



Diversidad y distribución altitudinal de anfibios en la cordillera de Toisán, Ecuador

Andy S. Proaño^{1,*} , Jonathan Josue Proaño-Morales³ , Juan Manuel Guayasamin⁴

(1) Carrera de Ciencias Biológicas y Ambientales, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador;

(2) Departamento de Investigación, Wasi Purina Eco Lodge. Asociación agropecuaria y agroecológica Allpakury, Cotacachi, Ecuador.

(3) Departamento de Veterinaria, Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador.

(4) Laboratorio de Biología Evolutiva, Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales COCIBA, Universidad San Francisco de Quito USFQ, Quito, Ecuador.

*Autor de correspondencia: A.S. Proaño [mollomf@hotmail.com]

> Recibido el 14 de enero de 2021 - Aceptado el 17 de febrero de 2022

Como citar: Proaño-Morales, A.S., Proaño-Morales, J.J., Guayasamin, J.M. 2022. Diversidad y distribución altitudinal de anfibios en la cordillera de Toisán, Ecuador. *Ecosistemas* 31(2): 2137. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2137>

Diversidad y distribución altitudinal de anfibios en la cordillera de Toisán, Ecuador

Resumen: En el presente trabajo, tuvimos como objetivo registrar la diversidad y distribución altitudinal de los anfibios de la cordillera de Toisán, en el noroccidente de Ecuador. Para ello, realizamos cuatro transectos de 400x4 metros (m), desde los 2536 hasta los 2911 metros sobre el nivel del mar (msnm). Nuestro muestreo abarcó los distintos microhábitats donde los anfibios suelen ser comunes (i.e., hojarasca, bromelias, bajo troncos). Las especies registradas fueron colectadas para su revisión en el Museo de la Universidad Tecnológica Indoamérica, Quito, Ecuador. Para estimar la diversidad de la zona y en los distintos puntos altitudinales, utilizamos el índice de Shannon y el algoritmo de vecinos cercanos (K-NN). En total, registramos 14 especies, englobadas en cinco géneros y cuatro familias, siendo el género *Pristimantis* el de mayor riqueza. El transecto Toisán 1 fue el de mayor diversidad, probablemente debido a que no mostraba pendientes pronunciadas y se encontraba a menor altitud. En conclusión, nuestro estudio indica que varias de las especies estudiadas tienen rangos de distribución altitudinal muy restringidos. Existen también, al menos, cuatro especies de *Pristimantis* que son potencialmente nuevas. Finalmente, encontramos una especie (*Hyloscirtus criptico*) considerada como amenazada por la UICN.

Palabras clave: anuros; biodiversidad; conservación; cordillera occidental; *Pristimantis*

Diversity and altitudinal distribution of amphibians in the Toisán mountain range, Ecuador

Abstract: The goal of this study was to record the diversity and altitudinal distribution of amphibians from the Toisán mountain range in north-western Ecuador. We surveyed four 400x4 m transects at elevations ranging from 2536 to 2911 meters above sea level (masl), covering the micro-habitats where amphibians are usually found (i.e., leaf litter, bromeliads, under logs). Collected specimens were deposited at the Universidad Tecnológica Indoamérica, Quito, Ecuador. To estimate the regional and altitudinal diversity, we used the Shannon index and the Nearest Neighbour algorithm (K-NN). We registered 14 species encompassed in five genera and four families, with the genus *Pristimantis* having highest species richness. The transect Toisán 1 showed the greatest diversity, probably because there were no steep slopes and it was at a lower altitude. We conclude that most species exhibit restricted elevational ranges. Also, at least four species of *Pristimantis* might be new to science. Finally, we found a species (*Hyloscirtus criptico*) considered as Endangered by the IUCN.

Keywords: anurans; biodiversity; conservation; *Pristimantis*; western mountains range

Introducción

En los Andes noroccidentales del Ecuador, se encuentra localizada la cordillera de Toisán, entre las provincias de Esmeraldas e Imbabura; estas estribaciones exhiben altos niveles biodiversidad y endemismos, al parecer relacionados con factores históricos, climáticos y topográficos de la zona (Weir y Price 2011; Hutter et al. 2013; Hutter y Guayasamin 2015; Arteaga et al. 2016; Gill et al. 2016; Guayasamin et al. 2017; Polato et al. 2018). Adicionalmente, esta cordillera se encuentra influenciada por el aumento de la humedad, las precipitaciones y la temperatura provenientes de la bioregión del Chocó (Ministerio de Ambiente 2013).

El número de especies de anfibios descritas en la región de los bosques húmedos occidentales del Ecuador ha aumentado considerablemente en los últimos años (e.g. Hutter y Guayasamin 2015; Arteaga et al. 2016; Gill et al. 2016; Guayasamin et al. 2017, 2018, 2019; Reyes-Puig et al. 2020b) gracias a la aplicación de estudios mucho más completos desde el punto de vista conceptual y metodológico (De Queiroz 2007; Padial y De La Riva 2009). Sin embargo, hasta la fecha, los trabajos publicados sobre la batracofauna de la Cordillera de Toisán siguen siendo escasos (Coloma et al. 2012; Guayasamin et al. 2015; Hutter y Guayasamin 2015).

En el presente estudio se tuvo como objetivo determinar la riqueza de especies y su distribución altitudinal en sectores determinados de la Cordillera de Toisán. Trabajamos bajo la hipótesis de que la elevación está inversamente relacionada a la diversidad de especies.

Métodos

El estudio se concentró en la Cordillera de Toisán, provincia de Imbabura, Comunidad El Rosario, pertenecientes a la parroquia 6 de Julio Cuellaje, en el cantón Cotacachi. La cordillera de Toisán es parte del *hotspot* de los Andes Tropicales (Myers et al. 2000); que corresponde al ecosistema Bosque siempreverde montano de Cordillera Occidental de los Andes (BsMn03; Iglesias et al. 2013), compuesto por bosques multiestratificados, donde el dosel alcanza alturas de 20 a 25 m, que albergan gran cantidad de musgos, bromelias y epífitas, y alta humedad, siendo un hábitat idóneo para los anfibios.

Para llevar a cabo nuestro trabajo de campo establecimos cuatro transectos, de 400 x 4 m cada uno, en diferentes rangos altitudinales (desde los 2536 hasta los 2911 msnm); se efectuaron 10 caminatas diurnas y nocturnas en cada transecto, dándonos un total de 40 horas de esfuerzo de muestreo; se hicieron búsquedas en los distintos microhábitats donde suelen encontrarse los anfibios (troncos, piedras, ramas, arbustos, hojarasca, charcas y afluentes hídricos) (Lips et al. 2001; Angulo et al. 2006). Los datos específicos de cada localidad se encuentran detallados en la **Tabla 1** y la **Figura 1**. Los muestreos se realizaron en los meses de septiembre y octubre de 2015.

