

CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL
DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA

DIVISIÓN DE EDUCACIÓN

PROGRAMA DE POSGRADO

“Análisis del ambiente físico (agua y suelos) en función de los usos del suelo asociados a franjas ribereñas bajo el enfoque de Una salud (One Health), en la subcuenca de la quebrada La Mula, distrito de riego Arenal-Tempisque (DRAT), Costa Rica”

Tesis sometida a consideración de la División de Educación y el Programa de **Posgrado**
como requisito para optar al grado de

MAGISTER SCIENTIAE

en Manejo y Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas

Yefrin Valladares

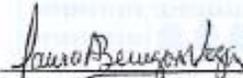
Turrialba, Costa Rica

2022

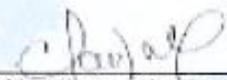
Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por la División de Educación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del estudiante, como requisito parcial para optar por el grado de

**MAGISTER SCIENTIAE EN MANEJO Y GESTIÓN INTEGRAL
DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS**

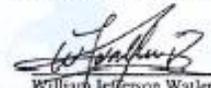
FIRMANTES:



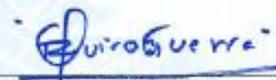
Laura Benegas Negri, Ph.D.
Codirectora de tesis



Claudia Sepúlveda López, M.Sc..
Codirectora de tesis



William Jefferson Watler Reyes
William Watler Reyes, M.Sc.
Miembro Comité Consejero



Roberto Quiroz Guerra, Ph.D.
Decano, Escuela de Posgrado



Yefrin Xavier Cruz Valladares
Candidato

Índice

Introducción	1
Metodología	3
Descripción del área de estudio	4
Análisis de la vegetación adyacente de la franja ribereña	6
Fase de campo	6
<i>Muestreo biológico de agua</i>	6
<i>Muestreo biológico del suelo</i>	7
Fase de laboratorio	8
<i>Identificación entomológica</i>	8
<i>Análisis estadístico</i>	8
<i>Aplicación de índices de calidad biológicos</i>	9
Resultados	10
Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)	10
Muestreo biológico del agua	12
<i>Análisis de parámetros fisicoquímicos</i>	12
<i>Comportamiento de los Macroinvertebrados Acuáticos (MIA) en función del uso del suelo en la quebrada La Mula</i>	13
<i>Índice de calidad de agua (BMWP'CR)</i>	17
Muestreo biológico del suelo	18
<i>Parámetros fisicoquímicos del suelo</i>	18
<i>Comportamiento de los Macroinvertebrados Edáficos (MIE) en función del uso del suelo de la franja ribereña en la quebrada La Mula</i>	19
<i>Comportamiento del índice de calidad del suelo (QBS-ar) en función de los usos y la vegetación adyacente de la franja ribereña de la subcuenca La Mula</i>	24
Comparación de los índices de calidad de agua y suelos (BMWP'CR/NDVI/QBS-ar) en función de usos del suelo de la subcuenca de la quebrada La Mula	25
Discusión	26
Efecto del uso del suelo en la calidad del agua	27
La calidad de suelos en función de la estacionalidad y usos del suelo	29
Relación entre índices de calidad de agua y suelos como indicadores del enfoque One Health (Una sola salud)	32
Conclusiones	34
Bibliografías	36
Anexos	49

Lista de figuras

Figura 1. Ubicación espacial del área de estudio en la subcuenca La Mula, cuenca del río Tempisque, Guanacaste, Costa Rica.....	4
Figura 2. Sitios de muestreo en la subcuenca La Mula obtenido desde el servidor satelital de USGS (2022).....	5
Figura 3. Cálculo de NDVI por temporada en la subcuenca La Mula.....	11
Figura 4. Clase/Familia de MIA encontradas en el cauce principal de la quebrada La Mula ..	14
Figura 5. Curvas de acumulación de especies de MIA encontrados en el cauce principal de la subcuenca La Mula	15
Figura 6. Dendrograma de similitud ecológica para MIA encontrados en el cauce principal de la subcuenca La Mula	16
Figura 7. Correlación entre usos del suelo, parámetros fisicoquímicos y la abundancia de MIA mediante análisis PLS en la quebrada La Mula	17
Figura 8. Comportamiento del índice BMWP'CR por temporada en la quebrada La Mula, Guanacaste, Costa Rica.....	18
Figura 9. Orden/Familia de MIE encontradas en la franjar ribereña de la quebrada La Mula .	20
Figura 10. Curvas de acumulación de especies de MIE de la franjara ribereña de la subcuenca La Mula.....	21
Figura 11. Dendrograma de similitud ecológica para MIE de la franja ribereña en la subcuenca La Mula.....	23
Figura 12. Correlación entre usos del suelo, parámetros fisicoquímicos y la abundancia de MIE mediante análisis PLS en la quebrada La Mula.	24
Figura 13. Comportamiento del índice QBS-ar por temporada en la franja ribereña de quebrada La Mula, Guanacaste, Costa Rica.	25
Figura 14. Comparación entre índices biológicos obtenidos en la subcuenca La Mula según análisis de correspondencia.	26
Figura 15. MIA del cauce principal de la subcuenca La Mula.	57
Figura 16. MIE de la franja ribereña de la subcuenca La Mula.....	58
Figura 17. Transectos de muestreo de MIE en la franja ribereña del cauce principal de la subcuenca La Mula	59
Figura 18. Muestreo de MIA en el cauce principal de la subcuenca La Mula	60
Figura 19. Cauce principal de la subcuenca La Mula.....	61
Figura 20. Algunos usos de suelos en la subcuenca La Mula.....	62
Figura 21. Variaciones estacionales en uso de suelos ganadero con vegetación adyacente (Va-G).	63
Figura 22. Fase de laboratorio (Limpieza e identificación de familias de MIA y MIE)	64
Figura 23. NDVI de la zona buffer del cauce principal de la subcuenca La Mula en temporada seca.....	65
Figura 24. NDVI de la zona buffer del cauce principal de la subcuenca La Mula en temporada lluviosa.....	66

Lista de tablas

Tabla 1. Ubicación geográfica de los usos del suelo y de la vegetación adyacente muestreados en la subcuenca La Mula	5
Tabla 2. Parámetros fisicoquímicos del cauce principal de la subcuenca La Mula en función de la temporada climática	12
Tabla 3. Parámetros fisicoquímicos del suelo en la franja ribereña de la subcuenca La Mula en función de la temporada climática y uso de suelos.....	19
Tabla 4. Análisis estadístico (MLGM) de los usos del suelo y temporalidad para los muestreos en la quebrada La Mula	21
Tabla 5. Prueba LSD Fisher aplicada a los usos del suelo y vegetación adyacente de la franja ribereña de la subcuenca La Mula	22
Tabla 6. Correlación entre los parámetros fisicoquímicos y las familias de MIE	49
Tabla 7. Índices de diversidad para MIA.....	50
Tabla 8. Índices de diversidades para MIE.....	51
Tabla 9. MIA temporada seca.....	52
Tabla 10. MIA temporada lluviosa	53
Tabla 11. MIE temporada seca	54
Tabla 12. MIE temporada lluviosa	55
Tabla 13. Características morfométricas de la subcuenca La Mula	56

Dedicatoria

A mis madres *Martha Valladares, Selvia López y Alba López;*
A mi tío *Eduardo Andino;*
A mis hijos *Matheo Cruz y Valentina Cruz;*
Y a mi futura esposa *Daniela Martínez*

Agradecimientos

A mis profesores de la unidad de Cuencas Hidrográficas en CATIE: Ph.D. *Laura Benegas* y M.Sc. *William Watler*, por su apoyo en el desarrollo de este trabajo de investigación y el conocimiento brindado en cada cátedra. También a M.Sc. *Claudia Sepúlveda* Coordinadora General BioPaSOS por el conocimiento aportado.

A CATIE, por el apoyo brindado durante mi estancia en el campus, en especial a don. *Roberto Quiroz* (Ph.D) decano de la institución y Lic. *Braulio Cerdas* administrador de la escuela de posgrado por las oportunidades creadas para mi persona.

A mis hermanos y primas, por el apoyo manifestado durante mi estancia fuera de Honduras; de igual manera, a mis compañeros de maestría MGICH por las risas y el apoyo en los momentos esenciales de estos últimos dos años y en especial a *Aurorita Espinal* quien fue compañera de giras en campo y siempre me brindo su apoyo. Así como, a mi amigo *Marco Saborío* quien es un ras elemento en la BCO y *Jeffry Jiménez* por su confianza en BCO.

Y, por último, agradezco a mis excompañeros de la UNAH-TEC Danlí: Dra. *Alba Marina Osorto*, Dra. *Alicia Mercedes Lanza* y M.Sc. Ing. *Jairo Jonathan Martínez* por enseñarme el valor que tiene la investigación, así como, Ph. D. *Marvin Mendoza* por siempre motivarme a desempeñarme al cien en mi profesión.

Yefrin Valladares
Turrialba, Cartago. CR
2022

“Análisis del ambiente físico (agua y suelos) en función de los usos de suelo asociados a franjas ribereñas bajo el enfoque de Una Salud (One Health), en la subcuenca de la quebrada La Mula, distrito de riego Arenal-Tempisque (DRAT), Costa Rica”

Valladares, Y.¹, Benegas, L.², Sepúlveda, C.³, Watler, W.²

Resumen

Bajo el enfoque Una sola salud (One Health), la investigación busca mostrar la relación existente entre factores ambientales, la biología del entorno y el efecto que puede tener el uso del suelo, en especial la ganadería sobre la población a corto, mediano y largo plazo, monitoreado a través de los índices biológicos, como el BMWP'CR y el QBS-ar. La investigación se desarrolló en la franja ribereña de la quebrada La Mula (UTM 1148233N y 357966E), tomando como sitios de muestreo cuatro distintos usos del suelo. Los resultados presentan variaciones relacionadas con la estacionalidad y la presencia de vegetación adyacente a las franjas ribereñas en cada uno de los usos de suelo. Por ejemplo, la estacionalidad marcada y las diferencias que ha tenido la vegetación desde el mes de marzo a julio 2022 observada a partir del NDVI, para la temporada seca mostró un rango de valor mínimo de 0,02 (sin vegetación/suelo desnudo).

Por otra parte, las interacciones entre los parámetros fisicoquímicos y MIA son explicadas por 41% del factor 1 y 34,7% del factor 2, donde para el tramo de cauce con Pastizal (P), se ven correlacionados con los parámetros como alcalinidad y dureza, pero con mayor relación al OD. Los resultados de la conductividad eléctrica del suelo en la temporada seca para Va-P (7,58 dSm-1) y P (11,98 dSm-1) presenta los más altos valores para este parámetro, que indica una alta concentración de sales, en la temporada lluviosa el mismo uso del suelo Va-P presentó valores relativamente bajos que se vieron disminuidos en un 50% (6,03 dSm-1) en relación el valor Va-P de la época seca. Para la temporada seca los resultados mostraron que en usos del suelo como Ganadería (G), cultivo de Sandía (S) y cultivo de Caña (C) son afines a parámetros como DA, y la proporción de arena de los suelos siendo las familias como la *Myrmeleontidae* y *Scarabaeidae* las que se encuentran presentes. Por el contrario, a los sitios con vegetación adyacente como Va-C (QBS-ar=142), Va-P (QBS-ar=101) y Va-G (QBS-ar=161) se encuentra considerados de buena calidad.

Palabras clave

Enfoque una sola agua, calidad ambiental, biodiversidad de suelos, biomonitoreo

Abstract

Under the One Health approach, the research seeks to show the relationship between environmental factors, the biology of the environment and the effect that land use, especially livestock, monitored through biological indices, such as the BMWP'CR, can have on the population in the short, medium, and long term. CR and the QBS-ar. The investigation was conducted in the riverside strip of the La Mula creek (UTM 1148233N and 357966E), taking four different land uses as capture sites. The results present variations related to seasonality and the presence of vegetation adjacent to the riparian strips in each of the land uses. For example, the marked seasonality and the differences that the vegetation has had from the month of March to July 2022 observed from the NDVI, for the dry season it showed a minimum value range of 0.02 (without vegetation/bare soil).

On the other hand, the interactions between the physicochemical parameters and MIA are explained by 41% of factor 1 and 34.7% of factor two, where for the stretch of riverbed with Pastizal (P), they are correlated with parameters such as alkalinity and hardness, but with greater relation to OD. The results of the electrical conductivity of the soil in the dry season for Va-P (7.58 dSm-1) and P (11.98 dSm-1) present the highest values for this parameter, which indicates a high concentration of sales, in the rainy season the same land use Va-P presented relatively low values that were decreased by 50% (6.03 dSm-1) in relation to the Va-P value of the dry season. For the dry season, the results showed that land uses such as Livestock (G), Watermelon cultivation (S) and Sugarcane cultivation (C) are related to parameters such as DA, and the proportion of sand in the soils being families such as the *Myrmeleontidae* and *Scarabaeidae* which are present. On the contrary, sites with addictive vegetation such as Va-C (QBS-ar=142), Va-P (QBS-ar=101) and Va-G (QBS-ar=161) are of excellent quality.

Keywords

Environmental quality, soil biodiversity, biomonitoring, one-water

Introducción

Los servicios ecosistémicos proporcionados por los componentes abióticos en un ecosistema son importantes (Rapport *et al.* 1998) ya que, las poblaciones animales y vegetales necesitan de ellos para la subsistencia (Martínez *et al.* 2017). Dichos componentes se encuentran delimitados por unidades territoriales conocidas como cuencas hidrográficas; definidas como unidades geográficas o físicas que funciona como el inicio de la planificación del desarrollo sostenible (Babu *et al.* 2016). La cuenca hidrográfica también puede entenderse como extensiones de suelo que drenan las precipitaciones hacia los arroyos, ríos, mares locales y que, funcionan como unidades de gestión, aprovechamiento y protección del suelo, agua, aire y biota (Huitema y Meijerink, 2017 y Molle, 2017). Donde, se debe considerar la evaluación de los componentes de la cuenca para mantener el equilibrio biofísico, químico y social (Faustino y Jiménez 2000).

A partir del contexto del párrafo anterior, los procesos de planificación dentro de una cuenca no siempre son aplicados adecuadamente; provocando impactos negativos en el ecosistema (Salas-Aguilar *et al.* 2011) especialmente en la región de transición e interacciones entre los medios terrestre y acuático conocida como franja ribereña, caracterizada por una flora y una fauna cuya composición está fuertemente determinada por el uso del suelo (Granados-Sánchez *et al.* 2006). Según Möller (2011), las amenazas a las que han estado sometidos los ecosistemas ripiarios, derivan del cambio de uso del suelo de las cuencas que incluye, por ejemplo, la tala y/o reemplazo del bosque nativo, agricultura, ganadería y urbanización (Tut Si 2016). De igual manera, Soria Bances y Quevedo (2019) mencionan que es fundamental analizar los ecosistemas ripiarios para evitar su deterioro; siendo el biomonitoreo una alternativa viable para análisis de la calidad de estas zonas (Arcos Torres 2005).

En el proceso de monitoreo de ecosistemas los ripiarios, el humano ha desarrollado una serie de análisis puntuales (químicos y físicos), temporales, espaciales (Viña y Gitelson 2005) y biológicos (Lizcano *et al.* 2019) que brindan una perspectiva del estado ecológico de la cuenca (Acreman *et al.* 2009, Coronel-Picón *et al.* 2012 y Fernández Cerelli 2012) en relación con las actividades socioeconómicas que se desarrollan dentro de la misma (Alvarez Jiménez *et al.* 2021). Por ejemplo, una herramienta actualmente imprescindible es el uso de sensores remotos como primer paso para el análisis (Woodcock *et al.* 2001) *ex situ* de entorno físico de una cuenca, entre otros para definir la evolución o degradación a lo largo de una línea temporal, del uso de los suelos, vegetación, riesgos naturales o antropogénico, deforestación, entre otros (Vaiphasa *et al.* 2011).

En tal sentido, desde la década de los 90's Gamon *et al.* (1995) establecían que la evolución de los sensores remotos y su aplicabilidad permitiría una mayor comprensión del medio terrestre; a su vez, Mas (1999) indicaba que esta herramienta ayudaría significativamente a acortar el tiempo de estudio, reduciendo así el gasto del trabajo de campo. Actualmente el uso de imágenes satelitales generadas con el satélite LANDSAT, permiten evaluar la dinámica de los ecosistemas vegetales (Pettorelli *et al.* 2005) estableciendo así el Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) que ayuda a estimar las variaciones cíclicas que configuran los ecosistemas (Vega-Araya y Alvarado-Barrantes 2019) y que se calcula como la diferencia de la relación entre la reflectancia del dosel medida en las bandas Red y Near Infra-Red (NIR) (Gandhi *et al.* 2015,

Cartaya Ríos *et al.* 2015 y Cao *et al.* 2018) permitiendo medir la degradación temporal de la vegetación (Olivares y López-Beltrán 2019).

Por otra parte, los análisis *in situ* como el monitoreo biológico de las matrices hídricas y edáficas (Crains y Van Der Schalie 1980) son el complemento perfecto para con el monitoreo espacial, ya que, permite correlacionar las causa y efectos de las presiones ambientales que ejercen las poblaciones (Karr 2006). Conti (2008) y Conti *et al.* (2008) indican que el biomonitoreo tiene ventajas significativas sobre el análisis tradicional de matrices abióticas, brindando información sobre la biodisponibilidad de los contaminantes, simplifica el análisis químico, eliminando el problema de la evaluación de niveles muy bajos de contaminantes y previene el riesgo de malas interpretaciones causadas por fluctuaciones repentinas de parámetros ambientales en el momento del muestreo. El biomonitoreo implica el uso de grupos como los invertebrados que pueden ser bioindicadores ambientales y ecológicos particularmente buenos, ya que; su tamaño los hace sensibles a las condiciones locales, mientras que su movilidad les permite moverse en respuesta a las condiciones cambiantes en el ecosistema (Samways *et al.* 2010).

Una manera de medir la tolerancia a las alteraciones ambientales y la abundancia (real, proporcional o categórica) de cada uno de los taxones de invertebrados involucrados en un biomonitoreo es la extrapolación de promedios ponderados mediante índices biológicos (Carter *et al.* 2006). Estos índices se utilizan en ecosistemas acuáticos (Hanson *et al.* 2010 y Roldán-Pérez 2016) y edáficos (Knoepp *et al.* 2000 y Paz-Ferreiro y Fu 2016) donde la información que proporcionan se traduce en el estado ecológico del entorno. Entre estos índices se encuentran: 1) Biological Monitoring Working Party modificado para Costa Rica (BMWP'CR) (Springer *et al.* 2010) que ha sido muy utilizado e institucionalizado para el análisis ambiental del agua desde finales de la primera década del siglo XXI (MINAE-S 2007), y el 2) *Qualità Biologica del Suolo a traverso microartropodi* (QBS-ar) (Parisi 2001) aplicado por Revelo-Tobar *et al.* (2021) en Costa Rica.

Además, el funcionamiento del BMWP'CR se basa únicamente en la presencia de familias de macroinvertebrados acuáticos (MIA) (Ramírez y Gutiérrez-Fonseca 2014) y sus valores de tolerancia a perturbaciones ecosistémicas que provoca el hombre; estos valores se estiman de forma independiente a la cantidad de individuos de cada familia (Gutiérrez-Fonseca y Lorion 2014). Es importante mencionar que, este índice utiliza categorías para definir los niveles de calidad del agua que va desde: a) aguas de muy mala calidad, b) aguas de calidad regular o buena hasta c) aguas de calidad excelente. De este modo, Valladares *et al.* (2018) indica que el índice ayuda también a las poblaciones urbanas a tener un método rápido de valorar el estado y los niveles de contaminación de los cauces aledaños a sus viviendas, estos cauces suelen ser utilizados para diversas actividades cotidianas (Valladares *et al.* 2021).

Por su parte, en el QBS-ar, se considera la biodiversidad de la comunidad de microinvertebrados y macroinvertebrados edáficos (MIE) y se los relaciona con el grado de vulnerabilidad de estos ante las presiones ambientales que ejerce el hombre, proporcionando información sobre la calidad biológica del suelo (Menta *et al.* 2017). Los valores de QBS-ar resultan de la suma Ecological-Morphological Index (EMI) de cada clase, orden o familia extraídos de la muestra (Menta *et al.* 2018), dicho valor oscila entre 1 (sin adaptación al suelo) y 20 (máxima adaptación al suelo) según Parisi *et al.* (2005). La calidad del suelo se correlaciona positivamente con el

número de grupos de invertebrados edáficos (Langraf *et al.* 2021). Sin embargo, la aplicación de este índice en América ha sido muy poca (Galli *et al.* 2021), aunque; en las regiones tropicales y subtropicales se han podido mostrar resultados interesantes (Delgado Castillo 2020 y Ledezma *et al.* 2021).

Ambos índices pueden verse influenciados por las actividades antropogénicas producto de los usos del suelo (Mensah-Brako *et al.* 2018), así mismo, hay afectaciones en la calidad del agua y suelo que, a largo plazo pueden provocar importantes alteraciones en la salud animal y ambiental (Lu *et al.* 2020). Por lo que, siendo Costa Rica y primordialmente el Distrito de Riego Arenal-Tempisque (DRAT) un área en parte destinada a proveer agua a los sistemas agrícolas (Mora Montero 2016) y pecuarios (Lang *et al.* 2014) dentro de las distintas subcuencas que lo conforman; es fundamental facilitar una red de monitoreo biológico continuo que permita establecer procesos de control de los niveles de alteración antrópica y así mantener la homeostasis ecosistémica promovida por el enfoque Una Salud (Bresalier *et al.* 2020).

Este enfoque, nos ayuda a comprender de la mejor forma el efecto del cambio global en la salud humana y animal que día con día se ve afectada por procesos cíclicos como, el acelerado cambio climático que vive nuestro planeta (Evans y Leighton 2014). Para Zunino (2018), la expansión demográfica junto con los procesos de urbanización, la intensificación pecuaria y agrícola que alteran bruscamente el ecosistema que repercute en la disponibilidad de buena calidad agua, suelo y aire, son los grandes desafíos a los que se debe enfrentar el hombre, siendo la manera más efectiva de confrontar estos desafíos es a través del enfoque de Una sola salud. Además, la Oficina Internacional de Epizootias (2013) conocida por sus siglas como OIE señala una gran cantidad enfermedades son transmitidas por vectores que se originan en aguas con calidad mala, lo que las hace más sensibles a los efectos del cambio climático.

También, reconceptualización de la gestión de la salud en respuesta a los cambios ambientales acelerados de los últimos 100 años es tan solo la base del enfoque que además nos muestra la vulnerabilidad a la que nos exponemos por la ingesta y exposición con aguas contaminadas (OPS *et al.* 2016, y OMS 2017, 2020). En ese contexto, la presente investigación tiene como objetivo analizar la matriz hídrica y edáfica de la franja ribereña bajo el enfoque de Una Salud, en la subcuenca La Mula, cuenca del río Tempisque, e en la provincia de Guanacaste, Costa Rica.

Metodología

La subcuenca La Mula (Figura 1) se ubica entre las coordenadas UTM 1148233N y 357966E, al norte de Costa Rica, dentro de los límites del cantón de Bagaces perteneciente a la provincia de Guanacaste, la cual forma parte de las parcelas de riego agrícola que pertenecen al subdistrito Cabuyo dentro DRAT. Además, la subcuenca La Mula cubre un área de 5.443,95 hectáreas (ha) con un cauce principal de 13,51 kilómetros (km) de largo, que se origina en la Reserva Biológica Lomas del Barbudal a 60 m s.n.m. y según el método de Strahler (1952) presenta 11 tributarios de orden 1, 4 cauces de orden 2 y orden 3 que en su mayoría conforma el cauce principal. Cabe destacar que es una subcuenca arreicia (Cañibano y Gandini 2018), ya que su cauce principal finaliza en un estero a menos de 5 m s.n.m. en las cercanías del Parque Nacional Palo Verde.

Geológicamente, este compuesto de depósitos aluviales y coluviales que forman suelos de orden vertisoles, con inclusiones de alfisoles, inceptisoles, entisoles y molisoles (INTA 2015). Según Ortiz-Malavasi (2014) la subcuenca La Mula se encuentra dentro de la zona de vida del bosque húmedo premontano transición a basal (bh-P6) con un clima seco, bajo el régimen de precipitaciones del Pacífico con promedio de lluvia entre 1500 a 2000mm anuales y temperaturas mayores a los 28°C (Jiménez y González Jiménez 2001 y IMN 2011).

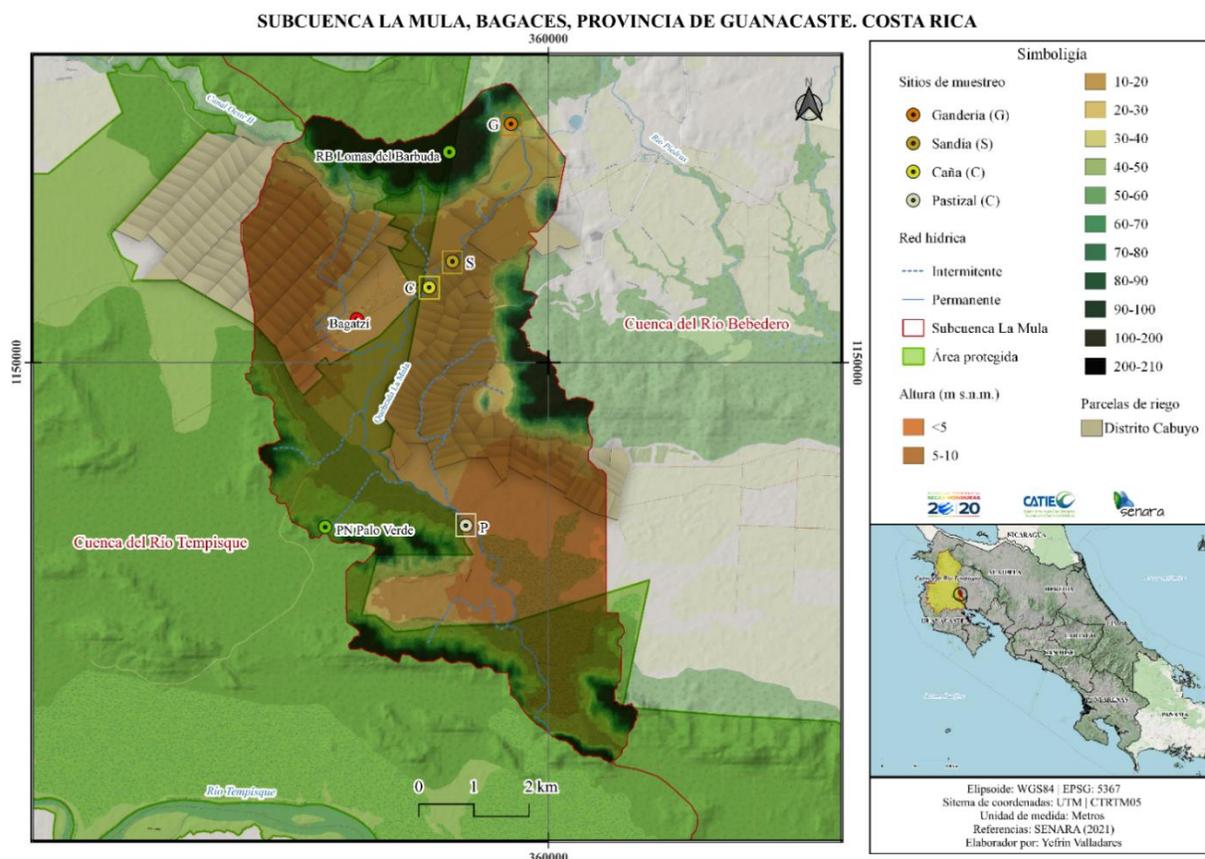


Figura 1. Ubicación espacial del área de estudio en la subcuenca La Mula, cuenca del río Tempisque, Guanacaste, Costa Rica

Fuente: elaboración propia.

