



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
UNIDAD XOCHIMILCO**

**DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD
DEPARTAMENTO EL HOMBRE Y SU AMBIENTE
LICENCIATURA EN BIOLOGÍA**

**INFORME FINAL DE SERVICIO
SOCIAL POR INVESTIGACIÓN**

MÉTODOS ECOACÚSTICOS Y LA EVALUACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD

Que presenta el alumno:

Milos David Gómez Ulloa

Matricula: 2163082248

Asesor interno

M. en C. Miguel Ángel Mosqueda Cabrera
Depto. El Hombre y su Ambiente
Número económico: 22011

Vo. Bo.

Asesor Externo

Dr. José Luis Rangel Salazar
Departamento de Conservación de la Biodiversidad
ECOSUR San Cristóbal de Las Casas
Ced. Profesional: 1468148

Vo. Bo.

Ciudad de México abril de 2023

RESUMEN

La pérdida de la diversidad biológica -biodiversidad-, es en la actualidad uno de los problemas más relevantes dentro de la biología. Por lo tanto, es necesario encontrar métodos eficaces para medir y evaluar la integridad de los ecosistemas, así como desarrollar nuevas metodologías para el conocimiento y monitoreo de la biodiversidad. La ecoacústica es una disciplina emergente que combina fundamentos de bioacústica, ecología, ecología del paisaje y biología de comunidades, entre otras. Existe evidencia de que el sonido cumple un rol importante en la dinámica de las poblaciones y las comunidades naturales, y puede ser utilizado para interpretar diversos procesos ecológicos. En el presente estudio, realizamos grabaciones durante el amanecer en dos áreas naturales protegidas de Chiapas, México, durante los meses de abril, mayo, julio y agosto del 2022 con el objetivo de analizar la variabilidad acústica de los sitios. Trabajamos en el ejido Ampliación Lagunas, dentro de la Reserva de la Biosfera el Triunfo, y en el Área de Protección de Recursos Naturales La Frailescana, en el ejido Plan de Ayala. Obtuvimos un total de 1,376 minutos de grabación de audio, a los cuales les aplicamos tres índices acústicos: Índice de equidad acústica (**IEA**), índice de complejidad acústica (**ICA**) e índice de diversidad acústica (**IDA**), con el fin de obtener una aproximación del comportamiento de las comunidades acústicas durante el amanecer y observar el desempeño de los índices acústicos como una forma de monitoreo de la biodiversidad. La heterogeneidad de las condiciones ambientales de las zonas de muestreo provocó valores fluctuantes de los índices tanto entre como dentro de los sitios. Los índices acústicos tienen un potencial uso como aproximaciones de la biodiversidad. En nuestro estudio, estos índices acústicos mostraron un incremento de la actividad acústica a medida que avanza el amanecer, alcanzando en su mayoría un umbral máximo que varía temporalmente de un sitio a otro antes de disminuir. Los valores de complejidad, equidad y diversidad reflejaron estimaciones correspondientes a sitios con alta biodiversidad, como las zonas muestreadas dentro de la región neotropical. Los estudios ecoacústicos son útiles para obtener aproximaciones de la biodiversidad de los ecosistemas y, combinados con otros métodos de monitoreo tradicionales, reflejan más acertadamente las propiedades de las comunidades en los ecosistemas. Además, pueden ser una manera novedosa de explorar los procesos naturales.

PALABRAS CLAVE: Ecoacústica, biodiversidad, ecología, índices acústicos, monitoreo biológico, integridad de los ecosistemas, ecología del sonido, índices de biodiversidad, ecología del paisaje.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	4
REVISIÓN DE LITERATURA	5
OBJETIVOS	9
MÉTODOS	9
RESULTADOS	14
DISCUSIÓN	17
CONCLUSIÓN	20
REFERENCIAS	21
ANEXOS	23

INTRODUCCIÓN

Mientras la urbanización se incrementa en todo el mundo, la fragmentación generalizada dentro de los paisajes contribuye con impactos al ambiente, incluida la pérdida de la diversidad biológica; i.e., biodiversidad. Para encontrar soluciones que contrarresten los impactos negativos de la fragmentación, se deben de identificar métodos eficientes para la medición y monitoreo de la biodiversidad en los ecosistemas naturales (Holgate, 2019).