Dado que la diversidad de anfibios de la zona está pobremente descrita y la diversidad críptica en los Andes es extremadamente alta (véase Hutter y Guayasamin 2015; Arteaga et al. 2016; Guayasamin et al. 2017, 2018, 2019; Reyes-Puig et al. 2020a), se colectaron especímenes de las especies para su posterior identificación en el laboratorio, con un máximo de 10 individuos por localidad y por morfoespecie (**Apéndice 1**). Previo a su preservación en alcohol al 70%, los individuos fueron sacrificados con un anestésico local (benzocaína) (Simmons 2002). Los especímenes y tejidos fueron depositados en el Museo de Zoología de la Universidad Tecnológica Indoamérica (MZUTI), bajo el permiso de investigación (MAE-DNB-CM-2015-0017).

La clasificación taxonómica para los anfibios sigue los estándares detallados en Frost (2020); esta clasificación está ampliamente aceptada por la comunidad científica e incluye información actualizada de la sistemática de este grupo de vertebrados, incluyendo

actualizaciones según las nuevas hipótesis y revisiones que se publican constantemente. Las coordenadas, rango altitudinal y esfuerzo de muestreo se encuentran registrados en la **Tabla 1**.

Análisis de Diversidad

Para los análisis de alfa-beta diversidad se utilizó estadística descriptiva en los programas Past (Hammer et al. 2001), Microsoft Excel (2016), SPSS versión 25 (IBM SPSS Statistics 2017) y Estimates 9.1 (Colwell y Elsensohn 2014). Para determinar la diversidad se implementó el índice de Shannon (H'), el cual incorpora la incertidumbre de un área o el nivel de entropía de un sistema, reflejando la heterogeneidad de una comunidad, considerando la abundancia relativa y el número de especies presentes; este índice está representado por una función continua (Magurran 2004; Pla 2006; Jost y Gonzáles 2012). Para obtener mayor confiabilidad y posibilitar comparaciones, se calculó una curva de acumulación de especies (Jiménez y Hortal 2003), basada en el estimador de diversidad de Chao1 y Jackknife 1, estimadores no paramétricos basados en la abundancia de individuos de una localidad y que permiten estimar el número de especies esperadas. Estos estimadores se basan en la presencia de especies raras, usando el número de especies de la muestra que están representadas por un individuo (singletons) o dos individuos (doubletons), con el fin de estimar si la curva decrece conforme el tiempo de muestreo se incrementa (Escalante 2003; Colwell 2011). Para la estimación de las agrupaciones de individuos se utilizó el método de KNN (kNearest Neighbor); este algoritmo utiliza criterios de clasificación supervisada (basada en un conjunto de entrenamiento y prueba) que estima la función de densidad en relación con las variables predictoras, con el objetivo de encontrar las agrupaciones naturales (Chen et al. 2020). Se calculó también la distancia geométrica de un elemento a todos los demás elementos del conjunto de entrenamiento a través de la distancia euclidiana. Se escogió el valor de k de la simulación que menor tasa de error presentó ($k = 3$). Para realizar las particiones se utilizó el 70% de los datos como entrenamiento y el 30% como datos de prueba, estos datos son utilizados para probar si el algoritmo trabaja adecuadamente. Para estimar la fiabilidad del modelo se calculó AUC (area under the curve), F1 (score), la precisión y la exhaustividad.

Este algoritmo funciona de manera óptima solo para grupos compactos y tiene su base en los supuestos de que los centros de agrupamiento están rodeados de vecinos con menor densidad local y que están a una distancia relativamente grande de cualquier punto con una mayor densidad local (Chen et al. 2020).

Tabla 1. Localidades de muestreo en la Cordillera de Toisán, provincia de Imbabura, Ecuador. Coordenadas geográficas Punto inicio (PI) y Punto Final (PF).
Table 1. Sampling localities at the Toisán Mountain Range, Imbabura Province, Ecuador. Geographic coordinates at starting point (PI) and ending point (PF).

Transecto		Coordenadas		Altura (msnm)	Esfuerzo (horas)
		Latitud	Longitud		
Toisán 1	PI	0°30'39.19"N	78°32'32.74"O	2588–2536	40
	PF	0°30'30.87"N	78°32'27.68"O		
Toisán 2	PI	0°30'21.29"N	78°32'36.50"O	2574–2645	40
	PF	0°30'15.80"N	78°32'45.92"O		
Toisán 3	PI	0°30'16.93"N	78°32'59.97"O	2671–2732	40
	PF	0°30'9.99"N	78°33'5.41"O		
Toisán 4	PI	0°30'20.84"O	78°33'10.79"O	2787–2911	40
	PF	0°30'13.58"N	78°33'20.32"O		
Total					160

