

Estructura de la comunidad de Macroinvertebrados del Río Jatunhuayco EPMAPS, Reserva Ecológica Antisana, sistema de captación del agua de Quito

Danilo J. Yáñez-Cajo^{1,2}, Nathalia T. Valencia³, Luis V. Carvajal
L.³, William P. Aguas D.⁴, Juan L. López-Parra³

¹Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Facultad de Ciencias Pecuarias; Finca Experimental "La María", km 7 vía Quevedo-El Empalme, Mocache. danoyanez@gmail.com

²Presición Ingeniería Digital; Ignacio Asín y Antonio Román, Sector San Fernando, Quito, espacioprecision@gmail.com

³Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Escuela Politécnica Nacional; Av. Ladrón de Guevara E11-253, Quito, nathalia.valencia@epn.edu.ec

⁴Universidad UTE, Facultad de Ciencias Gastronómicas y Turismo, william.aguas@hotmail.com

RESUMEN

El conocimiento de la dinámica ecológica de las comunidades de macroinvertebrados, ha sido un referente importante para comprender el estado de conservación de los cuerpos de agua. Se realizó un análisis de la estructura de las comunidades de macroinvertebrados en el Río Jatunhuayco, Reserva Ecológica Antisana, fuente de captación del agua para la ciudad de Quito. El trabajo de campo se lo realizó en dos temporadas, seca y húmeda, dentro de cada una de estas se consideró dos unidades geomorfológicas, se colectaron especímenes, se identificaron y clasificaron en sus respectivas categorías taxonómicas, la diversidad fue analizada mediante estimadores no paramétricos y modelos no lineales, se utilizó curvas rango abundancia, y para el análisis de similitud se aplicó ANOVA bifactorial de medidas repetidas. Se determinó 31 especies, 26 géneros, 24 familias y 13 órdenes, existen diferencias significativas entre comunidades, considerando una relación directa con los factores de temporalidad y geomorfología. Para este tipo de estudios y diseños, es adecuado el uso de la ecuación exponencial negativa, útil para comprender la dinámica de la biodiversidad, finalmente, se concluye que Río Jatunhuayco tiene una moderada alteración en el contenido de materia orgánica, asumimos que la dinámica del uso del suelo en el Antisana se está modificando paulatinamente.

Palabras claves. - Antisana, estimadores, macroinvertebrados, agua

ABSTRACT

The knowledge of the ecological dynamics of macroinvertebrate communities has been an important reference for understanding the state of conservation of water bodies. An analysis of the structure of the macroinvertebrate communities in the Jatunhuayco River was carried out, Antisana Ecological Reserve, source of water collection for the city of Quito. The field work was carried out in two seasons, dry and wet, within each of these two geomorphological units were considered, specimens were collected, identified and classified in their respective taxonomic categories, diversity was analyzed using non-parametric estimators and Nonlinear models, abundance range curves were used, and for the similarity analysis, repeated bifactorial ANOVA was applied. It was determined 31 species, 26 genera, 24 families and 13 orders, there are significant differences between communities, considering a direct relationship with the factors of temporality and geomorphology. For this type of studies and designs, it is appropriate to use the negative exponential equation, useful to understand the dynamics of biodiversity, finally, it is concluded that Río Jatunhuayco has a moderate alteration in the content of organic matter, we assume that the dynamics of the Land use in the Antisana is gradually changing.

Key words. - Antisana, estimators, macroinvertebrates, water

ISSN 1390-3004

Recibido: 2019-11-05

Aceptado: 2019-04-19

INTRODUCCIÓN

Es conocida y popularizada la megadiversidad del Ecuador, este referente ha sido gracias a los estudios de muchos científicos de todo el mundo que han determinado la riqueza de especies, en todos los grupos taxonómicos conocidos (Ordóñez-Delgado *et al.*, 2019), además de especies, posee diversidad de ecosistemas (Sierra *et al.*, 1999), diversidad geofísica derivada de la posición geográfica del Neotrópico (Cayuela & Cerda 2012), y muy importante también la diversidad cultural, razones por la cual, Ecuador es reconocido como uno de los países Mega diversos del mundo (Mittermeier *et al.*, 1997). Dentro de esta asombrosa ventaja, está la diversidad geofísica, la cual incluye la presencia de redes hídricas, con numerosos cuerpos de agua dulce, los cuales son de importancia en la ecología de las cuencas hidrográficas (Rodríguez-Galarza *et al.*, 2019), si se considera esta premisa, es fundamental conocer la estructura de las comunidades bióticas de los cuerpos de agua, ya que este conocimiento, permitiría entender las dinámicas entre la biota y el agua.

La Reserva Ecológica Antisana, está localizada en la vertiente oriental de la Cordillera de los Andes del Ecuador, es un sitio expresado en su vulcanismo, derivando en diversidad de condiciones morfoclimáticas, con variedad de sustratos rocosos (Aguirre *et al.*, 2014), es parte de la Unidad Hidrográfica Jatunhuayco, dentro de uno de los ecosistemas más importantes para la generación de agua, el Páramo, el cual es un ecosistema compuesto en su

mayoría por gramíneas y matorrales, vegetación que da paso a parches de superpáramo, hierbas y pastos (Sklenář *et al.*, 2016), aquí se ubica la subcuenca que drena al sistema de abastecimiento o suministro de agua potable para la ciudad de Quito, capital de Ecuador, la cual posee más de 2.7 millones de habitantes, razón de mucha importancia para la conservación de este sitio, lamentablemente, estudios climatológicos, han determinado que la capa de hielo y la zona en general están deteriorándose (Cadilhac *et al.*, 2017).

