerpos de agua, los que varían a lo largo del año; en el humedal también se puede apreciar zonas de acopio de residuos sólidos; este ecosistema está compuesto por juncuales, gramadales y comunidades mixtas (Aponte & Cano, 2018); entre estas comunidades vegetales, dispuestas a lo largo del humedal, las mismas se encuentran mezcladas y en extensiones cortas (por ejemplo: se pueden encontrar zonas donde la comunidad de *Schoenoplectus americanus* (Pers.) Volkart ex Schinz & R. Keller esta mezclada con *Bacopa monnieri* (L.) Wettst).

### Métodos

#### Análisis de la vegetación

Se realizaron cuatro muestreos trimestrales, cada uno correspondiente a una estación del año (Dic 2018, Mar 2019, Jul 2019, Oct 2019, que corresponden a verano, otoño, invierno y primavera respectivamente). En cada estación del año se realizaron 30 transectos lineares de 10 m, distribuidos en todo el humedal. El método por transectos se aplicó al ser recomendado por su rapidez, la facilidad de aplicación y por la heterogeneidad de la vegetación (Mostacedo & Fredericksen, 2000), además porque ha sido empleado y sugerido en trabajos similares de diversidad (Aponte & Ramírez, 2011; Ramírez *et al.*, 2010). Para ubicar los transectos lineares, se ubicaron primero 30 puntos equidistantes (distancia entre puntos: 64.4 m) en una línea paralela a

la costa (Figura 2); utilizando como referencia cada punto, se ubicó de manera aleatoria cada transecto lineal (utilizando coordenadas obtenidas con números aleatorios dentro de una parcela de 20 m x 20 m), el cual se trazó perpendicular a la costa. Esta distribución de los puntos permitió muestrear en todas las comunidades vegetales representativas del humedal.

En cada transecto lineal se aplicó el método de point quadrat, método que permite caracterizar la vegetación de comunidades vegetales donde normalmente no es fácil diferenciar individuos, por ejemplo en herbazales, pastizales, bofedales y césped de puna (Mostacedo & Fredericksen, 2000); por cada transecto lineal se evaluó un total de 50 puntos (espaciados cada 20 cm); en cada punto se registraron las especies presentes (identificación en campo y gabinete) tomando en cuenta aquellas especies que tocaron una varilla (1.5 metros de largo y 1 cm de diámetro). De forma paralela se recolectaron muestras botánicas de los transectos, según técnicas estandarizadas de colecta (Bridson & Forman, 1998). Posterior a ello estas fueron determinadas taxonómicamente con ayuda de guías de identificación y artículos especializados como Aponte & Cano (2018), Tello & Castillo (2010), Kahn *et al.* (1993). Las muestras fueron depositadas en el Herbario USM con el número de constancia N° 08-2020-USM-MHN. La investigación contó con el permiso N°1153-2018-MINAGRI-SERFOR-A-TFFS-LIMA.

### Análisis de datos

Los datos obtenidos fueron analizados utilizando el software Past 2.17c; (Hammeret *et al.*, 2001). Se estimó la diversidad y el recambio espacial de la siguiente manera:

#### a) Diversidad por transecto

Se consideró la riqueza de especies en

los transectos evaluados y se calcularon los índices de Shannon-Wiener (H) y Simpson (1-D) tal como muestran las ecuaciones (1) y (2):

$$H = - \sum_i^n pi \cdot \ln(pi) \dots (1)$$

$$1 - D = 1 - \sum_i^n \ln pi^2 \dots (2)$$

donde  $pi$  es la proporción entre el registro de la especie  $i$  con respecto al total de registros de todas las especies en el transecto lineal.

Como estimadores de diversidad del humedal se emplearon los estimadores de diversidad no paramétricos de Chao-2 ( $S_{Chao2}$ ) y Jackknife-1 ( $S_{Jackknife}$ ) siguiendo las ecuaciones (3) y (4):

$$S_{Chao2} = S_{obs} + \frac{q_1^2}{2q_2} \dots (3)$$

$$S_{Jackknife} = S_{obs} + q_1 \left( \frac{m-1}{m} \right) \dots (4)$$

donde  $q_1$  es el número de especies que fueron encontradas una vez en un solo transecto (especies únicas),  $q_2$  es el número de especies que se encontraron una vez en dos transectos,  $m$  es el número de transectos totales (30) y  $S_{obs}$  es el número de especies totales observadas.

#### b) Recambio espacial

Para hallar el recambio espacial de especies en el humedal, se emplearon los índices de Harrison ( $\beta_H$ ) y Jaccard ( $I_j$ ). tal como muestran las ecuaciones (5) y (6):

$$\beta_H = \frac{S-1}{N-1} \dots (5)$$

$$I_j = \frac{C}{(C+NC)} \dots (6)$$

donde  $S$  es el número de especies,  $\alpha$  es el promedio de especies por transecto,  $N$  es el número de transectos (en este caso, 30),  $C$  son el número de especies comunes y  $NC$  es el número de especies no comunes (la sumatoria de  $C$  y  $NC$  representan el número de especies totales del humedal, no se utilizó especies de otros humedales como no comunes). En el caso del  $I_j$  el valor que se utilizó fue el promedio de todas las comparaciones entre transectos.

### c) Cobertura de la muestra

Adicionalmente, se estimó la cobertura (*completeness*) de la muestra, medida que nos indica el porcentaje de especies que se ha logrado muestrear con respecto a total de especies que existen en el área (Moreno y Pineda, 2015); para ello se utilizó el valor máximo de especies del humedal en cada muestreo, obtenidas mediante técnicas de extrapolación haciendo uso de la plataforma INEXT online (Chao *et al.*, 2013; Chao *et al.*, 2014; ; Chao *et al.*, 2016; Chao & Jost, 2012; Colwell *et al.*, 2012). La riqueza fue dividida entre el valor máximo estimado y multiplicada por 100, obteniendo así el porcentaje de cobertura de la muestra.