La ecoacústica es una disciplina emergente teórica y aplicada, que se enfoca en estudiar los sonidos a través de un amplio rango de niveles temporales y espaciales, con el propósito de abordar interrogantes sobre la biodiversidad y la ecología (Sueur & Farina, 2015). La aproximación ecoacústica ofrece numerosas posibilidades para estudiar la ecología del paisaje, la biogeografía y la fenología de las especies, ya que puede reforzar la aproximación biosemiótica, lo que ayuda a traducir pistas acústicas en distintas señales que pueden ser interpretadas al usar una narrativa biosemiótica.

El sonido puede clasificarse de acuerdo a su fuente de origen en: 1) geofonías, sonidos producidos por las dinámicas terrestres (viento, lluvia, sonido del agua, rayos, entre otros); 2) biofonías, que son producidos por los organismos vivos soníferos, la comunicación y las actividades de estos; y 3) antropofonías, que engloban a los sonidos que tienen un origen en actividades humanas. A su vez, se distinguen tres escalas funcionales de la ecoacústica: especies soníferas, comunidades acústicas y paisajes sonoros, que es el conjunto completo de sonidos que emergen del ambiente (Farina, 2019). Los sonidos tienen un papel sumamente relevante en la agregación de poblaciones animales, la composición de las comunidades y las dinámicas del ambiente. Por ende, los sonidos pueden considerarse como un elemento apropiado para examinar e interpretar diversos procesos ecológicos (Sueur & Farina, 2015).

REVISIÓN DE LA LITERATURA

La ecología en la actualidad se puede conceptualizar como la disciplina de la ciencia que se encarga de estudiar las interacciones de los organismos, entre ellos y con su ambiente, físico y biológico. De la ecología se derivan disciplinas que abordan diferentes tipos de interacciones a distintas escalas.

La ecología del paisaje se define como el estudio de toda la complejidad de relaciones causa-efecto que existen dentro y entre las comunidades de seres vivos y sus condiciones ambientales en los distintos componentes del paisaje (Troll, 2003). Actualmente, la ecología del paisaje se puede conceptualizar como una visión holística de la realidad, que integra al máximo su extremada y compleja dinámica. Una visión de síntesis que se fundamenta principalmente en la incorporación de la heterogeneidad multidimensional, principio ecológico-geográfico que estudia la distribución de los paisajes a lo largo del espacio. Y, por otro lado, el análisis de la heterogeneidad vertical, que enfatiza la interrelación entre los diferentes elementos bióticos y abióticos en una porción determinada del paisaje.

La visión e interpretación del paisaje, desarrollada desde la visión de la ecología del paisaje, se sostiene bajo dos aproximaciones de carácter estructural-morfológica y a la vez funcional. Entonces, en la ecología del paisaje se analizan las características estructurales y morfológicas que forman un paisaje en un momento dado y/o su evolución a lo largo del tiempo. La ecología del paisaje centra su atención en tres características fundamentales de los paisajes: la estructura, la funcionalidad y el cambio. Estas unidades están interrelacionadas funcionalmente, produciéndose entre ellas intercambios de energía, materiales, organismos, información, entre otros. Los cambios y el dinamismo que existe en la composición estructural y morfológica del paisaje tienen su origen en la propia dinámica ecológica y se encuentra fuertemente condicionada por las actividades antrópicas, especialmente en paisajes urbanizados (Subirós et al., 2006).

La actividad antrópica ha llevado a la pérdida y fragmentación de los ecosistemas, al modificar fuerte y abruptamente las dinámicas ecológicas. Las consecuencias de la transformación del paisaje se centran en la reducción y desaparición de los ambientes naturales. Antiguas zonas de paisajes boscosos de gran extensión y su continuidad son parcelados y subdivididos en fragmentos más pequeños a causa del cambio de uso de suelo. Los paisajes fragmentados

representan una menor cantidad y variabilidad de ambientes para las especies, y da como resultado espacios naturales que progresivamente quedan aislados unos de otros, lo que dificulta la dispersión de los organismos y puede llegar a ser causa de extinción de especies y su funcionalidad (Morera et al., 2007).

