

MEDICIÓN Y ANÁLISIS DE LA DIVERSIDAD DE COMUNIDADES HIDROBIOLÓGICAS: UNA PERSPECTIVA DESDE LA INGENIERÍA AMBIENTAL

Benjamín Atehortúa Trujillo¹, Esnedý Hernández Atilano¹, Néstor Aguirre Ramírez¹, Fabio de Jesús Vélez Macías¹, Juan Serna López¹, Julián Ruiz Toro¹, Mabel Monsalve Velazco²

¹Grupo de investigación GeoLimna, facultad de ingeniería, Universidad de Antioquia. Colombia

²Universidad Industrial de Santander, estudiante en intercambio en el grupo GeoLimna. Colombia
benjamin.atehortua@udea.edu.co

RESUMEN

Mediante un conjunto de herramientas se buscó mejorar la medición de la biodiversidad para la comprensión de las comunidades hidrobiológicas y su relación con ecosistemas acuáticos. Se estudió la biodiversidad de cuatro comunidades acuáticas. Se realizaron tres campañas de muestreo durante 2016 y 2017 en tres estaciones establecidas en la zona de represa y en la quebrada La Nitrera la cual aporta mayor caudal. El sistema lótico mostró relación entre la riqueza y el índice de diversidad de Shannon ($r=0.85$). Para el sistema léntico se obtuvieron asociaciones entre el índice de equidad con el de diversidad ($r=0.94$), por lo tanto, el índice de diversidad puede explicar cambios en las otras métricas. La distribución de los organismos mostró diferencias entre los ecosistemas. En la quebrada la disponibilidad de hábitat fue el factor determinante. En la represa las dinámicas de la captación de agua influyeron en la diversidad de las comunidades.

Palabras clave: Biodiversidad; quebrada; represa; ecosistema.

Recibido: 04 de Octubre de 2018. Aceptado: 12 de Diciembre de 2018

Received: October 04, 2018. Accepted: December 12, 2018

BIOLOGICAL DIVERSITY, A NUMERICAL ROUTE FOR HIS MEASUREMENT AND ANALYSIS

ABSTRACT

Through a set of tools we seek to improve the measurement of biodiversity to understand the hydrobiological communities and their relationship with aquatic ecosystems. We did three field surveys during 2016 and 2017 in three stations in the dam and three in the La Nitrera creek, which provides a greater flow. In the lotic system we find relationship between richness and the Shannon diversity index ($r = 0.85$). For the lentic system we obtained associations between the evenness index and the diversity index ($r = 0.94$), therefore, the diversity index may explain changes in the other metrics. The distribution of organisms showed differences between ecosystems. In the creek the availability of habitat was the determining factor. In the dam, the dynamics of water catchment influenced the diversity of the communities.

Keywords: Biodiversity; creek; dam; ecosystem.

Cómo citar este artículo: B. Atehortúa, E. Hernández, N. Aguirre, et al., "Medición y análisis de la diversidad de comunidades hidrobiológicas: una perspectiva desde la ingeniería ambiental", *Revista Politécnica*, vol. 15, no.28 pp.32-41, 2019. DOI: <https://doi.org/10.33571/rpolitec.v15n28a3>

1. INTRODUCCIÓN

Debido a su posición latitudinal y características geográficas, Colombia cuenta con una orografía y variedad de regímenes climáticos que generan una disponibilidad de agua seis veces mayor que el promedio mundial y 3 veces mayor que el latinoamericano, ubicándose dentro de los 10 países con mayor riqueza hídrica y como el segundo país más biodiverso a nivel mundial[1], [2]. No obstante, uno de los problemas a los que se enfrenta la gestión del recurso hídrico dentro del territorio colombiano es la diversificación de las necesidades (demanda) que en ocasiones supera la oferta. Situación que exige el reconocimiento de las características de los ecosistemas y sus dinámicas; base útil en el manejo adecuado de los recursos naturales [2].

En este contexto el analizar y comprender la variabilidad de la biodiversidad representa un instrumento útil en la evaluación de la estructura de un ecosistema. Las ingenierías relacionadas con líneas de investigación ambiental proporcionan un enfoque ecosistémico que propicia la contextualización e internacionalización de las políticas, acuerdos, modelación, restauración y diferentes directrices asociadas a las relaciones del hombre con los recursos naturales[3].

Actualmente, una de las premisas de diagnóstico ambiental se encuentra centrada en cómo optimizar la utilidad de las mediciones a través de un conjunto de herramientas matemáticas que permitan la comprensión del comportamiento de la biodiversidad y su relación con el entorno para finalmente incluir esta ruta en el contexto gubernamental. Entendiendo por biodiversidad la variabilidad que se pueda dar entre ecosistemas, especies o genes, basándose en cuántos hay diferentes y las frecuencias en las que se presentan, es decir su riqueza y abundancia[4], [5].