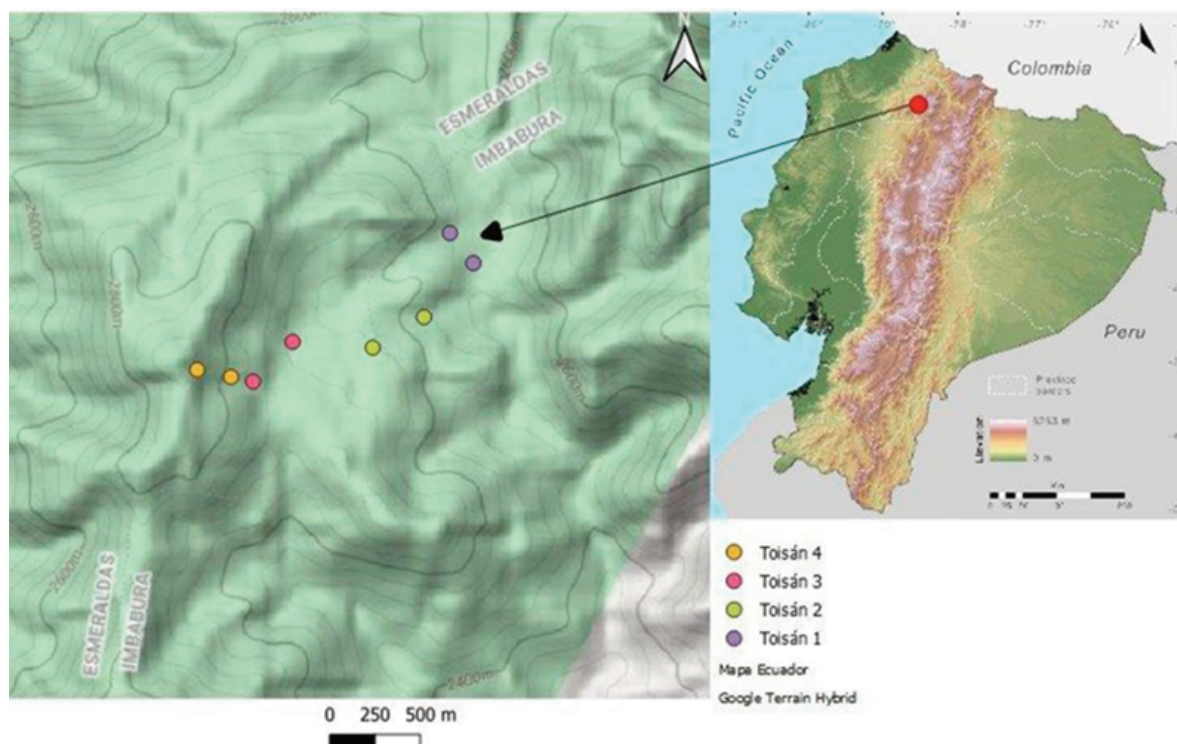


Figura 1. Área de estudio, con la ubicación de cada una de las localidades muestreadas en la Cordillera de Toisán, provincia de Imbabura, Ecuador. Para cada transecto se muestra el punto de inicio y fin.

Figure 1. Study area, with the location of each sampled locality at the Toisán Mountain Range, Imbabura province, Ecuador. For each transect, the starting and ending points are shown.

Resultados

Composición y riqueza de especies

En el área de estudio se registró un total de 111 individuos pertenecientes a 14 especies (Fig. 2), englobadas en cinco géneros y cuatro familias. La familia Craugastoridae con un total de 10 especies, seguido de la familia Centrolenidae, con dos especies, y de Bufonidae e Hylidae con una especie cada una (Tabla 2). El género *Pristimantis* fue el más abundante, en comparación con *Hyloscirtus*, *Nymphargus*, *Centrolene* y *Osornophryne*. En cuanto al estado de conservación, la mayoría de las especies se encuentran en la categoría No Evaluado (NE), seguida, en orden decreciente, de las categorías Vulnerable (VU), En Peligro (EN) y Preocupación Menor (LC) (Tabla 3).

Diversidad y abundancia

En relación con la diversidad basada en el índice de Shannon, se observa que el transecto Toisán 1 presenta una mayor diversidad, seguido de Toisán 2, Toisán 4 y Toisán 3 respectivamente (Fig. 3). De igual manera, se observa que la abundancia de las especies varía a distintas elevaciones. Así, en los puntos Toisán 1 y Toisán 2, *Pristimantis cedros* es la especie más abundante, mientras que en el punto Toisán 3 la especie con mayor incidencia es *P. quinquagesimus*. Una especie no descrita (*Pristimantis* sp4) es la más común en el transecto Toisán 4. De manera general, el punto con mayor abundancia es Toisán 1, con 36 individuos, seguido de Toisán 2 (30 individuos) Toisán 4 (25 individuos) y Toisán 3 con 20 individuos (Tabla 3).

El estimador de Chao 1 en la curva de acumulación de especies indica que el estudio ha llegado a la asíntota, con 14 especies (100%), mientras que el estimador Jackknife expresa que aún faltaría registrar dos especies, dándonos como resultado 16, es decir, que habríamos muestreado el 87.5% de las especies de anfibios que se espera encontrar para las zonas de estudio (Fig. 4).

Algoritmo k-ésimo vecino más cercano (k-NN)

Desde el punto de vista altitudinal, la mayor cantidad de especies se agrupa en la altitud entre 2500 a 2600 msnm. La especie *Pristimantis* sp. 4 se observa en dos gradientes altitudinales: 2500 a 2600 y 2800 a 2900 msnm; de manera similar, *Pristimantis* sp. 2, *P. sp. 3*, *P. quinquagesimus*, *P. aff. hectus*, *P. cedros* se encuentran dispersos en los gradientes altitudinales desde 2500 a 2800 (Tabla 3). *Pristimantis* sp. 1 se encuentra desde los 2800 a 2900 msnm y *P. aff. floridus* se encuentra entre los 2600 a 2700 msnm (Fig. 5). Para este modelo se obtuvo un AUC de 0.76, el F1 de 0.74 con una precisión de 0.74 y una exhaustividad de 0.74.

Discusión

Se registraron un total de 14 especies de anuros, lo que representa el 2.2% de los anfibios del Ecuador. Según el índice de Shannon, los transectos con mayor diversidad, en sentido decreciente, son: Toisán 1 ($H' = 2.006$), Toisán 2 ($H' = 1.733$) y Toisán 4 ($H' = 1.713$), mientras que el transecto Toisán 3 es el menos diverso ($H' = 1.122$). Áreas con pendientes pronunciadas frecuentemente presentan riachuelos, lo cual atrae a varias especies de anfibios (e.g., Centrolenidae, *Hyloscirtus*). En este transecto, la especie más abundante es *Pristimantis quinquagesimus*, una especie que se encuentra casi siempre asociada a riachuelos, quebradas y cascadas (Lynch y Trueb 1980).

Basados en el estimador de Chao 1, se observa que la curva de acumulación llega a la asíntota, mientras que el estimador de diversidad Jackknife 1 muestra que nos faltarían dos especies más por registrar; esta diferencia en los resultados se debe a que los estimadores no asumen el tipo de distribución de los datos, utilizando registros de presencia y ausencia (Moreno 2001). Sin embargo, varios autores argumentan que Jackknife 1 es el más cercano y menos sesgado para determinar la riqueza verdadera (e.g. Moreno 2001; Chiarucci et al. 2003; López y Williams 2006; González-Oreja et al. 2010), por lo que se hipotetiza que se podrían registrar más especies en la zona.



Figura 2. Especies de anfibios registradas en la Cordillera de Toisán. (A) *Osornophryne occidentalis*, MZUTI 4366. (B) *Centrolene heloderma*, MZUTI 4234. (C) *Nymphargus aff. lasgrallarias*, MZUTI 4228 (D) *Pristimantis aff. floridus*, MZUTI 4365. (E) *Pristimantis aff. hectus*, MZUTI 4344. (F) *Pristimantis aff. quinquagesimus*, MZUTI 4289. (G) *Pristimantis cedros*, MZUTI 4280. (H) *Pristimantis quinquagesimus*, MZUTI 4346. (I) *Pristimantis w-nigrum*, MZUTI 4238. (J) *Pristimantis* sp1, MZUTI 4383. (K) *Pristimantis* sp2, MZUTI 4371. (L) *Pristimantis* sp3, MZUTI 4377. (M) *Pristimantis* sp4, MZUTI 4376. (N) *Hyaloscirtus criptico*, MZUTI 4227. Fotografías por: Jose Vieira (A, B, C, F, G, H, N), Jaime Culebras (D, E, J, K, L, M) y Andy Proaño (I).