La teoría de biogeografía de Islas (MacArthur & Wilson, 2001) juega un rol importante en la comprensión de la fragmentación del paisaje. Este fundamento teórico fue desarrollado en la década de los 60 y brinda una serie de elementos teórico-metodológicos que sirven para poder abordar el estudio de los fragmentos en el paisaje. La teoría de biogeografía de islas causó un gran impacto en la ecología y dio paso al desarrollo de diversas estrategias para el estudio de los paisajes fragmentados. La superficie de fragmentos expone una clara correlación con la diversidad de especies que puede albergar un paisaje. En este sentido, la teoría de biogeografía de islas sugiere una reducción progresiva de la biodiversidad, así como de la dimensión de las poblaciones de las diferentes especies que allí habitan, como consecuencia de la reducción de los fragmentos (Subirós et al., 2006).

La ecología del paisaje yace sobre muchas disciplinas aplicadas. Muchos de los problemas de la biología con respecto al cambio climático y la conservación de la biodiversidad tienen que ser abordados a nivel de paisaje. A su vez, la planeación y decisiones de cambio de uso de suelo frecuentemente envuelven consideraciones a nivel de paisaje. Y también, dentro de la restauración ecológica hay un incremento de estudios que tienen una aproximación paisajista (Hobbs, 1997). Para tener una eficiente aproximación paisajista, se deben encontrar nuevos métodos eficaces para medir los procesos y patrones que se dan en el mundo natural. Una de las disciplinas emergentes cuyo propósito es el de describir una parte de estos procesos y patrones es la ecoacústica, una disciplina que combina fundamentos de la ecología y la bioacústica (Pijanowski et al., 2011).

El sonido es un indicador importante en los estudios ecológicos, ya que muchas especies interactúan entre ellas y con su ambiente mediante los sonidos, al marcar territorios, con rituales de apareamiento y en la detección de presas y depredadores. El estudio de la comunicación a través de los sonidos que producen los organismos soníferos se conoce como bioacústica, gracias a la cual es posible

descubrir nuevos aspectos del comportamiento de las especies. Debido al reciente desarrollo tecnológico de herramientas de grabación sofisticadas, los estudios bioacústicos han podido tener una mejor perspectiva, lo que ha conducido a un análisis de niveles de organización biológica más altos en la ecología (Duque Montoya, 2019). Es así como hace su aparición la ecoacústica.

La complejidad ecológica es producida por las interacciones entre la diversidad biológica y su ambiente, otorgándole estabilidad a los ecosistemas. Las interacciones biológicas se basan en cadenas alimenticias reguladas por la disponibilidad de recursos, fluctuaciones poblacionales, riqueza y recambio de comunidades, desplazamiento geográfico y por mecanismos de comportamiento. Dentro de los diferentes procesos de comportamiento, el percibir el ambiente a través del sonido juega una función central al regular la comunicación animal y sus procesos (Farina, 2018).

Los sonidos naturales son ampliamente usados por muchos organismos para comunicarse y también para reducir la incertidumbre ambiental, debido al inherente contenido de información contenida en el ambiente. La actividad acústica directa e indirecta de las especies converge para la realización de diferentes funciones (Farina, 2019).

La distribución espacial de las especies y sus características acústicas constituyen una "firma" única para cada comunidad. Esta "firma acústica" crea patrones en las señales sonoras que permiten monitorear los cambios ecológicos en un área determinada. El término "comunidades acústicas" hace referencia a la suma de todos los sonidos generados por las diferentes especies dentro de un espacio y tiempo específicos, ya sea en entornos acuáticos o terrestres. Además de brindar información sobre la composición de especies, las comunidades acústicas también revelan detalles sobre su diversidad y los patrones de actividad de los organismos soníferos. Al igual que las comunidades ecológicas, las comunidades acústicas pueden ser definidas a diversas escalas espaciales y taxonómicas, lo que permite un análisis detallado y preciso de la acústica de un paisaje (Chhaya et al., 2021).

Comprender la distribución y dinámica de las comunidades acústicas se vuelve fundamental para evaluar la salud y la conservación de los ecosistemas. A través del estudio de estos patrones acústicos y su variabilidad en diferentes

escalas, es posible obtener información valiosa sobre el estado de los ecosistemas y realizar seguimientos a largo plazo para detectar posibles cambios y amenazas.