Sin dejar de lado el trabajo interdisciplinario, el ingeniero tiene la capacidad de comprender ese recurso a través de la integración de conocimientos adquiridos, es decir, ser capaz de analizar la información que los ecosistemas le brindan en cada uno de sus componentes, por medio de la aplicación de herramientas y lenguajes técnicos, de tipo termodinámico, matemático, químico entre otros, poder determinar la forma adecuada de aprovechar el recurso en miras del progreso de la sociedad, lo

que lo convierte en sí mismo en una valiosa herramienta al servicio de la sociedad y un complemento esencial al trabajo interdisciplinario[6].

Uno de estos ejercicios puede darse a través del análisis del recurso hídrico, debido a que incluye el conocimiento de la dinámica del ecosistema y en consecuencia una forma óptima de uso que genere bajo impacto, en ese contexto, un adecuado diagnóstico a través de la biodiversidad se convierte en una herramienta pertinente en la divulgación del conocimiento y posterior uso del mismo.

Por tal motivo en el municipio de Concordia, el parque la Nitrrera en especial su embalse, representa un foco estratégico para la preservación de la calidad de vida de su población, debido a que este es el principal abastecedor de agua del sistema de acueducto, por esto se hace indispensable conocer la estructura termodinámica representada a través de diferentes expresiones de la energía del sistema, además de la influencia de las actividades que se presentan a su alrededor[7].

Para poder conseguirlo es necesario generar una mirada integral de este ecosistema por tanto se propone una ruta numérica para analizar en todo su espectro la biodiversidad, es decir, comprender cada una de las herramientas que ayudan a su medición óptima desde el quehacer ingenieril, la cual comprende la aplicación de herramientas matemáticas y termodinámicas que permiten explicar el funcionamiento de los ecosistemas y su relación con las actividades antrópicas, para así, apoyar la construcción de estrategias que faciliten el manejo apropiado del sistema.

La primera herramienta son las curvas de rarefacción, las cuales son una relación entre el número de individuos y las especies presentes en cada momento de muestreo, permitiendo la comparación de muestras con diferentes tamaños, así como el análisis cualitativo sobre si la metodología de muestreo fue la adecuada[8]. El segundo instrumento son las curvas de acumulación de especies. Son empleadas para concluir si la muestra tomada es representativa del lugar estudiado con relación a los esfuerzos de muestreo, permitiendo comparar la riqueza numérica en diferentes momentos [8].

En tercera son las curvas de rango/abundancia. Las cuales muestran la distribución específica por rangos en cada una de las especies presentes en el muestreo, siendo el principal indicador de la estructura de la comunidad. Estas curvas se pueden comprender con la ayuda de la evaluación de los modelos paramétricos que buscan establecer el comportamiento de los organismos en relación con la probabilidad de colonizar el espacio y aprovechar el recurso disponible [9].

Una vez evaluadas las herramientas anteriores, se hace pertinente analizar los índices biológicos. La medición de la diversidad a través de una expresión numérica es una discusión que ha estado presente desde hace algunas décadas y por esta razón existe gran cantidad de índices que pueden llegar a expresar lo mismo, es decir, que pretenden resolver la riqueza y la uniformidad en una expresión sencilla, para así comprender la importancia de la identidad de las especies y así entender la compleja red de conexiones que existen en la unidad de muestreo[9]. En el investigador estará la decisión de elegir uno u otro índice según su necesidad.

Independiente de los índices biológicos que se escojan, es indispensable estimar correlaciones entre éstos, con el fin de analizar las posibles consecuencias que tiene cada uno sobre los otros y como esto se ve relacionado con las condiciones ambientales y la estructura de la comunidad en determinado momento [9].

El presente estudio pretende representar una línea base acerca de cómo interpretar la diversidad de las principales comunidades hidrobiológicas que tienen lugar en la represa, para ello se evaluarán los mecanismos bióticos y abióticos que se relacionan con el cambio de materia y energía, obteniendo una panorámica funcional del ecosistema a través del tiempo. El establecimiento de dicha línea base posibilitará a las autoridades administrativas como la alcaldía de Concordia, instaurar los cimientos del manejo ambiental de la represa por medio de la obtención de indicadores de estrés asociados a los rangos de los componentes de diversidad.

2. MATERIALES Y METODO

2.1 Área de estudio

La represa “Miguel Martínez Isaza” se ubica en una reserva de carácter local llamada Parque Natural La

Nitrera en el municipio de Concordia, suroeste antioqueño con una extensión cercana a los 100 000 km², una altitud media de 2161 m.s.n.m. en el nivel del embalse. La temperatura media del parque registrada es de 17°C y la pluviosidad se aproxima a los 2000 mm/año. La zona de vida del Parque corresponde, a Bosque húmedo montano bajo con un efluente principal (quebrada La Nitrera) *Error! Reference source not found.*[10], [11]. Con el objetivo de tener un análisis espacio temporal de estas comunidades se realizaron tres campañas intentando abarcar tres épocas hidrológicas diferentes en el mes de septiembre de 2016 (época de transición), diciembre de 2016 (época de lluvia) y febrero de 2017 (época de sequía) (Figura 1).