### Comparación con otros humedales de Lima

A fin de comparar los datos obtenidos, se tomaron de la literatura los valores de los índices alfa, beta y la riqueza de cuatro humedales costeros de Lima: Humedal de Puerto Viejo, Humedal de Santa Rosa, Laguna El Paraíso y Albufera de Medio Mundo; los datos calculados en esos trabajos se obtuvieron utilizando una metodología similar, pero en un solo muestreo anual durante el 2009 (Aponte & Ramírez, 2011). Estos datos fueron comparados a los valores obtenidos en el presente estudio. Para ello se utilizó la matriz de datos del artículo en mención, con los que se calculó los valores de

los índices de Simpson, Shannon-Wiener (en ambos casos se calculó el valor para cada uno de los 30 transectos por humedal; obteniendo así un promedio de diversidad por transecto) y Jaccard (en este caso, se calculó el resultado de la comparación entre los 30 transectos de cada humedal). Para cada índice se calculó los valores promedio y se realizó la comparación entre todos los humedales (incluyendo Carquín-Hualmay) mediante la prueba de Kruskal Wallis y la subsecuente comparación por pares con la prueba de Mann Whitney (cada vez que  $p$  fue  $<0.05$ ), se eligió estas pruebas previa verificación de que la normalidad no se cumplía en el 100% de casos ( $p < 0.05$  en la prueba de Shapiro Wilk para algunas variables). Estas pruebas también fueron calculadas en el software PAST 2.17c. Para comparar el recambio espacial ( $\beta_H$ ) no se hicieron análisis estadísticos, ya que únicamente se cuenta con un solo valor por humedal a comparar; el mismo fue tomado de Aponte (2017b).

## Resultados

### Diversidad por transecto

El valor promedio del índice de Simpson fue de 0.39. De todos los transectos (T), el valor más alto fue el T7 (con dominancia de *Schoenoplectus americanus* (Pers.) Volkart ex Schinz & R. Keller) en la estación de otoño (0.84); los valores más bajos se mostraron en los transectos con dominancia de *Typha domingensis* Pers. (total; T4) y *Distichlis spicata* Pers. (gramadal; T8, T10, T25, T26, T27).

El índice Shannon-Wiener, tuvo una tendencia poco marcada al aumento durante las cuatro estaciones evaluadas (Tabla 1). Su valor promedio fue de 0.66 decits/ind., presentando el valor más alto en el T7 para la estación de otoño (1.831 decits/ind.) y el



valor más bajo en los T4, T10, T25, T26 y T27 (0.0 decits/ind. para todas las estaciones); los transectos mencionados coinciden con los valores descritos para el Índice de Simpson.

Los transectos con mayor riqueza fueron T7 y T30 (con 6 especies durante todas las estaciones, adicionalmente los transectos T24 y T11, presentaron 5 especies únicamente para primavera). Mientras que los transectos con menor riqueza fueron T4, T10, T25, T26, T27, T28 (con una especie para todas las estaciones, T8 tuvo una especie únicamente para verano). El promedio de la riqueza por transecto fue mayor en la época de primavera (2.93 especies/transecto, Tabla 1).

Los valores promedio de los estimadores de Chao-2 y Jackknife-1 fueron  $S_{Chao2}=23.9$  y  $S_{Jackknife}=22.6$  respectivamente. Las estaciones con valores más bajos de diversidad del humedal fueron otoño ( $S_{Chao2} = 22.25$ ,  $S_{Jackknife} = 20.80$ ) e invierno ( $S_{Chao2} = 21.80$ ,  $S_{Jackknife} = 21.80$ ) donde el número de especies vegetales fue menor en comparación a las estaciones de verano ( $S_{Chao2} = 23.40$ ,  $S_{Jackknife} = 22.00$ ) y primavera ( $S_{Chao2} = 27.02$ ,  $S_{Jackknife} = 25.70$ ), las cuales presentaron valores más altos de diversidad del humedal (Tablas 1 y 2). La riqueza de las especies observadas para cada estación siempre estuvo cercana a la riqueza máxima esperada obtenida mediante las técnicas de extrapolación; el valor promedio de la cobertura de la muestra fue el 97.75% (Figura 3, Tabla 1).

Durante el muestreo, en el total de transectos se encontraron 20 especies de plantas, distribuidas en 19 géneros y 14 familias (Tabla 2); 13 de ellas (65%) se visualizaron durante las cuatro estaciones muestreadas; las otras siete especies (35%) se presentaban indistintamente entre las estaciones. Asimismo, se pudo evidenciar

que hubo especies que solo se visualizaron en una determinada estación, como es el caso de *Azolla filiculoides* Lam. en primavera y *Ludwigia peploides* (Kunth) P. H. Raven en verano. La especie *Rorippa nasturtium-aquaticum* (L.) Hayek fue registrada por primera vez en el humedal de Carquín-Hualmay.

### Recambio espacial

Los valores promedio de los índices de Harrison y Jaccard fueron  $\beta_H=0.17$  y  $I_j=0.27$  respectivamente. La estación de invierno fue la que presentó menor recambio entre los transectos ( $\beta_H$  y  $I_j$  con valores de 0.16 y 0.30 respectivamente). Las estaciones de verano, otoño y primavera fueron las que presentaron mayor recambio de especies (Tabla 1).

### Comparación con otros humedales de la costa de Lima

El humedal de Carquín-Hualmay presenta en promedio valores más altos en diversidad por transecto (1-D y H) exceptuando a El Paraíso (Figura 4 y 5). La prueba de Kruskal Wallis nos muestra que no hay diferencias entre humedales para el índice de Simpson ( $p=0.3804$ ), al igual que para el índice de Shannon-Wiener ( $p=0.1811$ ); para este último índice, se puede ver que el valor de la estación de verano de Carquín-Hualmay es más alto que el valor de la Albufera de Medio Mundo (mayor detalle de la comparación por pares en la Figura 5).

Con respecto al recambio espacial se aprecia que los valores obtenidos para en Carquín-Hualmay son mayores a la mayoría de humedales, solamente el humedal Medio Mundo lo supera (Figura 6). Los valores obtenidos con muestran que Carquín, Puerto Viejo y Paraíso son los que presentan mayor similitud (menor recambio) de

especies a diferencia de Santa Rosa y Medio Mundo que presentan valores más bajos de similitud ( $p < 0.05$  para Kruskal Wallis; más detalle de la comparación por pares en la Figura 7).