La naturaleza dista de ser silenciosa, los procesos terrestres y las especies soníferas crean una gran variedad de sonidos de diferentes frecuencias, intensidades y duraciones, que son interpretadas de diferente manera por los organismos. Los sonidos resultantes del paisaje pueden ser clasificados de acuerdo con el fundamento de paisaje sonoro (Pijanowski et al., 2011), y su fuente de origen: geofísica, antrópica y biológica. Los sonidos geológicos (geofonías) se originan por los procesos de las dinámicas terrestres, viento, lluvia, temblores, rayos, cascadas, entre otros. Los sonidos antrópicos (antropofonías) son el resultado de actividades y tecnologías sintéticas como maquinaria, industrias o áreas urbanas. Y los sonidos biológicos (biofonías) son el resultado de vocalizaciones activas de especies soníferas, gracias a diferentes órganos (Farina, 2019).

En la actualidad, la biodiversidad de los ecosistemas naturales está influenciada por el ruido generado por las actividades humanas, la tecnología y la maquinaria. Por lo cual, los análisis ecoacústicos en los paisajes pueden usarse como indicadores de la salud de los ecosistemas (Holgate, 2019).

La aplicación de métodos acústicos para estudiar la ecología y la biodiversidad está en incremento. Estos métodos hacen uso de tecnologías no invasivas que son capaces de generar una gran cantidad de datos que varían en espacio y tiempo. Los datos generados a través de grabaciones autónomas pueden ser utilizados para responder múltiples interrogantes ecológicas (Ferreira et al., 2018).

En los años recientes se han generado una variedad importante de índices acústicos que ofrecen una forma rápida y económica de abordar los datos acústicos que se almacenan, estos índices aún se encuentran en camino de perfeccionar su interpretación y aplicación. Actualmente, carecen de una unidad concreta de medición, y su interpretación representa una parte de nuestro camino en la cuantificación de la diversidad de los ecosistemas, y como estos índices se relacionan entre sí (Cultid-Medina & Escobar, 2019).

La ecoacústica es una poderosa, pero muy poco usada herramienta cuando se evalúa el valor de la biodiversidad de un paisaje fragmentado contra sitios de

referencia en áreas naturales protegidas. La transformación del paisaje a grandes escalas y la pérdida de ecosistemas asociada a ella causan interrupciones en la biodiversidad y funciones integradas a los ecosistemas. La detección de las señales acústicas de los organismos a través del paisaje puede ser usada en la toma de decisiones para la conservación de la biodiversidad (Grant & Samways, 2016).

OBJETIVOS

GENERAL:

- Evaluar el funcionamiento de métodos ecoacústicos para estimar el estado de la biodiversidad al amanecer en dos áreas naturales del estado de Chiapas.

ESPECÍFICOS:

- Identificar zonas con biodiversidad representativa de la región.
- Obtener grabaciones del amanecer de las zonas seleccionadas.
- Realizar un análisis de las distintas áreas a través de las grabaciones mediante índices acústicos.
- Identificar patrones acústicos en los periodos grabados.

MÉTODOS

Área de estudio

Chiapas es uno de los estados con mayor diversidad biológica de México. El estado tiene más del 50 % de su territorio con vocación forestal. Estos bosques y selvas contienen dentro de ellos una gran cantidad de organismos nativos, endémicos y en peligro de extinción (Instituto para el Desarrollo Sustentable de Mesoamérica, 2012). El estado de Chiapas posee varias áreas naturales protegidas que abarcan una gran cantidad de ecosistemas.

El presente estudio se realizó en zonas dentro de dos distintas Áreas Naturales Protegidas (ANP) representativas del estado: la Reserva de la Biosfera el Triunfo (**ET**) y el Área de protección de recursos naturales La Frailescana (**LF**), ambas zonas en la Sierra Madre de Chiapas.