Descripción del área de estudio

La investigación se desarrolló en la franja ribereña de la quebrada La Mula, tomando como sitios de muestreo cuatro usos del suelo (Tabla 1). Cada uno de los sitios muestreados tiene un tamaño de 60 m² manteniendo como centro el cauce principal de la quebrada. La selección de áreas de la franja ribereña se observa en la Figura 2, donde se tomó en cuenta el uso del suelo y su vegetación adyacente, así mismo, se consideró como variables cualitativas como la temporalidad climática seca y lluviosa de la región Pacífica de Costa Rica (Alfaro 2014).

Tabla 1. Ubicación geográfica de los usos del suelo y de la vegetación adyacente muestreados en la subcuenca La Mula

Uso de suelo	Centroide		Acrónimo suelo	Acrónimo agua	m s.n.m.	Cuenca
	x	y				
Ganadería (G)	359308,926	1154325,228	Va-G	G1	31	Alta
	359442,651	1154206,016	G	G2		
Sandía (S)	358246,900	1151832,654	Va-S	S1	15	Media
	358280,072	1151806,738	S	S2		
Caña (C)	357816,699	1151365,135	Va-C	C1	12	Media
	357834,321	1151347,512	C	C2		
Pastizal (P)	358442,304	1146961,535	Va-P	P1	8	Baja
	358689,022	1146944,949	P	P2		

Nota: los sitios con vegetación adyacente al uso del suelo se identifican con Va, y la numeración 1 (representa seco) y 2 (lluvioso).



Figura 2. Sitios de muestreo en la subcuenca La Mula obtenido desde el servidor satelital de USGS (2022). Siendo a) cultivo de sandía (S), b) cultivo de caña (C), c) Pastizal (P) y d) Ganadería (G). La Va, identifica la vegetación adyacente al uso del suelo.

Análisis de la vegetación adyacente de la franja ribereña

El proceso de verificación de la vegetación en la franja ribereña de los sitios de muestreo se realizó en dos etapas; la primera, fue mediante el uso de imágenes LANDSAT (USGS 2022) para los meses de marzo (temporada seca) y julio (temporada lluviosa) del año 2022, las cuales fueron preprocesadas y analizadas en el software SAGA GIS v7.8.2 (Pezzoni Filho *et al.* 2018) con el fin de obtener los NDVI (Verdin *et al.* 2003 y Vaiphasa *et al.* 2011) y así observar la distribución espacial de la vegetación en la franja ribereña de cada sitio de muestreo. El índice se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$NDVI = \frac{[NIR - Red]}{[NIR + Red]}$$

Donde: *NDVI* es el índice de diferencial de vegetación normalizado
NIR es la banda de infrarrojo cercano de una imagen
Red es la banda de rojo natural de una imagen

El índice NDVI de vegetación se clasifica según Chuvieco *et al.* (1999) en: a) suelos sin vegetación (< 0,2), b) suelos con poca vegetación (0,2-0,4), c) suelos de vegetación media (0,4-0,6), d) suelos de vegetación densa (0,6-0,8), y e) suelos de vegetación muy densa (> 0,8). No obstante, para cada sitio se obtuvieron cuatro píxeles de 30 m² para estimar específicamente los sitios de muestreo. La segunda etapa, consistió en la verificación de campo mediante el uso de la observación científica (Tut Si 2016), que permitió corroborar los análisis espaciales de vegetación previamente realizados.

Fase de campo

Muestreo biológico de agua

Para la recolecta de muestras biológicas de agua se siguió los lineamientos de Springer (2010) y Roldán Pérez (2012). Se inició con la identificación de tramos con representatividad de cada uno de los microhábitats (remansos, meandros, corriente, zonas con vegetación y zonas con grava y roca) presentes a lo largo del cauce principal. Establecidos los tramos, se procedió a la toma de parámetros fisicoquímicos del agua como; la temperatura y pH con el uso del medidor HI 98120 de HANNA[®] (De Souza y Silva 2009); además, el caudal fue medido utilizando un medidor de flujo magnético OTT[®] MF pro (Dávila-Recinos *et al.* 2019), únicamente en la temporada lluviosa. La medición de OD se realizó con oxímetro JPB[®] 70A (Ivankova y Fesenko 2021), y los parámetros como alcalinidad y dureza mediante titulación colorimétrica a partir del uso del kit HI3817 HANNA[®] (Lara Tovar *et al.* 2016).

Posteriormente, los macroinvertebrados acuáticos (MIA) fueron recolectados aplicando la metodología cualitativa propuesta por Ramírez (2010), donde menciona el uso de tamices de 0,10 mm de tamaño en su malla. También, se consideró los transectos lineales de 60 m en 30 minutos como tiempo base para el desplazamiento por los microhábitats acuáticos observados en la franja ribereña de cada uno de los usos del suelo (Vargas Avilés 2017). Seguidamente, se

removió el sustrato del fondo de la quebrada y se colocó el tamiz a contracorriente en los sitios de remoción para su recolecta; el material recolectado con el tamiz en cada uno de los microhábitats fue colocado en una bandeja de color blanco con agua para visualizar mejor los insectos, que luego fueron sustraídos con pinza entomológica. Cabe mencionar que, también se utilizó la recolecta directa de MIA en sitios rocosos con poca profundidad (Darrigran *et al.* 2007), esto con la ayuda de pinceles número 2 y removiendo directamente los individuos de las rocas. Tanto en la metodología con tamices y directa, los individuos recolectados fueron depositados en un vial de 100 ml de capacidad con alcohol al 70% para su preservación y etiquetado con el acrónimo del uso de suelo.

Tanto en la metodología con tamices y directa, los individuos recolectados fueron depositados en un vial de 100ml de capacidad con alcohol al 70% para su preservación y etiquetado con el acrónimo del uso de suelo.

Muestreo biológico del suelo

La recolección de macroinvertebrados edáficos (MIE) se realizó paralelamente al muestreo de MAI, dicha toma de muestras fue realizada en la franja ribereña de los usos del suelo previamente seleccionados (Tabla 1) dentro de un buffer de 25 m a cada lado del cauce principal (Tut Si 2016) y delimitado espacialmente en System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA GIS v7.8.2) (Lemenkova 2021). En los sitios se consideraron zonas homogéneas de suelo con pendientes entre 3 - 8% (Johnson y Buffler 2007, Watler 2017), así como la presencia y ausencia o escasa cobertura vegetal (Figura 2) del suelo (Parisi 2001 y Parisi *et al.* 2005) y el uso de la tierra. Por otra parte, se realizó una calicata de 25 cm de profundidad dentro de un buffer de franja ribereña de cada uno de los usos del suelo con el objetivo de extraer 500g de suelos de cada uno de los costados del cauce para los análisis fisicoquímicos como lo especificó Delgado Castillo (2020): pH, conductividad eléctrica (CE), % nitrógeno (N), % carbono (C) y % materia orgánica (MO). Además, se extrajo una muestra adicional con un muestreador Eijkelkamp de 100 cm³ para el análisis de densidad aparente (DA) (Agostini *et al.* 2014).

Cada una de estas muestras fueron etiquetadas con el acrónimo del sitio e identificadas con el nombre del tipo análisis que se le realizaría en el laboratorio de suelos en CATIE. Paralelamente a los sitios muestreados donde se obtuvieron las variables fisicoquímicas de suelo, se procedió a establecer transectos lineales de una longitud de 50 m de largo (Anderson y Ingram 1993); en el cual, cada 5 m se extrajo un monolito (Menta *et al.* 2018) de 25 cm³ de suelos y que fue removido con un palín para su posterior manipulación (Revelo Tobar 2018). Dicho monolito fue procesado (Stork y Eggleton 1992 y Dangerfield 1997) *in situ* con tamices de 0,035, 0,10 y 0,50 mm en recipientes de 19 litros y con flujo de agua constante. Esta metodología de extracción propuesta por Lavelle y Kohlmann (1984) se le conoce como método de lavado y tamizado. Por último, los individuos recolectados fueron depositados en un vial de 100 ml de capacidad con alcohol al 70% para su preservación y etiquetado con el acrónimo de la franja ribereña de cada uso del suelo muestreado.

Fase de laboratorio

Identificación entomológica

Cada uno de los viales de 100 ml con MIA y MIE fue limpiado nuevamente en el laboratorio de Fito protección del Centro agronómico Tropical de investigación y Enseñanza (CATIE), con agua y colocado en alcohol 70% en capsulas Petri. Estas capsulas fueron etiquetadas según el tipo de muestreo aplicado en su recolección, el acrónimo del sitio y en el caso de las muestras edáficas se le colocó la localidad de la franja ribereña, con el fin de evitar la contaminación de muestras. A su vez, la identificación de insectos se realizó por medio de un microscopio óptico tridimensional (Rouaux 2015) Carl Zeiss® modelo Stemi 2000c y las claves taxonómicas para MIA (Bouchard 2004, Merritt *et al.* 2008, Flowers y De la Rosa 2010, Gutiérrez-Fonseca 2010, Springer 2010, Vásquez *et al.* 2010 y Hamada *et al.* 2018) y MIE (Metcalf y Flint 1951, Borror y DeLong 1966, Peterson 1979, 1979, Stehr 1987, Triplehorn y Johnson 2005, Fernández y Sharkey 2006, Gutiérrez-Martínez 2014 y Palacios Vargas *et al.* 2014).

Cada uno de los individuos identificados en el 90% de los casos a nivel de familia eran colocados en viales de 5 ml con alcohol al 70% para su etiquetado y almacenamiento como material de referencia.

Análisis estadístico

La base de datos generada en cada uno de los muestreos de agua y suelos fue analizada en el software InfoStat® (Di Rienzo *et al.* 2011) donde se obtuvo la abundancia y el porcentaje que tiene cada uno de los 19 taxones (Clase/Orden) de MIE y 11 taxones (Clase/Orden) de MIA por sitios de muestreo. Cabe mencionar que en el caso de los MIE para identificar si la abundancia de macroinvertebrados es diferente del uso de suelo se realizó un Análisis de varianza (ANOVA) bajo el enfoque de modelos lineales generalizados (MLGM), dado que esta variable es un conteo se modeló mediante una distribución binomial negativa con función de enlace logaritmo (Bandera-Fernández y Pérez-Pelea 2018); además, se aplicó la prueba de Fishers Least Significant Difference (LSD de Fisher) que permitió la comparación (Di Rienzo *et al.* 2017) múltiple entre la abundancia de especies de cada uso del suelo y la vegetación adyacente en cada franja ribereña.

Por otra parte, en el caso de las correlaciones se emplearon dos métodos: a) análisis de similitud basado en el agrupamiento de Ward y el b) análisis Partial Least Square (PLS). Específicamente, se realizó el análisis de similitud ecológica componente hídrico y edáfico, según la abundancia de macroinvertebrados y el uso del suelo, por medio de similitud basados en el agrupamiento de Ward (1963) complementado con el coeficiente de Gower (1971) permitiendo, según Chávez *et al.* (2010) medir similitudes entre variables mixtas, donde es posible trabajar con bases de datos en las que faltan observaciones de algunas variables y tiene como objetivo minimizar la pérdida de datos entre las combinaciones de dos clústeres (Blashfield 1980). No obstante autores como Revelo Tobar (2018) y Delgado Castillo (2020) admiten que la mejor forma de expresar correlaciones múltiples entre parámetros fisicoquímicos, los usos del suelo y abundancia de especies es mediante el análisis PLS (Wold 1982), donde para esta investigación se consideró

las familias más abundantes ya que, se eliminaron las especies que solo están presente en uno o dos sitios de muestreo.

En complemento, se aplicó el coeficiente de correlación de Spearman que permitió observar cuales fueron las correlaciones (positivas o negativas) entre las variables (Cortés 1984) fisicoquímicas de cada base datos y las especies identificadas. Por último, se obtuvieron mediante rarefacción con curvas de acumulación de especies; la riqueza de especies, que es una forma rápida de observar la distribución de individuos biológicos (Jiménez-Valverde y Horta 2003) según los usos del suelo, este proceso se realizó con el uso del software Palaeontological Statistics (PAST v4.10) (Hammer *et al.* 2001), que proporcionó los índices de diversidad de Shannon (H) (Laguna Lumbreras y Ferrer-Gallego 2015) donde valores según Madrid (2019) menores a 2 son considerados diversidad baja y entre 2 a 3 se consideran normales y Simpson (1949) identificado como 1-D, donde valores cercanos a 1 indica dominancia de una especie o población (Madrid 2019), aportando a la comprensión de cada ecosistema analizado en la subcuenca.

Aplicación de índices de calidad biológicos

Los índices biológicos aplicados en cada uno de los componentes abióticos fueron; BMWP'CR (MINAE-S 2007) que es utilizado para la evaluación de la calidad ambiental de las aguas (Gutiérrez-Fonseca y Lorion (2014). El BMWP'CR se basa en la presencia o ausencia de organismos a nivel de familia, según el grado de tolerancia a la contaminación. Cada uno de los macroinvertebrados tiene asignado un valor el cual indica el nivel de tolerancia o resiliencia (Vásquez *et al.* 2010) a la que esta adecuado en el agua y que, además al tomar una muestra estos valores se suman para obtener la clasificación del agua, que va desde niveles en rangos de perturbación extrema <15 hasta sitios con calidad del agua mayor >120 y que representan aguas de calidad excelente.

Por otra parte, el QBS-ar desarrollado por Parisi (2001) y que actualmente es un índice normado para la evaluación de suelo en la Unión Europea (UE), es un índice que ha tenido actualizaciones como la explicada por Menta *et al.* (2017) donde genera más especificaciones taxonómicas para las asignaciones del Ecological-Morphological Index (EMI). Según Staffilani *et al.* (2018) para el uso de QBS-ar es importante la determinación de los taxones para luego, darle una asignación a nivel de clase u orden con EMI; este índice ecomorfológico asigna valores a los individuos que van de 1 a 20, siendo los valores más bajos para aquellas formas biológicas que viven en la zona *epi*-edáficas (viven sobre el suelo y sin adaptaciones al mismo), *hemi*-edáficas con relativas adaptaciones al suelo, y el más alto para las formas *eu*-edáficas que son verdaderos organismo que viven en la matriz del suelo y con múltiples adaptaciones para ello (Parisi *et al.* 2005).

Parisi (2001) y Menta *et al.* (2017) mencionan que algunos grupos muestran solo un valor de EMI porque las especies pertenecientes a dichos taxones no varían en su nivel de adaptación (*Diplura* y *Protura*); sin embargo, especies como los *Coleoptera* que pasan por diversos estadios de desarrollo pueden mostrar rangos de 1 - 5, 1 - 20 y 10 - 20. El cálculo de QBS-ar resulta de las sumas de los valores de EMI obtenidos en la muestra recogida y que como lo menciona Menta *et al.* (2018) valores mayores a 93,7 indican una buena calidad del suelo. Es de resaltar,

que los datos obtenidos por el índice biológico en suelo y agua se representaron mediante análisis de correspondencia.

Resultados

Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI)

La estacionalidad marcada y la evolución que ha tenido la vegetación desde el mes de marzo a julio 2022 se observa en la Figura 3, donde el NDVI muestra que para la temporada seca (Figura 3.a) el rango mínimo de vegetación presenta como valor mínimo 0,02 que corresponde a lugares sin vegetación, mientras que el valor máximo de NDVI es 96% más alto que el mínimo, siendo este 0,48 que se identifican como sitios con vegetación media. Es de destacar que, en los sitios de muestreo (Figura 3.b) la clasificación de NDVI resulta en: C= sin vegetación y Va-C= poca vegetación, S= sin vegetación y Va-S= poca vegetación, G= poca vegetación y Va-G= vegetación media, y para el caso de P y Va-P ambos mantienen poca vegetación.

En contraste, la temporada lluviosa (2) del año 2022 presenta un valor mínimo según muestra la Figura 3.d, de negativos 0,02 que indica que es un suelo sin vegetación, y su valor máximo de 0,6 clasificado dentro de la categoría de vegetación densa. Así pues, en los sitios de muestreo (Figura 3.c) los píxeles obtenidos por NDVI son: C= poca vegetación y Va-C= vegetación media, S= poca vegetación y Va-G= vegetación media, G y Va-G ambos iguales a vegetación media, y por último P y Va-P donde la vegetación se considera dentro de la clasificación de vegetación media. En resumen, la mayoría de los puntos de muestreo de la temporada seca se encuentran dentro de una clasificación de NDVI donde hay poca vegetación, no obstante, en la temporada lluviosa se presenta la mayor cantidad de sitios de muestreo con vegetación media.

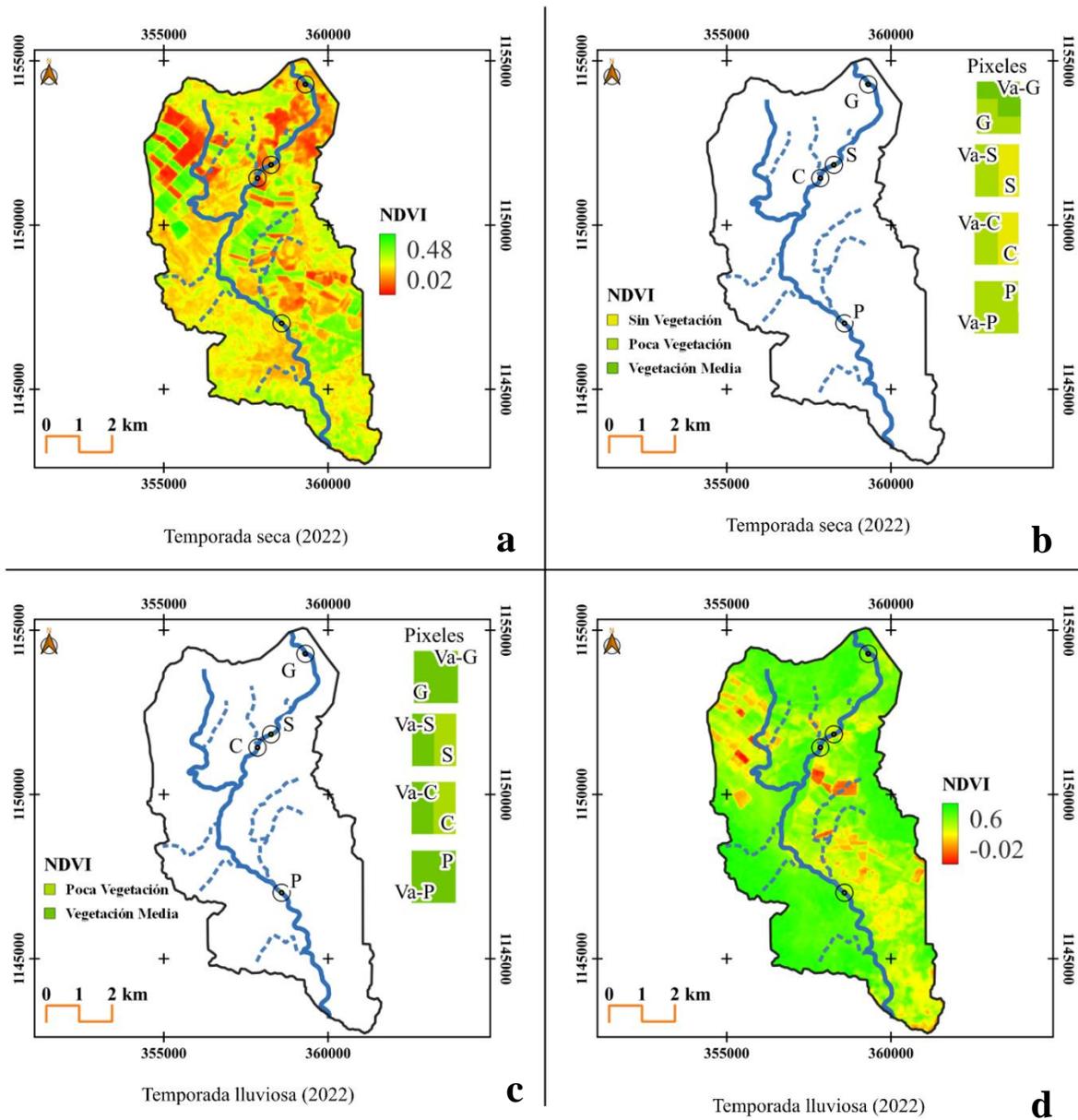


Figura 3. Cálculo de NDVI por temporada en la subcuenca La Mula donde: a) temporada seca de 2022, b) son los pixeles extraídos por uso del suelo y vegetación adyacente de la temporada seca, c) son los pixeles extraídos por uso de suelo y vegetación adyacente de la temporada lluviosa y d) temporada lluviosa de 2022.

Fuente: imágenes base tomadas del satélite LANDSAT 8 (USGS 2022).

Muestreo biológico del agua

Análisis de parámetros fisicoquímicos

En la Tabla 2 se presentan los parámetros fisicoquímicos obtenidos en la temporada seca (1). La dureza presenta su valor máximo en el punto adyacente Caña (C1) y mínimo en el punto adyacente al Pastizal (P1), con 250 y 50 mg CaCO³/L, respectivamente. La alcalinidad y el pH, estrechamente relacionados con la dureza, así la alcalinidad presentó su valor máximo adyacentes C1 (200 mg CaCO³/L), mientras que el pH de 7,6 fue el valor más alto del muestreo de la temporada seca, registrado en 2 (C1 y S1) de los cuatro usos del suelo; valores 20 mg CaCO³/L de alcalinidad y 6,9 para pH se encontraron en P1 y fueron los más bajos registrados. También, parámetros con relaciones inversamente proporcionales como temperatura y OD, nos muestra que para usos del suelo ganadero (G1) el valor de OD es 8,8 mg/L que indica el mejor registro para este parámetro y 23,1°C que es la temperatura más baja; mientras que el muestreo cerca del uso del suelos con cultivos de Sandía (S1) es un sitio hipóxico con valores de OD mínimos de 2,7 mg/L, donde la temperatura es la segunda más elevadas registrada con 24,5°C, ya que, C1 tiene el registro más alto (24,7°C).

A diferencia de la temporada seca, en la temporada lluviosa (2) se consideró tomar en cuenta el parámetro de caudal (Q), dicho parámetro se relaciona directamente con el OD ya que, ambos aumentan de manera directamente proporcional, en este caso el valor máximo de Q (0,54 m³/s) y OD (17,9 mg/L) se observan en sitio cercano a Pastizal (P2) (Tabla 2). En esta temporada la dureza y alcalinidad se ven disminuidas en comparación con la temporada seca, ya que los valores altos se encuentran en caña (C2) con 70 mg CaCO³/L para dureza y 50mg CO³/L para alcalinidad, sin embargo, los valores mínimos de alcalinidad (20 CaCO³/L) y dureza (5 CaCO³/L) pertenecen a P2. La variación en la temperatura de esta temporada presentó un valor máximo de 24,2°C (P2) y como el mínimo, 23,6°C (C2); por último, los valores de pH máximo (7,6) y mínimo (6,2) se presentaron en los puntos adyacentes a P2 y S2, respectivamente.

Tabla 2. Parámetros fisicoquímicos del cauce principal de la subcuenca La Mula en función de la temporada climática

Uso de Suelo/ Temporada	Dureza mg CaCO ³ /L	Alcalinidad mg CaCO ³ /L	T °C	OD mg/L	pH	Q m ³ /s
C1	250	200	24,7	4,1	7,6	-
C2	70	50	23,6	8,3	6,5	0,097
S1	120	80	24,5	2,7	7,6	-
S2	40	20	23,1	5,2	6,2	0,054
G1	160	120	23,1	8,8	7,4	-
G2	50	10	22,4	13,2	7,1	0,291
P1	50	20	24,3	4,9	6,9	-
P2	20	5	24,2	17,9	7,6	0,542

Nota: C=caña, S=sandía, G=ganadería y P=pastizal; donde (1) temporada seca y (2) temporada lluviosa. El signo – indica parámetros no determinado.

Comportamiento de los Macroinvertebrados Acuáticos (MIA) en función del uso del suelo en la quebrada La Mula

Se obtuvo un total de 431 individuos divididos en 176 MIA en temporada seca y 255 MIA para la temporada lluviosa. Estos MIA se clasifican en 41 familias y una clase (*Turbellaria*) que se presentan en la Figura 4. En cada uso del suelo se observaron diversas variaciones en porcentaje de abundancia y cantidad de familias según la temporada; tal es el caso del uso de suelo C1 el cual presentó 9 diferentes familias donde *Stratimyidae* con 30,8% y *Thiaridae* con 17,9% tienen los mayores porcentajes de abundancia; sin embargo, en C2 obtuvieron 17 familias, donde el mayor porcentaje de abundancia se concentra en *Caenidae* (19,7%) y *Chironomidae* (10,6%). Mientras que usos del suelo Adyacentes como S1: presentó únicamente 7 familias distintas con dominancia en el porcentaje de abundancia para *Chironomidae* con 31% y *Thiaridae* con 24,1%, este mismo uso, en la temporada lluviosa (S2) presenta un aumento en la cantidad de familias con un total de 11, donde *Thiaridae* (32,8%) y *Tabanidae* (15,5%) son las de mayor porcentaje de abundancia.