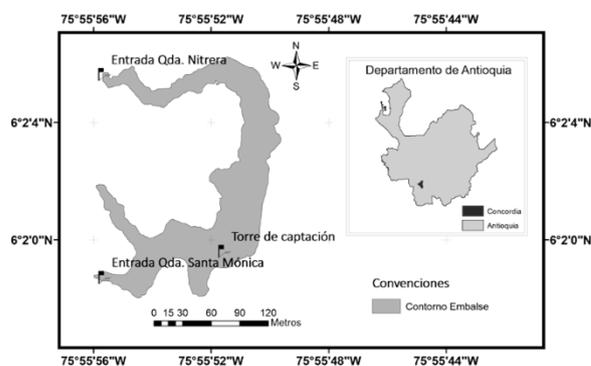


Fig. 1. Localización de la represa

Analisis de la biodiversidad

Para analizar la biodiversidad se tuvieron en cuenta las comunidades hidrobiológicas representativa de los dos ecosistemas[12]. En el sistema léntico que corresponde a la zona de represa se analizó la comunidad fitoplanctónica y zooplanctónica, se ubicaron tres estaciones en la entrada de la quebrada La Nitrera, torre de captación y en la entrada de la quebrada Santa Mónica (Figura 1). El sistema lótico se localizó en la quebrada La Nitrera, donde se establecieron tres estaciones de muestreo en la parte alta, parte media y antes de la desembocadura; allí se analizó la comunidad de macroinvertebrados acuáticos y perifiton. Para la comunidad perifítica se establecieron 4 estaciones de muestreo adicionales que fueron utilizadas para generar una discusión con respecto a los esfuerzos de muestreo para el resto de las comunidades en las que se tuvieron en cuenta tres estaciones de muestreo.

Se realizaron muestreos por cada comunidad de forma cuantitativa según lo propuesto por el Standar Methods (año) [13]. Posteriormente las muestras fueron llevadas al laboratorio de hidrobiología para su respectiva identificación hasta el nivel taxonómico género, con la ayuda de claves taxonómicas especializadas.

Para estudiar la diversidad se realizó una matriz de datos electrónica en una plantilla de Excel y se procedió a hallar las densidades por cada género identificado en cada comunidad y en cada muestreo. La densidad de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos fue determinada a partir del área específica de la red Surber, es decir, la densidad de cada género correspondió a todos los organismos encontrados en la red. Para el zooplancton se estimó la densidad mediante el conteo de los organismos presentes en la muestra completa debido a la baja presencia de organismos en la muestra [14].

La densidad de la comunidad fitoplanctónica y perifítica se determinó con el número de campos contados, la cantidad de organismos encontrados, altura de la cámara (mm), un factor de conversión de unidades volumétricas y el área específica en la cual se analizó la muestra, todo esto para aplicar la fórmula descrita por Ross [15].

Tal ruta implica una serie de pasos que permiten analizar las identidades biológicas por medio de niveles de ocurrencia y frecuencia en el tiempo y en el espacio, y para hacerlo se recomienda establecer una jerarquía matemática que permita comprender el modelo de distribución al que mejor se ajuste el grupo analizado (cita).

Las curvas de rarefacción se desarrollaron en el programa PAST (software libre). Teniendo como eje vertical el número de individuos y como eje horizontal el número de especies[16], [17]. Las curvas de acumulación también fueron desarrolladas en PAST, la extrapolación se creó a través del análisis del inventario de especies (eje vertical) en relación con el número de estaciones (eje horizontal)[18], [19].

La elaboración de las curvas de acumulación y la posterior verificación de los modelos paramétricos aceptados se realizaron en el software estadístico PAST. Donde los modelos evaluados fueron el geométrico, logarítmico, palo quebrado y log-normal,

debido a que son los más usados y de mejor afinidad para datos biológicos[20], [21].

Para estimar los índices biológicos, se utilizaron los tres indicadores más usados en la literatura, pero también se buscó que tuvieran alguna relación con la gestión hídrica. Por tanto para este trabajo se empleará el índice de diversidad de Shannon[22], dominancia de Simpson[23] y equidad de Pielou[24]. Estos son índices que han sido ampliamente usados y la guía de ordenamiento del recurso hídrico para Colombia los propone como métrica de análisis de la biodiversidad en ecosistemas acuáticos [25]. Posteriormente se realizaron correlaciones de Spearman con los resultados obtenidos para cada índice. Estos análisis se desarrollaron en el software libre R.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el total de los muestreos se encontró que la comunidad que presentó mayor riqueza fue la comunidad de macroinvertebrados con 39 organismos o taxa agrupados en 29 familias seguido del fitoplancton con 37 taxa pertenecientes a 26 familias; y por último la comunidad zooplanctónica con sólo 10 taxa que pertenecen a 5 familias (borré los datos de perifiton :/). Una vez realizada la aproximación de uno de los componentes de la diversidad (la riqueza), es pertinente seguir ampliando el análisis involucrando los esfuerzos de muestreo realizados, la relación entre cada sistema léntico y lótico y como cada tipo de sistema condiciona el comportamiento de las comunidades. El análisis de este tipo de gráficas se debe hacer por separado para cada comunidad, dado que la función inicial de estas gráficas es identificar si a través del muestreo se logró coleccionar organismos representativos del ecosistema, lo cual se ve reflejado en la asíntota de cada curva (Figura 2) [18].