En este contexto, y por la importancia que tiene la Reserva Ecológica Antisana, para la generación de servicios ecosistémicos, es importante estudiar su biodiversidad, puntualmente, para el conocimiento de los recursos hídricos de esta zona, el estudio de macroinvertebrados, se convierte en un tema de importancia. Las comunidades de macroinvertebrados bentónicos son utilizados en muchos estudios como bioindicadores de la calidad del agua (Rosado *et al.* 2017), la razón es debido a que presentan características anatómicas y fisiológicas específicas, las cuales son brindadas por el medio en el cual se desarrollan, cuando existe una alteración en ese medio, sus funciones fisiológicas y anatómicas se ven afectadas. Estas variaciones del medio, pueden darse debido a factores de contaminación, química o física (Damanik-Ambarita *et al.* 2016), debido a las actividades de producción y desarrollo económico, como el pastoreo o la agricultura, de ahí la utilidad que se le ha dado para comprender el estado de salud ambiental del agua.

En este contexto, fue evidente la necesidad de determinar la estructura de las comunidades de macroinvertebrados de este sitio estratégico, importante para la captación del agua, como un primer paso para conocer la dinámica de los caudales ecológicos y el estado de conservación del agua, además de sus futuras amenazas debido a las actividades antrópicas, puntualmente este primer estudio, se lo realizó en Río Jatunhuayco, en el cual se encuentra el punto de captación de agua para la ciudad de Quito.

METODOLOGÍA

Área de estudio. - El estudio se realizó en la Reserva Ecológica Antisana, localizada en la vertiente oriental de la Cordillera Real de los Andes a 50 km al sureste de la ciudad de Quito. El clima que predomina en esta zona es el tipo húmedo y muy húmedo, caracterizado por una alta humedad relativa, con variaciones apreciables en el transcurso del día, y una variación poco significativa de la humedad relativa media mensual. La temperatura media fluctúa alrededor de los 8 °C; las temperaturas en pocas ocasiones sobrepasan los 20 °C y, las mínimas alcanzan generalmente valores de 0 °C (Pazmiño 2010). Los totales de lluvia anual son irregulares, oscilan alrededor de los 1 600 mm, las precipitaciones son generalmente de larga duración con débiles intensidades, y la humedad relativa es casi siempre superior a 90%, En el mes de enero se da mayor cantidad de eventos secos o sin precipitación, varias etapas de transición se observan en el contexto de análisis meteorológico y en el mes de junio la mayor cantidad de precipitaciones.

Las formaciones vegetales presentes en el área son: bosque siempreverde pie montano, bosque siempreverde montano bajo, bosque de neblina montano, bosque siempre verde montano alto, páramo herbáceo, páramo de almohadillas, páramo pantanoso, páramo de pajonal, gelidofita y herbazal lacustre montano, ubicándose en los rangos altitudinales de 1200 a 3100 m.s.n.m. (zona baja) y 3 100 a 5 758 m s.n.m. (zona alta) (Sierra *et al.* 1999). Se determinaron en el área de muestreo las unidades geomorfológicas: Valle Andino de Origen Glaciar y Quebrada andina con afloramiento de rocas (Báez *et al.* 2010).

Diseño de muestreo. - Se determinaron los puntos específicos para el muestreo, considerando la distancia y probabilidad de existencia de hábitats de interés, los sitios de muestreo, se ubican en la cuenca que drena al sistema de abastecimiento o suministro de agua potable para la ciudad de Quito, 500 m. arriba y 500 m. abajo de la captación de agua del Río Jatunhuayco (WGS 84 Longitud: -78.23°, Latitud: -0.54°, altitud: 3922 m s.n.m.).

Tabla 1. Caracterización de la temporalidad, meses de junio de 2015 y enero 2016, temporalidad húmeda y seca respectivamente. Caracterización de las unidades geomorfológicas del área de estudio

Temporalidad	Fecha	Temperatura Ambiente	Descripción
Temporalidad 1 (época húmeda)	Junio 2015	15 °C	Elevada presencia de lluvias moderada presencia de lluvias
Temporalidad 2 (época seca)	Enero 2016	18 °C	

Tipo de Geomorfología	Topografía	Descripción de Vegetación	Especies Representativas de Vegetación	Sustrato
Valle Andino de Origen Glaciar	Pendiente Baja	Gramíneas amacolladas, variedad de hierbas en roseta y rastreras, signos de afectación por quemas y ganadería	<i>Lachemilla orbiculata</i> , <i>Calamagrostis intermedia</i> , <i>Azorella pedunculata</i>	Arena, Cantos Rodados, Macrófitas
Quebrada Andina con afloramiento de Rocas	Pendiente Moderada	Remanente de pajonal arbustivo altimontano con arbustales bajos, matorrales aislados y herbáceas	<i>Chuquiraga jussieui</i> , <i>Diplostephium ericoides</i> , <i>Monticalia arbutifolia</i> , <i>Pentacalia peruviiana</i>	Piedras de Diámetro mayor a 10 cm, remolinos de velocidad.