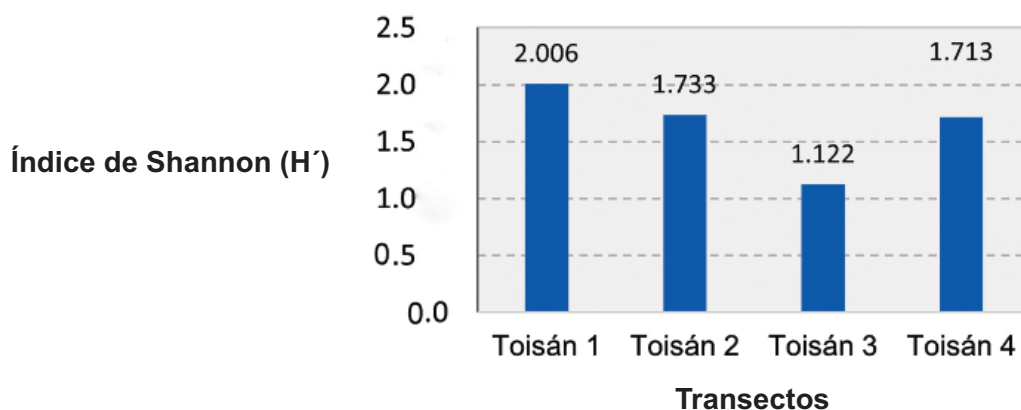
Figure 2. Amphibian species recorded in the Toisán mountain range. (A) *Osornophryne occidentalis*, MZUTI 4234. (B) *Centrolene heloderma*, MZUTI 4234. (C) *Nymphargus aff. lasgrallarias*, MZUTI 4228 (D) *Pristimantis aff. floridus*, MZUTI 4365. (E) *Pristimantis aff. hectus*, MZUTI 4344. (F) *Pristimantis aff. quinquagesimus*, MZUTI 4289. (G) *Pristimantis cedros*, MZUTI 4280. (H) *Pristimantis quinquagesimus*, MZUTI 4346. (I) *Pristimantis w-nigrum*, MZUTI 4238. (J) *Pristimantis* sp1, MZUTI 4383. (K) *Pristimantis* sp2, MZUTI 4371. (L) *Pristimantis* sp3, MZUTI 4377. (M) *Pristimantis* sp4, MZUTI 4376. (N) *Hyaloscirtus criptico*, MZUTI 4227. Photography by: Jose Vieira (A, B, C, F, G, H, N), Jaime Culebras (D, E, J, K, L, M) and Andy Proaño (I).

Tabla 2. Composición y riqueza de los anfibios en la cordillera de Toisán.**Table 2.** Composition and richness of amphibians in the Toisán mountain range.

Clase	Orden	Familia	N° Géneros	N°Spp	N°Ind
Amphibia	Anura	Bufonidae	1	1	2
		Centrolenidae	2	2	8
		Craugastoridae	1	10	98
		Hylidae	1	1	3
Totales	4	5	14	111	

Tabla 3. Composición de anfibios en distintos puntos de la Cordillera de Toisán y su estado de conservación. Número de individuos en las distintas localidades de muestreo T1=Toisán 1, T2=Toisán 2, T3 = Toisán 3 y T4= Toisán 4.**Table 3.** Composition of amphibians in different points of the Toisán mountain range and their conservation status. Number of individuals in the sampled localities T1=Toisán 1, T2=Toisán 2, T3 = Toisán 3 y T4= Toisán 4.

Familia	Especie	IUCN	Microhábitat	T 1	T 2	T3	T 4	Total
Bufonidae	<i>Osornophryne occidentalis</i>	No Evaluado (NE)	Hojarasca/Sotobosque	1	0	1	0	2
Centrolenidae	<i>Centrolene heloderma</i>	Vulnerable (VU)	Vegetación riberena	3	0	0	0	3
	<i>Nymphargus aff. lasgralarias</i>	No Evaluado (NE)	Vegetación riberena	1	4	0	0	5
Craugastoridae	<i>Pristimantis aff. floridus</i>	No Evaluado (NE)	Hojarasca/Sotobosque	0	1	0	0	1
	<i>Pristimantis aff. hectus</i>	No Evaluado (NE)	Hojarasca/Sotobosque	5	6	4	1	16
	<i>Pristimantis aff. quinquagesimus</i>	No Evaluado (NE)	Hojarasca/Sotobosque	2	3	0	0	5
	<i>Pristimantis cedros</i>	No Evaluado (NE)	Hojarasca/Sotobosque	14	10	4	1	29
	<i>Pristimantis quinquagesimus</i>	Vulnerable (VU)	Hojarasca/Sotobosque/ Vegetación riberena/Bromelias	2	0	11	1	14
	<i>Pristimantis w-nigrum</i>	Preocupación Menor (LC)	Hojarasca/Sotobosque/ Vegetación riberena	2	2	0	0	4
	<i>Pristimantis sp.1</i>	No Evaluado (NE)	Hojarasca	0	0	0	4	4
	<i>Pristimantis sp.2</i>	No Evaluado (NE)	Sotobosque	1	0	0	4	5
	<i>Pristimantis sp.3</i>	No Evaluado (NE)	Sotobosque	4	0	0	3	7
	<i>Pristimantis sp.4</i>	No Evaluado (NE)	Hojarasca	0	2	0	11	13
Hylidae	<i>Hyloscirtus criptico</i>	En Peligro (EN)	Vegetación riberena/Bromelias	1	2	0	0	3
Total				36	30	20	25	111