Teniendo en cuenta que se realizó el mismo esfuerzo de muestreo por cada estación, se observa que en el ecosistema la curva de acumulación de especies que presentó mayor variación fue del fitoplancton en el muestreo 2 con el mayor número de individuos (28 taxa), mientras que en los otros dos muestreos se encontraron 22 taxa.

Se observa que en el muestreo 2 hay mayor riqueza y la curva de acumulación de especies tiene una pendiente mucho más alta la curva de los otros dos muestreos, esto podría indicar que, a pesar de no presentarse asíntota en los muestreos, las curvas presentan pendientes suavizadas por lo que se considera que el muestreo fue representativo. Para explicar que cierta comunidad presenta mayor riqueza que otra, se deben tener en cuenta otros factores ambientales, geológicos, hidrológicos físicos, químicos, etc. y en general variables que permitan tener una “perspectiva” de la dinámica de la represa.

La comunidad zooplantónica presenta condiciones diferentes, el muestreo en el que más taxa se encuentran corresponde al muestreo 3 (época de sequía), seguido del muestreo 1 (época de

transición), por último, el muestreo 2 fue el que presentó menor número de individuos (época de lluvias). Por otra parte, las primeras dos campañas muestran pendientes nulas lo que indica que el número de taxa encontrado representa a la mayoría reportada (Figura 2) [26].

En contraste, la comunidad de macroinvertebrados en el muestreo 2 y en el muestreo 3 muestra curvas de acumulación de especies similares. Así mismo se observa que aunque sus curvas de acumulación de especies no tienen asíntota, las pendientes presentan decadencia, lo que lleva a pensar que para algunos muestreos se llegó a un número cercano del total de las taxa o por lo menos a un número óptimo de muestreo.[8].

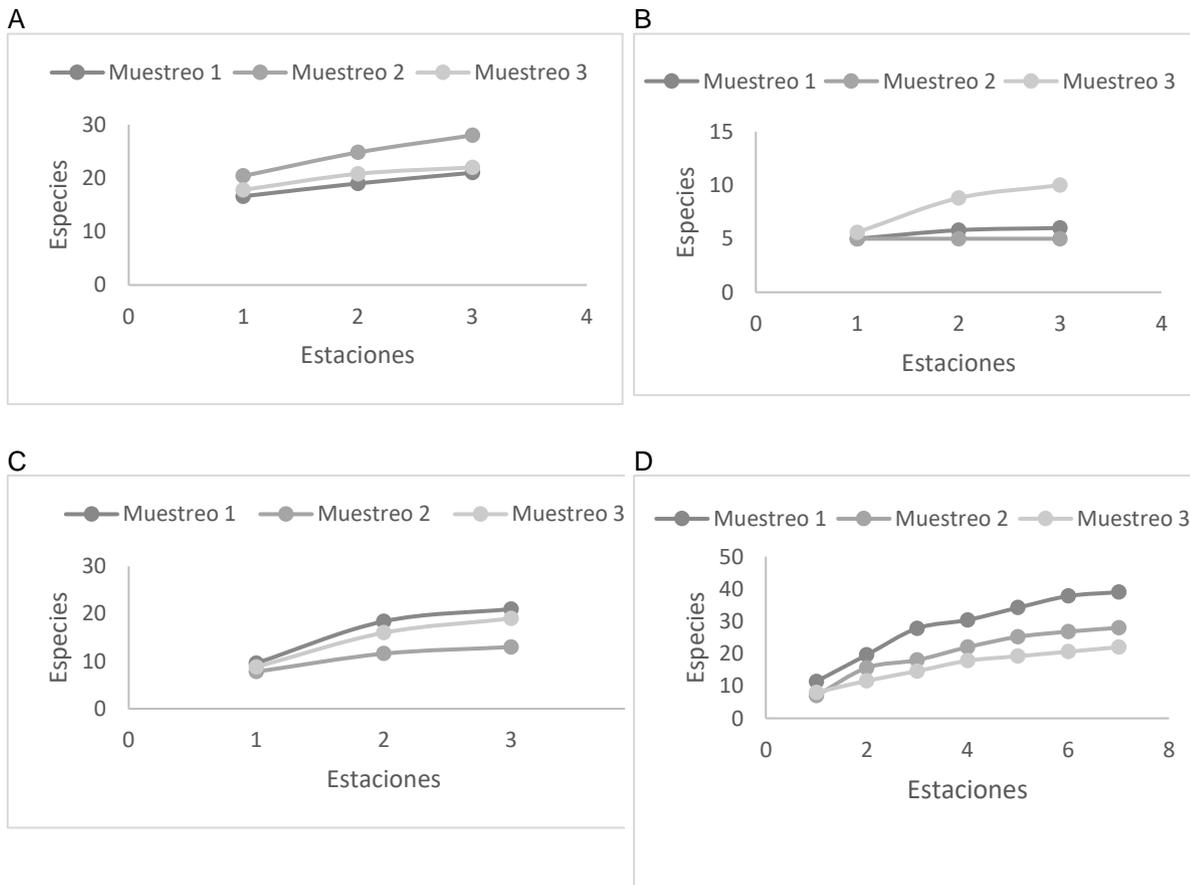


Fig. 2. Curvas de acumulación de especies, para cada muestreo de la comunidad: A) fitoplanctónica; B) zooplantónica; C) macroinvertebrados; D) perifítica