Uso del suelo dedicados a la ganadería presentan en temporada seca (G1) 16 familias donde el mayor porcentaje de abundancia lo tiene *Ptilodactylidae* (14,9%) y *Beatidae* con (13,4%), en contraste, este mismo uso en la temporada lluviosa ganadería (G2) presentó 17 familias; en dicha muestra, en los mayores porcentajes de abundancia se presentaron en *Coenagrionidae* con 15,8 y 12,3% a *Staphylinidae*, respectivamente. Por último, el uso del suelo con Pastizales (P1) muestra 11 familias donde los mayores porcentajes de abundancia se obtuvieron en las familias *Chironomidae* (33,3%) y *Staphylinidae* (15,6%), mientras que P2 tiene 17 distintas familias, con *Calopterygidae* (27,1%) y *Elmidae* (11,4%) dominando el porcentaje de abundancia en este sitio (Figura 4).

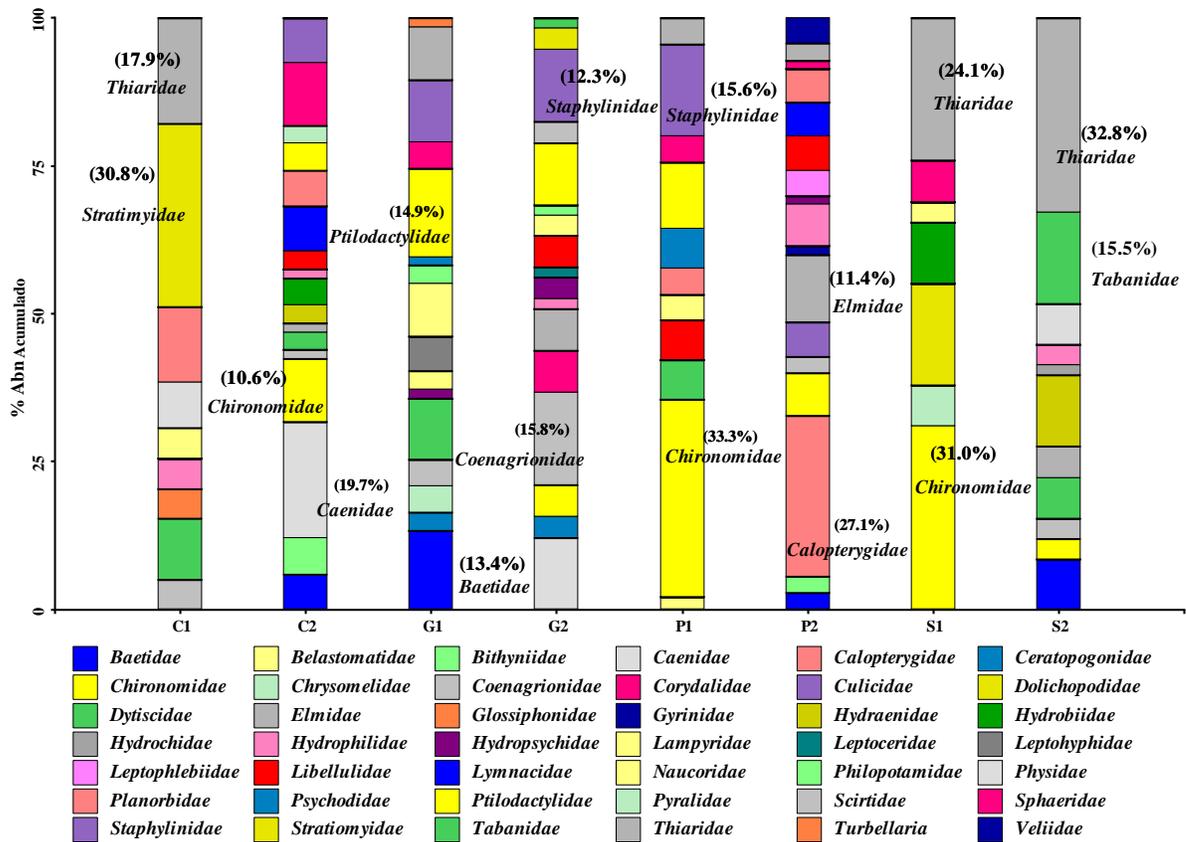


Figura 4. Clase/Familia de MIA encontradas en el cauce principal de la quebrada La Mula

Fuente: elaboración propia.

En resumen, se muestra que para la temporada seca (Figura 5.a) la mayor riqueza de especies se presenta en el punto adyacente al uso ganadero (G1) con 16 distintas familias (Tabla 7), en este contexto según el índice de diversidad (H) para dichos sitios es de 2,662 considerado como un rango normal dentro de la escala del índice, en comparación, P1 presenta baja diversidad de especies (1,842). Para índice de dominancia de Simpson (1-D) G1 presenta mayor dominancia con valor de 0,9196 con *Ptilodactylidae* tiene mayor porcentaje de abundancia. Por otro lado, la Figura 5.b muestra que G2 al igual que G1 presentó mayor riqueza de especies que los demás sitios con 18 (Tabla 7), y de igual forma este uso del suelo presenta un índice de diversidad (H) de 2,829 que se identifica dentro de la normalidad, así como el valor con mayor dominancia (1-D=0,933) donde *Coenagrionidae* tiene mayor dominancia.

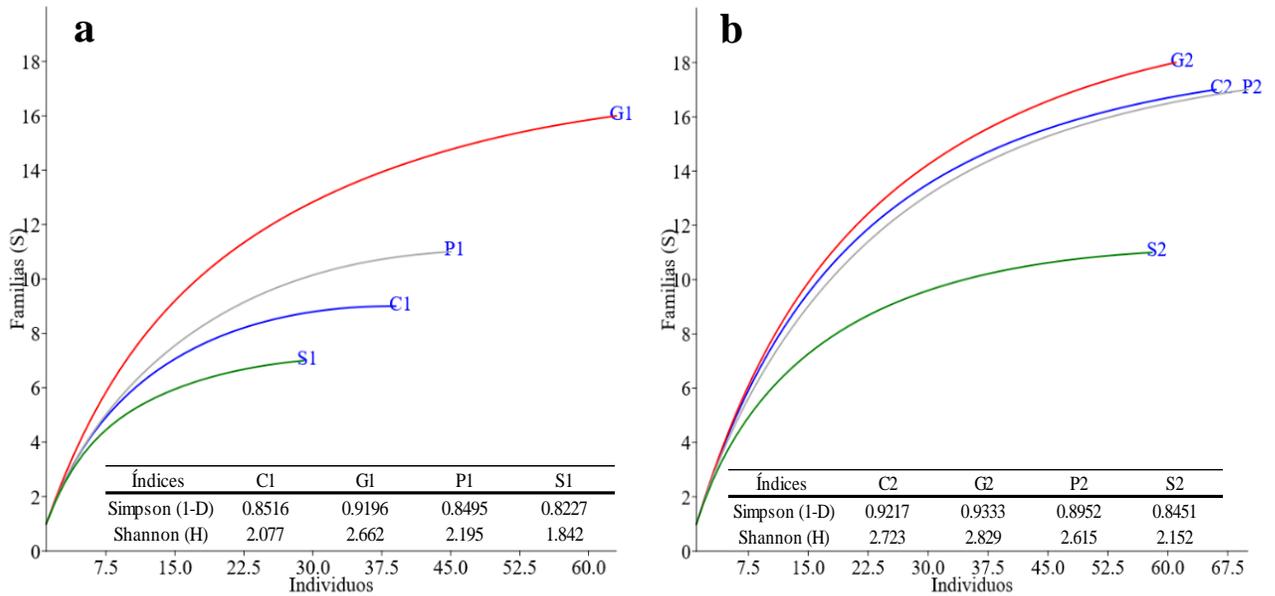


Figura 5. Curvas de acumulación de especies de MIA encontrados en el cauce principal de la subcuenca La Mula, donde a) temporada seca y b) temporada lluviosa

Las similitudes ecosistémicas que se presentan en cada una de las temporadas según abundancia de MIA y usos del suelo pueden ser observadas en la Figura 6.a para la temporada seca, donde su índice de correlación cofenética muestra un valor de 0,74, cabe mencionar que la distancia de Gower estimada para dichos conglomerados fue de 1,60, lo que se transforma en la obtención de cuatro distintos conglomerados asociados por su entorno y parámetros fisicoquímicos (Tabla 2). En tal sentido, la temporada lluviosa (Figura 6.b) muestra una correlación cofenética de 0,87 con distancia de Gower para esta temporada de 2,18, resultando en cuatro conglomerados. Ambos índices de correlación cofenética oscilan entre los valores normales (0,60 a 0,95).

Es importante mencionar que en la temporada seca y dentro de los conglomerados se encuentran más de dos depredadores (*Hydrophilidae*, *Coenagrionidae*, *Ptilodactylidae*, *Libellulidae*, entre otros), así como especies que se alimenta de MO (*Stratiomyidae*, *Psychodidae* o *Staphylinidae*) y los que toleran altas cargas contaminantes y son resilientes (*Chironomidae*, *Culicidae* u organismos del filo *Mollusca*). En ese sentido, para la temporada lluviosa existe más especies que viven o necesitan de cierta cantidad de OD, así como Q para desarrollarse (*Philopotamidae*, *Corydalidae*, *Leptoceridae*, *Hydropsychidae*, entre otros).

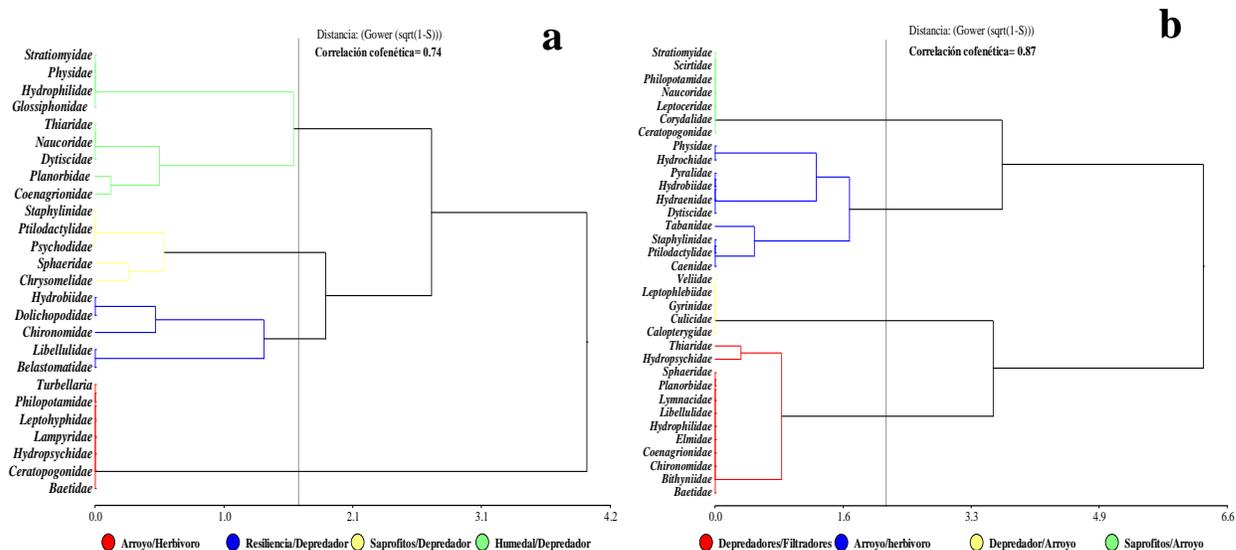


Figura 6. Dendrograma de similitud ecológica para MIA encontrados en el cauce principal de la subcuenca La Mula, donde a) es la temporada seca y b) temporada lluviosa

Las interacciones entre parámetros fisicoquímicos y MIA (Figura 7.a) son explicadas por 41% del factor 1 y 34,7% del factor 2, donde el tramo de cauce de P1 se ven correlacionados medianamente parámetros como alcalinidad y dureza, y de manera más cercana el OD, con familias como *Libellulidae* y *Belastomatidae* de mayor afinidad a este sitio (P1). Asimismo, se destacan las asociaciones en C1 con valores altos de alcalinidad, dureza y asociaciones intrínsecas a pH neutros, con familias como *Stratiomyidae*, *Physidae*, *Hydrophilidae* y *Glossiphonidae* afines. Sin embargo, relaciones existentes en G1 son más fuertes con el parámetro de temperatura bajas y medianamente con pH neutro, dureza y alcalinidad con concentraciones altas, pero dentro de lo permisible; donde la clase *Turbellaria* y la familia *Thiaridae* son las más cercanas. Por su parte, S1 presenta una relación medianamente cercana con la temperatura más baja y afinidad con familias como *Hydrobiidae* y *Dolicopodidae*.

De manera similar, la temporada lluviosa (Figura 7.b) muestra que, el factor 1 explica el 51,2% y el factor 2 el 28,6% de las interacciones, donde parámetros de pH neutro, con altas concentraciones OD y Q altos tienen relaciones medianamente cercanas con G2 y P2. El uso del suelo G2 presenta afinidad con familias como: *Philopotamidae*, *Leptoceridae*, *Scirtidae*, *Stratiomyidae*, entre otros. Así pues, P2 se asocia con *Libellulidae*, *Gyrinidae*, *Hydrophilidae* y *Leptophebiidae*. Cabe destacar que, C2 y S2 presenta una cercanía con parámetros de dureza y alcalinidad altos para esta temporada donde familias de moluscos (*Psychidae*, *Thiaridae*, *Hydrobiidae* y *Sphaeridae*) y coleópteros (*Dystiscidae*, *Hydraenidae* e *Hydrochidae*) se desarrollan; la temperatura mayor a la media se ve como un parámetro relacionado más cercano a P2, donde se desarrollan familias como *Lymnecidae*, *planorbidae* y *Chironomidae*.

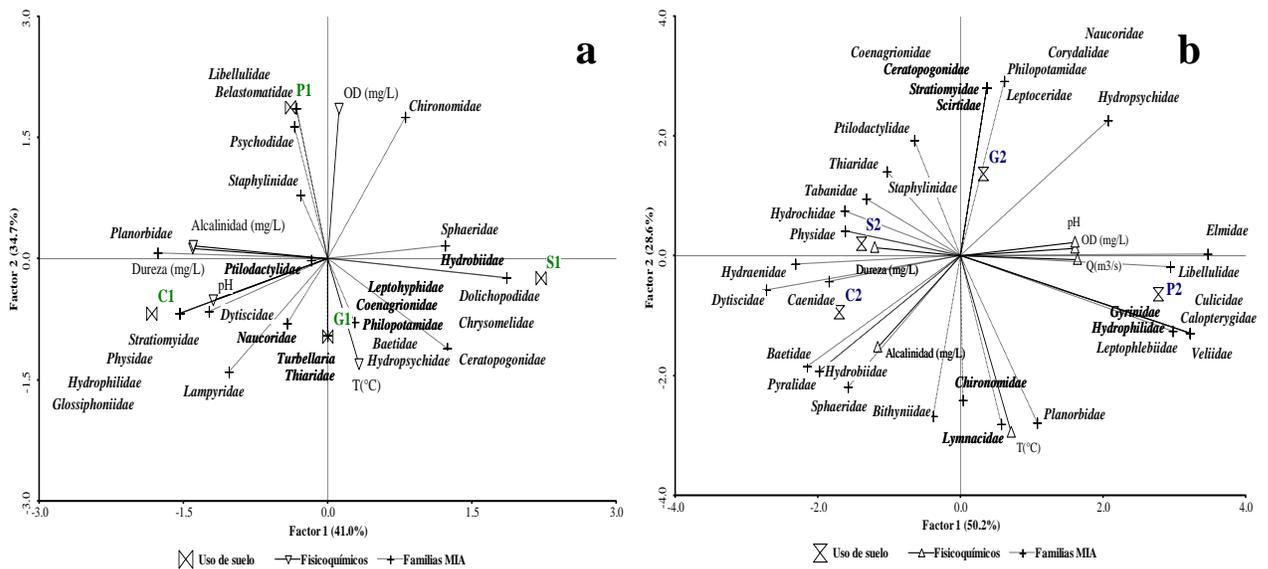


Figura 7. Correlación entre usos del suelo, parámetros fisicoquímicos y la abundancia de MIA mediante análisis PLS en la quebrada La Mula. donde a) temporada seca y b) temporada lluviosa.

Índice de calidad de agua (BMWP'CR)

En definitiva, los MIA encontrados en cada uno de los muestreos fueron interpolados con el BMWP'CR para identificar las categorías de calidad de agua que presentaba cada uso del suelo (Figura 8), donde la temporada seca (1) presenta suma de valores de sensibilidad de MIA más bajos de calidad de agua (16 -35), siendo los usos del suelo de S1 (23) y C1 (31) considerados dentro del rango de calidad pobre (aguas de calidad mala/muy contaminadas), mientras que P1(43) se encuentra un rango más arriba, ya que su suma se encuentra entre 36-60 que es considerado como agua regular (agua de calidad mala/contaminada). El uso de suelo G1, es el valor más alto (71) en calidad del agua con la clasificación en el rango de agua de buena (agua de calidad regular, eutrofia y contaminación moderada). Para la temporada lluviosa (2), los índices aumentan considerablemente, tanto así que el cambio de categoría se evidencia rápidamente; al observar la Figura 8, se evidencia que S2 pasó de ser el sitio con índice bajo a tener una categoría de regular (39). Mientras tanto C2 presentó una categorización de agua buena (69) (lugares donde la eutrofia y la contaminación moderada dominan) al igual que G2 (82) y P2 (64).

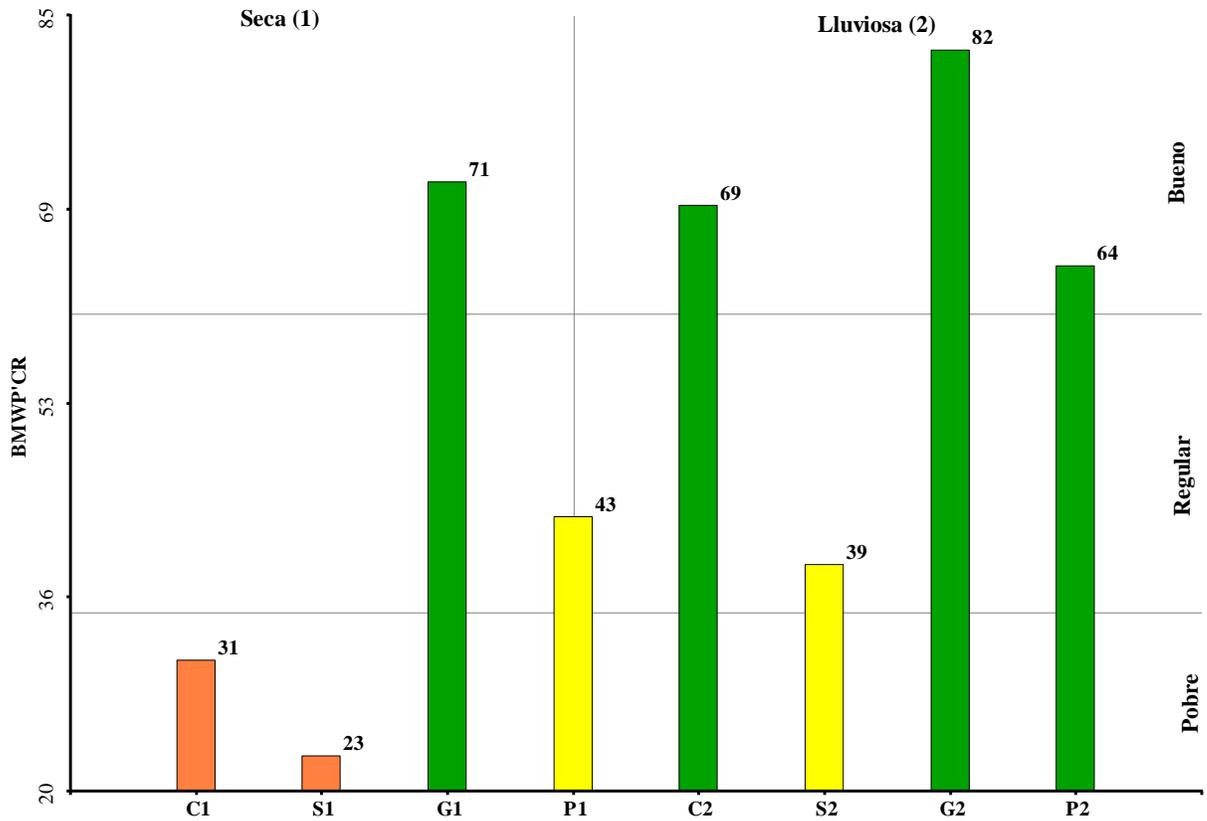


Figura 8. Comportamiento del índice BMWP'CR por temporada en la quebrada La Mula, Guanacaste, Costa Rica. Donde las barras anaranjadas representan Agua de calidad de mala calidad/muy contaminada (15 a 35), barras amarillas representan Agua de mala calidad/Contaminada (36 a 60), y barras verdes representa el Agua de calidad regular/Eutrofia/ Contaminación moderada (61 a 100).

Muestreo biológico del suelo

Parámetros fisicoquímicos del suelo

Según lo observado en la Tabla 3, las proporciones basadas en arena, arcilla y limo en los suelos de la subcuenca de la quebrada La Mula muestran que el tipo de suelos franco arenosos se encuentra en usos de suelos como ganadería (G), caña (C) y sandía (S), partículas más pequeñas de suelo se clasifican entre suelos franco para el uso de suelos con vegetación adyacente a ganadería (Va-G), además suelos de tipos franco arcillosos para vegetación adyacente a pastizal (Va-P), vegetación adyacente a caña (Va-C) y vegetación adyacente a sandía (Va-S), así mismo los pastizales (P) presentan un tipo de suelos arcillosos, los cuales se ubican en altura promedio de entre 5 a 10 msnm. Es importante mencionar que la conductividad eléctrica en la temporada seca para Va-P (7,58 dSm-1) y P (11,98 dSm-1) presenta los más altos de esta temporada, y en la temporada lluviosa el mismo uso de suelo presentó niveles altos (6,03 dSm-1) cabe destacar, que esta zona igualmente presentó valores de pH superiores a la media (Tabla 3).

Otros parámetros medidos en porcentaje fueron C, N y MO, donde valores MO más altos suelen verse en sitios a los usos de suelo con vegetación adyacente (6,5% en Va-G), de igual forma se ven expresado los valores de C y N donde Va-G tiene la mayor cantidad. Cabe señalar que parámetros como DA (g/cm³) en suelos que no presenta vegetación (Tabla 3) como G en la temporada seca son los que muestran mayor valor con 1,4 g/cm³; mientras que en Va-P durante la temporada lluviosa el valor con menor DA (0,90 g/cm³).

Tabla 3. Parámetros fisicoquímicos del suelo en la franja ribereña de la subcuenca La Mula en función de la temporada climática y uso de suelos

Temporada	Uso de suelo	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	CE (dSm-1)	N (%)	C (%)	MO (%)	pH	DA (g/cm ³)
Seca	Va-C	31,0	21,5	47,5	1,06	0,35	3,46	5,96	6,9	1,03
	C	53,0	27,5	19,5	1,27	0,26	2,53	4,36	7,2	1,22
	Va-S	35,0	23,6	41,4	0,90	0,28	3,58	6,17	6,9	1,12
	S	65,0	21,5	13,5	0,61	0,25	2,44	4,20	7,1	1,34
	Va-G	43,5	30,6	25,9	0,47	0,31	3,77	6,50	6,7	1,03
	G	69,0	19,5	11,5	0,44	0,21	2,83	4,88	7,1	1,54
	Va-P	35,1	27,4	37,5	7,58	0,23	3,56	6,13	7,7	1,00
	P	13,0	19,5	67,5	11,9	0,24	2,71	4,67	8,2	1,08
Lluviosa	Va-C	31,0	21,5	47,5	0,80	0,13	1,23	2,12	6,8	1,07
	C	53,0	27,5	19,5	1,09	0,18	2,16	3,72	7,2	1,10
	Va-S	35,0	23,6	41,4	0,16	0,15	1,64	2,82	6,8	1,07
	S	65,0	21,5	13,5	0,23	0,18	2,36	4,06	7,0	1,13
	Va-G	43,5	30,6	25,9	0,18	0,23	3,56	6,13	7,0	1,01
	G	69,0	19,5	11,5	0,59	0,16	1,78	3,07	7,1	1,39
	Va-P	35,10	27,4	37,50	6,03	0,24	2,71	4,67	7,9	0,90

Nota: donde dSm-1es deci-Siemens por metro y g/cm³ son gramos por centímetro cubico. Además, C=Caña, S=Sandía, G=Ganadería, P=Pastizal, Va-C= Vegetación adyacente a Caña, Va-S= Vegetación adyacente a Sandía, Va-G= Vegetación adyacente a Ganadería y Va-P=Vegetación adyacente a Pastizal.

Comportamiento de los Macroinvertebrados Edáficos (MIE) en función del uso del suelo de la franja ribereña en la quebrada La Mula

Se obtuvo un total de 1.456 individuos (Tabla 8) en 662 MIE en temporada seca y 794 MIE para la temporada lluviosa. Estos MIE se clasifican 22 Orden/Clase dentro de los que se agruparon en 38 familias y 2 órdenes como *Araneae* y *Julida*. Para el uso del suelo C la cantidad de familias encontradas fueron 9 donde *Japygidae* (25,7%) y *Scarabaeidae* (21,6%) presentan los mayores porcentajes de abundancia, mientras que la vegetación adyacente a este uso del suelo (Va-C) supera por 12 familias teniendo un acumulado de 21 familias, con porcentajes de abundancia mayores para *Termitidae* (56,4%) y *Formicidae* (9%). Uso del suelo cercanos a C como, S presenta 11 familias de las cuales *Cicadidae* y *Polydesmidae* tiene ambas un porcentaje de abundancia de 25,6%. Sin embargo, la vegetación Va-S cuenta con 13 familias y los porcentajes con mayor abundancia son para *Cicadidae* (27,8%) y *Scarabaeidae* (19,9%).