Posteriormente se planificaron dos salidas de campo, considerando la temporalidad y las unidades geomorfológicas. El trabajo en campo se realizó en dos temporalidades, en el mes de junio (época húmeda) y, en el mes de enero (época seca). Las unidades geomorfológicas, sometidas al factor temporal, se las determinó alrededor de la captación del Río Jatunhuayco,

cada escenario geomorfológico presenta características de vegetación, topografía y sustrato distintos, se identificaron dos unidades geomorfológicas: Valle andino de origen glaciar, y, Quebrada andina con afloramiento de rocas (Tabla 1) (Fig. 1).

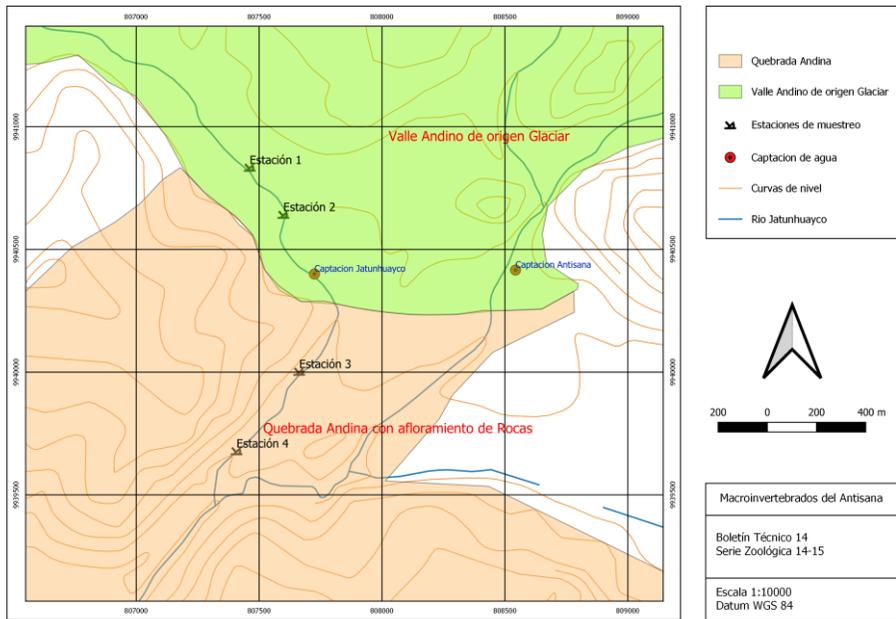


Figura 1. Ubicación del área de estudio, unidades geomorfológicas en la sección de estudio.

La relación de estos dos factores de diseño, temporalidad y unidades geomorfológicas, permitieron determinar cuatro condiciones, en las cuales se realizaron muestreos para registro información (Tabla 2).

Tabla 2. Diseño de muestreo, caracterización de temporalidad y geomorfología, determinación de las 4 condiciones de muestreo

Factor 1	Factor 2	Diseño
Temporalidad	Geomorfología	Condición
Temporalidad 1 (época lluviosa)	Valle Andino de Origen Glaciar	1
	Quebrada Andina con afloramiento de Rocas	2
Temporalidad 2 (época seca)	Valle Andino de Origen Glaciar	3
	Quebrada Andina con afloramiento de Rocas	4

En cada condición, se realizaron 18 muestreos o réplicas, consecuentemente 72 réplicas en total para todo el estudio, éstas fueron codificadas y tabuladas en un registro de muestras biológicas, y su posterior procesamiento estadístico.

El muestreo biológico contempló la recolección de macroinvertebrados, en cada una de las réplicas, para este muestreo se utilizó: red surber, fundas plásticas ziploc, alcohol al 95%, un recipiente plástico de tres litros de volumen, dos tamices de abertura fina, y bandejas metálicas de color blanco. La recolección y tratamiento de muestras, se realizaron siguiendo el protocolo descrito por: Stark *et al.* (2001); Lenat (1988) y Hau & Schapiro (2010), en donde se puede seguir los protocolos para recolectar, tratar, manejar, transportar, conservar e identificar las muestras de macroinvertebrados tomadas en campo.

La identificación taxonómica de las especies, se realizaron con las guías de identificación de macroinvertebrados acuáticos de Roldan (1986, 2003), se realizó la catalogación taxonómica: orden, familia, género y especie, en el caso de individuos no identificados hasta especie, se los denominó con el epíteto de "morfoespecie #". Los especímenes se registraron en una base de datos, se tabularon y, posteriormente fueron almacenados en tubos *Ephendorf*.

Análisis. - Se calcularon estadísticos descriptivos con el fin de conocer el comportamiento y tendencias de los datos, se determinó varianzas, desviaciones estándar conjuntamente con sus medidas de tendencia central, además prueba de normalidad de Shapiro y varianzas homogéneas de Levene.