**Figura 3.** Diversidad basada en el índice de Shannon.**Figure 3.** Diversity based on the Shannon Index.

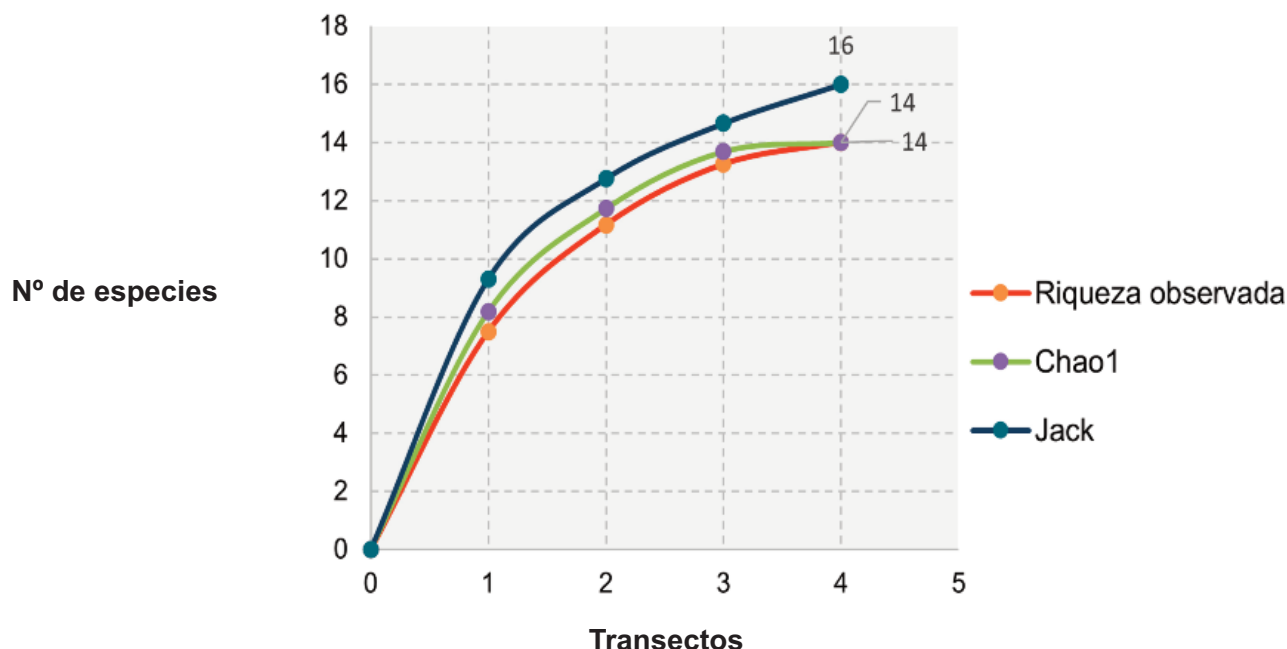


Figura 4. Acumulación de especies en la Cordillera de Toisán basadas en los estimadores Chao 1 y Jackknife

Figure 4. Species accumulation at the Toisán Mountain Range based on Chao1 and Jackknife estimators.

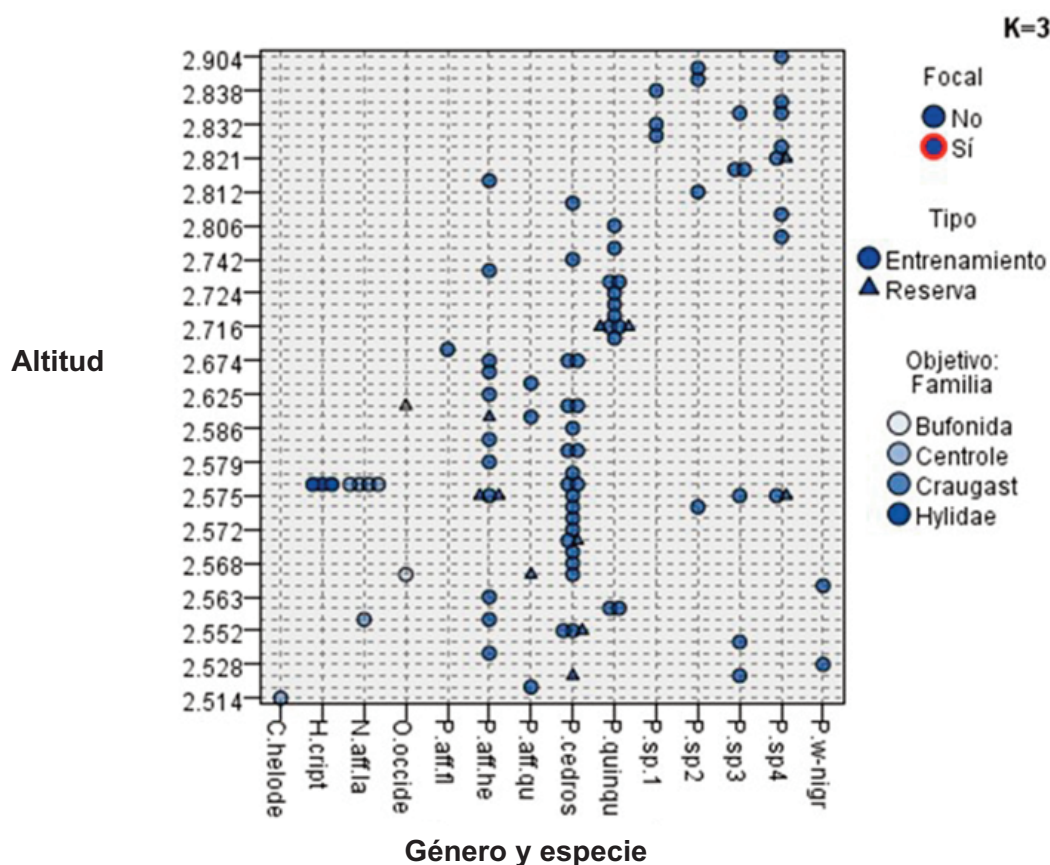


Figura 5. Algoritmo k -ésimo vecino más cercano (k -NN). Ubicación de los centroides en los diferentes espacios altitudinales. (*Centrolene heloderma* = *C.helode*; *Hyloscirtus criptico* = *H.cript*; *Nymphargus aff. lasgralarias* = *N.aff.la*; *Osornophryne occidentalis* = *O.occide*; *Pristimantis aff. floridus* = *P.aff.fl*; *Pristimantis aff. hectus* = *P.aff.he*; *Pristimantis aff. quinquagesimus* = *P.aff.qu*; *Pristimantis cedros* = *P.cedros*; *Pristimantis quinquagesimus* = *P.quinqua*; *Pristimantis sp1* = *P.sp.1*; *Pristimantis sp2* = *P.sp.2*; *Pristimantis sp3* = *P.sp.3*; *Pristimantis sp4* = *P.sp.4*; *Pristimantis w-nigrum* = *P.w-nigr*. Bufonidae=Bufonida, Centrolenidae = Centrole, Craugastoridae=Craugast, Hylidae = Hylidae.