### Discusión

El presente trabajo es el primero en evaluar durante cuatro estaciones (verano, otoño, invierno y primavera) a las comunidades vegetales en humedales costeros de Lima utilizando transectos y estimadores cuantitativos. De este modo, el trabajo permite visualizar cómo la diversidad varía estacionalmente, principalmente mediante la desaparición o aparición de especies vegetales. Esta variación observada en la vegetación podría estar ligada al sistema hidrológico, ya que este define las condiciones que se dan en este tipo de ecosistemas (Gerten *et al.*, 2004), por lo que, si desaparecen los cuerpos de agua, algunas de las especies vegetales que crecen ahí, también desaparecerán y cuando los cuerpos de agua vuelvan a reaparecer (en determinada época del año), las especies vegetales también lo harán. Evaluaciones de los cambios hídricos en humedales costeros como Santa Rosa muestran una tendencia en la disminución hídrica en los meses de invierno, pero con incrementos y disminuciones que reflejan variabilidad a lo largo del año, sin un patrón claro (Castillo & Huamantínco, 2020). En el presente estudio, se apreció la disminución de los cuerpos de agua en la estación de invierno y por ende no se observaron algunas de las especies vegetales acuáticas en este periodo. La escasez de agua en invierno se debe a que la temporada de lluvias para la sierra peruana se produce durante los meses de enero a abril (Endara, 2016); estos eventos aumentan el caudal de los ríos que van hacia la costa y por consiguiente se crea un flujo

subterráneo, desplazándose posteriormente a la costa (Castillo & Huamantínco, 2020). En los meses de invierno y primavera no se acumula agua de lluvias lo que podría explicar la disminución del nivel de agua en el humedal. Estudios complementarios del régimen hídrico y su relación con los cambios en las comunidades vegetales nos permitirán corroborar estas observaciones. Es importante mencionar que la distribución de los transectos durante los cuatro muestreos en campo fue muy particular debido las características propias del humedal (una franja costera poco ancha, donde las formaciones vegetales se mezclaban constantemente); ello nos obligó a priorizar la distribución de las parcelas manteniendo una distancia constante entre ellas, en vez de separarlas por tipos de comunidad. Ello, puede haber influido en las estimaciones de diversidad; sin embargo, consideramos que los puntos de muestreo representan bastante bien la vegetación de este humedal evaluado.

En comparación con los humedales estudiados en los trabajos de Aponte & Ramírez (2011) y Aponte (2017b), Carquín-Hualmay presenta valores más altos en diversidad por transectos (I-D y H), lo que significa que este ecosistema tiene un mayor número de especies por área de muestreo y que para cada punto de muestreo existe más de una especie. Para BH únicamente la albufera de Medio Mundo presenta mayor recambio espacial que el humedal Carquín-Hualmay. Resulta interesante encontrar un patrón distinto a partir de Ij (que también mide recambio espacial), el cual nos indica que Carquín se encuentra en el grupo de los que tienen menor recambio (alta similitud); mientras que Santa Rosa y Medio Mundo tienen alto recambio espacial (Figura 6 y 7). Esta diferencia puede estar relacionada a que BH no distingue la identidad de las



especies (solo utiliza el número de especies por parcela como indicador del recambio), mientras que  $I_j$  si distingue la identidad de las especies evaluadas. Esta estimación debe estar influenciada también por la forma del área de estudio y la distribución de los transectos en campo: mientras que Carquín-Hualmay es una delgada franja costera (donde la distribución de los transectos fue de manera perpendicular a la costa) los otros humedales presentan una extensión mayor hacia la parte continental (lo que permitió colocar los transectos en varios sectores al interior). Esto último pudo influir en registrar una mayor variabilidad con índices como  $I_j$  que aportan al análisis de recambio espacial incluyendo la identidad de la especie. Estos resultados concuerdan parcialmente con los patrones de riqueza vegetal en los humedales de la costa de Lima, donde Santa Rosa es el humedal con mayor riqueza de los humedales comparados, pero Carquín-Hualmay es el que le sigue junto a Pantanos de Villa (Aponte y Cano 2018); con un patrón distinto a partir del índice de  $I_j$ . Esto último no nos permite generalizar y afirmar que el recambio es mayor en Carquín-Hualmay, ya que esto depende del índice que se utilice y cómo este sea analizado e interpretado.

Los resultados obtenidos a partir de los estimadores de diversidad del humedal ( $S_{Chao2}$  y  $S_{Jackknife}$ ) muestran un número menor al de las especies reportadas en estudios previos para este humedal (41 especies de plantas vasculares según Aponte y Cano, 2018). Los estimados mediante las técnicas de extrapolación muestran resultados máximos alrededor de las 30 especies. Esto, probablemente está relacionado a que a) el muestreo previo se hizo durante el año 2017, tiempo en el que las condiciones hídricas pudieron haber favorecido el muestreo de especies acuáticas, en especial en los cuerpos de agua poco frecuentes en la zona; b) gran

parte de las especies no reportadas en los transectos este estudio (21, comparados con Aponte & Cano 2018), se encuentran en lugares muy puntuales y periféricos (generalmente cerca de la zona urbana) los cuales no fueron alcanzados con el diseño de muestreo en el presente estudio, ya sea porque los transectos, al ser ubicados de manera semialeatoria, no cayeron en dichos puntos o c) porque algunas especies, se encontraban en los espejos de agua cuyo muestreo no estuvo contemplado para este estudio (no se consideró las lagunas para hacer transectos; algunas de las especies que fueron reportadas en estudios previos para en estos hábitats son por ejemplo *Wolffia columbiana* H. Karst, *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms, *Potamogeton striatus* Ruiz & Pav.). La cobertura de la muestra nos indica que el muestreo actual reunió al 97.75% de la riqueza de plantas vasculares del área muestreada, por lo que las estimaciones realizadas son bastante representativas de la cantidad total de especies en el área de estudio y nos permiten confiar de los resultados obtenidos; muy probablemente la diferencia observada tiene que ver con la disminución del régimen hídrico, hipótesis que deberá ser corroborada con estudios complementarios. Todas estas consideraciones son importantes para planificar posteriores evaluaciones y diseños experimentales en el área de estudio y en humedales similares.

Aponte & Ramírez (2011) mencionan que, en los humedales de Medio Mundo, El Paraíso, Santa Rosa y Puerto Viejo, ya se han elaborado expedientes técnicos y se ha intentado categorizar dichas áreas. La Municipalidad de Carquín ya se encuentra realizando acciones para evitar que las actividades antropogénicas en la zona (como quema de basura, vertederos de residuos sólidos, ganadería, uso de los canales para lavado de ropa, entre otros)

continúen dañando al humedal, y por ende a la diversidad de especies; pero también se ha visto modificaciones en el uso de suelo de sus alrededores que podrían afectar las condiciones hídricas del humedal. Para obtener un mejor resultado, es necesario un trabajo en conjunto con la Municipalidad de Hualmay ya que el humedal abarca a ambos distritos (y continúa entrecortadamente hasta Huacho, por lo que inclusive la intervención de su Municipalidad sería también necesaria). Es fundamental realizar estudios complementarios de diversidad referidos a los otros grupos de especies (aves, insectos, mamíferos, y otros) que habitan en el humedal Carquín-Hualmay. Esperamos que el presente estudio sea la puerta para que más colegas científicos despierten el interés por estudiar este asombroso ecosistema.