Se construyeron curvas de acumulación con estimadores no paramétricos: CHAO, Jackknife y ACE, Chao, Colwell, Lin, & Gotelli, (2009) y se calculó el valor de estimación de biodiversidad "S", estos fueron realizados con el software Estimate S (Colwell, 2013), segundo, se calculó y construyó curvas de acumulación con el uso de modelos no lineales, estos modelos presentan la facultad de evaluarse dependiendo del diseño de muestreo aplicado (Soberón & Llorente 1993), se determinó el mejor modelo con el uso del coeficiente de determinación (R^2), entre ecuación exponencial negativa y ecuación de Clench. Se determinaron los valores y coeficientes necesarios para la construcción de los modelos (coeficientes a y b), donde " a " es la pendiente de incremento de nuevas especies, y " b " es el medida relacionada de la forma de la curva, este desarrollo se lo puede realizar siguiendo el procedimiento especificados en el documento de (Jiménez-Valverde & Hortal 2003) Con los coeficientes explicados, se procedió a construir las curvas de acumulación de especies de modelos no lineales. Todos los cálculos y gráficas se las elaboró en el lenguaje "R" (R Core Team, 2016).

Al disponer de dos factores de diseño, en los cuales existe una dependencia de la unidad geomorfológica a la temporalidad, se aplicó la prueba ANOVA bifactorial de medidas repetidas, esto con el fin de determinar si existe algún efecto significativo para diferenciar el comportamiento de la comunidad de macroinvertebrados, relacionados a la temporalidad y la geomorfología del área de estudio.

RESULTADOS

Dinámica de la población de macroinvertebrados. - Se determinó la estructura de la comunidad con una diversidad de 31 especies, distribuidas en 26 géneros, cuatro géneros no identificados; 24 familias y 13 órdenes (Tabla 3).

Tabla 3. Especies de macroinvertebrados identificados en el estudio

Orden	Familia	Especie
Rhynchobdellida	Glossiphoniidae	<i>Glossiphonia</i> sp.
Arachnida	Hydrachnidae	<i>Hydrachna</i> sp
Coleoptera	Scirtidae	<i>Prionocyphon</i> sp.
	Limnichydae	<i>Lutrochus</i> sp.
Collembola	Poduridae	Morfoespecie 1
	Sminthuridae	Morfoespecie 2
Amphipoda	Hyalellidae	<i>Hyalella inermis</i>
	Chironomidae	<i>Chironomus</i> sp. <i>Tanypodius</i> sp.
Diptera	Simuliidae	<i>Simullium</i> sp.
	Elmidae	<i>Austrelmis leleupi</i> <i>Austrelmis</i> sp.
	Empididae	<i>Chelifera</i> sp. <i>Hemerodromia</i> sp.
	Tipulidae	<i>Molophilus</i> sp.
	Ephydriidae	Morfoespecie 3
	Muscidae	<i>Limnophora</i> sp.
	Baetidae	<i>Andesiops peruvianus</i>
Haplotaxida	Haplotaxidae	<i>Haplotaxida</i> sp.
Hemiptera	Mesoveliidae	<i>Mesovelia</i> sp.
Sphaeriida	Sphaeriidae	<i>Psidium</i> sp.
Nematoda	Nematoda	Morphoespecie 4
	Glossosomatidae	<i>Mortionella</i> sp.
	Leptoceridae	<i>Oecetis</i> sp. <i>Anomalocosmoecus illiesi</i>
	Hydroptilidae	<i>Metrichia</i> sp1. <i>Metrichia</i> sp2. <i>Atopsyche</i> sp.
Trichoptera	Hellicopsychidae	<i>Hellicopsyche</i> sp. <i>Smicridea</i> sp.
	Planariidae	<i>Dugesia tigrina</i>
Seriata	Planariidae	<i>Dugesia tigrina</i>

La diversidad y abundancia, en la condición 1 fue de 17 especies y 1 999 individuos; para la condición 2 fue de 25 especies y 2 767 individuos; para la condición 3 de 22 especies y 5 099 individuos; y para la condición 4 de 25

especies y 4 813 individuos.

En el análisis de abundancia, destaca la presencia de *Chironomus sp.*, una especie registrada en todas condiciones del muestreo, presenta la mayor abundancia en relación a todas las especies, esto se evidencia en las curvas rango abundancia (Fig. 2), continúan especies con altos registros de abundancia: *Tanypodius sp.*, *Dugesia sp.*, *Hyaella sp.*, *Mortionella sp.*, *Metrichia sp.*, *Austrelmis sp.*, *Anomalocosmoecus sp.*, *Haplotaxida sp.*, *Chironomus sp.*, distribuidas en diferentes condiciones.