Figure 5. K-th nearest neighbours' algorithm. Location centroids in different altitudinal spaces. (*Centrolene heloderma* = *C.helode*; *Hyloscirtus criptico* = *H.cript*; *Nymphargus aff. lasgralarias* = *N.aff.la*; *Osornophryne occidentalis* = *O.occide*; *Pristimantis aff. floridus* = *P.aff.fl*; *Pristimantis aff. hectus* = *P.aff.he*; *Pristimantis aff. quinquagesimus* = *P.aff.qu*; *Pristimantis cedros* = *P.cedros*; *Pristimantis quinquagesimus* = *P.quinqua*; *Pristimantis sp1* = *P.sp.1*; *Pristimantis sp2* = *P.sp.2*; *Pristimantis sp3* = *P.sp.3*; *Pristimantis sp4* = *P.sp.4*; *Pristimantis w-nigrum* = *P.w-nigr*. Bufonidae=Bufonida, Centrolenidae = Centrole, Craugastoridae=Craugast, Hylidae = Hylidae.

En cuanto a la distribución altitudinal de las especies, existen varios registros que representan ampliaciones de lo reportado en la literatura. *Pristimantis quinquagesimus* está registrada en la literatura a elevaciones entre los 1920 y 2710 msnm (Lynch y Duellman 1997; Arteaga et al. 2013), mientras que en la Cordillera de Toisán fue encontrada a 2562–2806 msnm. De manera similar, *Pristimantis cedros*, especie endémica a la Cordillera del Toisán, había sido registrado en un rango altitudinal entre los 1583 y 1880 msnm (Hutter y Guayasamin 2015); aquí la reportamos en los cuatro transectos, a 2588–2911 msnm. Por otro lado, se observa que las especies del género *Pristimantis* son las más abundantes, posiblemente como consecuencia del éxito de su estrategia reproductiva (desarrollo directo) en ambientes de alta humedad; adicionalmente, este género ocupa distintos tipos de microhábitats, desde la hojarasca, troncos y cavidades en el suelo, hasta el dosel (Lynch y Duellman 1997; Guayasamin y Funk 2009; Arteaga et al. 2013).

Muchas de las especies pertenecientes a las familias Bufonidae, Centrolenidae e Hyllidae utilizan los riachuelos para su reproducción y generalmente se mantienen limitados a lugares donde éstos se encuentren (Duellman 1978). Las nuevas localidades en donde se reportan estas especies son un indicativo de los vacíos de información en la Cordillera del Toisán; esto aplica para algunas especies de distribución muy limitada, como *Centrolene heloderma*, *Hyloscirtus criptico* y *Osornophryne occidentalis* (véase Duellman 1981; Cisneros-Heredia y Gluesenkamp 2010; Coloma et al. 2012; Arteaga et al. 2013; Guayasamin et al. 2020).

La ausencia de ranas de cristal e hylidos en los transectos más altos puede deberse a una serie de factores que incluirían desde la ausencia de microhábitats específicos o a un falso negativo, debido a la baja abundancia de estas especies (Tabla 3).

En los últimos años, la diversidad biológica de la Cordillera de Toisán se ve afectada por factores antrópicos. La ampliación de la frontera agrícola con el uso de agroquímicos, proyectos extractivistas (mineros) y especies exóticas como la trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*) causan alteraciones ecológicas graves en los ecosistemas andinos (Aguilar et al. 2012; Lajmanovich et al. 2012; Martín-Torrijos et al. 2016; Guayasamin et al. 2019), reduciendo la biodiversidad y amenazando a especies con distribución restringida (Lynch y Duellman 1997; Pearman 1997; Dunson et al. 2006; IUCN 2020). Entre las especies encontradas, dos se encuentran en la categoría Vulnerable (VU), y una, *Hyloscirtus criptico*, se considera En Peligro (EN) (IUCN 2020). Frente a los resultados encontrados, la importancia de conservar los hábitats naturales de la cordillera de Toisán es urgente, por ser el hábitat de muchas especies de anfibios, algunas recientemente descritas (e. g. Coloma et al. 2012; Hutter y Guayasamin 2015; Guayasamin et al. 2019; Reyes-Puig, et al. 2020a) y otras aún indeterminadas.

Conclusiones

El género *Pristimantis* se encuentra distribuido en todos los pisos altitudinales muestreados. Además, se pudo observar que entre 2500 y 2600 msnm existe una mayor diversidad de anfibios.

Existen al menos cuatro especies no descritas en el género *Pristimantis*, evidenciando los enormes vacíos de información en el área de estudio.

Se amplió el rango altitudinal de *Pristimantis cedros* y *P. quinquagesimus*, lo que implica el disponer de mejor información para la evaluación de sus estados de conservación.

La ampliación de las actividades antrópicas pone en riesgo la persistencia de las especies de anfibios de la Cordillera del Toisán, que representa un área de diversidad y endemismo importante para numerosos grupos de vertebrados.

Contribución de los autores

ASPM: Recolección y análisis de datos, Redacción - borrador original, Redacción – Revisión y edición. JJPM: Análisis de datos,

Redacción - borrador original, Redacción – Revisión y edición. JMG: Redacción - borrador original, Redacción – Revisión y edición.

Agradecimientos

Queremos agradecer por su compañerismo y ayuda en los muestreos a Lesly Báez, Jose Vieira, Jaime Culebras y Daniel Chávez. También a don Germán Farinango y Fernando Buitrón por la ayuda en el campo y brindarnos acceso a sus propiedades.