### **Agradecimientos**

A la Universidad Científica del Sur por las facilidades administrativas para obtener el permiso de SERFOR (para muestreo en campo). A SERFOR por brindarme el permiso necesario para poder realizar el muestreo y colecta en campo. A la Dra. Joaquina Alban por ayudar en las gestiones en la recepción de las plantas al Herbario San Marcos (USM). A la especialista María Isabel La Torre Acuy por el apoyo en la identificación de un ejemplar de Poaceae. A la Municipalidad de Carquín, R. Chávez, W. Ruiz e Y. Arbulú por colaborar en los muestreos de campo.

A mis padres y hermanos por haberme apoyado y motivado en todo este trayecto. A mis amigos y compañeros de facultad por haberme apoyado lo largo de la carrera, de entre ellos a mi muy querida amiga C. Carlos por todo su apoyo brindado cuando más lo necesite. A mis profesores por haber contribuido en mi formación académica.

### **Conflicto de intereses**

No existen conflictos de interés para este estudio.

### **Aprobación ética**

En este estudio no se experimentó con animales, solo se hizo uso de vegetación del humedal Carquín- Hualmay como parte del muestreo en campo y para esto se obtuvo permiso de SERFOR, entidad del estado responsable de proteger el patrimonio forestal y de fauna silvestre en los ecosistemas frágiles.

### **Permisos para nuestros y estudio**

Se obtuvo el permiso N° 1153-2018-MINAGRI-SERFOR-A-TFFS-LIMA, otorgado por SERFOR.

### **Contribución de los autores**

Redacción del presente estudio, procesamiento e interpretación de los datos fueron realizados por L. C. A. El diseño del presente estudio, análisis de los datos, redacción y la aprobación final de la versión que se publicará fueron realizadas por H. A.

### **Financiamiento**

Obtenido de los fondos internos para investigación de la Universidad Científica del Sur con el concurso "Fondo Semilla" en el año 2018.

## Literatura citada

- Álvarez, C. D.** 2007. Evaluación de la diversidad específica de las aves de los humedales de Ventanilla, Callao, Perú. (Tesis de pregrado). Universidad Ricardo Palma. Lima, Perú.
- Anderson, M. J.; T. O. Crist; J. M. Chase; M. Vellend; B. D. Inouye; A. L. Freestone; ... & S. P. Harrison.** 2011. Navigating the multiple meanings of  $\beta$  diversity: a roadmap for the practicing ecologist. *Ecology letters* 14(1): 19-28.
- Aponte, H.** 2017a. Humedales de la costa central del Perú: Un diagnóstico de los humedales Santa Rosa, Laguna El Paraiso y Albuferas de Medio Mundo. Ed. CooperAcción. Lima, Perú.
- Aponte, H.** 2017b. Ajuste de la diversidad beta en los humedales costeros de Lima. *The Biologist* 15(2): 479-481.
- Aponte, H. & A. Cano.** 2013. Estudio florístico comparativo de seis humedales de la costa de Lima (Perú): Actualización y nuevos retos para su conservación / Comparative floristic study of six wetlands of the coast of Lima (Perú): update and new challenges for conservation. *Revista Latinoamericana de Conservación* 3(2): 15-17.
- Aponte, H. & A. Cano.** 2018. Flora vascular del humedal de Carquín-Hualmay, Huaura (Lima, Perú). *Vascular Flora of the Carquín-Hualmay wetland (Huaura, Lima, Perú)*. *Ecología Aplicada* 17(1): 69-76
- Aponte, H. & D. Ramírez.** 2011. Humedales de la costa central del Perú: Estructuras y amenaza de sus comunidades vegetales. *Ecología Aplicada* 10(1-2): 31-39.
- Arana, C. & L. Salinas.** 2003. Flora vascular de los Humedales de Chimbote, Perú. *Revista Peruana de Biología* 10(2): 221-224.
- Bridson, D. M. & L. Forman.** 1998. *Herbarium Handbook*, 3rd Ed. Royal Botanic Gardens, Kew.
- Castillo, R. M. & A. A. Huamantínco.** 2020. Variación espacial de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en la zona litoral del humedal costero Santa Rosa, Lima, Perú. *Revista de Biología Tropical* 68(1): 50-68.
- Calderón Patrón, J. M.; C. E. Moreno & I. Zuria.** 2012. La diversidad beta: medio siglo de avances. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 83(3): 879-891.
- Chao, A.; K. H. Ma & T. C. Hsieh.** 2013. iNEXT (iNterpolation and EXTrapolation) Online: Software for Interpolation and Extrapolation of Species Diversity. [http://chao.stat.nthu.edu.tw/wordpress/software\\_download/](http://chao.stat.nthu.edu.tw/wordpress/software_download/).
- Chao, A.; N. J. Gotelli; T. C. Hsieh; E. L. Sander; K. H. Ma; R. K. Colwell & A. M. Ellison.** 2014. Rarefaction and extrapolation with Hill numbers: a framework for sampling and estimation in species diversity studies. *Ecological Monographs* 84(1): 45-67.
- Chao, A. & L. Jost.** 2012. Coverage-based rarefaction and extrapolation: standardizing samples by completeness rather than size. *Ecology* 93(12): 2533-2547.
- Chao, A.; K. H. Ma & T. C. Hsieh.** 2016. iNEXT (iNterpolation and EXTrapolation) Online: Software for Interpolation and Extrapolation of Species Diversity. Program and User's Guide publicado en [http://chao.stat.nthu.edu.tw/wordpress/software\\_download/](http://chao.stat.nthu.edu.tw/wordpress/software_download/). (consultado enero del 2020).
- Colwell, R. K.; A. Chao; N. J. Gotelli; S. Y. Lin; C. X. Mao; R. L. Chazdon & J. T. Longino.** 2012. Models and estimators linking individual-based and sample-based rarefaction, extrapolation and comparison of assemblages. *Journal of Plant Ecology* 5(1): 3-21.
- Convención de Ramsar sobre los Humedales.** 2015. Humedales: en peligro de desaparecer en todo el mundo. [https://www.ramsar.org/sites/default/files/ramsar\\_factsheet\\_disappearingact\\_3sp.pdf](https://www.ramsar.org/sites/default/files/ramsar_factsheet_disappearingact_3sp.pdf). (consultado enero de 2020).
- Endara, S. M.** 2016. Ciclos horarios de precipitación en el Perú utilizando información satelital. *Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI*: 1-53
- Gerten, D.; S. Schaphoff; U. Haberlandt; W. Lucht & S. Sitch.** 2004. Terrestrial vegetation and water balance - Hydrological evaluation of a dynamic global vegetation model. *Journal of Hydrology* 286(1-4): 249-270.
- Hammer, O.; D. Harper & P. Ryan.** 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica* 4:1-9.
- Halffter, G. & C. E. Moreno.** 2005. SIGNIFICADO BIOLÓGICO DE LAS DIVERSIDADES ALFA, BETA Y GAMMA. In: Halffter, G., J. Soberón, P. Koleff & A. Melic (eds.) 2005. *Sobre Diversidad Biológica: el Significado de las Diversidades Alfa, Beta y Gamma* (Pp. 5-18). Sociedad Entomológica Aragonesa.
- Heynes, S. A.** 2014. Estructura y diversidad de la vegetación de Humedales de tres zonas ecológicas de la Sierra Madre Occidental de México. (Tesis de