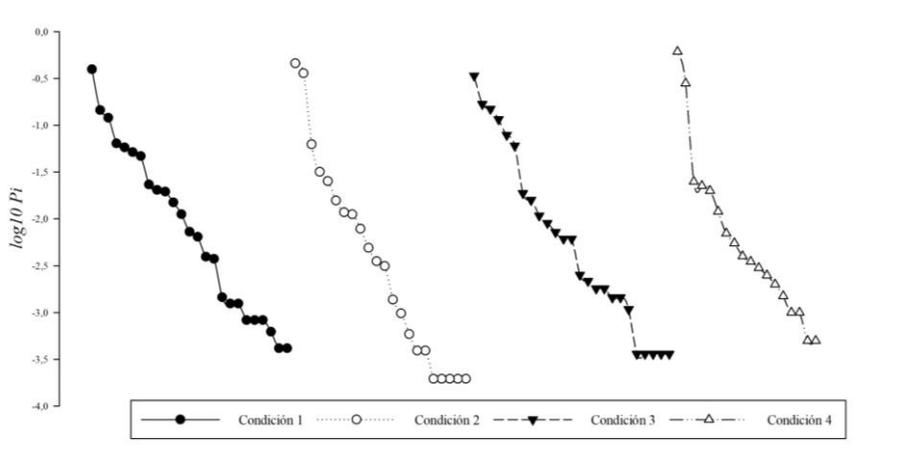


Figura 2. Curvas rango abundancia, expresada en frecuencias relativas (P_i), \log_{10} . de las frecuencias de las especies registradas.

La altísima abundancia de *Chironomus sp.*; *Dugesia tigrina* y de especies de la familia Sphaeriidae, indica una moderada concentración de material orgánico, además de disminuir la capacidad del agua de autodepuración, esto concuerda con los estudios de Dornfeld et al., (2006); Chalar, (1994); Murrieta-Morey et al., (2016), quienes identifican a estos organismos en grupos de bajo contenido de oxígeno.

La respuesta de estimación no paramétrica de la comunidad de macroinvertebrados en las cuatro condiciones, se la realizó considerando como mejor estimador al Chao 1, según lo menciona Morelli & Verdi (2014). Condición 1) 17 especies registradas, Chao 1 = 18,33, significa que para este estimador se dispone de un 92,74% del total de las especies estimadas; Condición 2) 25 especies, Chao 1 = 35 se dispone del 71,43%; Condición 3) 22 especies, Chao 1 = 25,33, se dispone del 86,85%; Condición 4) 25 especies, Chao 1 = 26, se dispone del 96,15% de la estimación.

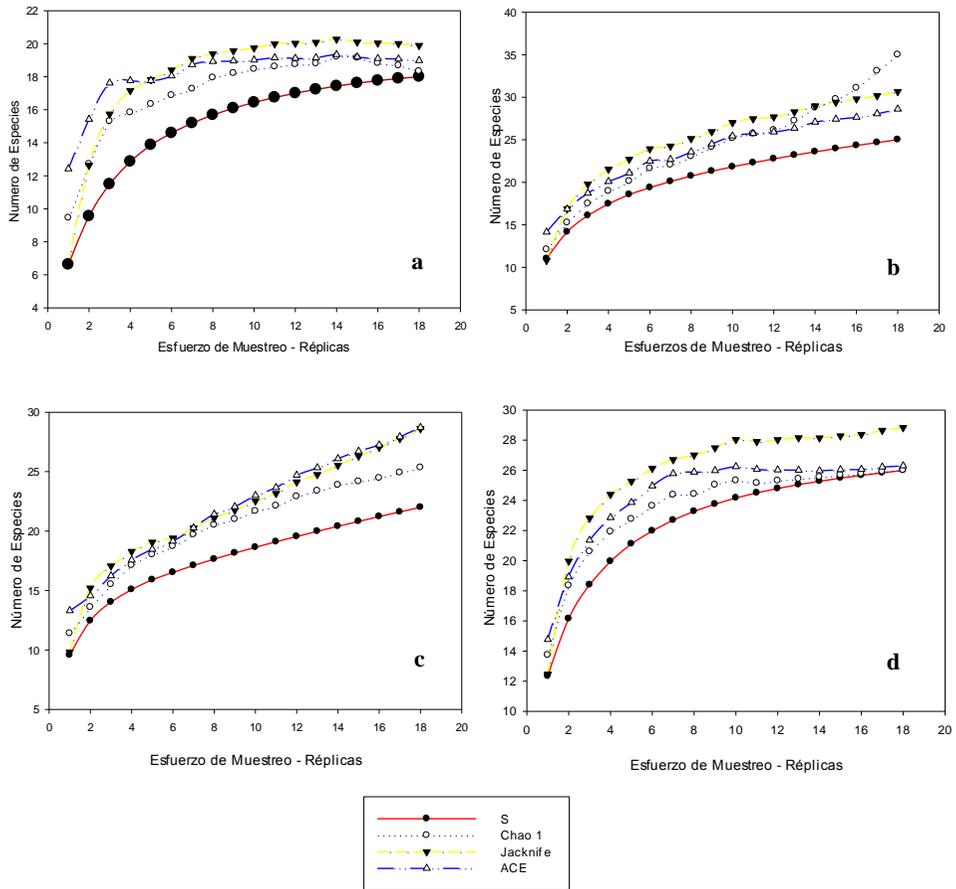


Figura 3. Estimadores no paramétricos y curvas de rarefacción de las cuatro condiciones de análisis. a = condición 1; b = condición; c = condición 3; d = condición 4.