No obstante, usos del suelo como G presentan 16 familias de las cuales el porcentaje de abundancia mayor lo tiene *Termitidae* con 69,1% y *Scarabaeidae* con 9,1%, mientras tanto, Va-G presenta 23 familias de las cuales el porcentaje de abundancia mayor es para *Termitida* y *Formicidae* (Figura 9). En contraste, el P es el uso del suelo que presenta la menor cantidad de Familia (5) donde *Formicidae* (28%) y el orden *Araneae* (24%) tienen los porcentajes de abundancia más altos, de igual manera el análisis para el uso del suelo Va-P muestra 18 familias, de las cuales 35,4% corresponde a *Formicidae* y tan solo 12,6%, a *Scarabaeidae*.

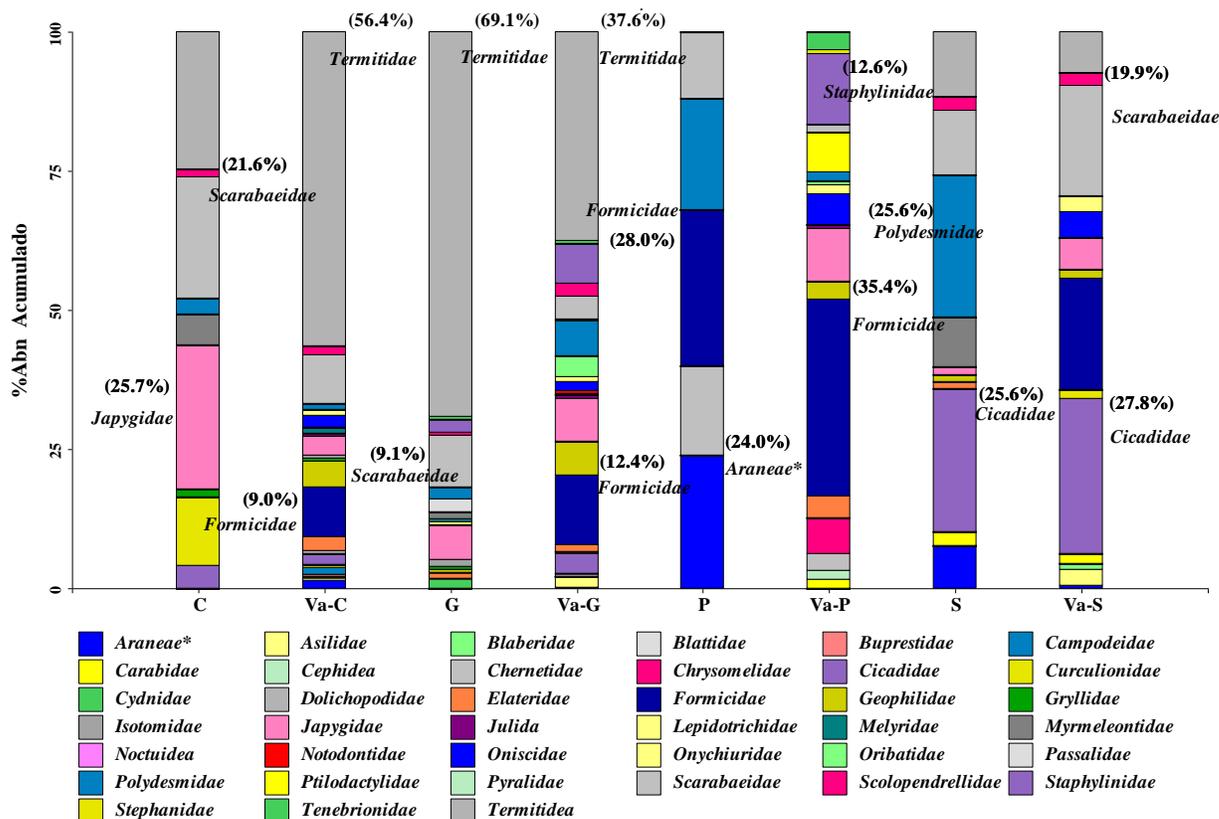


Figura 9. Orden/Familia de MIE encontradas en la franjar ribereña de la quebrada La Mula

Según la curva de acumulación de especies para la temporada seca (Figura 10.a), se observa que el uso del suelo Va-G muestra mayor cantidad de individuos (Tabla 8), y Va-C es el que mayor riqueza de especies tiene, en cambio, el índice de diversidad de Shannon (H) indica que Va-P es el sitio con mayor valor de diversidad (1,919); sin embargo, este valor es considerado como < 2 que indica que tiene baja diversidad, en general la temporada seca presenta en cada uno de los usos y su vegetación adyacente valores de H menores a 2; además, el valor más alto de dominancia lo presenta P con $1-D=0,8167$. Es de mencionar que el uso del suelo que no tiene vegetación presenta la minoría de especies para el muestreo.

En contraste, la temporada lluviosa (Figura 10.b) donde la mayor riqueza de especies se observa en Va-G, cuyo índice de diversidad ($H=2,416$) se encuentra entre el rango de valor

normal; mientras que C, Va-C, G, S y Va-S son sitios de muestreo con baja diversidad. No obstante, G obtuvo los valores de dominancia mayores ($1-D=0,87$) y es debido a que representa al uso del suelo con menor diversidad ($H=1,21$). Al comparar las temporadas de muestreo se puede observar que existen diferencias entre la cantidad de individuos encontrados en cada uso del suelo, así como la cantidad de especies en las que se agruparon (Tabla 8).

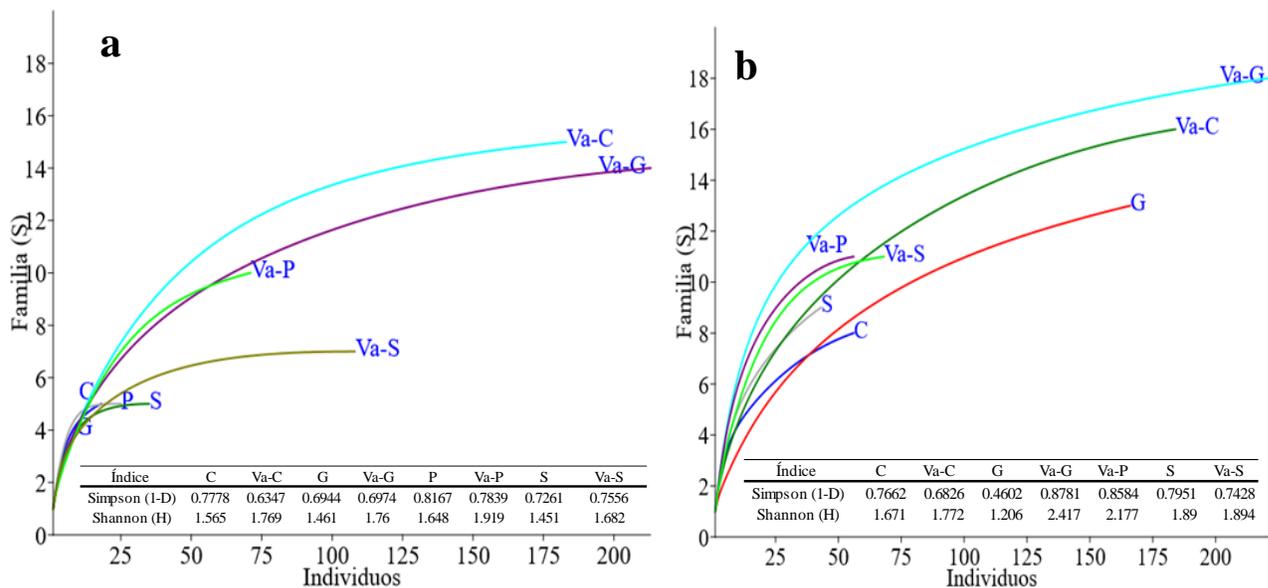


Figura 10. Curvas de acumulación de especies de MIE de la franjera ribereña de la subcuenca La Mula. Donde a) representa la temporada seca y b) temporada lluviosa.

Fuente: elaboración propia.

Se realizó un MLGM (Tabla 4), con los datos de la matriz MIE donde se usó la distribución binomial negativa, dando como resultado significancia en la prueba de hipótesis ($F\text{-value}=3.99$ y $p\text{-value}=0,042$) por lo que se rechaza la hipótesis de igual y se considera que, no existe sobre distención de datos ya que el coeficiente entre Deviance/grados de libertad (df) igual a 2,27.

Tabla 4. Análisis estadístico (MLGM) de los usos del suelo y temporalidad para los muestreos en la quebrada La Mula

Medidas ajustadas del modelo	N	AIC	BIC	logLik	Deviance
	15	169,69	176,77	-74,85	15,88
Pruebas de Hipótesis marginales (Wald) para los efectos fijos	Source	numDF	denDF	F-value	p-value
	Uso de suelo	7	7	3,99	0,0442

Nota: donde N es número total de sitios analizados, AIC es el criterio de Akaike, BIC es el criterio Bayesiano de Información, LogLik es logaritmo de la verosimilitud, Deviance es corresponde a la suma de cuadrado residual del análisis de la varianza y el cociente es el cuadrado medio residual, Term o Source son tratamientos, df o numDF, donde den DF son grados de libertad, F-Value es valor F y p-value es la significancia resultante.

La identificación de las diferencias de significancia del MLGM para la media de las abundancias de individuos se observó mejor con la prueba de LSD de Fisher (Tabla 5), donde Va-C es diferente de los usos de suelos como S, C y P. Por el contrario, Va-C y Va-G presentan similitudes en la media de sus abundancias. Los usos de suelos S, C y P son similares entre si según la media de sus abundancias, mientras que Va-S es similar a G. También, Va-P presenta diferencias con Va-C pero similitudes con Va-S y G.

Tabla 5. Prueba LSD Fisher aplicada a los usos del suelo y vegetación adyacente de la franja ribereña de la subcuenca La Mula

Tratamiento	PredLin	E.E.	Media	E.E.	Comparación		
Va-C	5,36	0,34	213,50	73,63	A		
Va-G	5,21	0,35	183,00	63,21	A	B	
Va-S	4,48	0,35	88,00	30,77	A	B	C
G	4,47	0,35	87,50	30,60	A	B	C
Va-P	4,15	0,35	63,50	22,40		B	C
S	3,66	0,36	39,00	14,03			C
C	3,61	0,36	37,00	13,35			C
P	3,22	0,52	25,00	13,07			C

Nota: donde PredLin son los valores predichos y E.E. es el error estándar

Fuente: elaboración propia.

Según el análisis de conglomerado realizado para las temporadas seca y lluviosa, ambas temporadas presentan 4 conglomerados, donde la correlación cofenética de la estación seca es de 0,80 manteniendo una distancia de Gower de 1,39 (Figura 11.a), y la temporada lluviosa obtuvo un índice de correlación cofenética de 0,84 con distancia de Gower para conformar los conglomerados de 1,29 (Figura 11.b). Se observó que para la temporada seca muchos de los individuos encontrados para el conglomerado 1 son considerados plagas en los cultivos, son saprófitos que viven en MO en descomposición, y otros que son organismos considerados *eu*-sociales (verdaderos organismos sociales). Vinculado a esto la temporada lluviosa muestra contraste ya que muchos de los organismos son asociados con la humedad del suelo y se encuentran verdaderos organismos *eu*-edáficos en el conglomerado uno, así como plagas de cultivos en el conglomerado tres.

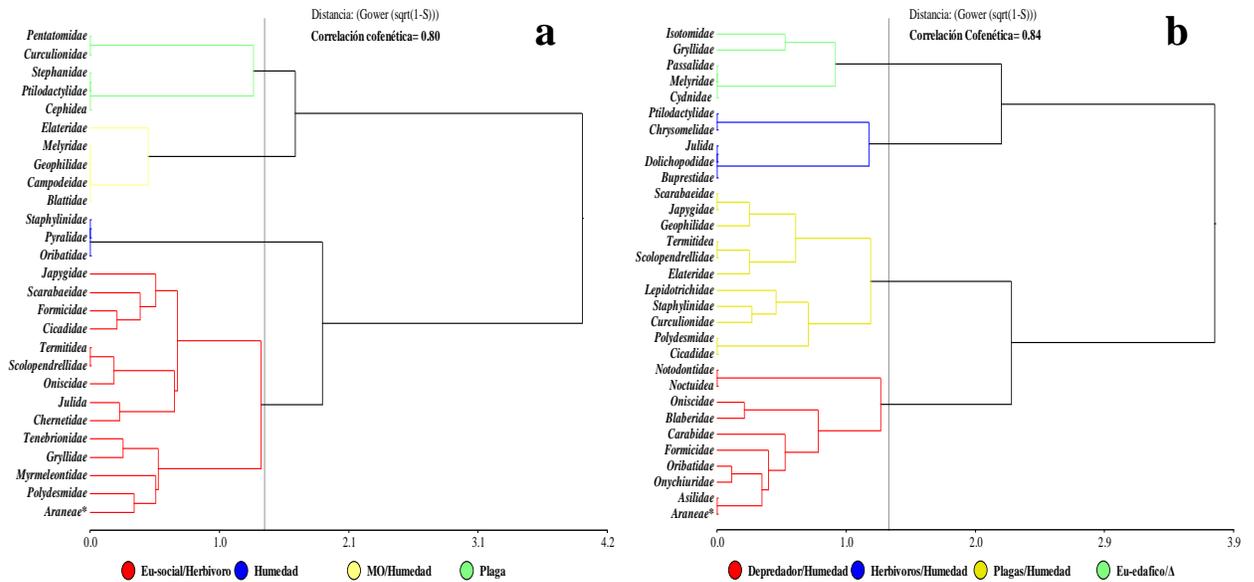


Figura 11. Dendrograma de similitud ecológica para MIE de la franja ribereña en la subcuenca La Mula, donde a) es temporada seca y b) temporada lluviosa.

Las correlaciones mostradas en la Figura 12.a indica que el factor 1 explica el 50,3% y el factor 2 muestra el 20,8% de estas relaciones. Según la temporada seca (Figura 12.a) se observa que el uso del suelo como G, S y C son afines a parámetros como DA y la proporción de arena de los suelos donde familias como *Myrmeleontidae* y *Scarabaeidae* se encuentran presentes. Así mismo, otro uso del suelo sin vegetación como P tiene estrecha relación con CE y pH (Tabla 3) y medianamente con las partículas de arcilla, donde depredadores del orden *Araneae* se ven presentes. De igual manera, uso del suelo de pastizal con vegetación adyacente (Va-P) muestra afinidad a partículas de suelos más finas como el limo y la arcilla, así como a parámetros de MO y C. Para los usos del suelo con vegetación adyacente (Va-S, Va-C y Va-G) existen relaciones cercanas con la MO, N y C, y es donde se ve la mayor cantidad de individuos de las familias *Termitidae*, *Oniscidae*, *Polydesmidae*, entre otras, las cuales pueden ser observadas a detalle en la Tabla 6.

Para la temporada lluviosa (Figura 12.b), se observa que el factor 1 explica el 37,85 mientras que el factor 2 explica el 25,8% de la relación, donde Va-G sigue manteniendo correlación con porcentaje de MO, C y N altos, con adyacencia de representación de familias como *Oribatidae*, *Japygidae*, *Cicadidae*. En comparación con otros usos del suelo, como S, C, Va-P con relación a algunos de estos parámetros como pH altos y la cantidad de limo y arena del suelo, así como a cantidades considerables de N, donde no se encuentra asociación de alguna especie cercana, a diferencia de los *Carabidae* que se encuentran medianamente cerca a usos del suelo C y S. Por otra parte, Va-C, Va-S y G tiene relación con parámetros como DA cercanas a la media de los usos de suelos estimados en el análisis, con cantidad de arcilla considerables. Es importante mencionar que *Scarabaeidae*, *Termitidae*, *Elateridae* y *Scolopendrellidae* son muy bien representadas por su afinidad al uso y a estos factores físicos.

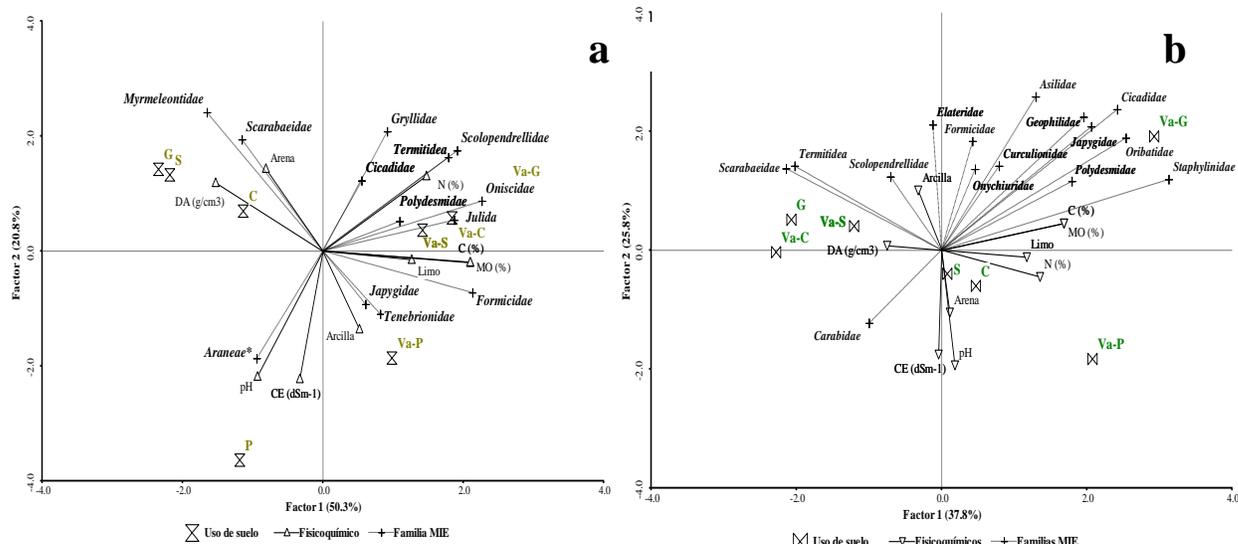


Figura 12. Correlación entre usos del suelo, parámetros fisicoquímicos y la abundancia de MIE mediante análisis PLS en la quebrada La Mula. Donde a) temporada seca y b) temporada lluviosa.

Comportamiento del índice de calidad del suelo (QBS-ar) en función de los usos y la vegetación adyacente de la franja ribereña de la subcuenca La Mula

Teniendo en cuenta lo anterior, se puede observar que según la suma de EMI de cada uso del suelo por temporada la calificación de QBS-ar, presenta valores menores a 93.7 que son considerados como baja calidad del suelo. Sin embargo, sitios con vegetación adyacente como Va-C (QBS-ar=142), Va-P (QBS-ar=101) y Va-G (QBS-ar=161) se encuentran considerados de buena calidad. A su vez, en la temporada lluviosa, todos los usos del suelo muestran valores considerados como suelos de alta calidad, donde usos del suelo como Va-G muestra QBS-ar=205 y Va-C con QBS-ar=180 (Figura 13).

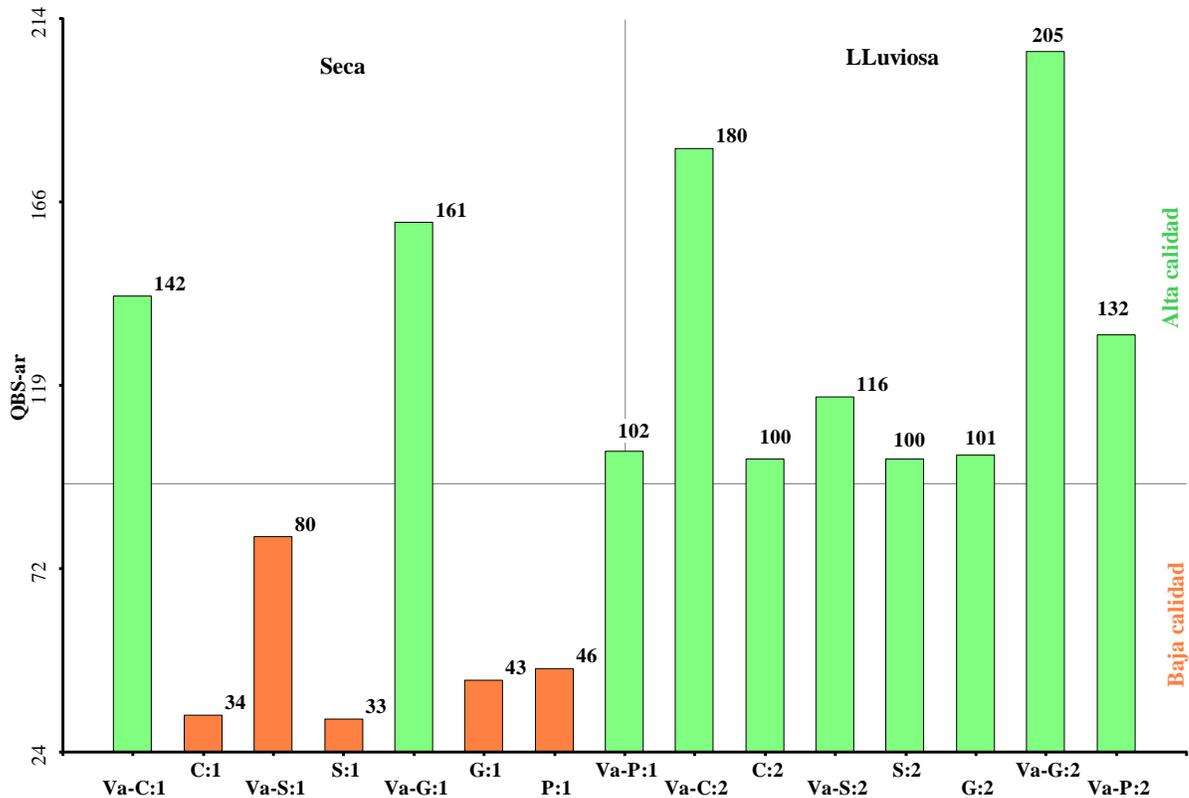


Figura 13. Comportamiento del índice QBS-ar por temporada en la franja ribereña de quebrada La Mula, Guanacaste, Costa Rica. Donde las barras anaranjadas son suelos de baja calidad (<93,7) y barras verdes indiquen alta calidad del suelo (>93,7).

Comparación de los índices de calidad de agua y suelos (BMWP'CR/NDVI/QBS-ar) en función de usos del suelo de la subcuenca de la quebrada La Mula

En la Figura 14 se evidencia que los usos del suelo con NDVI clasificados como vegetación media (G, Va-G y Va-C) son los que mejor calidad de suelos presentan según clasificación del QBS-ar. Asimismo, la calidad del agua en estos sitios tiende a ser mejor ya que lo estimado por el BMWP'CR indica una contaminación moderada (entre 61 y 100) con presencia eutrofia; es de mencionar, sobre todo en la temporada lluviosa se presentó un ligero aumento de los índices de calidad como lo hemos visto en los análisis de esta investigación. Usos de suelos como Va-P, P y Va-S donde según el NDVI la clasificación de la vegetación indica poca vegetación, en una zona intermedia entre la alta calidad del suelo y la baja calidad, sumado a la mala calidad registrada por BMWP'CR. Por último, algunos sitios, sin vegetación para el NDVI como C y S tienden a presentar baja calidad del suelo (QBS-ar) y muy mala calidad del agua según BMWP'CR.

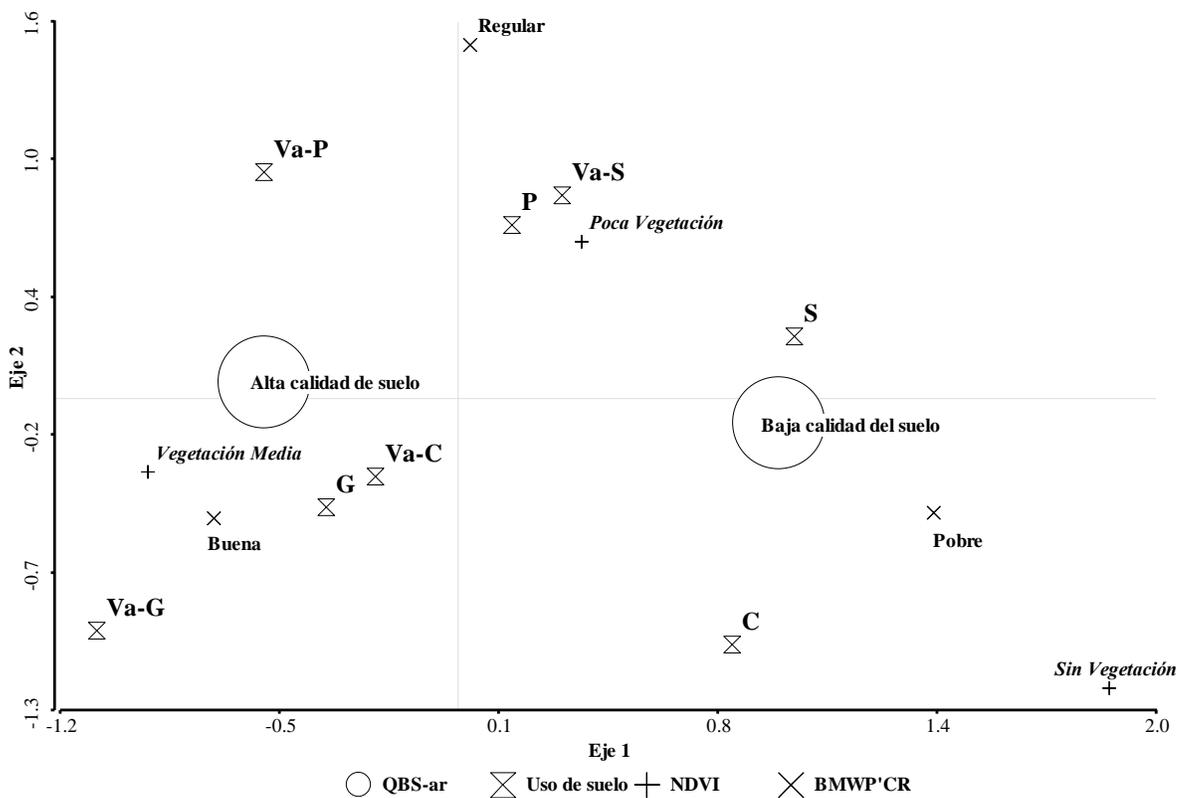


Figura 14. Comparación entre índices biológicos obtenidos en la subcuenca La Mula según análisis de correspondencia.