- maestría). Instituto Politécnico Nacional. Durango, México.
- Kahn, F.; B. León & K. R. Young.** 1993. Las plantas vasculares en las aguas continentales del Perú. Ed. IFEA. Lima, Perú.
- Koleff, P.; K. Gaston & J. Lennon.** 2003. Measuring beta diversity for presence-absence data. *Journal of Animal Ecology* 72: 367-382.
- Medina, G.** 2011. Diversidad alfa y beta de la comunidad de reptiles en el complejo cenagoso de Zapatoza, Colombia. *Revista de Biología Tropical* 59(2): 935-968.
- Moreno, C. E. & P. Rodríguez.** 2010. A consistent terminology for quantifying species diversity?. *Ecología* 163(2): 279-282.
- Moreno, C. & E. Pineda.** 2015. Evaluación de la diversidad de especies en ensamblajes de vertebrados: un primer acercamiento midiendo y comparando la riqueza de especies. In S. Gallina Tessaro & C. López González (Eds.), *Manual de técnicas para el estudio de la fauna* (Pp. 115 -131). Instituto de Ecología, A.C. México.
- Mostacedo, B. & T. Fredericksen.** 2000. *Manual de Métodos de Básicos de Muestreo y Análisis en Ecología Vegetal*. El País. Santa Cruz, Bolivia.
- Pacheco, V.; A. Zevallos; K. Cervantes; J. Pacheco & J. Salvador.** 2015. Mamíferos del Refugio de Vida Silvestre Los Pantanos de Villa, Lima-Perú. *Científica* 12: 26-41.
- Paredes, C.; J. Iannacone & L. Alvaríño.** 2007. Biodiversidad de invertebrados de los humedales de Puerto Viejo, Lima, Perú. *Neotropical Helminthology* 1(1): 21-30.
- Paredes, W.** 2010. Diversidad y variación espacio-temporal de las comunidades de arañas en la Zona Reservada de Pantanos de Villa, Lima, Perú. (Tesis de pregrado). Universidad Mayor de San Marcos. Lima, Perú.
- Pineda, R.** 2008. Diversidad y conservación de aves acuáticas en la zona semiárida del centro de México. (Tesis doctoral). Universidad de Alicante. México.
- Ramírez, D.; H. Aponte & A. Cano.** 2010. Flora vascular y vegetación del humedal de Santa Rosa (Chancay, Lima). *Revista Peruana de Biología*, 17(1): 105-110.
- Ramírez, D.; H. Aponte; G. Lértora & F. Gil.** 2018. Incendios en el humedal Ramsar Los Pantanos de Villa (Lima-Perú): Avances en su conocimiento y perspectivas futuras. *Revista de Investigaciones Altoandinas* 20(3): 347-360.
- Rial, A.** 2006. Variabilidad espacio-temporal de las comunidades de plantas acuáticas en un humedal de los Llanos de Venezuela. *Revista de Biología Tropical* 54(2): 403-413.
- Rosales, J.** 2010. Vegetación ribereña y fitoambientales asociados en lo corredores ribereños de la Orinoquia Guayanesa.
- Secretaría de la Convención de Ramsar.** 2013. *Manual de la Convención de Ramsar: Guía a la Convención sobre los Humedales* (Ramsar, Irán, 1971), 6a. edición. Secretaría de la Convención de Ramsar, Gland (Suiza).
- Sonco, R.** 2013. Estudio de la diversidad alfa ( $\alpha$ ) y beta ( $\beta$ ) en tres localidades de un bosque montano en la Región de Madidi en La Paz-Bolivia. (Tesis de pregrado). Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia.
- Tello, A. & L. Castillo.** 2010. *Humedales de la Región Lima: Guía de su flora y fauna silvestre*. Ed. Comunica2 S.A.
- Vellend, M.** 2001. Do commonly used indices of  $\beta$ -diversity measure species turnover?. *Journal of Vegetation Science* 12(4): 545-552.
- Vides, C. B.** 2016. Diversidad alfa y beta de la avifauna diurna en la zona de amortiguamiento del Área Natural Protegida Colima, Cuscatlán. (Tesis de pregrado). Universidad de El Salvador. El Salvador, El Salvador.