La modelación de la ecuación exponencial negativa, presentó mayor bondad de ajuste con el diseño de muestreo aplicado en este trabajo, esto se determinó con el resultado del coeficiente de determinación ($R^2 > 0,9$) en cada condición, además se observó los valores de pendiente, los cuales determinan que a menor valor de la pendiente el modelos se ajusta mucho mejor al diseño de muestreo aplicado, además, se analizó la forma de la pendiente, y probabilidad de asíntota en cada condición (Tabla 3), y en todos los casos las curvas llegaron a la asíntota (Fig. 4).

El análisis de la función exponencial negativa, permite realizar un análisis de las relaciones entre diversidad, frecuencia y el esfuerzo de muestreo, nos pronostica una probabilidad en base a su modelo asíntótico, por lo tanto se determinó que el inventario para la condición 1) asíntota = 20,14, inventario disponible = 84,41%; condición 2) asíntota = 26,45, inventario disponible = 94,52%; condición 3) asíntota = 22,88, inventario disponible = 96,15%; condición 4) asíntota = 27,72, inventario disponible = 90,19%.

Tabla 3. Valores de coeficientes calculados con el modelo exponencial negativo, número de réplicas y bondad de ajuste. Donde “a” es la tasa de incremento de nuevas especies al comienzo del inventario, “b” es un parámetro relacionado con la forma de la curva; “n” es el esfuerzo de muestreo (replicas), “R²” es el ajuste de los datos reales al modelo, la pendiente es el valor de ajuste y de fiabilidad del inventario (pendiente < 0,1) y, la asíntota expresa la riqueza de especies esperada.

Condición	a	b	n	R ²	Pendiente	Asíntota
1	9,05	0,44	18	0,9987	0,002766057	20,14
2	14,06	0,53	18	0,964	0,00098431	26,45
3	12,01	0,52	18	0,9432	0,000946987	22,88
4	19,15	0,69	18	0,9915	0.000758949	27,72

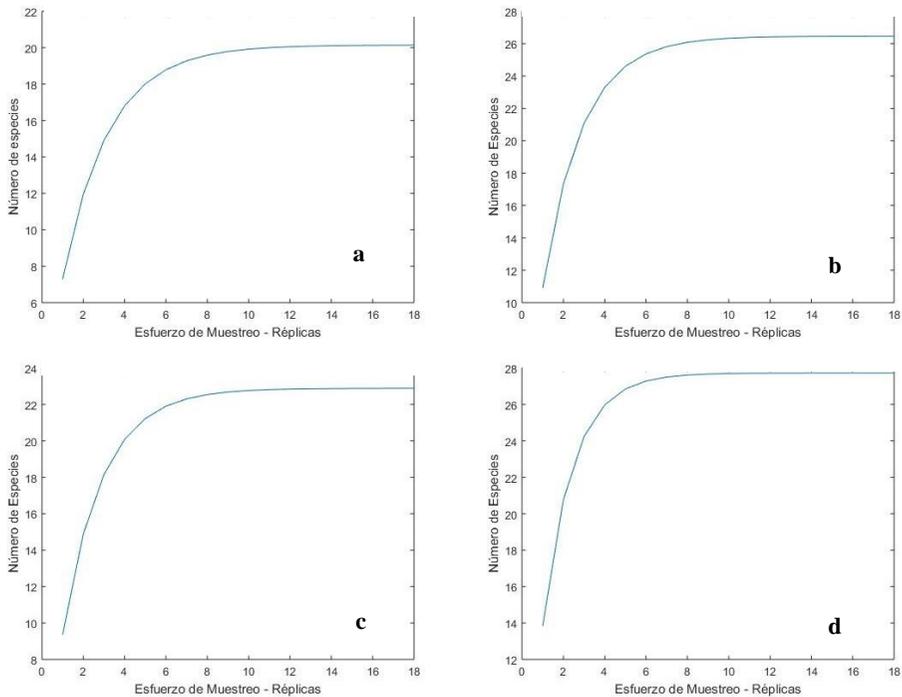


Figura 4. Modelo no lineal exponencial negativo de las cuatro condiciones de estudio. a = condición 1; b = condición; c = condición 3; d = condición 4.

El análisis de ANOVA bifactorial de medidas repetidas, permitió determinar que existe un efecto significativo en la influencia de la temporalidad y la geomorfología en la composición de la comunidad de macroinvertebrados, tanto en su diversidad ($p < 0,05$; $F = 14,31$; $gl = 3$), como en su abundancia ($p < 0,05$; $F = 4,84$; $gl = 3$).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La comunidad de macroinvertebrados de la Reserva Ecológica Antisana está estructurada en su mayoría por familias de que son bioindicadores de cuerpos de agua con un moderado disturbio, esta conclusión es importante, debido a que el agua que se está generando en el páramo del Antisana, se está deteriorando moderadamente, lo que a futuro puede provocar problemas para el consumo humano.

Los estimadores no paramétricos, determinaron que un 92.74% del total de las especies se encuentran en la condición 1, por lo tanto es la condición donde se necesita menos esfuerzo de muestreo para completar en inventario, la condición 2 contiene 71.43%, la menor registrada, sería necesario realizar muestreos más exhaustivos para obtener un buen porcentaje del inventario Bunge and Fitzpatrick (1993).