La comunidad perifítica representó la comunidad más diversa, además, es la comunidad que más diferencia presenta en el número de taxa para cada muestreo; en esta comunidad las pendientes son relativamente suaves, al analizar la curva de acumulación de especies para dicha comunidad se puede observar su decadencia para las tres campañas de muestreo, lo que indica que el número de taxa, aunque pueda aumentar mucho, por lo contrario un posible aumento se puede atribuir a la aparición de algunos individuos raros que se puedan presentar en el ecosistema [21].

Las curvas de acumulación de especies son una representación de la distribución de la comunidad y “cómo se comportan los datos”, que permite representar una medida de la diversidad, gracias a que constituyen un indicador de la riqueza de cada muestreo, lo cual puede tener múltiples aplicaciones dentro de la gestión ambiental, estudiar la biodiversidad. Dentro de estos usos se encuentra realizar inventario de otras comunidades de fauna y flora con el propósito de conservar (preservar, proteger y otros de la gestión ambiental etc... relacionados con la calidad de agua y el bienestar de la población del municipio de Concordia) especies endémicas, clave o de importancia económica para la región.[8].

Se resalta que no siempre las diferentes comunidades necesitan la misma cantidad de estaciones de muestreo y algunas metodologías de toma de material requieren más esfuerzo que otras. Al comparar la comunidad perifítica con la de macroinvertebrados se puede ver que a pesar de que el perifiton fue muestreado en 4 estaciones, sus curvas de acumulación de especies están más alejadas de la asíntota que la comunidad de macroinvertebrados. En algunos casos no es posible realizar un muestreo representativo de la comunidad por diversos factores de disponibilidad de tiempo o recursos, en estos casos resulta efectivo realizar un análisis cualitativo y cuantitativo en

términos de porcentaje de especies encontradas en cada muestreo y usar gráficos de barras y tortas para mostrar la distribución de los datos [24].

Para comprender la diversidad desde su otro componente, la abundancia relativa [24], se utilizaron herramientas como modelos paramétricos, además de describir la estructura de una comunidad estos análisis permiten comprender como los organismos están relacionados con la colonización de espacio y el aprovechamiento del recurso disponible, lo que representa un valioso análisis para las comunidades y la relación con su entorno.

Bajo la evaluación de los modelos paramétricos se encontró que los datos de la comunidad zooplantónica y de macroinvertebrados se distribuyeron de manera general bajo el modelo de Palo quebrado, indicando que en estas comunidades se presenta una alta equidad en términos de las abundancias relativas de cada taxa, lo cual implica una distribución de los recursos distributiva en forma similar; al obtener buenos ajustes al modelo de palo quebrado. Se observó a través del análisis de muestras de manera cualitativa y cuantitativa que hubo una tendencia de la distribución de la comunidad. De acuerdo con la agrupación de los taxa en familias, la estructura de la comunidad estuvo compuesta por organismos relacionados filogenética, funcional y/o morfológicamente y que por tanto, podrían estar aprovechando los recursos de manera similar [9], lo que también hace que cada taxa tiene la misma probabilidad de colonizar y no dependa en grandes rasgos de la colonización de otras taxa [20].

Sin embargo, algunos modelos presentan probabilidad de aceptación mayor al 50% en algún momento para estas comunidades, indicando que el dominio de las distribuciones es del tipo palo quebrado influenciadas a su vez por patrones de distribución característicos de otros modelos en este caso en mayor peso de la serie geométrica y la

logarítmica. Esto está relacionado con las dinámicas del sistema. La comunidad de macroinvertebrados asociada a una zona lótica de alta pendiente cuyo hábitat fluctúa por los fuertes cambios en el caudal, lo que no les permite a los individuos estabilizarse en el tiempo, por su parte el zooplancton, aunque no presenta problemas con el caudal este es afectado por la captación de agua que también genera una alteración en las dinámicas de colonización del sistema. Por tal motivo estas dos comunidades encajan en el modelo palo quebrado, el cual no es común en la naturaleza bajo estas condiciones, pero se puede dar en condiciones de estrés. Sin dejar de lado la influencia de los otros modelos que tienden a describir procesos normales de las comunidades [20].

Analizando la comunidad fitoplanctónica y perifítica se puede identificar una aceptación del modelo Log-Normal en la mayoría de las estaciones, lo cual indica que la comunidad es la más numerosa y el modelo representa un número alto de taxas e individuos (miles) [24]. De forma similar esta distribución es característica para comunidades estables, lo cual, indica que esta comunidad presenta una estabilidad en la relación de taxa, individuos y consumo de recursos [20].