Figuras y tablas

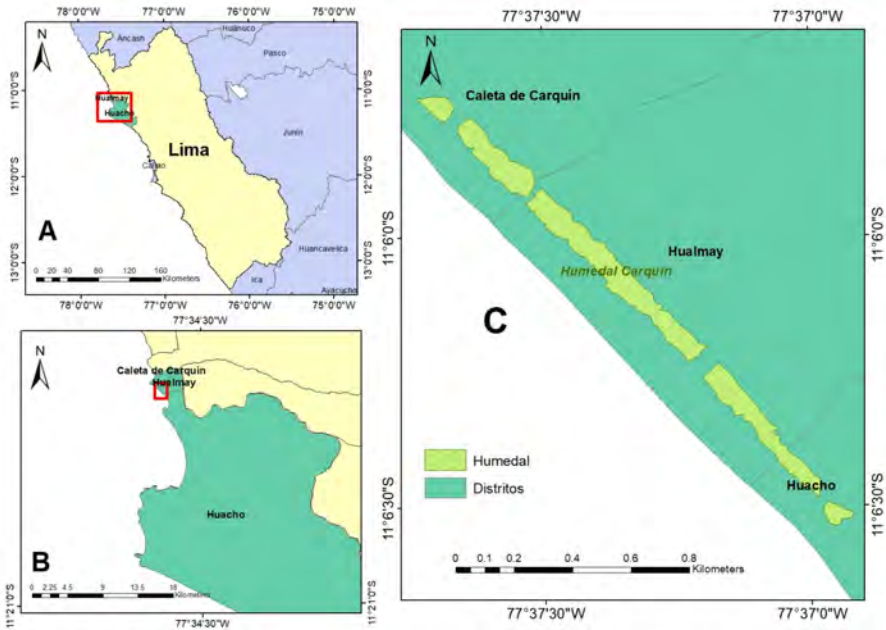


Fig. 1. Mapas donde se muestran: A. el Departamento de Lima; B. distritos de Carquín, Hualmay y Huacho; C. el humedal de Carquín-Hualmay. Coordenadas referenciales en UTM.

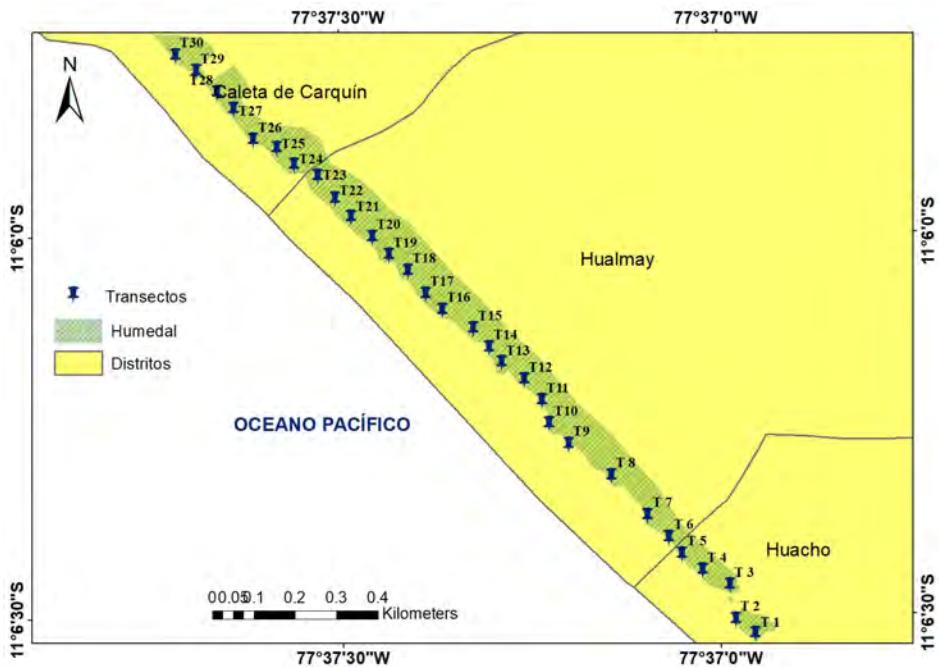
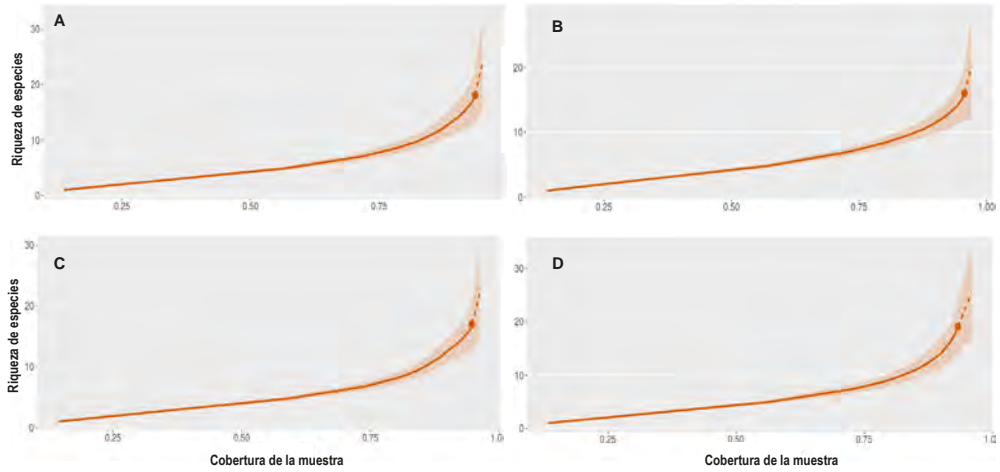
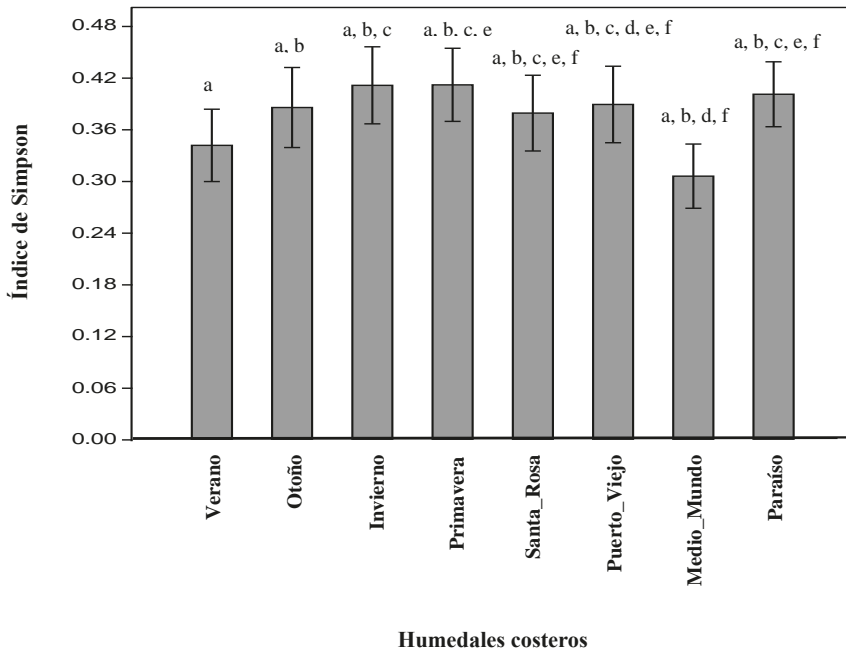


Fig. 2: Mapa del área de estudio con los puntos de muestreo.