En cuanto a los modelos no lineales, se determinó que la ecuación exponencial negativa es el modelo más idóneo para el diseño presentado en este estudio, esta respuesta coincide con las conclusiones del trabajo de Jiménez-Valverde y Hortal (2003), en el que determina que los muestreos en zonas pequeñas que involucran poco espacio físico y diferentes esfuerzos de muestreo, se ajustan mejor con la ecuación exponencial negativa.

La Condición 2 y 4, corresponden a la quebrada Andina con afloramiento de rocas, posee mayor diversidad de macroinvertebrados en relación a las otras dos condiciones, esto sustentado tanto con la S estimada y con modelo de ecuación exponencial negativa. Los valores observados en la asíntota expresan que la temporada seca en el cuadro geomorfológico de quebrada andina con afloramiento de rocas es ideal para encontrar una respuesta en diferenciación de frecuencia y abundancia de especies.

La prueba ANOVA de medidas repetidas ($p < 0.05$) permite concluir que tanto la temporalidad y la unidad geomorfológica son variables relacionadas, y, además, nos permite determinar que, si existen diferencias entre las estructuras de la comunidad de macroinvertebrados referente a su diversidad y abundancia en cada una de las condiciones, tanto en las temporalidades húmeda y seca, como entre el Valle Andino de Origen Glaciar y la Quebrada Andina con afloramiento de Rocas. Hay que destacar una conclusión importante, determinado por el modelo de probabilidad de Fisher "F", este modelo determinó un resultado muy bajo en el análisis de la biodiversidad y la abundancia ($F= 14,84$, $F= 4,84$, respectivamente), por tal razón a pesar de la significancia estadística entre las variables, el modelo de Fisher al ser bajo, permitió determinar que si existen diferencias significativas, pero no son de muy altas de relación, por tal razón, es necesario seguir investigando relaciones con otro tipo de variables, sean estas, biológicas, geofísicas e incluso sociales, para mejorar las relaciones ecológicas de las comunidades de macroinvertebrados.

En general la Reserva Ecológica Antisana, tiene que ser un área de relevancia desde el punto de vista de conservación, debido a que los servicios ecológicos que este sitio genera, son estratégicos, no solo desde el punto de vista ambiental, sino desde el enfoque político y económico, debido a que en la actualidad la población de Quito tiene más de 2.7 millones de habitantes, razón por la cual, la conservación de este sitio es fundamental para el bienestar social, político y económico de la ciudad.

Se presume la perturbación del estado de la calidad del agua, puede estar ocurriendo debido al cambio constante del uso del suelo en el Antisana. En la parte aledaña al páramo superior, aún no se encuentran actividades de producción, por lo tanto, se mantiene la lógica de utilizar esa área para la conservación, lamentablemente, en la parte más baja, existe una intervención de actividades agropecuarias, que cambian la dinámica del uso del suelo, en especial para convertir el páramo es pasto. En síntesis, es necesario mantener un escenario de conservación, ya que esta zona es fundamental en la producción de recursos hídricos. Hay que considerar que autores como LeBlanc *et al.* (1997), Chantigny (2003), Ahearn *et al.* (2005), determinaron que la calidad de agua y consecuentemente sus respectivas comunidades de macroinvertebrados, se encuentran más influenciadas por los cambios del uso del suelo.

Sería importante estudiar la influencia de la temporalidad y la geomorfología, sobre la diversidad y abundancia, en periodos más largos de muestreo, como por ejemplo un año de muestreo constante mensual, esto permitiría conocer más aproximadamente la dinámica ecológica de las comunidades de macroinvertebrados en los cuerpos acuáticos, permitiendo generar información para determinar una posible influencia debido al cambio climático. En los cuerpos de agua, el estudio de su flora, fauna y su microbiología, es un reto académico, debido a la complejidad que tienen las estructuras ecológicas de los ecosistemas acuáticos.

AGRADECIMIENTOS

Un especial agradecimiento al Instituto de Biología de la Escuela Politécnica Nacional, que permitió el uso de los laboratorios de entomología y sus materiales que sirvieron para la identificación de las especies

REFERENCIAS

- Aguirre N, Torres J & Velasco Linares P. 2014. Guía para la Restauración Ecológica en los Páramos del ANTISANA. Serie de investigación 2 FONAG, Quito.
- Ahearn DS, Sheibley RW, Dahlgren RA, Anderson M, Johnson J & Tate KW. 2005. Land use and land cover influence on water quality in the last free-flowing river draining the western Sierra Nevada, California. *Journal of Hydrology* 313: 234–247.