Discusión

Variación de cobertura vegetal (Índice de vegetación de diferencia normalizada-NDVI) en función de la estacionalidad y usos del suelo

El NDVI puede ayudar a medir el crecimiento de la vegetación y detectar cambios en esta (Gandhi *et al.* 2015), en ese sentido, la investigación compara el análisis general de subcuenca La Mula en la temporada seca y lluviosa de 2022 (Figura 3.a y Figura 3.d) donde se observa una distinción espacial homogénea con valores de 0,6 identificados como vegetación media para la temporada lluviosa según lo indicado por Chuvieco *et al.* (1999). Mientras que para la temporada seca la distribución de vegetación con valores en el mismo rango que la temporada lluviosa (vegetación media=0,48) se encuentra más dispersos y aglomerados en fracciones como las observadas en parcelas agrícolas del DRAT y el estero cercano al Parque Nacional Palo Verde. La temporalidad climática (régimen de lluvia) tiene un efecto directo sobre la evolución de la vegetación como se observó en el presente estudio. De manera similar, para Crusiol *et al.* (2017) este factor agua es importante en la evolución de la vegetación, ya que explica en su estudio que pastoreo animal.

Tanto los sitios de muestreo con vegetación adyacente a los usos del suelo y los usos con cultivo de caña, cultivo de sandía, pastizales y ganadería (según datos clasificaciones del IICA *et al.* (2016) es un sistema silvopastoril de pastoreo continuo. Delimitado por cercas vivas y presencia

de parches de bosque y árboles dispersos, donde la densidad de pastoreo es 7,4 ha por vaca) presentan un desarrollo de vegetación basado en el crecimiento de organismos vegetales según la estacionalidad. Estudios en la región de Chorotega y específicamente en el cantón de Bagaces, realizados por Leiva *et al.* (2009) indican que la estacionalidad afecta la ecología del paisaje; tanto para actividades agroeconómicas (cultivo de caña, arroz, sandía), el repasto ganadero y la conservación. A su vez, el estudio de Castro Vega *et al.* (2021) en la misma región determinó que la recuperación de espacios naturales para la conservación puede ser clave para que se incremente el NDVI de forma homogénea.

Efecto del uso del suelo en la calidad del agua

Entre los parámetros fisicoquímicos más sensibles a la temporalidad climática y usos del suelo se encuentra el OD, parámetro que en el estudio de la subcuenca La Mula presentó sus niveles bajos de concentración de OD en usos de suelos de caña, sandía y pastizales en temporada seca, dichos valores bajos en la concentración de OD menores 5 mg/L menciona Torres *et al.* (2009) que son peligrosas para la preservación de la vida acuática, ya que es un parámetro indispensable para la vida de los organismos acuáticos y en muchos casos las bajas concentraciones de OD se debe a grandes concentraciones de materia orgánica procedente de la vegetación ripiaría adyacente al cauce (Sierra Ramírez 2011), en contraste el uso del suelo ganadero para la temporada seca y todos los usos del suelo en la temporada lluviosa analizado presenta un valor mayor de 5 mg/L, por lo que, no se considera un sitio hipóxico (concentraciones de OD= 0,1-5 mg/L) para Guerrero (2015) lo que se traduce en sitios buenos para el desarrollo de MIA y otros organismos.

Otros parámetros como alcalinidad y dureza se ven relacionados, la alcalinidad a pesar de mostrarse con altos valores en los suelos destinados a caña, sandía, pastizal y ganadería en temporada seca y lluviosa, no se encuentra por sobre los límites peligrosos para identificar contaminación de aguas por sales de calcio, ya que según la normativa Centroamericana y del Caribe de calidad de agua (CAPRE) para la protección de la flora y fauna aplicada por Valladares *et al.* (2021) en cuerpos de agua lóticos del corredor seco de Honduras demuestra que el valor máximo permisible es de 300 mg CaCO³/L. Mientras que clasificación hecha por Neira Gutierrez (2006) para la dureza del agua superficial en Suramérica indican que 0 a 100 mg CaCO³/L se consideren aguas blandas y 100 a 300 mg CaCO³/L moderadamente blanda, tomando en consideración lo antes mencionado caña, sandía y la ganadería se consideran aguas moderadamente blandas en temporada seca, sin embargo, únicamente pastizal tiene aguas blandas, de igual manera todos los usos del suelo en temporada lluviosa se consideran como aguas blandas.

También, parámetro como pH a pesar de variar entre el rango de 6,2 a 7,6 para los sitios de muestreo de ambas temporadas son considerados como pH neutros (Iglesias 2014), adicionalmente la temperatura es un valor que se encuentra dentro de los rangos naturales de temperatura del agua para cuerpos superficiales según reglamento del MINAE-S (2007).

Para la temporada lluviosa, se consideró tomar el parámetro de caudal (Q), el cual se encuentra directamente relacionado con el OD y, este último es inversamente proporcional a la temperatura según reportes de Guerrero (2015); siendo los sitios de muestreo adyacentes al uso

del suelo ganadero (G2) y pastizal (P2) que presenta sitios con mayor diversidad y abundancia de especies ya que López Mendoza *et al.* (2019) en su estudio de diversidad de MIA según la temporada la dilución parámetros fisicoquímicos juegan un papel importante en la aumento o disminución de la abundancia y diversidad de especies lo cual se ve claramente evidenciado en la presente investigación. Además, existe una sucesión de especies según la temporada climática gracias al aumento de caudal, y que asegura Vargas Avilés (2017) en su estudio de la influencia del flujo del cauce y el ensamble de MIA en Costa Rica.

Para la temporada seca se observaron cuatro distintos conglomerados en función de los MIA, los cuales fueron identificados según algunas características ecológicas como; 1) depredadores natos *Dytiscidae* (Drotz *et al.* 2001) e *Hydrophilidae* (Arce- Pérez y Morón 2011) y familias muy relacionadas con las aguas lóaticas de poca velocidad y profundidad (menores a 1 m) como *Physidae*, *Thiaridae* y *Naucoridae* (Walteros Rodríguez 2018), sumado a que el conglomerado dos presenta relaciones en cuanto a la cantidad de materia orgánica ya que son saprofitos como *Ptilodactylidae* (Viñolas *et al.* 2020) y prosperan en aguas con dureza considerable (*Sphaeriidae*), que además son depredados por *Staphylinidae* en estadios primarios (Lawrence y Newton 1982). Sin embargo, para el conglomerado tres, la familia *Chironomidae* se identifica por ser resiliente (Rebechi y Navarro-Silva 2012) a cambios en el ecosistema, dado que resiste a altas concentraciones de cargas contaminantes, sumado a que son la fuente de alimento de muchos depredadores como escarabajos y larvas de la familia *Libellulidae* que se relacionan con el pH neutros (Springer *et al.* 2010). Así, en el último conglomerado se encuentran organismos que se ven favorecidos por concentración de OD en rango medio- alto con corrientes de agua moderadas *Philopotamidae* e *Hydropsychidae* (Springer 2010) y que indican agua de calidad regular a buena.

La temporada lluviosa al igual que la temporada seca presenta cuatro conglomerados, el primer conglomerado se relaciona con organismos que necesitan temperaturas no tan altas y de concentraciones moderadas de oxígeno, ya que prefieren alimentarse de materia orgánica que se encuentra cerca de los rápidos cercanos a sustratos rocosos y se ve representado por *Leptoceridae* (Springer *et al.* 2010). Por otra parte, según Hamada *et al.* (2018) la familia *Corydalidae* se puede encontrar en entornos con cantidades de oxígeno moderadas donde la materia orgánica es sustancial o en lugares con el sustrato suelto ya que son lugares donde esta familia caza a organismos saprofitos *Scirtidae*. Según estimaciones hechas por Vásquez *et al.* (2010) hechas en la cuenca del río Tempisque muchos de los organismos encontrados en este conglomerado son indicadores de calidad regular o moderada del agua.

En el segundo conglomerado analizado para la temporada lluviosa, la baja velocidad del cauce produce una disminución de la cantidad de OD, lo cual es esencial (Muñoz *et al.* 2015) para el desarrollo de familias como *Physidae* e *Hydrobiidae* (Walteros Rodríguez 2018) que son fuente de alimento junto con lavas de dípteros (*Tabanidae*) para coleópteros depredadores. En el tercer conglomerado se presentan muchos individuos herbívoros que se alimentan de algas como la familia *Lectophlebiidae* (Flowers y De la Rosa 2010) y se relacionan igualmente con sitios que no presentan hipoxia. De igual modo el conglomerado cuatro, tiene una cantidad considerable de depredadores que usan estructuras para atrapar pequeños moluscos (filtradores) y otras especies como *Hydropsychidae*, estos, de acuerdo con Rasmussen y Morse (2021), han desarrollado estructuras que les permiten formar redes para atrapar su alimento que van desde

algas hasta otros invertebrados. En consecuencia, Crisci y López Armengol (2018), encuentran que los valores de correlación cofenética deben estar entre 0,6 y 0,95 donde la taxonomía numérica indica valores ideales que son aquellos superiores a 0,8. Considerando lo anterior, se observa en la Figura 6 que la temporada seca (0,74) y lluviosa (0,87) tiene correlación entre las especies agrupadas en cada dendrograma que las representa, siendo la temporada lluvia quien presenta mayor correlación al ser superior a 0,8.

Así mismo, los datos observados en los análisis de correlación entre usos del suelo, parámetros fisicoquímicos y las familias de MIA de la temporada seca en cada uno de los usos del suelo, muestra que existen reguladores de las poblaciones dentro de cada microhábitat, ya que tanto coleópteros y odonatos para Hamada *et al.* (2018), a partir de sus claves taxonómicas para Hexapodas del Neotrópico, indican que ambos órdenes se encuentran en la cúspide de la cadena alimentaria de MIA en algunos estadios de vida que presentan. Si bien esto se encuentra bien representado en algunos usos del suelo como G1 por sus características de cuenca alta, donde hay más velocidad de cauce y mayor concentración de OD, así mismo, se encontraron las familias *Hydropsychidae*, *Leptohyphidae* y *Philopotamidae*, las cuales pueden tolerar cierta carga contaminante, pero a concentraciones bajas de OD según Flowers y De la Rosa (2010) y Springer (2010). Esto a su vez se ve reflejado en la calidad del agua de sitios que es para esta temporada la más alta según lo establecido por MINAE-S (2007), mientras que en usos del suelo como C1 y S1, son los sitios con peor calidad del agua donde dominan gran cantidad de moluscos (*Physidae*, *Thiaridae*, *Hydrobiidae* o *Sphaeridae*) que para Vásquez *et al.* (2010) son considerados como indicadores de agua regular a mala y que pueden sobrevivir en sitios con hipoxia.

Las condiciones estacionales tienen influencia sobre los MIA (Córdoba-Ariza *et al.* 2020), donde la temporada lluviosa, donde parámetros como OD, Q, pH, temperatura se encuentran relacionados con P2, G2 y se incluye también a C2, los cuales fueron los usos del suelo que presentaron en esta temporada, los mejores estándares para los parámetros antes mencionados, lo cual se traduce en la presencia de especies de aguas de calidad regular *Leptophebiidae*, *Corydalidae*, *Philopotamidae* o *Ptilodactylidae* como ya mencionó Vásquez *et al.* (2010) en su estudio sobre MIA en la cuenca del río Tempisque.

Sin embargo, a pesar de aumentar la calidad de agua por efecto de la dilución natural como indica Calvo Brenes (2018) en su libro sobre índices de calidad de agua en Costa Rica, quien menciona que la lluvia produce un efecto natural que baja las concentraciones de la carga contaminante que la autodepuración de los cauces no puede eliminar, así mismo Trama *et al.* (2009) en estudio hecho en el humedal de Palo Verde donde observo la influencia de variaciones estacionales y el ensamble de MIA, el autor menciona la influencia de las lluvias en la comunidad y sucesión de especie. En conclusión, sitios adyacentes al cultivo de sandía, tanto en la temporada seca como lluviosa presenta niveles de calidad del agua más bajos y considerados MINAE-S (2007) como aguas de mala calidad.

La calidad de suelos en función de la estacionalidad y usos del suelo

Según lo observado en el análisis fisicoquímico, la textura del suelo se encuentra dentro de lo estimado para regiones en la planicies cercanas a sitios de sedimentación, correspondiente con

la región estudiada en la investigación (Astorga *et al.* 1991). Más específicamente, Alvarado (1985) identifica que las zonas de ribera de los ríos tienden a estar conformadas por la combinación de partículas pequeñas como las francas o arcillosas a corta distancia de la interfaz suelo-agua donde el suelo es arenoso. Por otro lado, la DA es un parámetro considerado por Reynolds *et al.* (2002) como buen indicador de la calidad del suelo. Al verificarse los valores de DA obtenidos en la subcuenca La Mula y en comparación con los valores máximos señalados por Antúñez *et al.* (2015) se evidencia que los resultados obtenidos en la investigación se encuentran dentro de los límites permitidos ($G=1,54\text{g/cm}^3$) para el buen desarrollo de organismos y las raíces de las plantas. Este parámetro influye fuertemente en la cantidad de agua del suelo que es fundamental para la biota según García *et al.* (2021).

Además la MO que es un parámetro que se encuentra en porcentajes y que permiten el buen desarrollo de la biota (Docampo 2014), que según la clasificación hecha por Fassbender (1986) para la MO de los suelos de Latino América identifica a suelos medio los que tiene porcentaje de 2,1 a 4 y altos cuando el % es de 4,1 a 10. En tal contexto, todos los usos de la temporada seca junto a Va-G y Va-P en la temporada lluviosa son considerados con alto contenido de MO; mientras que C, S, G, Va-C y Va-S tiene contenido medio de MO.

Es de destacar que la CE y pH de sitios como P y Va-P en temporada seca como la lluviosa, presentaron niveles altos en las contracciones de los parámetros antes mencionado. Para el caso, la CE alta en temporada seca ($P=11,9$ y $Va-P=7,58$) y lluviosa ($Va-P=6,03$) son asociadas con pH como lo menciona Soriano (2018), quien además indica que sitios con conductividad entre 4 a 8 dSm^{-1} son suelos salinos y que $> 8 \text{ dSm}^{-1}$ son considerados como suelos muy salinos, y por lo general se debe a la acumulación de sales que se puede acumularse en la cuenca baja, con características de estero y que además, es típico de los suelos arcillosos (Herrero 1986). Los valores de pH asociado a P en temporada seca (8,2) y de Va-P para la temporada seca (7,7) y lluviosa (7,9) son para Osorio (2012) en su investigación sobre el pH de los suelos considera como suelos alcalinos donde existe baja disponibilidad de fósforo (P) y micronutrientes; altos niveles de calcio (Ca), magnesio (Mg) y el sodio (Na).

En tal sentido, la biota edáfica de la subcuenca La Mula se ve directamente afectada por la estacionalidad, ya que para Tschapek (1966) tanto la humedad como la temperatura son factores que definen las migraciones o colonización edáfica; conviene subrayar que, las diferencias observadas en las abundancias de organismos se deben a este fenómeno. Aún más evidente son las diferencias en la distribución de especies edáficas en suelos con vegetación donde Bird *et al.* (2000) ha comprobado que la hojarasca de las zonas con vegetación es un sitio idóneo permite una rápida colonización de MIE, con modificación directa sobre el contenido de MO del suelo, en contraste, los sitios de cultivos o suelos sin vegetación presentan diversidad y riqueza es pobres (Menta *et al.* 2017).

Un análisis objetivo de las agrupaciones de MIE nos muestra que, las asociaciones e interacciones ecosistémicas pueden ser innumerables entre estos organismos, ya que según Brussaard (1998), estas pueden ser directas o indirectas. En la investigación, durante la temporada seca se encontraron algunos MIE considerados como plagas de cultivos como especies de la familia *Curculionidae* que atacan el almacenamiento de granos y arroz (Metcalf y Flint 1970), así también hemípteras como *Pentatomidae* que cumplen con funciones

biológicas de controlador de plagas y también puede ser plaga de algunos cultivos (De los Santos y Bastardo 2013).

Otras interacciones entre especies son las comunidades que viven en sitios con alto contenido MO (Sendra 2001) y que se ven representadas en el presente estudio, en el conglomerado dos por familias como *Campodeidae* y *Geophilidae*, y que Samways *et al.* (2010) menciona en su libro sobre la conservación de insectos como familias que se desarrollan como consumidores primarias. A su vez, familias que necesitan de la humedad, al vivir en la interfaz suelo-agua (Hamada *et al.* 2018) como *Oribatidae* y *Staphylinidae* se representan en el conglomerado tres. Cabe mencionar que el último conglomerado de la temporada seca presentó insectos eu-sociales, como la familia *Termitidae*, *Formicidae* y *Japigidae* (Palacios Vargas *et al.* 2014).

Según Kühnelt y Walker (1961) una característica importante de los organismos del suelo es que presentan verdaderas adaptaciones para la subsistencia a este componente abiótico, así pues el conglomerado uno de la temporada lluviosa agrupa a organismos que se consideran eu-edáficos, como la familias *Isotomidae* y *Gryllidae*. Otra agrupación entre especies que puede verse reflejada en el conglomerado tres donde los organismos prefieren las condiciones de humedad como lo menciona Merritt *et al.* (2008) para las familias *Staphylinidae* y *Elateridae*; esta última familia, por lo general se compone de organismos herbívoros y que se alimentan de semillas recién germinadas en el suelo, según Zurita-García *et al.* (2014). Por último el conglomerado cuatro muestra una interacción entre depredadores como el orden *Araneae* que además para Ross (1964) poseen gran variedad de hábitos dentro de un ecosistema (hojarasca, troncos secos, bajo rocas, entre otros), otros como *Oribatidae* y *Onychuridae*, por sus características biológicas son también de suelo húmedo (Palacios Vargas *et al.* 2014). Es importante mencionar que junto a las familias *Formicidae* y *Carabidae*, estas cuatro familias son reportadas por Gutiérrez *et al.* (2007) como aptos para un sistema jerárquico de bio-indicación.

Estudios realizados por Revelo-Tobar *et al.* (2021) en la zona del trópico húmedo de Costa Rica, presentan resultados contrastantes con los observados en la subcuenca La Mula, donde el régimen de precipitaciones es diferente, ya que según datos del IMN (2011) y Alfaro (2014) en su caracterización estacional de la región Pacífico de Costa Rica, las lluvias pueden variar grandemente con cada año, lo cual afecta el modo en que se desarrollan estos organismos, donde muchos tienden a migrar por la falta de agua (Menta *et al.* 2018) como lo sucedido en la franja ribereña de la subcuenca La Mula en los sitios donde no existe cubierta vegetal.

Si bien, las interacciones entre las abundancias de especies es importante; la relevancia que toma el observar como la variaciones del uso del suelo generan un efecto sobre MIE como lo indican Gutiérrez *et al.* (2007) y Menta *et al.* (2017), sobre todo con los efectos que generan en las actividades económicas. Además, algunos parámetros fisicoquímicos que son aprovechados por familias para aumentar su abundancia y diversidad (Gerlach *et al.* 2013), claramente al ser combinados con mediciones del QBS-ar se traducen en sitios con alta o baja calidad del suelo, por lo que esta sería una herramienta de medición importante que puede ser destinada al establecimiento de patrones de deterioro o degradación de suelos (Galli *et al.* 2021).

Por lo tanto, de acuerdo con la presente investigación, se puede observar una variación marcada de la calidad del suelo (parámetros fisicoquímicos) con la estacionalidad, que al combinarla con los resultados del QBS-ar muestra suelos pobres en la estación seca, pero que en la estación lluviosa aumentan su nivel de calidad.

Relación entre índices de calidad de agua y suelos como indicadores del enfoque One Health (Una sola salud)

El enfoque One Health ha sido considerado siempre como un enfoque multidisciplinaria (Vivas Matín 2021) que permita explicar mejor la interrelación entre la salud de: el ecosistema, la vida silvestre y las poblaciones humanas (Gebreyes *et al.* 2014). Actualmente, dentro de este enfoque clásico podemos encontrar múltiples sub-enfoque como: a) One Water, quien nos ayuda a entender la relación del agua y efectos contraproducentes para sus consumidores (animales y plantas) y las actividades agropecuarias, enfocándose en su cantidad y calidad (O'Brien y Xagorarakí 2019) como previamente lo hicimos con BMWPCR, y b) One Soil, el cual nos explica la influencia de la expansión de la frontera humano (cambio en el uso de la tierra) y las alteraciones provocadas en la dinámica biológica y química del suelo (Ohno y Hettiarachchi 2018) que simultáneamente alteran los servicios ecosistémicos (Keith *et al.* 2016) y que el QBS-ar y el NDVI nos ayuda a entender de mejor manera.

La influencia que tiene la temporalidad estacional en la evolución de la vegetación, uno de los indicadores visibles al ojo humano, permite definir la calidad de un ecosistema (Olivares y López-Beltrán 2019); dicha calidad es de vital importancia para las zonas donde la interfaz suelo-agua debe mantener una homeostasia en pro de la diversidad, particularmente en las franjas ribereñas (Arcos Torres 2005); así mismo, los ecosistemas en las franjas ribereñas está asociado a la calidad del agua y el suelo bajo el concepto de integridad ecológica (Echeverría-Sáenz 2015). Como se ha evidenciados usos del suelo dispuestos para actividades agroeconómicas específicamente cultivos, así como en el caso de los pastizales, la calidad del suelo es mucho menor a raíz de la falta de material autóctono o autoctono que alimente comunidades de artrópodos acuáticos como edáficos (Lorion y Kennedy 2009).

Por otra parte, usos del suelo basados en la actividad económica ganadera, que se desarrolla en la parte alta de la subcuenca La Mula, manejados bajo un sistema silvopastoril, que favorecen el desarrollo de organismos en el suelo (Villanueva *et al.* 2018) y a su vez ayudan a preservar las fuente de agua principales, mitigando así efectos negativos sobre el componente abiótico que repercuten en el desarrollo de los organismos animales y vegetales. Bajo esta premisa se desarrolla en el enfoque Una sola salud (One Health), que busca mostrar la relación existente entre factores ambientales, la biología del entorno y el efecto que puede tener sobre la población a corto, mediano y largo plazo (Baker y Green 2015).

La consecuente pérdida de espacios naturales y el desarrollo desproporcionado que limita los ecosistemas naturales a cambio de la evolución económica son la clara imagen de los procesos climáticos actuales (Bresalier *et al.* 2020 y Trilla 2020), mientras que Di Donato (2009) ve más atrás, donde cambios recientes solo son el ápice y considera que desde inicios del Antropoceno el ser humano a tratado de modificar los ecosistemas provocando un cambio global que mantiene un flujo unidireccional de beneficios en la mayoría de los casos. En ese sentido, observaciones

más profundas sobre la subcuenca La Mula, objeto de la presente investigación, permiten definir, que a pesar de la influencia de la temporalidad estacional en los procesos de calidad de los entornos ecológicos donde las precipitaciones no llegan a superar más de 1.500 mm, la duración de temporada de lluvia es cada vez más corta (Alfaro 2014); por lo que se requiere valorar detenidamente a donde se dirige la salud de esta subcuenca, como ejemplo de los sistemas de uso múltiple del suelo en el contexto del trópico Centroamericano.

Aquí, las necesidades de un enfoque estratégico como el ofrecido por One Health, es una opción sustentable (Percedo Abreu *et al.* 2020) que ayudaría satisfactoriamente a abordar el estado actual de los componentes abióticos bajo los sub-enfoques de One Water (Shafer y Fox 2016) y One Soil (Banerjee y van der Heijden 2022) permitiendo entender mejor los efectos causados en la flora y fauna de la subcuenca, y que incorporen al componente social dentro de los límites de esta unidad de gestión (Álvarez Jiménez *et al.* 2021) para identificar mejor la dinámica de los interrelación del enfoque basándose en los usos del suelo (Lehmann *et al.* 2020).

Este último componente social, escapa a los alcances de la presente investigación, pero se visualiza como una siguiente etapa para el seguimiento de la construcción de indicadores de monitoreo del enfoque One Health. Ya que, si consideramos lo establecido por Faustino y Jiménez (2000) la importancia de considerar a las poblaciones humanas en las cuencas es de vital importancia para la sostenibilidad de los ecosistemas; en tal sentido, recientemente Sánchez *et al.* (2022) muchas de las enfermedades emergente relacionados con alteraciones en la vida silvestre (tráfico y consumo de las especies) y ecosistémica (agricultura y urbanización) por parte del hombre ha puesto en jaque a la población mundial, de allí es que nace la importancia de abordar este componente.

Así mismo, la amplitud de los impactos sociales que tiene el enfoque One Health se puede ver reflejado a corto y mediano plazo en: a) agropecuarias (cultivos y producción ganadera), b) medio ambiente (calidad de los componentes abióticos de un ecosistema), c) comercio (turismo), d) la educación (marcos referenciales), entre otros (USAID 2017). Según Murtaugh *et al.* (2017) el desafío del enfoque responde a políticas locales e internacionales, dado que la salud humana, animal y ambiental debe tenerse en cuenta a la hora de elaborar los nuevos instrumentos de políticas de agua o suelos por ejemplo. En ese sentido, los cambios acelerados en los ecosistemas han modificado nuestros estilos de vida para la mejora, sin considerar lo que esto ocasiona al entorno físico y biológico que nos rodea, es por esto que la Organización de Naciones Unidas busca dar respuesta con políticas (Agenda 2030 para el desarrollo sostenible) con nuevos Objetivos para el Desarrollo Sostenible (ODS) que aminoren cambios del ecosistema (Queenan *et al.* 2017).

Es de mencionar que, la disponibilidad de los recursos y principalmente la calidad del agua es un factor condicionante como lo resalta Zunino (2018). Al respecto, algunos usos de suelo cercanos a la comunidad de Bagatzí en Guanacaste, Costa Rica, han presentado los niveles de calidad de agua más bajos al igual que los de suelos. De manera similar Bidaisee y Macpherson (2014) ejemplifican los efectos de una mala calidad del ambiental que *a posteriori* cobra efectos en los humanos produciendo enfermedades. En resumidas cuentas, la atención al ambiente para evitar futuros escenarios como los vistos con la pandemia del COVID-19, (Hemida y Ba

Abduallah 2020), nuevamente evidenciando la relevancia de medir la puesta en marcha del enfoque de Una sola salud.