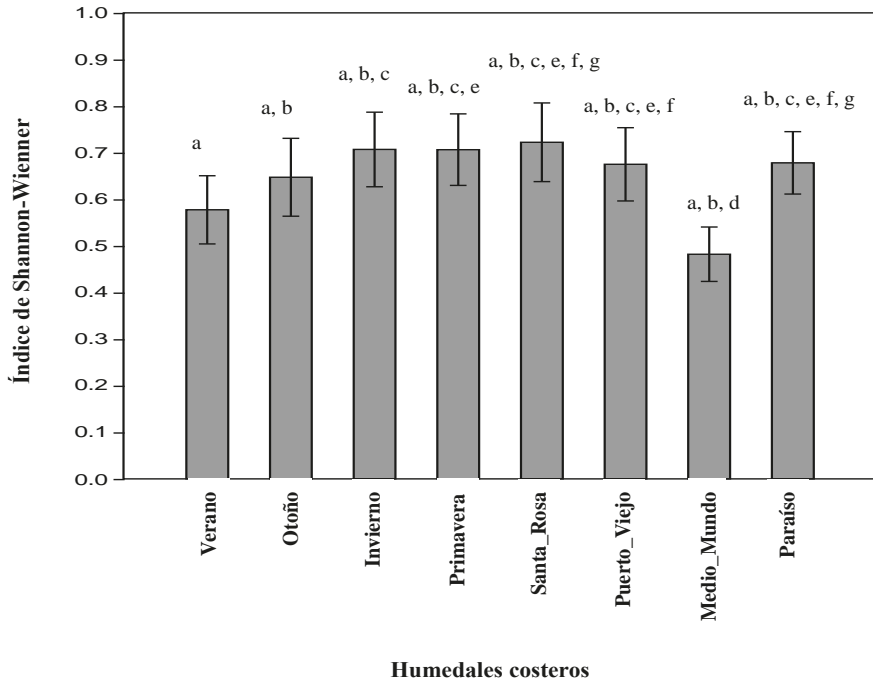
**Fig. 3.** Cobertura de muestra y riqueza de especies para cada estación del año obtenidas por la técnica de rarefacción-extrapolación. Se aprecia que la cobertura de la muestra en todos los casos estuvo próxima al 95%. La zona sombreada corresponde a la región de máximos y mínimos. A = Verano, B = Otoño, C = Invierno, D = Primavera. Y la línea punteada es la extrapolación.



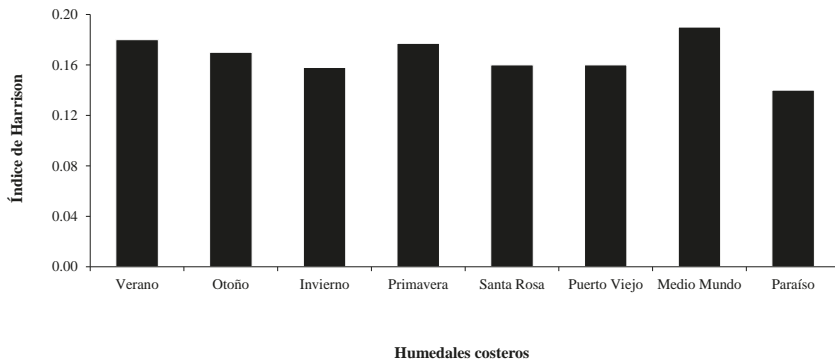
**Humedales costeros**

**Fig. 4.** Comparación de la Diversidad por transecto mediante el Índice de Simpson entre humedal de Carquín - Hualmay y los principales humedales de la costa de Lima: Santa Rosa, Puerto Viejo, Medio Mundo y El Paraíso. Las letras asignadas (a, b, c, d, e, f) en el grafico corresponden a la evaluación por pares con la prueba no paramétrica de Mann Whitney.





**Fig. 5:** Comparación de la Diversidad por transecto mediante el Índice de Shannon-Wiener entre humedal de Carquín-Hualmay y los principales humedales de la costa de Lima: Santa Rosa, Puerto Viejo, Medio Mundo y El Paraíso. Las letras asignadas (a, b, c, d, e, f, g) en el gráfico corresponden a los resultados de la evaluación por pares con la prueba no paramétrica de Mann-Whitney.



**Fig. 6:** Comparación del Recambio espacial mediante el Índice de Harrison entre humedal de Carquín-Hualmay y los principales humedales de la costa de Lima: Santa Rosa, Puerto Viejo, Medio Mundo y El Paraíso.

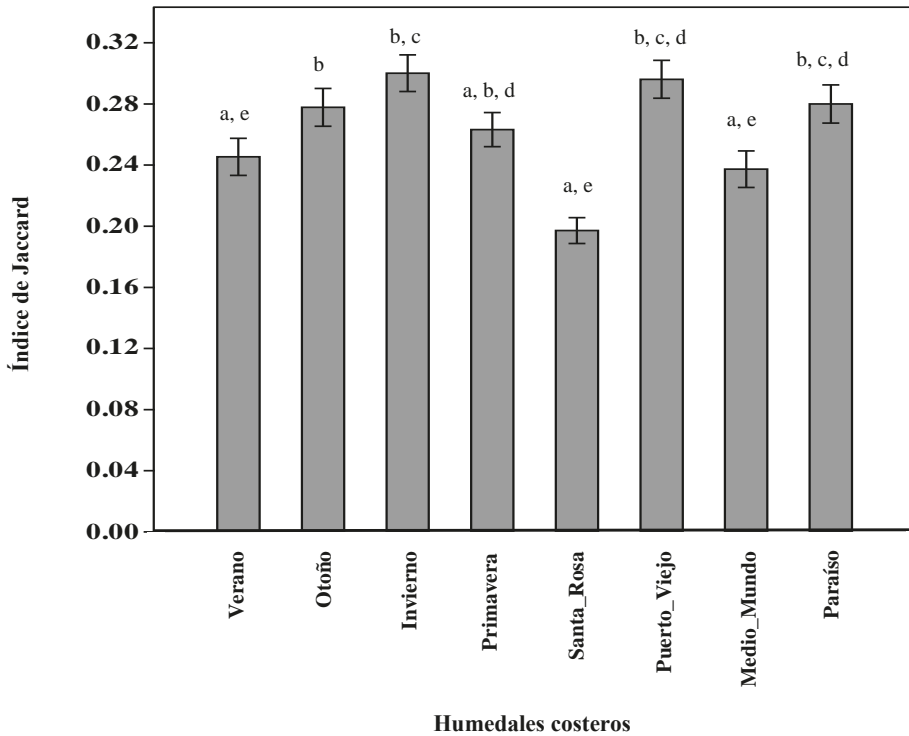


Fig. 7: Comparación del Recambio espacial mediante el Índice de Jaccard entre humedal de Carquín-Hualmay y los principales humedales de la costa de Lima: Santa Rosa, Puerto Viejo, Medio Mundo y El Paraíso. Las letras asignadas (a, b, c, d, e) en el gráfico corresponden a los resultados de la evaluación por pares con la prueba no paramétrica de Mann-Whitney.