- Báez S, Salgado S, Santiana J, Cuesta F, Peralvo M, Galeas R, Josse C, Aguirre Z, Navarro G, Ferreira W, Cornejo X, Mogollón H, Ulloa-Ulloa C, León-Yáñez S, Stahl B & Toasa G.** 2010. Propuesta Metodológica para la Representación Cartográfica de los Ecosistemas del Ecuador Continental. CONDESAN, Quito.
- Bunge J & Fitzpatrick M.** 1993. Estimating the Number of Species: A Review. *Journal of the American Statistical Association* 88: 364–373.
- Cadilhac L, Torres R, Calles J, Vanacker V & Calderón E** 2017 Desafíos para la investigación sobre el cambio climático en Ecuador. *Neotropical Biodiversity* 3: 168–181.
- Cayueta L & Cerda IG.** 2012. Biodiversidad y conservación de bosques neotropicales. *Revista Ecosistemas* 21: 1–5.
- Chalar C.** 1994. Composición y abundancia del zoobentos del arroyo toledo (Uruguay) y su relación con la calidad de agua. *Revista chilena de historia natural* 67: 129–141.
- Chantigny MH.** 2003. Dissolved and water-extractable organic matter in soils: a review on the influence of land use and management practices. *Geoderma* 113: 357–380.
- Chao A, Colwell RK, Lin C-W & Gotelli NJ.** 2009. Sufficient sampling for asymptotic minimum species richness estimators. *Ecology* 90: 1125–1133.
- Colwell R.** 2013. EstimateS: Statistical Estimation of Species Richness and Shared Species from Samples. Software and User's Guide. Version 9.1.0.
- Damanik-Ambarita MN, Lock K, Boets P, Everaert G, Nguyen THT, Forio MAE, Musonge PLS, Suhareva N, Bennetsen E, Landuyt D, Dominguez-Granda L & Goethals PLM.** 2016. Ecological water quality analysis of the Guayas river basin (Ecuador) based on macroinvertebrates indices. *Limnologica* 57: 27–59.
- Dornfeld C, Espíndola EL, Fracacio R & Kawamura B.** 2006. Comparação de Bioensaios Laboratoriais e “in situ” Utilizando Chironomus xanthus na Avaliação da Toxicidade de Sedimentos do Rio Monjolinho (São Carlos, SP). *J. Braz. Soc. Ecotoxicol* 1: 161–165.
- Galarza FER, Rivera JV, Puig JPR & Yáñez-Cajo DJ.** 2017. Ictiofauna de los ríos Zuñag y Anzu en el Corredor Ecológico Llanganates - Sangay, Provincias de Pastaza y Tungurahua, Ecuador. *Boletín Técnico, Serie Zoológica* 13
- Hau J & Schapiro SJ.** 2010. Handbook of Laboratory Animal Science, Volume I, Third Edition: Essential Principles and Practices. CRC Press.
- Jiménez-Valverde 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.
- LeBlanc RT, Brown RD & FitzGibbon JE** 1997 Modeling the Effects of Land Use Change on the Water Temperature in Unregulated Urban Streams. *Journal of Environmental Management* 49: 445–469.

- Lenat DR.** 1988. Water Quality Assessment of Streams Using a Qualitative Collection Method for Benthic Macroinvertebrates. *Journal of the North American Benthological Society* 7: 222-233.
- Mittermeier RA, Mittermeier CG & Robles Gil P.** 1997. Megadiversity: earth's biologically wealthiest nations. 1st English ed. Ciudad de México.
- Morelli E & Verdi A.** 2014. Diversidad de macroinvertebrados acuáticos en cursos de agua dulce con vegetación ribereña nativa de Uruguay. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85: 1160-1170.
- Murrieta-Morey GA, Nájar J & Alcantara-Bocanegra F.** 2016. Incubación de huevos y determinación del ciclo biológico de *Chironomus* sp. (Chironomidae, Díptera) en cubetas de plástico. *Folia Amazónica* 25: 37-44.
- Ordóñez-Delgado L, Ramón-Vivanco C & Ortiz-Chalán V.** 2019. Revisión Sistemática del Estado del conocimiento de los Vertebrados del Parque Nacional Podocarpus. *La Granja* 30: 7-18.
- Pazmiño A.** 2010. Variabilidad temporal y espacial de las precipitaciones en zonas de montaña: Caso del volcán Antisana. Bachelor Thesis, Escuela Politecnica Nacional, Quito - Ecuador
- R Core Team.** 2016. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria
- Roldan GA.** 1986. Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos en el departamento de Antioquia. Universidad de Antioquia, Colombia
- Roldan GA.** 2003. Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: propuesta para el uso del método BMWP Col. Universidad de Antioquia, Colombia
- Rosado ÁY, Yanez ÁBY, Zambrano JU, Cabezas DCM, Chuez NMG & Cajas CCT.** 2017. Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de calidad hídrica en áreas de descargas residuales al río Quevedo, Ecuador. *Ciencia y Tecnología* 10: 27-34.
- Sierra R, Palacios W, Cerón C & Valencia R.** 1999. Propuesta preliminar de un sistema de clasificación de vegetación para el Ecuador continental. Proyecto INEFAN/GEF-BIRF. EcoCiencia, Quito.
- Sklenář P, Kučerová A, Macková J & Romoleroux K.** 2016. Temperature Microclimates of Plants in a Tropical Alpine Environment: How Much does Growth Form Matter? *Arctic, Antarctic, and Alpine Research* 48: 61-78.
- Soberón J & Llorente J** 1993. The use of species accumulation functions for the prediction of species richness. *Conservation Biology* 7: 480-488.
- Stark J, Boothroyd I, Harding J, Maxted J and Scarsbrook M.** 2001. Protocols for sampling macroinvertebrates in wadeable streams. Prepared for the Ministry for the Environment. Sustainable Management Fund Project No. 5103. New Zealand.