La aceptación de este modelo por las comunidades anteriores está asociada a que estas comunidades necesitan menor recurso para establecer sus procesos funcionales, así como menor espacio (hábitat) y no son afectadas de una manera fuerte por la dinámica de los sistemas, permitiendo que sus procesos se desarrollen con mayor normalidad.

Después de emprender una ruta de comprensión basada en curvas de acumulación de especies y los modelos paramétricos se ejecutan el análisis de los índices, los cuales representan la extensión del funcionamiento de los ecosistemas en una expresión sencilla convertida a un valor numérico. En primer lugar, se analiza la riqueza numérica (R), debido a que presenta un comportamiento particular para las comunidades pertenecientes al sistema lótico y otro para el léntico. Se encontró que la riqueza para el

zooplancton y el fitoplancton muestran valores muy cercanos a su media, aspecto corroborado con la baja desviación estándar registrada (media de 5 con una desviación de 0,49 y 17,67 con una desviación de 2, zooplancton y fitoplancton respectivamente), en contraste, los macroinvertebrados y el perifiton presentan valores de desviación altos (media de 8,44 y 9,22 y desviación estándar de 3,74 y 3,39, respectivamente). Los valores en algunas estaciones están alejados de su media lo que indica que estas comunidades no presentan estabilidad y su riqueza es sensible a cambios en el espacio y en el tiempo.

En cuanto a la equidad y dominancia se encontró que las comunidades pertenecientes al sistema lótico presentan las medias más bajas (0,22 y 0,29, macroinvertebrados y perifiton respectivamente) mientras que la comunidad fitoplanctónica presenta la media más alta de 0,42, lo que indica que la comunidad fitoplanctónica presenta organismos que pueden llegar a dominar en ciertos espacios, las otras tres comunidades presentan distribuciones más equitativas, lo cual se corrobora con los altos valores de equidad los cuales son superiores a 0,74.

En relación al índice de diversidad se puede informar que las comunidades presentan valores entre 1,39 y 1,89, analizar estos valores en forma individual o absoluta no es pertinente, por lo que se recomienda realizar contrastes entre estaciones o relaciones entre los componentes, la opción de relacionar los valores encontrados para este índice con los valores de otros, permite interpretar los cambios de la diversidad Shannon y Weaver en función de la distribución de la riqueza, del índice de equidad y de dominancia, tal como lo recomienda [12], [27] y es sintetizado en la (Figura 3), al respecto, todas las comunidades presentaron relaciones superiores a 0.8 con la dominancia con $P < 0.05$; asimismo, las comunidades lenticas (Fitoplancton y Zooplancton) generaron una relación alta de la diversidad con la equidad (con coeficientes mayores a 0,88 y $P < 0,05$), mientras que la relación entre la diversidad y la riqueza fue baja (Coeficientes menores a 0.38 y $P < 0,05$), lo que indica que para estas comunidades los cambios en la diversidad estimada mediante el

índice de Shannon y Weaver pueden ser explicando mayormente por cambios en el índice de equidad y el índice de dominancia y viceversa. Las comunidades lólicas registraron un patrón de

relación alto entre la diversidad y la riqueza (con coeficientes mayores a 0,67 y $P < 0,05$), lo que indica que para estas comunidades la diversidad es descrita por cambios en la riqueza y la dominancia.