Referencias

- Aguilar, C., Guamarra, R., Ramírez, C., Suarez, J., Torres, C., Siu-Ting, K. 2012. Anfibios andinos y estudios de impacto ambiental en concesiones mineras de Perú. *Alytes* 29: 88-108.
- Angulo, A., Vicente, J., José, R.-A., Rodríguez-Mahecha, V., La, E., Bogotá, M.E. 2006. *Técnicas de inventario y Monitoreo para los anfibios de la región Tropical andina*. Serie Manuales de Campo N° 2. Bogotá, Colombia.
- Arteaga, A., Bustamante, L., Guayasamin, J.M. 2013. *The Amphibians and Reptiles of Mindo: Life in the Cloudforest*. Universidad Tecnológica Indoamérica, Quito. Ecuador.
- Arteaga, A., Pyron, R.A., Peñafiel, N., Romero-Barreto, P., Culebras, J., Bustamante, L., Yáñez-Muñoz, M.H., et al. 2016. Comparative Phylogeography Reveals Cryptic Diversity and Repeated Patterns of Cladogenesis for Amphibians and Reptiles in Northwestern Ecuador Castiglia, R. (ed.). *PLOS ONE* 11: 1-40.
- Chen, Y., Hu, X., Fan, W., Shen, L., Zhang, Z., Liu, X., Du, J., et al. 2020. Fast density peak clustering for large scale data based on kNN. *Knowledge-Based Systems* 187: 104824.
- Chiarucci, A., Enright, N.J., Perry, G.L.W., Miller, B.P., Lamont, B.B. 2003. Performance of nonparametric species richness estimators in a high diversity plant community. *Diversity and Distributions* 9: 283-295.
- Cisneros-Heredia, D.F., Gluesenkamp, A.G. 2011. A new Andean Toad of the genus *Osornophryne* (Amphibia: Anura: Bufonidae) from northwestern Ecuador, with taxonomic remarks on the genus. *Avances en Ciencias e Ingenierías*. Sección B. Quito 2 (3): 64–73.
- Coloma, L.A., Carvajal-Endara, S., Dueñas, J.F., Paredes-Recalde, A., Morales-Mite, M., Almeida-Reinoso, D., Tapia, E.E., et al. 2012. Molecular phylogenetics of stream treefrogs of the *Hyloscirtus larinyopygion* group (Anura: Hyllidae), and description of two new species from Ecuador. *Zootaxa* 3364: 1-78.
- Colwell, R. 2011. Biogeographical gradient theory. En: Scheiner, S., Willig, M. (eds). *The Theory of Ecology*, pp. 309-330. University of Chicago Press. Chicago IL, Estados Unidos.
- Colwell, R.K., Elsensohn, J.E. 2014. EstimateS turns 20: statistical estimation of species richness and shared species from samples, with non-parametric extrapolation. *Ecography* 37: 609-613.
- De Queiroz, K. 2007. Species concepts and species delimitation. *Systematic Biology* 56(6):879-86.
- Duellmann, W. 1978. *The biology of an equatorial herpetofauna in Amazonian Ecuador*. Miscellaneous Publications of the University of Kansas 65:1-352.
- Duellman, W. 1981. *Three new species of centrolenid frogs from the Pacific versant of Ecuador and Colombia*. Occasional Papers of the Museum of Natural History. Occasional papers of the Museum of Natural History, the University of Kansas 88: 1-9.
- Dunson, W.A., Wyman, R.L., Corbett, E.S. 2006. A Symposium on Amphibian Declines and Habitat Acidification. *Journal of Herpetology* 26: 349-352.
- Escalante, E.T. 2003. ¿Cuántas especies hay? Los estimadores no paramétricos. *Elementos: Ciencia y Cultura* 52: 53-56.
- Frost, D.R. 2020. *Amphibian Species of the World*. American Museum of Natural History, Nueva York, Estados Unidos. [Accedido 13 de agosto de 2020], <https://doi.org/10.5531/db.vz.0001>
- Gill, B.A., Kondratieff, B.C., Casner, K.L., Encalada, A.C., Flecker, A.S., Gannon, D.G., Ghalambor, C.K., et al. 2016. Cryptic species diversity reveals biogeographic support for the 'mountain passes are higher in the tropics' hypothesis. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 283: 20160553.