**Tabla 1.** Valores de los índices, estimadores y cobertura (%) de diversidad en el humedal de Carquín-Hualmay por estaciones y en promedio. Se presentan los valores promedio más menos desviación estándar. Las unidades de índice de Shannon-Wiener son: decits/ind.

	Verano	Otoño	Invierno	Primavera	Promedio	
<b>Diversidad por transectos</b>	Especies	2.63 ± 1.35	2.57 ± 1.30	2.70 ± 1.28	2.93 ± 1.31	2.71 ± 1.31
	Individuos	54.60 ± 23.23	59.20 ± 30.65	60.03 ± 21.99	58.77 ± 15.75	58.15 ± 22.91
	Dominancia de Simpson	0.66 ± 0.23	0.61 ± 0.25	0.61 ± 0.25	0.59 ± 0.23	0.62 ± 0.24
	Índice Simpson	0.34 ± 0.23	0.39 ± 0.25	0.41 ± 0.25	0.41 ± 0.23	0.39 ± 0.24
	Índice de Shannon-Wiener	0.58 ± 0.40	0.65 ± 0.46	0.71 ± 0.44	0.71 ± 0.42	0.66 ± 0.43
<b>Diversidad del humedal</b>	Chao-1	2.70 ± 1.49	2.57 ± 1.30	2.73 ± 1.35	3.00 ± 1.41	2.75 ± 1.39
	Riqueza	17	15	16	18	16
	Chao 2	23.4 ± 7.92	22.25 ± 7.92	23.25 ± 7.92	27.02 ± 8.59	23.98 ± 8.09
	Jackknife 1	22.00 ± 2.92	20.80 ± 2.15	21.8 ± 2.56	25.73 ± 2.76	22.58 ± 2.60
<b>Recambio espacial</b>	Harrison	0.18	0.17	0.16	0.18	0.17
	Jaccard	0.25 ± 0.25	0.28 ± 0.26	0.30 ± 0.25	0.26 ± 0.23	0.27 ± 0.25
<b>Cobertura de la muestra (%)</b>	98	99	98	96	97.75	

**Tabla 2.** Especies de los transectos muestreados por cada estación (Verano=V, Otoño=O, Invierno=I y Primavera=P) en el humedal de Carquín-Hualmay. COL=colector, en todos los casos fue Leslie Carmen Alberca (LCA); NC= número de colecta; PR= Procedencia (In=Introducidas, I=Invasoras, IP=Invasora Potencial, N=Nativa). 1,2 Los nombres comunes fueron tomados de Ramírez y Cano (2010), Tello y Castillo (2010). 3 La denominación de la procedencia fue tomada de Aponte y Cano (2013). \*Esta planta se considera naturalizada (tomado de <https://npgsweb.ars-grin.gov/gringlobal/taxon/taxonomysearch>).

N°	Familias	Especie	Nombre común <sup>1,2</sup>	PR <sup>3</sup>	Estaciones	COL y NC
1	AMARANTHACEAE	<i>Dysphania ambrosioides</i> (L. Mosyakin&Clemants)	Paico	I	V, I, P	LCA 20
2	ARACEAE	<i>Lemna minuta</i> Kunth.	Lenteja de agua	N	I, P	LCA18
3	ARALIACEAE	<i>Hydrocotyle bonariensis</i> Lam.	Paragüita	N	V, O, P	LCA 10
4	ARALIACEAE	<i>Hydrocotyle ranunculoides</i> L.f.	Paragüita	IP	V, O, I, P	LCA 11
5	ASTERACEAE	<i>Enydra sessilifolia</i> (Ruiz & Pav.) Cabrera	-	N	V, O, I, P	LCA 15
6	AZOLLACEAE	<i>Azolla filiculoides</i> Lam.	Helechito de agua	IP	P	LCA 19
7	BORAGINACEAE	<i>Heliotropium curassavicum</i> L.	Colita de escorpión	N	V, O, I, P	LCA 8
8	BRASICACEAE	<i>Rorippa nasturtium - aquaticum</i> L. Hayek	Berros	*N	V, O, I, P	LCA 13
9	CYPERACEAE	<i>Eleocharis geniculata</i> (L.) Roem. & Schult.	Junquillo	N	O, I	LCA 17
10	CYPERACEAE	<i>Cyperus laevigatus</i> L.	Junco	N	V, O, I, P	LCA 12
11	CYPERACEAE	<i>Schoenoplectus americanus</i> (Pers.) Volkart ex Schinz & R. Keller	Junco	N	V, O, I, P	LCA 5
12	CYPERACEAE	<i>Torulimum odoratum</i> (L.) S. S. Hooper	Cortadera	I	V, O, I, P	LCA 16
13	ONAGRACEAE	<i>Ludwigia peploides</i> (Kunth) P. H. Raven	-	IP	V	LCA 4
14	POACEAE	<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.	Pata de perdiz	IN	V, O, I, P	LCA 9
15	POACEAE	<i>Distichlis spicata</i> (L.) Greene	Grana salada	N	V, O, I, P	LCA 1
16	POACEAE	<i>Paspalum vaginatum</i> Swartz.	Grana dulce	N	V, O, I, P	LCA 2

17	POLYGONACEAE	<i>Rumex crispus</i> L.	-	I	V, P	LCA 6
18	PLANTAGINACEAE	<i>Bacopa monnieri</i> (L.) Wettst	-	N	V, O, I, P	LCA 3
19	TYPHACEAE	<i>Typha domingensis</i> Pers.	Totora	N	V, O, I, P	LCA 14
20	VERBENACEAE	<i>Lippia nodiflora</i> (L.) Michx	Lipia	N	V, O, I, P	LCA 7