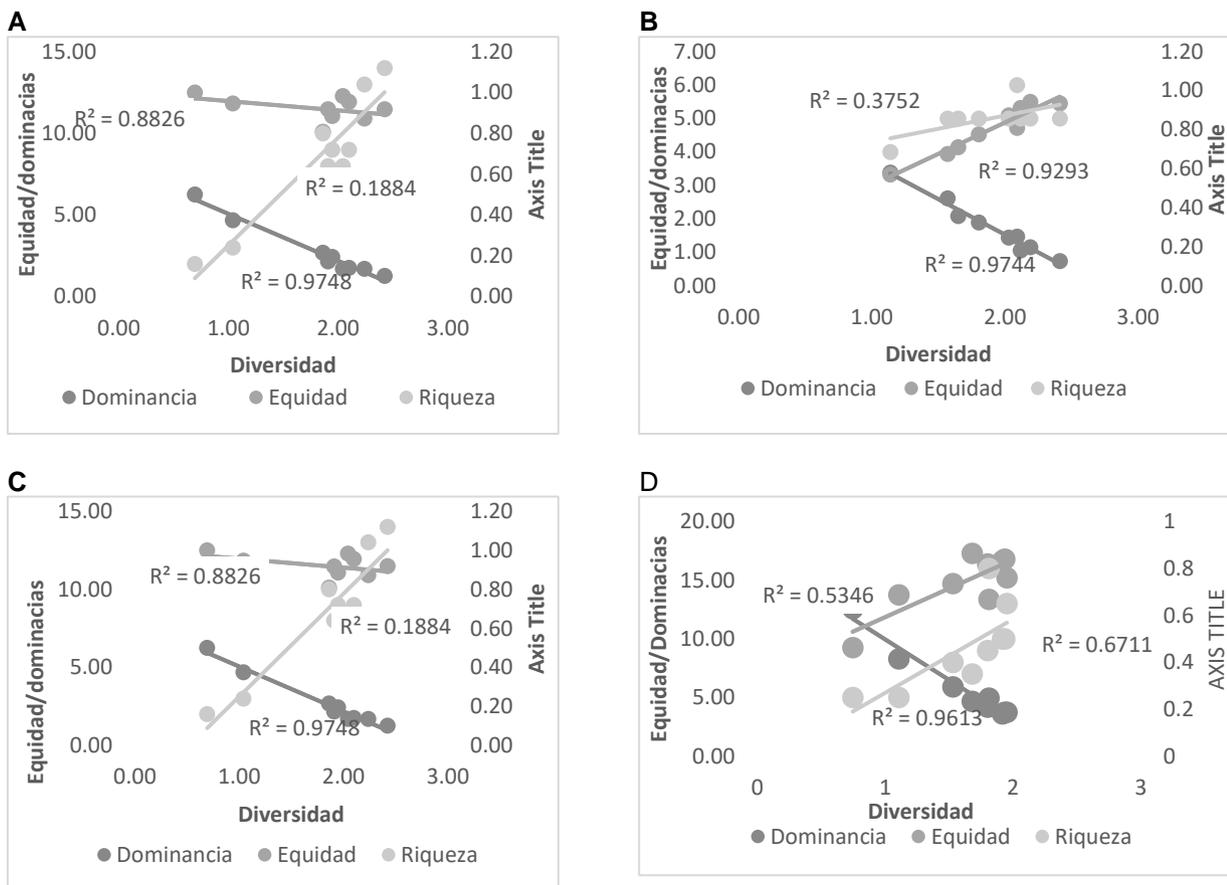


Fig. 3. Relación de la diversidad con la dominancia, equidad y riqueza, para las comunidades A) fitoplanctónica; B) zooplantónica; C) Macroinvertebrados; D) perifítica. Con $P < 0.5$

Para este estudio tenemos dos sistemas que, presentan condiciones climáticas similares puesto que su ubicación geográfica es la misma, sin embargo, sus condiciones geomorfológicas son diferentes, teniendo un sistema lotico y uno lentico, por tal motivo los procesos allí presentes son gobernados por las condiciones de dichos sistemas, caudal, cantidad de recurso y área (hábitat) disponible.

El sistema lentico es una represa de tamaño pequeño, hecha para la obtención de agua potable, lo que hace que mantenga una salida constante de agua hacia la planta de potabilización a través de su presa, es decir, existe un recambio constante de agua y aunque éste sea considerado un sistema léntico presenta un recambio continuo, por lo cual es probable que los individuos se mantengan por un período corto tiempo, lo que genera que as condiciones para las dos comunidades analizadas en el sistema este uy asociadas a esta dinámicas

facilitando que la comunidad con menores requisitos (recursos y hábitat) se la que mayor adaptabilidad tenga.

El sistema lotico presenta dos condiciones representativas, su velocidad de flujo y la fluctuación que presenta el hábitat, lo cual afecta de manera directa a las comunidades. Por su parte los macroinvertebrados necesitan espacio para colonizar y presentar adaptaciones que son mucho mayores que el perifiton, así como la adhesión a los sustratos es más rápida para las algas perifíticas que para los macroinvertebrados, dadas estas condiciones la comunidad de macroinvertebrados acuáticos es más propensa a la inestabilidad.

4. CONCLUSIONES

Los ecosistemas lénticos y lóticos expresaron una diferencia significativa. Mientras el sistema léntico representado por la represa, expresó una relación, entre la diversidad y la equidad, en la quebrada La Nitrera, ambiente lótico, se encontró relación entre la diversidad y la riqueza; es decir, en la represa la riqueza presenta valores estables mientras que la equidad fluctúa espacio-temporalmente y en la quebrada La Nitrera, la equidad de las comunidades presentes no varía ampliamente tanto en el espacio como en el tiempo mientras la riqueza muestra fluctuaciones a través del espacio-tiempo.

una explicación a los comportamientos de las comunidades biológicas es a través de la termodinámica, la diversidad es el proceso que como observadores nos permite analizar si los sistemas biológicos se alejan de sus estados de máxima entropía. En un caso de estudio de comunidades acuáticas, la comunidad fitoplanctónica fue la comunidad que mayor estabilidad presentó en los muestreos lo que nos indica que es la comunidad que más procesos tiene para retrasar su entropía máxima mientras que la comunidad que mayor incertidumbre tiene son los macroinvertebrados es decir la entropía observada se acerca a la máxima en comparación con las otras comunidades. Por tanto, desde la gestión se pueden

tener presente la comunidad de algas para analizar alteraciones futuras debido a que esta presenta procesos más estables.

Cuando se desea analizar la diversidad de una comunidad biológica, se deben tener en cuenta la mayor cantidad de parámetros posibles que no representen sobre o subestimación, también se debe realizar un análisis preliminar de cada parámetro para finalmente realizar una retroalimentación de todos los parámetros en conjunto, para llegar al análisis final de la diversidad.