- González-Oreja, J.A., Fuente-Díaz-Ordaz, A.A. de la, Hernández-Santín, L., Buzo-Franco, D., Bonache-Regidor, C. 2010. Evaluación de estimadores no paramétricos de la riqueza de especies. Un ejemplo con aves en áreas verdes de la ciudad de Puebla, México. *Animal Biodiversity and Conservation* 3: 31-45.
- Guayasamin, J.M., Funk, W.C. 2009. The amphibian community at Yanayacu Biological Station, Ecuador, with a comparison of vertical microhabitat use among *Pristimantis* species and the description of a new species of the *Pristimantis myersi* group. *Zootaxa* 2220: 41-66.
- Guayasamin, J.M., Krynak, T., Krynak, K., Culebras, J., Hutter, C.R. 2015. Phenotypic plasticity raises questions for taxonomically important traits: A remarkable new Andean rainfrog (*Pristimantis*) with the ability to change skin texture. *Zoological Journal of the Linnean Society* 173(4): 913-928.
- Guayasamin, J.M., Hutter, C.R., Tapia, E.E., Culebras, J., Peñafiel, N., Pyron, R.A., Morochz, C., et al. 2017. Diversification of the rainfrog *Pristimantis ornatissimus* in the lowlands and Andean foothills of Ecuador Chiang, T.-Y. (ed.), *PLOS ONE* 12: e0172615.
- Guayasamin, J.M., Arteaga, A., Hutter, C.R. 2018. A new (singleton) rainfrog of the *Pristimantis myersi* Group (Amphibia: Craugastoridae) from the northern Andes of Ecuador. *Zootaxa* 4527: 323.
- Guayasamin, J.M., Cisneros-Heredia, D.F., Vieira, J., Kohn, S., Gavilanes, G., Lynch, R.L., Hamilton, P.S., et al. 2019. A new glassfrog (Centrolenidae) from the Chocó-Andean Río Manduriacu Reserve, Ecuador, endangered by mining. *PeerJ* 7: 1-18.
- Guayasamin, J.M., Cisneros-Heredia, D.F., McDiarmid, R.W., Peña, P., Hutter, C.R. 2020. Glassfrogs of Ecuador: Diversity, Evolution, and Conservation. *Diversity* 12 (222): 1-285.
- Hammer, D.A.T., Ryan, P.D., Hammer, Ø., Harper, D.A.T. 2001. Past: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica* 4: 1-178.
- Hutter, C.R., Guayasamin, J.M. 2015. Cryptic diversity concealed in the Andean cloud forests: two new species of rainfrogs (*Pristimantis*) uncovered by molecular and bioacoustic data. *Neotropical Biodiversity* 1: 36-59.
- Hutter, C.R., Guayasamin, J.M., Wiens, J.J. 2013. Explaining Andean megadiversity: The evolutionary and ecological causes of glassfrog elevational richness patterns. *Ecology Letters* 16: 1135-1144.
- IBM SPSS Statistics 2017. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 25.0. Armonk, NY: IBM Corp. 2017. [Accedido 19 de junio de 2020]. Disponible en: <https://www.ibm.com/support/pages/how-cite-ibm-spss-statistics-or-earlier-versions-spss>
- Iglesias, J., Santiana, J., Chinchero M.A., P.M.V. 2013. BsMn03 Bosque siempreverde montano de Cordillera Occidental de los Andes. En: Ministerio del Ambiente del Ecuador (ed.), *Sistema de Clasificación de Ecosistemas del Ecuador Continental*, pp. 88-90. Subsecretaría de Patrimonio Natural, Quito, Ecuador. Disponible en: <http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PDOT/NIVEL%20NACIONAL/MAE/ECOSISTEMAS/DOCUMENTOS/Sistema.pdf>
- IUCN 2020. IUCN Red List of Threatened Species. [Accedido 21 de agosto de 2020]. Disponible en: <https://www.iucnredlist.org/>
- Jiménez, A., Hortal, J. 2003. Las curvas de Acumulación de especies y la necesidad de evaluar la calidad de los inventarios biológicos. *Revista Ibérica de Aracnología* 8: 151-161.
- Jost, L., Gonzáles, J. 2012. Midiendo la diversidad biológica: más allá del índice de Shannon. *Acta Zoológica Lilloana* 56: 3-14.
- Lajmanovich, R.C., Peltzer, P.M., Attademo, A.M., CabagnaZenklusen, M.C., Junges, C.M. 2012. Los agroquímicos y su impacto en los anfibios: un dilema de difícil solución. *Química Viva* 184-198.
- Lips, K.R. 2001. *Amphibian monitoring in Latin America : a protocol manual = Monitoreo de anfibios en América Latina : manual de protocolos*. Society for the Study of Amphibians and Reptiles. Estados Unidos.
- López, A.M., Williams, G. 2006. Evaluación de métodos no paramétricos para la estimación de riqueza de especies de plantas leñosas en cafetales. *Boletín Sociedad Botánica, Mexico* 7-15.
- Lynch, J.D., Duellman, W.E. 1997. *Frogs of the genus Eleutherodactylus (Leptodactylidae) in western Ecuador: systematics, ecology, and biogeography*. Special publication (University of Kansas. Natural History Museum), nº. 23.
- Lynch, J.D., Trueb, L. 1980. A New Species of Eleutherodactylus (Leptodactylidae) from the Cloud Forests of Western Ecuador. *Copeia* 3: 392-396. <https://doi.org/10.2307/1444513>
- Magurran, A. 2004. The commonness, and rarity, of species. En: Magurran, A. (ed.), *Measuring Biological Diversity* – (Chapter 2). Blackwell Science Ltd, Oxford, Reino Unido.
- Martín-Torrijos, L., Sandoval-Sierra, J.V., Muñoz, J., Diéguez-Urbeondo, J., Bosch, J., Guayasamin, J.M. 2016. Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) threaten Andean amphibians. *Neotropical Biodiversity* 2: 26-36.
- Ministerio de Ambiente 2013. *Sistema de Clasificación de Ecosistemas del Ecuador Continental*. Subsecretaría de Patrimonio Natural, Quito, Ecuador. Disponible en: <http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PDOT/NIVEL%20NACIONAL/MAE/ECOSISTEMAS/DOCUMENTOS/Sistema.pdf>
- Moreno, C.E. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. En: Primera edición. *M&T-Manuales y Tesis SEA*, Vol 1, Sociedad Entomológica Aragonesa. Zaragoza, España.
- Myers, N., Mittermeier, R.A., Mittermeier, C.G., da Fonseca, G.A.B., Kent, J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403: 853-858.
- Padial, J.M., De La Riva, I. 2009. Integrative taxonomy reveals cryptic Amazonian species of *Pristimantis* (Anura: Strabomantidae). *Zoological Journal of the Linnean Society* 55 (1): 97-122. <https://doi.org/10.1111/j.1096-3642.2008.00424.x>
- Pearman, P.B. 1997. Correlates of Amphibian Diversity in an Altered Landscape of Amazonian Ecuador. *Correlaciones de la Diversidad de Anfibios en un Paisaje Alterado de la Amazonia Ecuatoriana. Conservation Biology* 11: 1211-1225.
- Polato, N.R., Gill, B.A., Shah, A.A., Gray, M.M., Casner, K.L., Barthelet, A., Messer, P.W., et al. 2018. Narrow thermal tolerance and low dispersal drive higher speciation in tropical mountains. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 115: (49)12471-12476.
- Pla, L. 2006. Biodiversidad: Inferencia basada en el índice de Shannon y la riqueza. *Interciencia* 31:583-590.
- Reyes-Puig, C., Maynard, R.J., Trageser, S.J., Vieira, J., Hamilton, P.S., Lynch, R., Culebras, J. et al. 2020a. A new species of *Noblella* (Amphibia: Strabomantidae) from the Río Manduriacu Reserve on the Pacific slopes of the Ecuadorian Andes. *Neotropical Biodiversity* 6: 162-171.
- Reyes-Puig, C., Yáñez-Muñoz, M.H., Ortega, J.A., Ron, S.R. 2020b. Relaciones filogenéticas del subgénero Hypodictyon (Anura: Strabomantidae: *Pristimantis*) con la descripción de tres especies nuevas de la región del Chocó. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 91: 913013.
- Simmons, J.E. 2002. Herpetological collecting and collections management. 31: 1-153.
- Weir, J.T., Price, M. 2011. Andean uplift promotes lowland speciation through vicariance and dispersal in Dendrocincla woodcreepers. *Molecular Ecology* 20: 4550-4563.

Apéndice 1. Especímenes examinados. MZUTI: Museo de Zoología en la Universidad Tecnológica Indoamérica.**Appendix 1. Specimens examined. MZUTI: Museo de Zoología at the Universidad Tecnológica Indoamérica.**

- *Osornophryne occidentalis*. MZUTI 4366-4367.
- *Centrolene heloderma*. MZUTI 4424-4425, 4234.
- *Nymphargus aff. lasgralarias*. MZUTI 4228-4231, 4233.
- *Pristimantis aff. floridus*. MZUTI 4365.
- *Pristimantis aff. hectus*. MZUTI 4240-4252, 4282, 4343-4345.
- *Pristimantis aff. quinquagesimus*. MZUTI 4255, 4262, 4270-4271, 4289.
- *Pristimantis cedros*. MZUTI 4256-4258, 4260-4261, 4263, 4265-4268, 4272-4281, 4283-4288, 4292-4293, 4384.
- *Pristimantis quinquagesimus* MZUTI 4346-4352, 4354-4359, 4362.
- *Pristimantis w-nigrum*. MZUTI 4238-4239, 4253-4254.
- *Pristimantis sp. 1*. MZUTI 4360, 4381, 4383, 4385.
- *Pristimantis sp. 2*. MZUTI 4259, 4353, 4371-4372.
- *Pristimantis sp. 3*. MZUTI 4264, 4269, 4291, 4295, 4369-4370, 4377.
- *Pristimantis sp. 4*. MZUTI 4290, 4294, 4361, 4363-4364, 4373-4376, 4378-4379, 4380, 4382.
- *Hyloscirtus criptico*. MZUTI 4225-4227.