Conclusiones

La caracterización biofísica de una zona de investigación previo a una campaña de muestreo es de suma importancia, ya que nos brinda la información necesaria que ayuda a considerar los posibles sitios donde se desarrollará la recolecta de muestra, sumado a esto, la obtención de datos de importancia para entender la dinámica de la cuenca como parámetros morfométricos (orden de los ríos, pendiente, pisos altitudinales dentro de la cuenca, red de drenaje, extensión del cauce, perímetro y área) los cuales, cada vez se automatizan en software específicos para desarrollar trabajos en cuencas hidrográficas como lo demostrado SAGA GIS.

Además, las variaciones estacionales a partir de la compilación de píxeles de una determinada región muestran el efecto directo que tiene las lluvias sobre el cambio en la densidad de la vegetación a partir de mediciones hechas por el NDVI en la subcuenca. Sin embargo, las mediciones no solo se limitan a calcular la estacionalidad, también a proporcionar información de la involución que tiene los sistemas naturales como las franjas ribereñas ante la expansión de las actividades agroeconómica como la agricultura o ganadería que son prioridad para el desarrollo humano, y que, a pesar de esfuerzos por mitigar la expansión de las fronteras agropecuarias; por lo general se omite la precariedad en la que se puede convertir un ecosistema.

Los índices biológicos, como el BMWP'CR y el QBS-ar presentan evidentes variaciones relacionadas con la estacionalidad y la presencia de vegetación adyacente a las franjas ribereñas en cada uno de los usos del suelo. Si bien el BMWP'CR nos indica que la calidad del agua de sitios con usos del suelo destinados a la agricultura extensiva de caña y sandía son claramente quienes más baja calidad presentan debido a la alta actividad antropogénica y la cercanía con la comunidad de Bagatzí donde viven los encargados de vigilar por los cultivos en las parcelas DRAT. Por otra parte, la parte alta de la subcuenca es de uso del suelo destinada a ganadería, donde se observan árboles dispersos y cercas vivas dentro del uso de suelo y que además, tiene un nivel de vegetación media adyacente al uso del suelo, lo cual se traduce según los índices de calidad del agua bueno. En resumen, el favorecimiento de temporada lluviosa en la calidad del agua es indiscutible, ya que los procesos de autodepuración del cauce se aceleran por la dilución natural que promueve la lluvia.

A su vez, el QBS-ar, nos indica que la calidad del suelo no solo se ve favorecida por las lluvias evita las migraciones de organismos eu-edaáficos, sino que también la influenciada la vegetación arbustiva que proporciona materia orgánica al suelo y menor compactación de este, provocando que las especies aumente su riqueza y abundancia al tener un ecosistema rico en nutrientes para los consumidores primarios que son un escalón importante en la dinámica ecosistémica profundidad del suelo. De esta forma podemos explicar que, los sitios con vegetación adyacente al uso de suelo presentan mejor calidad del suelo por lo antes mencionado, considerando que las migraciones de organismos en el suelo durante la temporada seca por falta de agua entre los poros del suelo y la falta de agua son factores determinantes.

Tanto en la temporada seca como en la lluviosa el uso de suelo ganadero y sitios con vegetación adyacente a este uso de suelo, presento la mejor calidad del agua y suelo, así como el mayor grado de densidad en cuanto a vegetación arbustiva; esto en gran medida a las características biofísicas brindadas por la cuenca como pendiente o vegetación, sumado a la importancia que brinda el sistema de manejo silvopastoril, donde lo inusual de este sistema de pastoreo continuo es la densidad de individuos de 0,21 UV/ha y la cantidad de vegetación, que evita la alta comparación del suelo y la erosión del cauce al tener su bosque en la franja ribereña con pocas alteraciones a comparación de los usos de suelos de la cuenca media y baja de la subcuenta La Mula.

La correlación que existe entre la calidad del suelo, el agua y el grado de densidad de la vegetación son directamente proporcionales. En tal sentido, si el QBS-ar aumenta, igual lo hará el BMWP'CR y así no hará NDVI, lo que aporta hacia la construcción de un marco de referencia bajo el enfoque One Health, tomando como base el pilar de la salud ambiental bajo los sub-enfoques de One Waters y One Soil que consecuentemente con el desarrollo de más investigaciones permita aportar mayor evidencia sobre el tipo de correlación que existe entre el estado de la salud animal y humana en la subcuenca.

Esta es una propuesta de partida, que claramente requiere sumar indicadores como por ejemplo los sociales. De esta forma, se contribuye con datos concretos que podrían ser un aliciente para que cada vez más personas entidades privadas y gubernamentales se sumen a las consideraciones de esta línea que presenta el enfoque de One Health, donde la salud del ambiente puede ser bio-monitoreada a bajo costo, evitando el alto costo que implica salvaguardar a priori la salud de los animales y la salud humana, de esta forma tratando de mantenerse en alerta ante cualquier perturbación posible del ecosistema que gravemente puede desencadenar problemas serios para cada uno de los tres componentes que el enfoque menciona.

Bibliografía

- Acreman, M; Aldrick, J; Binnie, C; Black, A; Cowx, I; Dawson, H; Dunbar, M; Extence, C; Hannaford, J; Harby, A; Holmes, N; Jarritt, N; Old, G; Peirson, G; Webb, J; Wood, P. 2009. Environmental flows from dams: The water framework directive. Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Engineering Sustainability 162(1):13-22. DOI: <https://doi.org/10.1680/ensu.2009.162.1.13>.
- Agostini, M de los Á; Monterubbianesi, MG; Studdert, GA; Maurette, S. 2014. Un método simple y práctico para la determinación de densidad aparente. Ciencia del Suelo 32(2):171-176.
- Alfaro, EJ. 2014. Caracterización del “veranillo” en dos cuencas de la vertiente del Pacífico de Costa Rica, América Central. Revista de Biología Tropical 62:1-15. DOI: <https://doi.org/10.15517/rbt.v62i4.20010>.
- Alvarado, A. 1985. El Origen de los Suelos. Turrial, CATIE. 54 p.
- Alvarez Jiménez, M; Ramírez-Granados, P; Castro-Solís, J. 2021. Aspectos biofísicos y socioeconómicos de la subcuenca del río Páez, Cartago, Costa Rica. Revista Geográfica de América Central 2(67):195-298. DOI: <https://doi.org/10.15359/rgac.67-2.7>.
- Anderson, JM; Ingram, JSI. 1993. Tropical Soil Biology and Fertility: A Handbook of Methods. Second. Wallingford, CAB International. 238 p. DOI: <https://doi.org/10.2307/2261129>.
- Antúnez, A; Felmer, BS; Vidal, EM; Morales, SR. 2015. Propiedades físico-hídricas del suelo en el cultivo del maíz grano (en línea). Boletín INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias. no. 312 :31-50. Disponible en <https://biblioteca.inia.cl/handle/123456789/7894>.
- Arce- Pérez, R; Morón, MÁ. 2011. Sinopsis de los Hydrophiloidea de México (Coleoptera: Hydrophilidae, Helophoridae, Epimetopidae, Georissidae e Hydrochidae), con una clave para la identificación de los géneros. Revista Mexicana de Biodiversidad 82(2):491-514. DOI: <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2011.2.492>.
- Arcos Torres, I. 2005. La vegetación terrestre asociada al río: el bosque de ribera. s.l., CATIE. 104 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10750-005-0868-z>.
- Astorga, A; Fernández, JA; Barboza, G; Campos, L; Obando, J; Aguilar, A; Obando, LG. 1991. Cuencas sedimentarias de Costa Rica: evolución geodinámica y potencial de hidrocarburos. Revista Geológica de América Central (13):25-59. DOI: <https://doi.org/10.15517/rgac.v0i13.13074>.
- Babu, KJ; Sreekumar, S; Aslam, A. 2016. Implication of drainage basin parameters of a tropical river basin of South India (en línea). Applied Water Science 6(1):67-75. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13201-014-0212-8>.
- Baker, M; Green, K. 2015. ONE ENVIRONMENT , ONE HEALTH. .
- Bandera-Fernández, E; Pérez-Pelea, L. 2018. Los modelos lineales generalizados mixtos. Su aplicación en el mejoramiento de plantas. Cultivos Tropicales 39(1):127-133.
- Banerjee, S; van der Heijden, MG. 2022. Soil microbiomas and one health. Nature Reviews Microbiology :1-15. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/s41579-022-00779-w>.
- Bidaisee, S; Macpherson, CNL. 2014. Zoonoses and one health: A review of the literature. Journal of Parasitology Research 2014. DOI: <https://doi.org/10.1155/2014/874345>.
- Bird, S; Coulson, RN; Crossley, DA. 2000. Impacts of silvicultural practices on soil and litter arthropod diversity in a Texas pine plantation. Forest Ecology and Management 131(1-3):65-80. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(99\)00201-7](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(99)00201-7).

- Blashfield, RK. 1980. The growth of cluster analysis: Tryon, Ward, and Johnson. *Multivariate behavioral research* 15(4):439-458.
- Borror, D; DeLong, D. 1966. An introduction to the study of insects. New York, Holt, Rinehart and Wiston, INC. 819 p.
- Bouchard, RWJ. 2004. Chapter 13: Diptera (Aquatic and Semiaquatic True Flies). *Guide to Aquatic Invertebrates of the Upper Midwest* :208.
- Bresalier, M; Cassidy, A; Woods, A. 2020. One health in history. *One Health: the theory and practice of integrated health approaches* :1-14. DOI: <https://doi.org/10.1079/9781789242577.0001>.
- Brussaard, L. 1998. Soil fauna, guilds, functional groups and ecosystem processes. *Applied Soil Ecology* 9(1-3):123-135. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(98\)00066-3](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(98)00066-3).
- Calvo Brenes, G. 2018. Índices e indicadores sobre la calidad del agua. Cartago, Editorial Tecnológica de Costa Rica. 484 p.
- Cañibano, A; Gandini, M. 2018. El concepto de Rectángulo Equivalente para la caracterización de la forma de una cuenca. *Eco matemático* 9(1):7-14.
- Cao, R; Chen, Y; Shen, M; Chen, J; Zhou, J; Wang, C; Yang, W. 2018. A simple method to improve the quality of NDVI time-series data by integrating spatiotemporal information with the Savitzky-Golay filter (en línea). *Remote Sensing of Environment* 217(December 2017):244-257. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.08.022>.
- Cartaya Ríos, S; Zurita, S; Rodríguez, E; Montalvo, V. 2015. Comprobación del NDVI en imágenes rapieye para determinar cobertura vegetal y usos de la tierra en la provincia de Manabí, Ecuador. *Revista San Gregorio* 2(10):75-92. DOI: <https://doi.org/10.36097/rsan.v2i10.6>.
- Carter, JL; Resh, VH; Hannaford, MJ. 2006. Macroinvertebrates as Biotic Indicators of Environmental Quality. *Methods in Stream Ecology* 2:806-831. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813047-6.00016-4>.
- Castro Vega, J; Obando Zamora, M; Rodríguez Álvarez, D; Torres García, Y. 2021. Valoración del cambio en la cobertura vegetal de la subcuenca del río El Salto, Guanacaste, Costa Rica. *Biocenosis* 32(2):75-82. DOI: <https://doi.org/10.22458/rb.v32i2.3908>.
- Chávez, D; Miranda, I; Varela, M; Fernández, L. 2010. Utilización del análisis de cluster con variables mixtas en la selección de genotipos de maíz (*Zea mays*) (en línea). *Revista Investigación Operacional* 30(3):209-216. Disponible en rev-inv-ope.univ-paris1.fr/files/31310/31310-03.pdf.
- Chuvieco, E; Deshayes, M; Stach, N; Cocero, D; Riaño, D. 1999. Short-term fire risk: foliage moisture content estimation from satellite data. s.l., Springer. p. 17-38.
- Conti, ME. 2008. Environmental biological monitoring. *Biological Monitoring* 30:1-23. DOI: <https://doi.org/10.2495/978184564002601>.
- Conti, ME; Cucina, D; Mecozzi, M. 2008. Regression analysis model applied to biomonitoring studies. *Environmental Modeling and Assessment* 13(4):553-565. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10666-007-9113-7>.
- Córdoba-Ariza, PG; Rincón-Palau, K; Donato-R., JC; González-Trujillo, JD. 2020. Variación espacio-temporal de macroinvertebrados acuáticos en la Lindosa, Guayana colombiana. *Revista de Biología Tropical* 68(2):452-465. DOI: <https://doi.org/10.15517/rbt.v68i2.39331>.

- Coronel-Picón, YR; Obregón-Neira, N; Jiménez-Romero, GL. 2012. Patrones de relación entre información biológica e información física y socioeconómica . Cuenca alta del río Otún ,. Ingeniería y Universidad .
- Cortés, S. 1984. Análisis de la sucesión de una comunidad fitobentónica de un río. *Limnetica* 1(1):148-152. DOI: <https://doi.org/10.23818/limn.01.19>.
- Crains, J; Van Der Schalie, WH. 1980. Biological monitoring part 1-Early Warning Systems (en línea). *Water Research* 14:1179-1196. Disponible en https://www.nature.org/content/dam/tnc/nature/en/documents/AFC_Protocolo_biodiversidad_pagina_Baja.pdf.
- Crisci, JV; López Armengol, MF. 2018. Introducción a la Teoría y Práctica de la Taxonomía Numérica. s.l., s.e.
- Crusiol, LGT; Carvalho, J de FC; Sibaldelli, RNR; Neiverth, W; do Rio, A; Ferreira, LC; Procópio, S de O; Mertz-Henning, LM; Nepomuceno, AL; Neumaier, N; Farias, JRB. 2017. NDVI variation according to the time of measurement, sampling size, positioning of sensor and water regime in different soybean cultivars. *Precision Agriculture* 18(4):470-490. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11119-016-9465-6>.
- Dangerfield, JM. 1997. Abundance and diversity of soil macrofauna in northern Botswana. *Journal of Tropical Ecology* 13(4):527-538. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0266467400010695>.
- Darrigran, G; Vilchez, A; Legarralde, T; Damborena, C. 2007. Guía para el estudio de macroinvertebrados I . - Métodos de colecta y técnicas de fijación . (en línea). Serie Técnica Didáctica (May 2015):1-86. Disponible en <https://www.researchgate.net/publication/277100637>.
- Dávila-Recinos, G; Ortiz, JR; Reyes-Morales, F. 2019. Efecto del microhábitat sobre la abundancia y riqueza específica de los macroinvertebrados bentónicos en dos ríos tropicales de montaña, Guatemala. *Ciencia, Tecnología y Salud* 6(1):7-21. DOI: <https://doi.org/10.36829/63cts.v6i1.657>.
- Delgado Castillo, MJ. 2020. Diversidad y abundancia de macrofauna edáfica en tres sistemas de uso de suelo Illpa - Puno. s.l., Universidad EARTH. 13 p.
- Docampo, R. 2014. Y Su Manejo En Producción Frutícola. *Inia* 67:81-89.
- Di Donato, M. 2009. Impacto del Cambio Global en el Antropoceno: crisis, consecuencias y adaptación (en línea). *Boletín ECOS - CIP-Ecosocial* 5:1-10. Disponible en http://www.fuhem.es/media/cdv/file/biblioteca/Sostenibilidad/Cambio_global_en_Antrpoceno.pdf.
- Drotz, M; Saura, A; Nilsson, A. 2001. The species delimitation problem applied to the *Agabus bipustulatus* complex (Coleoptera, Dytiscidae) in north Scandinavia. *Biological Journal of the Linnean Society* 73:11-22.
- Duan, T; Chapman, SC; Guo, Y; Zheng, B. 2017. Dynamic monitoring of NDVI in wheat agronomy and breeding trials using an unmanned aerial vehicle (en línea). *Field Crops Research* 210(May):71-80. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.05.025>.
- Echeverría-Sáenz, S. 2015. Bosques de Ribera: Protección para la calidad del agua y la integridad ecológica del ecosistema acuático (en línea). *Saltra* 12. Disponible en <https://repositorio.una.ac.cr/handle/11056/10247>.
- Evans, BR; Leighton, FA. 2014. A history of One Health. *Revue scientifique et technique (International Office of Epizootics)* 33(2):413-420. DOI: <https://doi.org/10.20506/rst.33.2.2298>.

- Fassbender, HW. 1986. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. 1era ed. IICA (ed.). San José, IICA. 398 p.
- Faustino, J; Jiménez, F. 2000. Manejo de Cuencas Hidrograficas (en línea). Turrialba, CATIE. p. 35. Disponible en [https://www.infocuenas.com/img/kcfinder/files/manejo de cuencas hidrograficas.PDF](https://www.infocuenas.com/img/kcfinder/files/manejo_de_cuenas_hidrograficas.PDF).
- Fernández, F; Sharkey, MJ. 2006. Introducción a los Hymenoptera de la región Neotropical. Bogotá, Guadalupe Ltda. 930 p.
- Fernández Cerelli, A. 2012. El agua: un recurso esencial. *Química Viva* 11(3):147-170.
- Flowers, RW; De la Rosa, C. 2010. Ephemeroptera. *Biología Tropical* 58(4):63-93.
- Galli, L; Lanza, E; Rellini, I. 2021. First application of the QBS-ar Index in South America for the assessment of the biological quality of soils in Chile. *Soil Science Annual* 72(2). DOI: <https://doi.org/10.37501/soilsa/135990>.
- Gamon, JA; Field, CB; Goulden, ML; Griffin, KL; Hartley, E; Joel, G; Peñuelas, J; Valentini, R. 1995. NDVI canopy structure photosynthesis. *Ecological Applications* 5(1):28-41.
- Gandhi, GM; Parthiban, S; Thummalu, N; Christy, A. 2015. Ndvi: Vegetation Change Detection Using Remote Sensing and Gis - A Case Study of Vellore District (en línea). *Procedia Computer Science* 57:1199-1210. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.07.415>.
- García, CS; Silva, IC; Rodríguez, HG; Díaz, MIY; Monsiváis, JGM; Meza, MVG. 2021. Effect of different land use in the physical and hydrological properties of a Luvisol in the state of Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 12(68):151-177. DOI: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i68.982>.
- Gebreyes, WA; Dupouy-Camet, J; Newport, MJ; Oliveira, CJB; Schlesinger, LS; Saif, YM; Kariuki, S; Saif, LJ; Saville, W; Wittum, T; Hoet, A; Quessy, S; Kazwala, R; Tekola, B; Shryock, T; Bisesi, M; Patchanee, P; Boonmar, S; King, LJ. 2014. The Global One Health Paradigm: Challenges and Opportunities for Tackling Infectious Diseases at the Human, Animal, and Environment Interface in Low-Resource Settings. *PLoS Neglected Tropical Diseases* 8(11). DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0003257>.
- Gerlach, J; Samways, M; Pryke, J. 2013. Terrestrial invertebrates as bioindicators: An overview of available taxonomic groups. *Journal of Insect Conservation* 17(4):831-850. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10841-013-9565-9>.
- Gower, J. 1971. A General Coefficient of Similarity and Some of Its Properties. *Biometrics* 27(4):857-871.
- Granados-Sánchez, D; Hernández-García, MÁ; López-Ríos, G. 2006. Riparian Zones Ecology. *Revista Chapingo Serie Horticultura* XII(1).
- Guerrero, WM. 2015. Folleto Informativo Oxígeno Disuelto (OD) (en línea). Folleto Informativo :1-5. Disponible en http://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/3110sp.pdf.
- Gutiérrez-Fonseca, PE. 2010. Guía ilustrada para el estudio ecológico y taxonómico de los insectos acuáticos del Orden Coleoptera en El Salvador (en línea). San Salvador, Organización de los Estados Americanos. 1-64 p. Disponible en <http://www.ues.edu.sv/>.
- Gutiérrez-Fonseca, PE; Lorion, CM. 2014. Application of the BMWP-Costa Rica biotic index in aquatic biomonitoring: Sensitivity to collection method and sampling intensity. *Revista de Biología Tropical* 62(April):275-289. DOI: <https://doi.org/10.15517/rbt.v62i0.15792>.

- Gutiérrez-Martínez, PR. 2014. Clave para la identificación de las subfamilias y los géneros de hormigas (Hymenoptera: Formicidae) de Costa Rica. Cuadernos de Investigación UNED 6(1):105-123.
- Gutiérrez, C; Escuer, M; Simón, C; Campos-Herrera, R; Labrador, S; Gómez-Ros, J; Domínguez, M; Cuadra, L; Cedenilla, O. 2007. La biodiversidad edáfica como sistema bioindicador del estado de la conservación del suelo. *In* I congreso nacional sobre cambio global. Madrid, Universidad Carlos III de Madrid. p. 2.
- Hamada, N; Thorp, H; Rogers, C. 2018. Key to Neotropical Hexapoda. Fourth edi. Academic Press (ed.). Londres, s.e. 839 p. DOI: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-804223-6.00010-x>.
- Hammer, Ø; Harper, D; Ryan, P. 2001. PAST: Paleontological Statistics Software, packages for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica* 4(1):4-9.
- Hanson, P; Springer, M; Ramírez, A. 2010. Introducción a los grupos de macroinvertebrados acuáticos. *Revista de Biología Tropical* 58(SUPPL.4):3-37. DOI: <https://doi.org/10.15517/RBT.V58I4.20080>.
- Hemida, MG; Ba Abdullallah, MM. 2020. The SARS-CoV-2 outbreak from a one health perspective (en línea). *One Health* 10(March):100127. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.onehlt.2020.100127>.
- Herrero, J. 1986. Salinidad en los suelos (en línea). Huesca, Diputación general de Aragón. 197 p. Disponible en <http://hdl.handle.net/10261/156817>.
- Huitema, D; Meijerink, S. 2017. The politics of river basin organizations: Institutional design choices, coalitions, and consequences. *Ecology and Society* 22(2). DOI: <https://doi.org/10.5751/ES-09409-220242>.
- Iglesias, J. 2014. Folleto Informativo pH (en línea). Folleto Informativo :3-7. Disponible en https://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/3140sp.pdf.
- IICA; PRESAAC; USDA. 2016. Sistemas silvopastoriles establecimiento y uso en República Dominicana. s.l., s.e. 48 p.
- IMN. (2011). Cuenca del río Tempisque. San José, s.e.
- INTA. (2015). Propiedades físico-químicas Alfisoles (en línea). San José, s.e. Disponible en <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/Av-1825.PDF>.
- _____. (2015). Suelos de Costa Rica Orden Entisol (en línea). 4 ed. San José, s.e. Disponible en <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/Av-1822.PDF>.
- _____. (2015). Suelos de Costa Rica orden inceptisol (en línea). San José, s.e. Disponible en <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/Av-1825.PDF>.
- _____. (2015). Suelos de Costa Rica Orden Molisol. San José, s.e.
- Ivankova, T.; Fesenko, LN. 2021. Impacto del estanque en la naturaleza, sistema técnico en el pequeño río Alma, república de Crimea. *Geoecología* 77(3):77-82. DOI: <https://doi.org/10.24412/1816-1863-2021-3-77-82>.
- Jiménez-Valverde, A; Horta, J. 2003. Las curvas de acumulación de especies y la necesidad de evaluar la calidad de los inventarios biológicos. *Revista Ibérica de Aracnología* 8(31):57-59.
- Jiménez, J; González Jiménez, E. 2001. Características generales de la cuenca del río Tempisque (en línea). 1era ed. Guanacaste, Organización para Estudios Tropicales. 32-72 p. Disponible en <https://rsis.ramsar.org/RISapp/files/623/documents/CR540mgt.pdf#page=36>.

- Johnson, CW; Buffler, S. 2007. Riparian buffer design guidelines for water quality and wildlife habitat functions on agricultural landscapes in the Intermountain West. s.l., s.e. 1-182 p.
- Karr, JR. 2006. Seven Foundations of Biological Monitoring and Assessment. *Biologia Ambientale* 20(2):7-18.
- Keith, AM; Schmidt, O; McMahon, BJ. 2016. Soil stewardship as a nexus between Ecosystem Services and One Health (en línea). *Ecosystem Services* 17:40-42. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2015.11.008>.
- Knoepp, JD; Coleman, DC; Crossley, DA; Clark, JS. 2000. Biological indices of soil quality: An ecosystem case study of their use. *Forest Ecology and Management* 138(1-3):357-368. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00424-2](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00424-2).
- Kühnelt, W; Walker, N. 1961. Soil biology. London, Faber and Faber. 397 p.
- Laguna Lumbreras, E; Ferrer-Gallego, P. 2015. Propuesta de aplicación de los índices de diversidad para el uso taxonomicos, fitosociales y lista roja de flora amenazada. *Flora Montiberica* 31(60):18-31.
- Lang, G; Morales, C; Sandoval, C; Vargas, L; Villalobos, L. (2014). Evaluación de Impacto del Distrito de Riego Arenal-Tempisque. Región Chorotega, Costa Rica, 1981-2011 (en línea). s.l., s.e. Disponible en [https://documentos.mideplan.go.cr/alfresco/d/d/workspace/SpacesStore/be0001a6-fed8-49a2-9ad4-6efe2fa6f283/DRAT Informe de evaluacion.Pdf](https://documentos.mideplan.go.cr/alfresco/d/d/workspace/SpacesStore/be0001a6-fed8-49a2-9ad4-6efe2fa6f283/DRAT%20Informe%20de%20evaluacion.Pdf).
- Langraf, V; Petrovičová, K; Schlarmanová, J; David, S; Avtaeva, TA; Brygadyrenko, V V. 2021. Assessment of soil quality in agroecosystems based on soil fauna. *Biosystems Diversity* 29(4):319-325. DOI: <https://doi.org/10.15421/012140>.
- Lara Tovar, K; Cruz Hernandez, I; Universidad de Guanajato. 2016. Estudio de la contaminación de flúor en el agua subterránea del acuífero de la cuenca alta del río laja (en línea). Vol 2 .Nro 1 2(1):1292-1297. Disponible en <http://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/1243>.
- Lavelle, P; Kohlmann, B. 1984. Étude quantitative de la macrofaune du sol dans une forêt tropicale humide du Mexique (Bonampak, Chiapas) (in French, with English summary) (en línea). *Pedobiologia* 27(6):377-393. Disponible en <https://www.researchgate.net/publication/271842588>.
- Lawrence, JF; Newton, AF. 1982. Evolution and classification of beetles. *Annual review of ecology and systematics*. Volume 13 13(1982):261-290. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.es.13.110182.001401>.
- Ledezma, S; Laguna, S; Rodríguez-Fernández, J; Nina Peña, P. (2021). First evaluation in South America of the “ soil biological quality index QBS-ar ”: a pilot study in the bolivian Amazon. Bolivia, s.e.
- Lehmann, J; Bossio, DA; Kögel-Knabner, I; Rillig, MC. 2020. The concept and future prospects of soil health. *Nature Reviews Earth and Environment* 1(10):544-553. DOI: <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0080-8>.
- Leiva, JA; Rocha, OJ; Mata, R; Gutiérrez-Soto, M V. 2009. Cronología de la regeneración del bosque tropical seco en Santa Rosa, Guanacaste, Costa Rica. II. La vegetación en relación con el suelo. *Revista de Biología Tropical* 57(3):817-836. DOI: <https://doi.org/10.15517/rbt.v57i3.5495>.