5. AGRADECIMIENTOS

A los proyectos titulados: *Diagnostico físico biótico del parque natural La Nitrera: sistema de abastecimiento de agua del municipio de concordia acta 2017-17947*. Y *Caracterización de la biodiversidad en el área de influencia de la reserva natural La Nitrera, Concordia, Antioquia, Colombia acta 2017-18389*. A cada uno de los investigadores participantes en estos proyectos.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] IDEAM, "ESTUDIO NACIONAL DEL AGUA: INFORMACIÓN PARA LA TOMA DE DECISIONES," 2015. [Online]. Available: http://www.ideam.gov.co/web/sala-de-prensa/noticias/-/asset_publisher/96oXgZAhHrhJ/content/estudio-nacional-del-agua-informacion-para-la-toma-de-decisiones. [Accessed: 20-Sep-2016].
- [2] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, "Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos (PNGIBSE)," 2012.
- [3] Naciones Unidas, "Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)," 2015.
- [4] Naciones Unidas, "Convenio sobre la diversidad biológica," 1992.
- [5] R. Margalef, "Ecología, ed," *Omega, Barcelona*, vol. 951, 1974.
- [6] E. Tamayo, "Importancia De La Valoración De Servicios Ecosistémicos Y Biodiversidad Para La Toma De Decisiones," *Rev.*

- Ciencias Ambient. y Sostenibilidad CAS*, vol. 1, no. 9, pp. 16–28, 2014.
- [7] Alcaldía de Concordia, “Esquema de ordenamiento territorial,” pp. 1–77, 2001.
- [8] A. Jiménez and J. Hortal, “Las curvas de acumulación de especies y la necesidad de evaluar la calidad de los inventarios biológicos,” *Rev. ibérica Aracnol.*, vol. 8, no. 31, pp. 151–161, 2003.
- [9] A. E. Magurran, “Diversidad Ecológica y su medición, traducción Antonia M.,” *Cirer, Barcelona, España*, 1988.
- [10] Grupo GeoLimna, “FICHA TÉCNICA: Diagnóstico Físico-Biótico del Parque Natural La Nitrera: sistema de abastecimiento de agua del municipio de Concordia.” 2015.
- [11] Alcaldía de Concordia, “Nuestro Municipio,” 2013. .
- [12] G. R. Pérez and J. J. R. Restrepo, *Fundamentos de limnología neotropical*, vol. 15. Universidad de Antioquia, 2008.
- [13] W. R. Eugene, B. B. Rodger, D. E. Andrew, and S. C. Lenore, “Standard methods for the examination of water and wastewater,” *Am. Public Heal. Assoc. Am. Water Work. Assoc. Water Environ. Fed. 22nd edn. Washingt. DC, USA Google Sch.*, 2012.
- [14] Néstor Aguirre, “Métodos de campo y de laboratorio para estudios de calidad de agua dulce,” *Grup. GeoLimna*, 2013.
- [15] J. Ros, “Prácticas de Ecología.–181 pp,” *Ediciones Omega, SA, Barcelona*, 1979.
- [16] T. O. Crist and J. A. Veech, “Additive partitioning of rarefaction curves and species–area relationships: unifying α -, β - and γ -diversity with sample size and habitat area,” *Ecol. Lett.*, vol. 9, no. 8, pp. 923–932, 2006.
- [17] N. Ding *et al.*, “Different responses of functional traits and diversity of stream macroinvertebrates to environmental and spatial factors in the Xishuangbanna watershed of the upper Mekong River Basin, China,” *Sci. Total Environ.*, vol. 574, pp. 288–299, 2017.
- [18] R. K. Colwell, C. X. Mao, and J. Chang, “Interpolando, extrapolando y comparando las curvas de acumulación de especies basadas en su incidencia,” *Ecology*, vol. 85, no. 10, pp. 2717–2727, 2004.
- [19] N. J. Gotelli and R. K. Colwell, “Quantifying biodiversity: procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness,” *Ecol. Lett.*, vol. 4, no. 4, pp. 379–391, 2001.
- [20] N. J. Gotelli and G. R. Graves, “Null models in ecology.”, 1996.
- [21] A. E. Magurran, “Measuring biological diversity. Blackwells.” Oxford, UK, 2004.
- [22] C. E. Shannon, “A Mathematical Theory of Communication,” 1948.
- [23] E. H. Simpson, “Measurement of diversity.”, *Nature*, 1949.
- [24] C. E. Moreno, *Manual de métodos para medir la biodiversidad*, no. Sirsi) i9789688345436. Universidad Veracruzana., 2001.
- [25] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, “GUÍA TÉCNICA PARA LA FORMULACIÓN DE PLANES DE ORDENAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO,” 2014.
- [26] H. Villarreal *et al.*, “Métodos para el análisis de datos: una aplicación para resultados provenientes de caracterizaciones de biodiversidad,” *Man. Métodos Para el Desarro. Inventar. Biodiversidad. Inst. Investig. Recur. Biológicos Alexander von Humboldt, Bogotá, Colomb.*, pp. 185–226, 2006.
- [27] J. Ramírez, “Fitoplancton de agua dulce,” *Asp. ecológicos, taxonómicos y Sanit. Prim. ed. Medellín Editor. U A*, 2000.