- Lemenkova, P. 2021. SAGA GIS for Computing Multispectral Vegetation Indices by Landsat TM for Mapping Vegetation Greenness. *Contemporary Agriculture* 70(1-2):67-75. DOI: <https://doi.org/10.2478/contagri-2021-0011>.
- Lizcano, D; Diaz, A; Gómez, B. 2019. Monitoreo de Biodiversidad (en línea). s.l., s.e. Disponible en https://www.nature.org/content/dam/tnc/nature/en/documents/AFC_Protocolo_biodiversidad_pagina_Baja.pdf.
- López Mendoza, S; Huerta Pineda, D; Calderón Rivera, D; Díaz Arévalo, J. 2019. Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de calidad del agua del río Teusacá (Cundinamarca, Colombia). *Ingeniería y Desarrollo* 37(2):269-288. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.14482/inde.37.2.6281>.
- Lorion, CM; Kennedy, BP. 2009. Relationships between deforestation, riparian forest buffers and benthic macroinvertebrates in neotropical headwater streams. *Freshwater Biology* 54(1):165-180. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2008.02092.x>.
- De los Santos, G; Bastardo, R. 2013. La familia Pentatomidae (Hemiptera: Heteroptera) en las colecciones de referencia de la República Dominicana. *Novitates Caribaea* (6):1-15. DOI: <https://doi.org/10.33800/nc.v0i6.103>.
- Lu, R; Zhao, X; Li, J; Niu, P; Yang, B; Wu, H; Wang, W; Song, H; Huang, B; Zhu, N; Bi, Y; Ma, X; Zhan, F; Wang, L; Hu, T; Zhou, H; Hu, Z; Zhou, W; Zhao, L; Chen, J; Meng, Y; Wang, J; Lin, Y; Yuan, J; Xie, Z; Ma, J; Liu, WJ; Wang, D; Xu, W; Holmes, EC; Gao, GF; Wu, G; Chen, W; Shi, W; Tan, W. 2020. Genomic characterisation and epidemiology of 2019 novel coronavirus: implications for virus origins and receptor binding (en línea). *The Lancet* 395(10224):565-574. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30251-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30251-8).
- Madrid, FM. (2019). Índice de diversidad biológica: índice de Shannon y Simpson (en línea). Lima, s.e. Disponible en <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-ricardo-palma/ecologia/indices-de-diversidad-biologica/5350412>.
- Martínez, R; Viguera, B; Donatti, C; Harvey, C; Alpizar, F. 2017. Módulo 3 La importancia de los servicios ecosistémicos para la agricultura M . Ruth Martínez-Rodríguez Bárbara Viguera (en línea). (August 2018):1-40. Disponible en https://namacafe.org/sites/default/files/content/proyecto_cascada_modulo_3_servicios_ecosistemicos_en_la_agricultura.pdf.
- Mas, JF. 1999. Monitoring land-cover changes : A comparison of change detection techniques. *International Journal of Remote Sensing* 20(1):139-152. DOI: <https://doi.org/10.1080/014311699213659>.
- Mensah-Brako, B; Agyei, W; Mensah, E; Kotei, R. 2018. Morphometric analysis of Pairi River basin using remote sensing and GIS tecnology in Ghana. *International Journal of Engineering Research & Technology* 7(01):416-424.
- Menta, C; Conti, FD; Pinto, S. 2017. Microarthropods biodiversity in natural, seminatural and cultivated soils—QBS-ar approach (en línea). *Applied Soil Ecology* 123(May):740-743. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.05.020>.
- Menta, C; Conti, FD; Pinto, S; Bodini, A. 2018. Soil Biological Quality index (QBS-ar): 15 years of application at global scale (en línea). *Ecological Indicators* 85(2017):773-780. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.11.030>.
- Merritt, RW; Cummins, KW; Berg, MB. 2008. An introduction to the aquatic Insects of North America. Fourth Edi. Iowa, Kendall/Hunt Publishing Company. 1218 p.

- Metcalf, CL; Flint, WP. 1951. Destructive and Useful Insects. Their Habits and Control. Destructive and Useful Insects. Their Habits and Control. (3rd edn. revd).
- _____. 1970. Insectos destructivos e insectos utiles: sus costumbres y control. 4ta Edició. Barcelona, Editorial Continental S.A. 1208 p.
- MINAE-S. 2007. Reglamentos para la evaluación y clasificación de la calidad de cuerpos de agua superficiales (en línea). No. 178. . Costa Rica, s.e. 21. p. Disponible en http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_norma.aspx?param1=NRM&nValor1=1&nValor2=61013&nValor3=69088&strTipM=FN.
- Molle, F. 2017. River Basin Management and Development. International Encyclopedia of Geography: People, the Earth, Environment and Technology :1-12. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781118786352.wbieg0907>.
- Möller, P. 2011. consideración importante para la conservación de humedales conservation Patricia Möller. *Gestion Ambiental* 21(December):96-106.
- Mora Montero, JC. 2016. Gobernanza del agua en Distritos de Riego de Costa Rica: El Distrito de Riego Arenal-Tempisque (DRAT). Heredia, Publicaciones Enredars. p. 299-315.
- Muñoz, H; Orozco, S; Vera, A; Suárez, J; García, E; Neria, M; Jiménez, J. 2015. Relación entre oxígeno disuelto, precipitación pluvial y temperatura: río Zahuapan, Tlaxcala, México. *Tecnología y Ciencias del Agua* 6(5):59-74.
- Murtaugh, MP; Steer, CJ; Sreevatsan, S; Patterson, N; Kennedy, S; Sriramarao, P. 2017. The science behind One Health: at the interface of humans, animals, and the environment. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1395(1):12-32. DOI: <https://doi.org/10.1111/nyas.13355>.
- Neira Gutierrez, MA. 2006. Dureza En Aguas De Consumo Humano Y Uso Industrial, Impactos Y Medidas De Mitigación. Estudio De Caso: Chile (en línea). s.l., Universidad de Chile. 83 p. Disponible en http://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2006/neira_m/sources/neira_m.pdf.
- O'Brien, E; Xagorarakis, I. 2019. A water-focused one-health approach for early detection and prevention of viral outbreaks (en línea). *One Health* 7(November 2018):100094. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.onehlt.2019.100094>.
- Ohno, T; Hettiarachchi, GM. 2018. Soil Chemistry and the One Health Initiative: Introduction to the Special Section. *Journal of Environmental Quality* 47(6):1305-1309. DOI: <https://doi.org/10.2134/jeq2018.08.0290>.
- OIE. (2013). El concepto “Una sola salud”: enfoque de la OIE. 2013-1. s.l., s.e.
- Olivares, B; López-Beltrán, MA. 2019. Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada aplicado al territorio indígena agrícola de Kashaama, Venezuela. *UNED Research Journal* 11(2):112-121. DOI: <https://doi.org/10.22458/urj.v11i2.2299>.
- OMS. 2017. Guidelines for Drinking-water Quality. Fourth. OMS (ed.). Geneve, OMS. 631 p.
- _____. 2020. Inocuidad de alimentos (en línea, sitio web). Disponible en <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/food-safety>.
- OPS; OMS; Internacional, VM. (2016). Informe de resultados: Emergencia ZIKV-Comunicación de Riego. s.l., s.e.
- Ortiz-Malavasi, E. 2014. Atlas de Costa Rica (en línea). San Jose, s.e. Disponible en <https://hdl.handle.net/2238/6749>.
- Osorio, NW. 2012. pH del suelo y disponibilidad de nutrientes (en línea). *Manejo Integral del Suelo y Nutrición Vegetal* 1(4):4-7. Disponible en

- http://www.walterosorio.net/web/sites/default/files/documentos/pdf/1_4_pH_del_suelo_y_nutrientes_0.pdf.
- Palacios Vargas, J; Mejía Recamier, B; Oyarzabal, A. 2014. Guía ilustrada para los artrópodos edáficos. Primera. México, Las prensas de ciencias. 88 p.
- Parisi, V. 2001. La qualità biologica del suolo. Un metodo basato sui microartropodi. *Acta naturalia de l'Ateneo Parmense* 37(3-4):87-106.
- Parisi, V; Menta, C; Gardi, C; Jacomini, C; Mozzanica, E. 2005. Microarthropod communities as a tool to assess soil quality and biodiversity: A new approach in Italy. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 105(1-2):323-333. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2004.02.002>.
- Paz-Ferreiro, J; Fu, S. 2016. Biological Indices for Soil Quality Evaluation: Perspectives and Limitations. *Land Degradation and Development* 27(1):14-25. DOI: <https://doi.org/10.1002/ldr.2262>.
- Percedo Abreu, MI; Alfonso Zamora, P; Lobo-Rivero, E; Peláez Reyes, M; Gutiérrez Ravelo, Y; de Oca Martínez, NM. 2020. COVID-19: Necesidad del enfoque estratégico «UNA SALUD». (en línea). *Revista de Salud Animal* 42(3):1-16. Disponible en <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&AuthType=ip,sso&db=a9h&AN=148219490&site=ehost-live&authtype=sso&custid=s9872838>.
- Peterson, A. 1979. Larvae of insects: an introduction to nearctic species. Part I. Lepidoptera and plant infesting Hymenoptera. s.l., Published by the author. 314 p.
- _____. 1979. Larvae of Insects. An Introduction to Nearctic Species. Part II. Coleoptera, Diptera, Neuroptera, Siphonaptera, Mecoptera, Trichoptera. s.l., Columbus. 435 p.
- Pettorelli, N; Vik, JO; Mysterud, A; Gaillard, JM; Tucker, CJ; Stenseth, NC. 2005. Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. *Trends in Ecology and Evolution* 20(9):503-510. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2005.05.011>.
- Pezzoni Filho, J; Frediani Lessa, L; Lopes Zimback, C; Furtado, E. 2018. Dossel de seringueira verificado com índices de vegetação em diferentes condições fenológicas e fitossanitárias. *Acta Iguazu* 7(2):29-47.
- Queenan, K; Garnier, J; Nielsen, LR; Buttigieg, S; De Meneghi, D; Holmberg, M; Zinsstag, J; Rüegg, S; Häslér, B; Kock, R. 2017. Roadmap to a one health agenda 2030. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources* 12(14):1-17. DOI: <https://doi.org/10.1079/PAVSNR201712014>.
- Ramírez, A. 2010. Métodos de recolección. *Revista de Biología Tropical* 58(4):41-50. DOI: <https://doi.org/10.15517/RBT.V58I4.20081>.
- Ramírez, A; Gutiérrez-Fonseca, PE. 2014. Studies on Latin American freshwater macroinvertebrates: Recent advances and future directions. *Revista de Biología Tropical* 62(April):9-20. DOI: <https://doi.org/10.15517/rbt.v62i0.15775>.
- Rapport, DJ; Costanza, R; McMichael, AJ. 1998. Assessing ecosystem health. *Trends in Ecology and Evolution* 13(10):397-402. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(98\)01449-9](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(98)01449-9).
- Rasmussen, AK; Morse, JC. 2021. Distributional Checklist of Nearctic Trichoptera (Fall 2021 Revision). s.l., s.e. 519 p.
- Rebechi, D; Navarro-Silva, MA. 2012. Setting the reference for the use of *Chironomus sancticaroli* (Diptera: Chironomidae) as bioindicator: Ontogenetic pattern of larval head

- structures. *Zoologia* 29(2):167-171. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1984-46702012000200009>.
- Revelo-Tobar, H; Kohlmann, B; Gilman, AC. 2021. Evaluación del índice de calidad biológica del suelo QBS y su adaptación para condiciones del trópico húmedo. *Bio Scientia* 4:87-88.
- Revelo Tobar, HG. 2018. Evaluación de un Índice Bio-Indicador de Calidad de Suelos Adaptado al Trópico Húmedo. s.l., EARTH. 54 p.
- Reynolds, WD; Bowman, BT; Drury, CF; Tan, CS; Lu, X. 2002. Indicators of good soil physical quality: Density and storage parameters. *Geoderma* 110(1-2):131-146. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(02\)00228-8](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(02)00228-8).
- Di Rienzo, JA; Casanoves, F; Balzarini, MG; Gonzalez, L; Tablada, M; Robledo, CW. 2011. InfoStat (en línea). versión 24. Córdoba, Argentina, Universidad Nacional de Córdoba. Disponible en <http://www.infostat.com.ar/>.
- Di Rienzo, JA; Macciavelli, RE; Casanoves, F. 2017. Modelos Lineales Mixtos: aplicaciones en InfoStat. s.l., s.e. 253 p.
- Roldán-Pérez, G. 2016. Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua: cuatro décadas de desarrollo en Colombia y Latinoamérica. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* 40(155):254. DOI: <https://doi.org/10.18257/raccefyn.335>.
- Roldán Pérez, G. 2012. Los macroinvertebrados como bioindicadores de la calidad del agua. Bogotá, CAR. 149 p.
- Ross, HH. 1964. Introducción a la entomología general y aplicada. Barcelona, Omega. 537 p.
- Rouaux, J. 2015. Dibujando bichos: la ilustración científica en la entomología (en línea). *Museo* :25-32. Disponible en http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/52087/Documento_completo__.pdf?sequence=1.
- Salas-Aguilar, VM; Pinedo-Álvarez, C; Viramontes-Olivas, OA; Báez-González, AD; Quintana-Martínez, RM. 2011. Morfometría de la cuenca del río Nazas- Rodeo en Durango, México, aplicando tecnología geoespacial. *Medio ambiente y desarrollo sustentable* 5(1):34-42.
- Samways, M; Mc Geoch, M; New, TR. 2010. Insect Conservation: A handbook of approaches and methods. First. New Yor, Oxford University Press. 212-220 p.
- Sánchez, A; Contreras, A; Corrales, JC; de la Fe, C. 2022. In the beginning it was zoonosis: One Health to combat this and future pandemics. *SESPAS Report 2022* (en línea). *Gaceta Sanitaria* 36(tabla 1):S61-S67. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gaceta.2022.01.012>.
- Sendra, A. 2001. Dipluros campodeidos (Diplura: Campodeidae) de las grutas almerienses (Almería, España). *Zoología baetica* (12):71-82.
- Shafer, K; Fox, R. 2016. One water roadmap: The sustainable management of life's most essential resource (en línea). *US Water Alliance* :1-44. Disponible en http://uswateralliance.org/sites/uswateralliance.org/files/publications/Roadmap_FINAL.pdf.
- Sierra Ramírez, CA. 2011. Calidad del agua: Evaluación y diagnóstico. s.l., s.e. 460 p.
- Simpson, EH. 1949. Measurement of diversity. *Nature* 163(1946):688.
- Soria Bances, MG; Quevedo, J. 2019. Estado ecológico de franjas ribereñas e indicadores biológicos de calidad de agua en la subcuenca del río Hato. *Revista Yu'am* 3(5):4-20.

- Soriano, M. (2018). Conductividad eléctrica del suelo (en línea). 1. s.l., s.e. Disponible en <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/105110/Soriano - Conductividad eléctrica del suelo.pdf?sequence=1>.
- De Souza, RT; Silva, TERB. 2009. Estudo De Fluxo Subterrâneo Em Uma Área Experimental Em Pontal Do Sul-Pr. *Águas Subterrâneas* 23(1):121-136. DOI: <https://doi.org/10.14295/ras.v23i1.16580>.
- Springer, M. 2010. Capítulo 3. Biomonitorio acuático. *Revista de Biología Tropical* 58(SUPPL. 4):53-59.
- _____. 2010. Capítulo 7. Trichoptera. *Revista de Biología Tropical* 58(SUPPL. 4):151-198.
- Springer, M; Ramírez, A; Hanson, P. 2010. Macroinvertebrados de agua dulce de Costa Rica I. *Revista de Biología Tropical* 58(4):240.
- Springer, M; Serrano Cervantes, L; Zepeda Aguilar, A. 2010. Guía Ilustrada Para El Estudio Ecológico Y Taxonómico de Los Insectos Acuáticos Del Orden Trichoptera En El Salvador. s.l., s.e. 1-48 p.
- Staffilani, F; Menta, C; Conti, F; Lózano-Fondón, C. (2018). Calidad biológica del suelo. Parma, s.e.
- Stehr, FW. 1987. *Immature Insects Vol. 1*. Dubuque, Kendall/Hunt Publishing Company. 385 p.
- Stork, NE; Eggleton, P. 1992. Invertebrates as determinants and indicators of soil quality. *American Journal of Alternative Agriculture* 7(1-2):38-47. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0889189300004446>.
- Strahler, AN. 1952. Dynamic basis of geomorphology. *Geological society of america bulletin* 63(9):923-938.
- Torres, P; Hernán Cruz, C; Patiño, P. 2009. Índice de calidad de agua en fuentes superficiales utilizads en la producción de agua para consumo humano. Una revisión critica. *Rebista de Ingeniería Universidad de Medellín* 8(15):79-94. DOI: <https://doi.org/10.1039/9781788012669-00386>.
- Trama, FA; Rizo Patrón V, FL; Springer, M. 2009. Macroinvertebrados bentónicos del humedal de Palo Verde, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical* 57(SUPPL. 1):275-284.
- Trilla, A. 2020. One world, one health: The novel coronavirus COVID-19 epidemic (en línea). *Medicina Clínica (English Edition)* 154(5):175-177. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.medcle.2020.02.001>.
- Triplehorn, C; Johnson, N. 2005. *Borrór ande DeLong's Introduction to the study of insects*. Belmont, Thomson Brools/Cole. 879 p.
- Tschapek, MW. 1966. *El agua en el suelo*. Madrid, Nuevas Gráficas. 517 p.
- Tut Si, MO. 2016. Influencia de la franja ribereña en la calidad del agua y percepción local sobre su estado y manejo en la subcuenca del río Quiscab, cuenca del Lago Atitlán, Guatemala. s.l., CATI. 97 p.
- USAID. 2017. Quick guide One Health Evaluation (en línea). :1-4. Disponible en <https://www.ecohealthalliance.org/wp-content/uploads/2017/10/Prevent-Prepare-and-Respond->.
- USGS. 2022. Satellite images Lansat 8 (en línea, sitio web). Disponible en <https://earthexplorer.usgs.gov/>.
- Vaiphasa, C; Piamduaytham, S; Vaiphasa, T; Skidmore, AK. 2011. A normalized difference vegetation index (NDVI) time-series of idle agriculture lands: A preliminary study. *Engineering Journal* 15(1):9-16. DOI: <https://doi.org/10.4186/ej.2011.15.1.9>.

- Valladares, Y; Osorto, A; Lanza, A; Martínez, J. 2018. Análisis de calidad de agua de la quebrada El Horno en la colonia Nueva Esperanza, Danlí, Departamento El Paraíso. Portal de la Ciencia :66-86. DOI: <https://doi.org/10.5377/pc.v13i0.5968>.
- Valladares, Y; Osorto, A; Lanza, A; Valladares, N; Martínez, D. 2021. Uso y calidad del agua de la Quebrada “ El Horno ” aplicando el “ Índice Holandés ” y macroinvertebrados. INNOVARE Revista de Ciencia y Tecnología 10(1):2-11. DOI: <https://doi.org/10.5377/innovare.v10i1.11405>.
- Vargas Avilés, L. 2017. Efecto de la intermitencia de flujo en el ensamble de los macroinvertebrados acuáticos y en las características físico-químico en cinco cuerpos de agua estacionales Lidia. s.l., UCR. 106 p.
- Vásquez, D; Springer, M; Kohlmann, B. (2010). Bioindicadores de la calidad del agua cuenca del río Tempisque. Guacimo, s.e.
- Vega-Araya, M; Alvarado-Barrantes, R. 2019. Análisis de las series de tiempo de variables biofísicas para cuatro ecorregiones de Guanacaste, Costa Rica. Revista de Ciencias Ambientales 53(2):60-96. DOI: <https://doi.org/10.15359/rca.53-2.4>.
- Verdin, J; Pedreros, D; Eilerts, G. 2003. Índice diferencial de vegetación normalizado (NDVI). s.l., USGS/EROS. p. 2.
- Villanueva, C; Casasola, F; Detlefsen, G. 2018. Potencial de los sistemas silvopastoriles en la mitigación al cambio climático y en la generación de múltiples beneficios en fincas ganaderas de Costa Rica (en línea). s.l., s.e. 61p p. Disponible en <http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/handle/11554/8729>.
- Viña, A; Gitelson, AA. 2005. New developments in the remote estimation of the fraction of absorbed photosynthetically active radiation in crops. Geophysical Research Letters 32(17):1-4. DOI: <https://doi.org/10.1029/2005GL023647>.
- Viñolas, A; Miralles-Núñez, A; Necoechea, A. s. f. Primeros datos sobre la presencia de *Ptilodactyla exotica* Chapin, 1927 en la Península Ibérica (Coleoptera, Ptilodactylidae) (en línea). RECERCAT (Dipòsit de la Recerca de Catalunya) . Consultado 20 sep. 2022. Disponible en <http://www.recercat.cat/handle/2072/376211>.
- Vivas Matín, M. 2021. Enfoque One Health para prevenir futuras pandemias según la OMS. OIE :3.
- Walteros Rodríguez, J. 2018. Fichas rápidas para la identificación de macroinvertebrados acuáticos (en línea). s.l., s.e. 1-117 p. DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.24858.54721>.
- Ward, JH. 1963. Hierarchical Grouping to Optimize an Objective Function (en línea). Journal of the American Statistical Association 58(301):236-244. Disponible en <https://repositorio.flacsoandes.edu.ec/bitstream/10469/2461/4/TFLACSO-2010ZVNBA.pdf>.
- Watler, W. (2017). Concepto de zonificación agroecológica de la evaluación de capacidad de uso de las tierras para la planificación rural en cuencas hidrográficas. Turrialba, s.e.
- Wold, H. 1982. Soft modelling: the basic design and some extensions. Systems under indirect observation, Part II :36-37.
- Woodcock, CE; Macomber, SA; Pax-Lenney, M; Cohen, WB. 2001. Monitoring large areas for forest change using Landsat: Generalization across space, time and Landsat sensors. Remote Sensing of Environment 78(1-2):194-203. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(01\)00259-0](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00259-0).

- Zunino, P. 2018. Historia y perspectivas del enfoque “Una Salud”. *Veterinaria (Montevideo)* 54(210):46-51. DOI: <https://doi.org/10.29155/vet.54.210.8>.
- Zurita-García, ML; Johnson, P; Zaragoza-Caballero, S. 2014. Biodiversity of Elateridae (Coleoptera) in Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85(SUPPL.):303-311. DOI: <https://doi.org/10.7550/rmb.31749>.

Anexos

Tabla 6. Correlación entre los parámetros fisicoquímicos y las familias de MIE

Temporada	Parámetro	Familia	n	Spearman	p-valor
Seca	Arena	<i>Isotomidae</i>	8	-0.8	0.032
	pH	<i>Araneae*</i>	8	-0.82	0.023
	pH	<i>Scarabaeidae</i>	8	-0.8	0.031
	DA(g/cm3)	<i>Oribatidae</i>	8	-0.78	0.037
Lluviosa	Arena	<i>Myrmeleontidae</i>	7	0.79	0.0194
	Arcilla	<i>Myrmeleontidae</i>	7	-0.79	0.0194
	N(%)	<i>Scolopendrellidae</i>	7	0.79	0.0194
	N(%)	<i>Termitidea</i>	7	0.85	0.0082
	C(%)	<i>Formicidae</i>	7	0.85	0.007
	C(%)	<i>Myrmeleontidae</i>	7	-0.79	0.0194
	C(%)	<i>Oniscidae</i>	7	0.79	0.0206
	C(%)	<i>Scolopendrellidae</i>	7	0.79	0.0194
	C(%)	<i>Termitidea</i>	7	0.74	0.0372
	MO(%)	<i>Formicidae</i>	7	0.85	0.007
	MO(%)	<i>Myrmeleontidae</i>	7	-0.79	0.0194
	MO(%)	<i>Oniscidae</i>	7	0.79	0.0206
	MO(%)	<i>Scolopendrellidae</i>	7	0.79	0.0194
	MO(%)	<i>Termitidea</i>	7	0.74	0.0372
	pH	<i>Oniscidae</i>	7	-0.71	0.0503
	pH	<i>Scolopendrellidae</i>	7	-0.87	0.005
	pH	<i>Termitidea</i>	7	-0.87	0.005
DA(g/cm3)	<i>Formicidae</i>	7	-0.88	0.0036	
DA(g/cm3)	<i>Julida</i>	7	-0.81	0.015	
DA(g/cm3)	<i>Myrmeleontidae</i>	7	0.8	0.0182	

Tabla 7. Índices de diversidad para MIA

Temporada	Índices	C	G	P	S
Seca	Taxa_S	9	16	11	7
	Individuals	39	63	45	29
	Dominance_D	0.1484	0.08039	0.1505	0.1773
	Simpson_1-D	0.8516	0.9196	0.8495	0.8227
	Shannon_H	2.077	2.662	2.195	1.842
	Evenness_e^H/S	0.8868	0.8	0.7882	0.8359
	Brillouin	1.682	2.193	1.773	1.447
	Menhinick	1.441	2.016	1.64	1.3
	Margalef	2.184	3.62	2.627	1.782
	Equitability_J	0.9453	0.9601	0.9154	0.9465
	Fisher_alpha	3.668	6.916	4.642	2.931
	Berger-Parker	0.3077	0.1587	0.3333	0.3103
	Chao-1	9	16.59	11.12	7.241
	iChao-1	9	17.11	11.12	7.257
	ACE	9	17.9	11.39	7.546
	Lluviosa	Taxa_S	17	18	17
Individuals		66	61	70	58
Dominance_D		0.07832	0.06667	0.1048	0.1549
Simpson_1-D		0.9217	0.9333	0.8952	0.8451
Shannon_H		2.723	2.829	2.615	2.152
Evenness_e^H/S		0.8319	0.8267	0.747	0.7513
Brillouin		2.249	2.291	2.169	1.806
Menhinick		2.093	2.305	2.032	1.444
Margalef		3.819	4.135	3.766	2.463
Equitability_J		0.9611	0.9788	0.923	0.8973
Fisher_alpha		7.415	8.614	7.145	4.02
Berger-Parker		0.197	0.1475	0.2714	0.3276
Chao-1		17.59	18.98	17.59	11.16
iChao-1		18.38	19.95	18.35	11.2
ACE		18.3	20.48	18.3	11.45

Tabla 8. Índices de diversidades para MIE

Temporada	Índice	C	Va-C	G	Va-G	P	Va-P	S	Va-S	
seca	Taxa_S	5	17	4	15	5	11	5	8	
	Individuals	18	183	9	213	25	71	35	108	
	Dominance_D	0.2222	0.3653	0.3056	0.3026	0.1833	0.2161	0.2739	0.2444	
	Simpson_1-D	0.7778	0.6347	0.6944	0.6974	0.8167	0.7839	0.7261	0.7556	
	Shannon_H	1.565	1.769	1.461	1.76	1.648	1.919	1.451	1.682	
	Evenness_e^H/S	0.8726	0.3323	0.6518	0.3538	1.04	0.58	0.8532	0.6718	
	Brillouin	1.157	1.584	0.8135	1.615	1.326	1.637	1.214	1.532	
	Menhinick	1.179	1.257	1.333	1.028	1	1.305	0.8452	0.7698	
	Margalef	1.384	3.071	1.365	2.611	1.243	2.346	1.125	1.495	
	Equitability_J	0.9724	0.6244	1.054	0.65	1.024	0.8003	0.9013	0.8087	
	Fisher_alpha	2.293	4.579	2.759	3.681	1.879	3.642	1.596	1.995	
	Berger-Parker	0.3889	0.5956	0.5556	0.5164	0.28	0.3803	0.4571	0.4167	
	Chao-1	5.472	17.33	4.444	15.25	5	11.33	5	8	
	iChao-1	5.472	18.21	5.778	15.66	5	12.12	5	8	
	ACE	5.481	17.65	6.612	16.44	5	11.75	5	8	
	Lluviosa	Taxa_S	8	17	13	19	-	11	9	11
		Individuals	56	184	166	221	-	56	43	68
Dominance_D		0.2338	0.3174	0.5398	0.1219	-	0.1416	0.2049	0.2572	
Simpson_1-D		0.7662	0.6826	0.4602	0.8781	-	0.8584	0.7951	0.7428	
Shannon_H		1.671	1.772	1.206	2.417	-	2.177	1.89	1.894	
Evenness_e^H/S		0.5638	0.3031	0.2141	0.5368	-	0.7635	0.5405	0.5881	
Brillouin		1.416	1.59	1.059	2.231	-	1.822	1.511	1.601	
Menhinick		1.069	1.253	1.009	1.278	-	1.47	1.372	1.334	
Margalef		1.739	3.068	2.347	3.334	-	2.484	2.127	2.37	
Equitability_J		0.8034	0.6255	0.47	0.8208	-	0.9079	0.8603	0.7897	
Fisher_alpha		2.554	4.57	3.302	4.98	-	4.095	3.468	3.716	
Berger-Parker		0.3214	0.5326	0.7289	0.2398	-	0.2857	0.3721	0.4853	
Chao-1		8.327	17.5	14.99	19.75	-	11.12	9.977	11.25	
iChao-1		9.227	17.9	17.28	20.77	-	11.12	11.2	11.25	
ACE		9.429	19.41	15.59	20.88	-	11.55	12.25	11.3	

Tabla 9. MIA temporada seca

Orden	Familias	Uso de suelo				Total
		C	G	P	S	
<u>Rhynchobdellida</u>	<i>Glossiphoniidae</i>	2	0	0	0	2
Coleoptera	<i>Chrysomelidae</i>	0	3	0	2	5
Coleoptera	<i>Dytiscidae</i>	4	7	3	0	14
Coleoptera	<i>Hydrophilidae</i>	2	0	0	0	2
Coleoptera	<i>Lampyridae</i>	0	2	0	0	2
Coleoptera	<i>Ptilodactylidae</i>	0	10	5	0	15
Coleoptera	<i>Staphylinidae</i>	0	7	7	0	14
Diptera	<i>Ceratopogonidae</i>	0	2	0	0	2
Diptera	<i>Chironomidae</i>	0	0	15	9	24
Diptera	<i>Dolichopodidae</i>	0	0	0	5	5
Diptera	<i>Psychodidae</i>	0	1	3	0	4
Diptera	<i>Stratiomyidae</i>	12	0	0	0	12
Ephemeroptera	<i>Baetidae</i>	0	9	0	0	9
Ephemeroptera	<i>Leptohephidae</i>	0	4	0	0	4
Hemiptera	<i>Belastomatidae</i>	0	0	1	0	1
Hemiptera	<i>Naucoridae</i>	2	6	2	1	11
Mollusca	<i>Hydrobiidae</i>	0	0	0	3	3
Mollusca	<i>Physidae</i>	3	0	0	0	3
Mollusca	<i>Planorbidae</i>	5	0	2	0	7
Mollusca	<i>Sphaeriidae</i>	0	3	2	2	7
Mollusca	<i>Thiaridae</i>	7	2	2	7	18
Odonata	<i>Coenagrionidae</i>	2	3	0	0	5
Odonata	<i>Libellulidae</i>	0	0	3	0	3
Trichoptera	<i>Hydropsychidae</i>	0	1	0	0	1
Trichoptera	<i>Philopotamidae</i>	0	2	0	0	2
Tricladida	<i>Turbellaria</i>	0	1	0	0	1
Total		39	63	45	29	176

Tabla 10. MIA temporada lluviosa

Orden	Familia	Uso de suelo				Total
		C	G	P	S	
Coleoptera	<i>Dytiscidae</i>	2	0	0	4	6
Coleoptera	<i>Elmidae</i>	1	4	8	3	16
Coleoptera	<i>Gyrinidae</i>	0	0	1	0	1
Coleoptera	<i>Hydraenidae</i>	2	0	0	7	9
Coleoptera	<i>Hydrochidae</i>	0	0	0	1	1
Coleoptera	<i>Hydrophilidae</i>	1	1	5	2	9
Coleoptera	<i>Ptilodactylidae</i>	3	6	0	0	9
Coleoptera	<i>Scirtidae</i>	0	2	0	0	2
Coleoptera	<i>Staphylinidae</i>	5	7	0	0	12
Diptera	<i>Ceratopogonidae</i>	0	2	0	0	2
Diptera	<i>Chironomidae</i>	7	3	5	2	17
Diptera	<i>Culicidae</i>	0	0	4	0	4
Diptera	<i>Stratiomyidae</i>	0	2	0	0	2
Diptera	<i>Tabanidae</i>	0	1	0	9	10
Ephemeroptera	<i>Baetidae</i>	4	0	2	5	11
Ephemeroptera	<i>Caenidae</i>	13	7	0	0	20
Ephemeroptera	<i>Leptophlebiidae</i>	0	0	3	0	3
Hemiptera	<i>Naucoridae</i>	0	2	0	0	2
Hemiptera	<i>Veliidae</i>	0	0	3	0	3
Lepidoptera	<i>Pyralidae</i>	2	0	0	0	2
Megaloptera	<i>Corydalidae</i>	0	4	0	0	4
Mollusca	<i>Bithyniidae</i>	4	0	2	0	6
Mollusca	<i>Hydrobiidae</i>	3	0	0	0	3
Mollusca	<i>Lymnaciidae</i>	5	0	4	0	9
Mollusca	<i>Physidae</i>	0	0	0	4	4
Mollusca	<i>Planorbidae</i>	4	0	4	0	8
Mollusca	<i>Sphaeridae</i>	7	0	1	0	8
Mollusca	<i>Thiaridae</i>	0	4	2	19	25
Odonata	<i>Calopterygidae</i>	0	0	19	0	19
Odonata	<i>Coenagrionidae</i>	1	9	2	2	14
Odonata	<i>Libellulidae</i>	2	3	4	0	9
Trichoptera	<i>Hydropsychidae</i>	0	2	1	0	3
Trichoptera	<i>Leptoceridae</i>	0	1	0	0	1
Trichoptera	<i>Philopotamidae</i>	0	1	0	0	1
Total		66	61	70	58	255

Tabla 11. MIE temporada seca

Orden	Familia	Uso de suelo								Total
		C	G	P	S	Va-C	Va-G	Va-P	Va-S	
Oribatida	<i>Oribatidae</i>	0	0	0	0	0	12	0	0	12
Araneae	<i>Araneae*</i>	0	0	6	4	3	0	0	0	13
Blattodea	<i>Blattidae</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	1
Chilopoda	<i>Geophilidae</i>	0	0	0	0	7	0	0	0	7
Chilopoda	<i>Scolopendrellidae</i>	0	0	0	0	3	8	0	4	15
Coleoptera	<i>Araneae*</i>	0	0	0	2	0	0	0	0	2
Coleoptera	<i>Curculionidae</i>	7	0	0	0	0	0	0	0	7
Coleoptera	<i>Elateridae</i>	0	0	0	0	4	0	5	0	9
Coleoptera	<i>Melyridae</i>	0	0	0	0	4	0	0	0	4
Coleoptera	<i>Ptilodactylidae</i>	0	0	0	0	0	0	2	0	2
Coleoptera	<i>Scarabaeidae</i>	4	5	3	2	2	3	0	2	21
Coleoptera	<i>Staphylinidae</i>	0	0	0	0	0	2	0	0	2
Coleoptera	<i>Tenebrionidae</i>	0	1	0	0	0	2	4	0	7
Diplopoda	<i>Julida</i>	0	0	0	0	1	2	1	0	4
Diplopoda	<i>Polydesmidae</i>	0	0	5	4	4	15	0	0	28
Diplura	<i>Campodeidae</i>	0	0	0	0	5	0	0	0	5
Diplura	<i>Japygidae</i>	2	0	0	0	0	0	3	3	8
Hemiptera	<i>Cicadidae</i>	0	0	0	16	7	3	0	45	71
Hemiptera	<i>Pentatomidae</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Hymenoptera	<i>Cephidea</i>	0	0	0	0	0	0	2	0	2
Hymenoptera	<i>Formicidae</i>	0	0	7	0	23	44	45	35	154
Hymenoptera	<i>Stephanidae</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	1
Isopoda	<i>Oniscidae</i>	0	0	0	0	8	7	4	6	25
Isoptera	<i>Termitidea</i>	0	0	0	0	109	110	0	13	232
Lepidoptera	<i>Pyralidae</i>	0	0	0	0	0	1	0	0	1
Neuroptera	<i>Myrmeleontidae</i>	4	2	0	7	0	0	0	0	13
Orthoptera	<i>Gryllidae</i>	0	1	0	0	2	1	0	0	4
Pseudoescorpionida	<i>Chernetidae</i>	0	0	4	0	0	3	4	0	11
Total		18	9	25	35	183	213	71	108	662

Tabla 12. MIE temporada lluviosa

Clase/ Orden	Familia	Uso de suelo							Total
		C	G	S	Va-C	Va-G	Va-P	Va-S	
Acari	<i>Oribatidae</i>	0	0	0	1	4	1	0	6
Araneae	<i>Araneae*</i>	0	0	0	2	1	0	1	4
Blattodea	<i>Blaberidae</i>	0	0	0	0	0	0	2	2
Chilopoda	<i>Geophilidae</i>	0	1	1	10	26	4	3	45
Coleoptera	<i>Buprestidae</i>	0	0	0	1	0	0	0	1
Coleoptera	<i>Carabidae</i>	0	0	2	2	0	2	3	9
Coleoptera	<i>Chrysomelidae</i>	0	0	0	0	0	8	0	8
Coleoptera	<i>Curculionidae</i>	2	0	0	0	2	0	3	7
Coleoptera	<i>Elateridae</i>	0	2	1	5	5	0	0	13
Coleoptera	<i>Melyridae</i>	0	1	0	0	0	0	0	1
Coleoptera	<i>Passalidae</i>	0	4	0	0	0	0	0	4
Coleoptera	<i>Ptilodactylidae</i>	0	0	0	0	0	7	0	7
Coleoptera	<i>Scarabaeidae</i>	12	11	7	30	15	2	33	110
Coleoptera	<i>Staphylinidae</i>	0	4	0	0	29	16	0	49
Collembola	<i>Isotomidae</i>	0	2	0	2	0	0	0	4
Collembola	<i>Onychiuridae</i>	0	0	0	3	4	2	5	14
Diplopoda	<i>Julida</i>	0	0	0	1	0	0	0	1
Diplopoda	<i>Polydesmidae</i>	2	4	16	0	13	2	0	37
Diplura	<i>Japygidae</i>	17	11	1	12	33	9	7	90
Diptera	<i>Asilidae</i>	0	0	0	2	8	0	5	15
Diptera	<i>Dolichopodidae</i>	0	0	0	2	0	0	0	2
Hemiptera	<i>Cicadidae</i>	3	0	4	0	12	0	4	23
Hemiptera	<i>Cydnidae</i>	0	3	0	0	0	0	0	3
Hymenoptera	<i>Formicidae</i>	0	0	0	10	10	0	0	20
Isopoda	<i>Oniscidae</i>	0	0	0	0	0	3	2	5
Isoptera	<i>Termitidea</i>	18	121	9	98	53	0	0	299
Lepidoptera	<i>Noctuidea</i>	0	0	0	0	1	0	0	1
Lepidoptera	<i>Notodontidae</i>	0	0	0	0	2	0	0	2
Orthoptera	<i>Gryllidae</i>	1	0	0	0	0	0	0	1
Symphyla	<i>Scolopendrellidae</i>	1	1	2	3	2	0	0	9
Zygentoma	<i>Lepidotrichidae</i>	0	1	0	0	1	0	0	2
Total		56	166	43	184	221	56	68	794

Tabla 13. Características morfométricas de la subcuenca La Mula

Característica	Parámetros
Cuenca	Río Tempisque
Subcuenca	La Mula
# microcuencas	6
Tipo de cuenca	Arreica
Forma	Ovalo
Área	5443,95 ha
Perímetro	39.33
Longitud del cauce principal	13.52 km
Orden de ríos	Orden 1= 11 Orden 2= 4 Orden 3= 4
Pendiente USDA	Clase 1 (plano) a la 5 (fuertemente ondulado)
Altura	0 a 210 m s.n.m.
Zona de vida	Bh-P6
Temperatura	28-36
Precipitación	1000 – 2000 mm



Figura 15. MIA del cauce principal de la subcuenca La Mula. Donde a) Ephemeroptera (*Leptophlebiidae*), b) Coleoptera (*Dytiscidae*), c) Trichoptera (*Hydropsychidae*) y d) Diptera (*Chironomidae*)

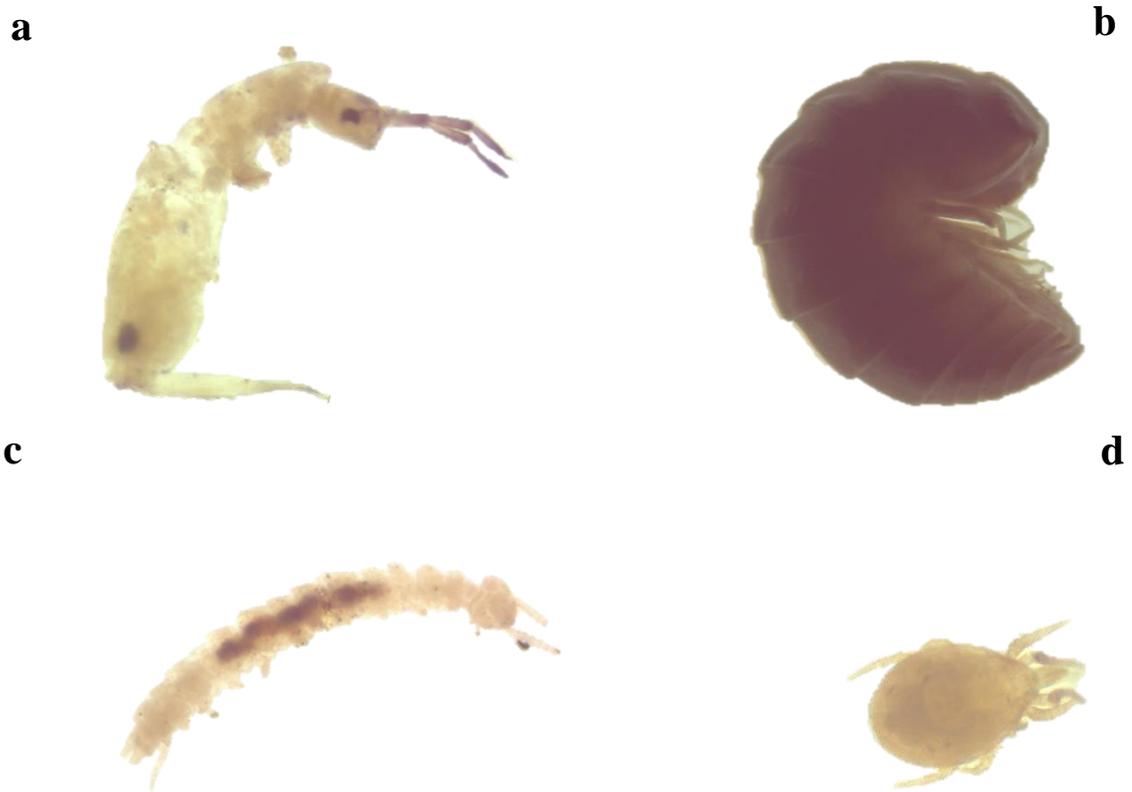


Figura 16. MIE de la franja ribereña de la subcuenca La Mula. Donde a) Collembola (*Isotomidae*), b) Isopoda (*Oniscidae*), c) Symphyla (*Scolopendrellidae*) y d) Acari (*Oribatidae*)



Figura 17. Transectos de muestreo de MIE en la franja ribereña del cauce principal de la subcuenca La Mula



Figura 18. Muestreo de MIA en el cauce principal de la subcuenca La Mula



Figura 19. Cauce principal de la subcuenca La Mula. Donde a) cuenca alta, b) cuenca media y c) cuenca baja



Figura 20. Algunos usos de suelos en la subcuenca La Mula. Donde a) cultivo de sandía. b) Pastizal y c) ganadería



Figura 21. Variaciones estacionales en uso de suelos ganadero con vegetación adyacente (Va-G). Donde a) temporada seca y b) lluviosa



Figura 22. Fase de laboratorio (Limpieza e identificación de familias de MIA y MIE)

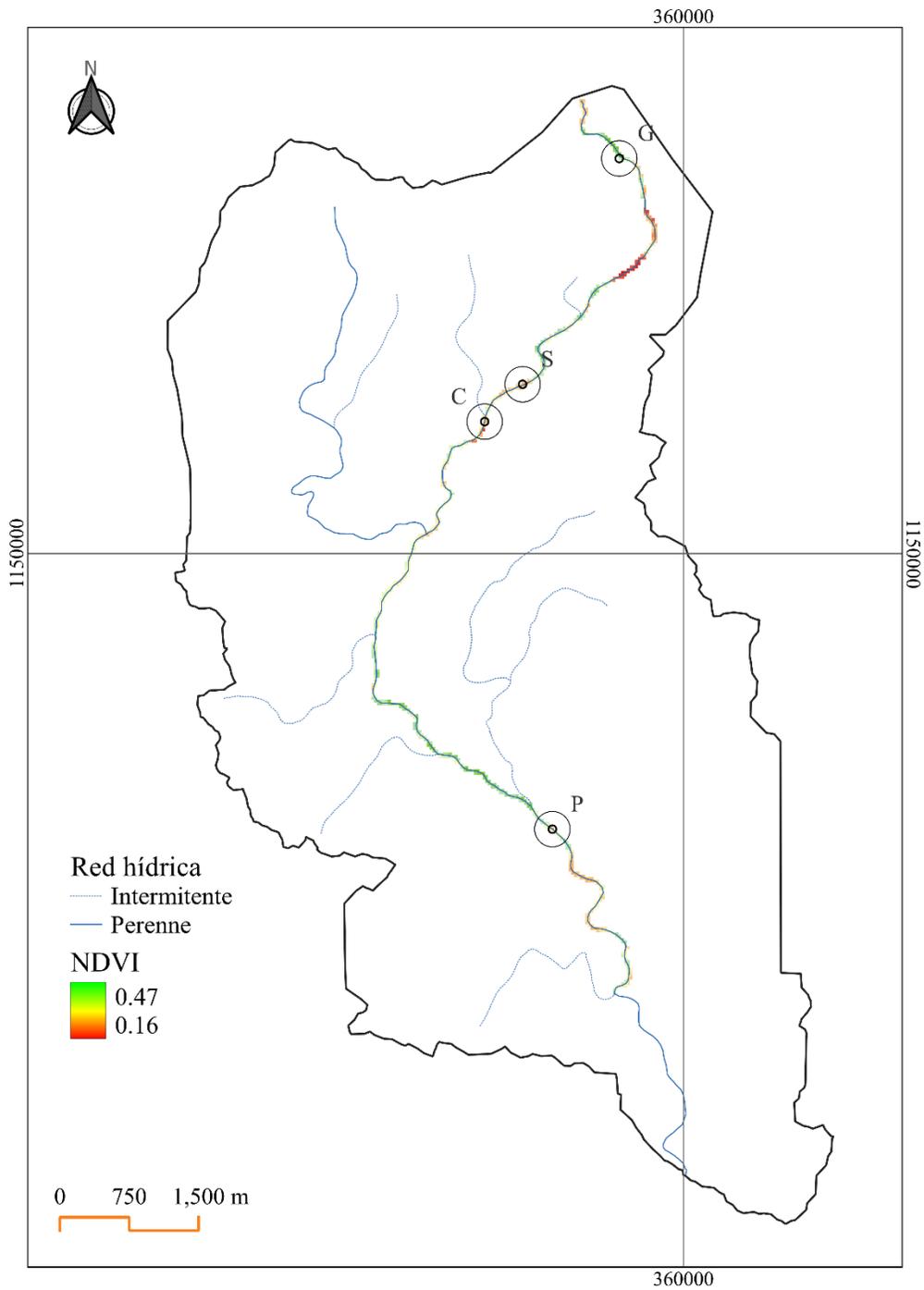


Figura 23. NDVI de la zona buffer del cauce principal de la subcuena La Mula en temporada seca.

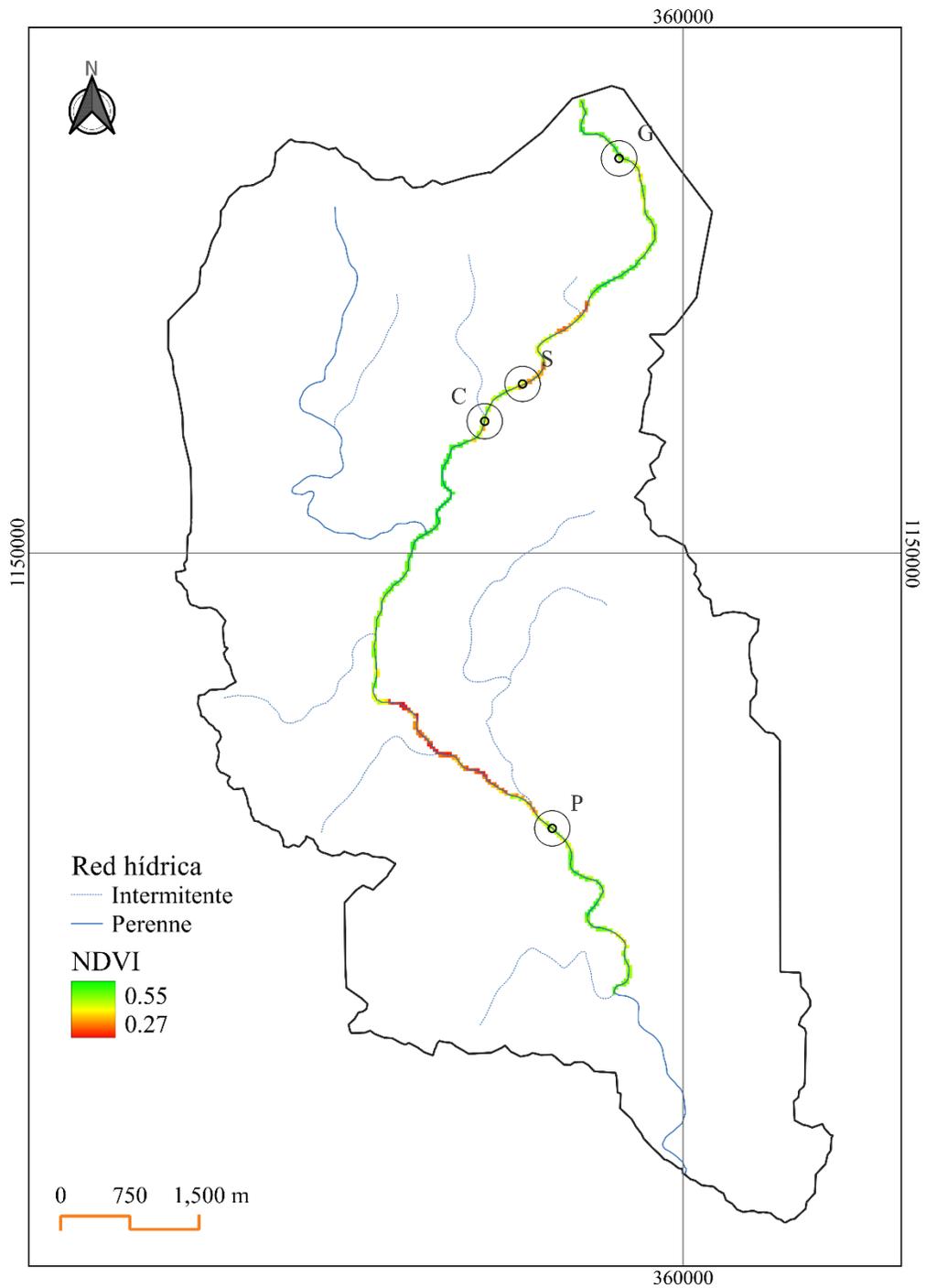


Figura 24. NDVI de la zona buffer del cauce principal de la subcuena La Mula en temporada lluviosa.