La Reserva de la Biosfera El Triunfo (**ET**) se localiza en la porción central de la Sierra Madre de Chiapas y cuenta con una superficie total de 119 mil 177 hectáreas. Debido a las características fisiográficas de la reserva, esta presenta una variación muy alta de los climas presentes (INECOL, 1999). El muestreo dentro de esta ANP se realizó en la región del polígono dos, que corresponde a un clima templado húmedo (C (m) (w)), con una precipitación anual entre 12 y 18 °C. El polígono dos se encuentra al Este de la reserva en alturas superiores a los 2,000 msnm. Esta zona es considerada entre las más lluviosas de México.

El área de protección de recursos naturales La Frailescana (**LF**) forma parte de la región Sierra Madre de Chiapas y abarca una superficie de 116 mil 735.37 hectáreas. Debido a su ubicación geográfica, esta ANP mantiene una conectividad ecológica entre las Reservas de la Biosfera La Sepultura y El Triunfo. En conjunto, las tres reservas constituyen un corredor biológico altamente relevante. **LF** posee una gran variedad de ecosistemas que van desde la selva baja caducifolia hasta la presencia de selvas medianas y altas perennifolias, bosques mesófilos de montaña y bosques de pino-encino. El clima predominante de la región es cálido subhúmedo, con un régimen de lluvias marcado y con precipitaciones en verano. El muestreo dentro de esta ANP se llevó a cabo dentro del municipio de Villacorzo, en las inmediaciones del ejido “Plan de Ayala” (CONAMP, 2019).

Diseño metodológico

Se utilizaron grabadoras de audio colocadas en puntos semi-aleatorios en los senderos de los ejidos visitados dentro de la zona de estudio. Preferentemente se eligieron sitios que cumplieran a la vista con condiciones de ecotonos, con vegetación variada y condiciones ambientales diferentes. Los sitios 1-6 dentro del ejido Ampliación Laguna (**ET**) se encontraron dentro de un ecosistema de nubliselva, la vegetación principal corresponde a pinos, encinos y robles, el sitio 5 se ubicó cercano a un pequeño arroyo. Los sitios 1, 2, 3, 4 y 6 se ubicaron a lo largo de los senderos, en medio de la vegetación correspondiente a la zona.

Los sitios muestreados dentro del ejido Plan de Ayala (**LF**) se ubicaron en zonas con condiciones variadas, debido a que esta comunidad se encuentra ubicada en una zona de transición de ecosistemas. Los sitios 7, 9, 10, 16, 17 y 19 se localizaron en puntos conservados, con abundante vegetación alrededor. Las características de la zona de estudio hacen que la vegetación presente una alta

heterogeneidad de sitio a sitio, con zonas de pino-encino y de selva húmeda mediana. El sitio 7 y 8 estaban próximos a cuerpos de agua. Los sitios 8, 13, 14 y 15 se localizaron dentro de potreros, a cielo abierto, con vegetación de selva húmeda a menos de 50 metros de distancia. Las zonas de los sitios 11 y 12 fueron los más próximos a sitios con estructuras humanas, Sin embargo, estos sitios presentaron condiciones de vegetación de selva húmeda mediana. La variedad en las características de los sitios de muestreo permite explorar el comportamiento de los índices acústicos ante diferentes condiciones ambientales. A pesar de elegir sitios dentro de ecotonos fuertemente marcados, algunas de las muestras acústicas fueron obtenidas dentro de lugares con vegetación más abundante y cercanos a cuerpos de agua para poder realizar una comparación del comportamiento de los índices con diferentes condiciones ambientales.

Las muestras acústicas se obtuvieron al alba, entre un horario de 5:30 *a. m.* hasta las 8:20 *a. m.* La hora elegida para iniciar las grabaciones corresponde al cambio gradual de sonidos nocturnos a diurnos y una mayor actividad registrada durante ese periodo de especies soníferas como lo son las aves (Farina et al., 2015).

Muestreos acústicos

Los muestreos acústicos se realizaron utilizando una grabadora “Zoom H6” con micrófono omnidireccional, formato WAV, 16 bits a una frecuencia de muestreo de 48 kHz y una grabadora “Tascam DR-07 mkII” omnidireccional en formato WAV, 24 bits a una frecuencia de muestreo de 48 kHz, colocadas sobre un trípode a la altura del pecho (1.5 m) y con el micrófono apuntando hacia el dosel. El uso de dos grabadoras de distinta marca responde a las limitaciones con los materiales disponibles, sin embargo, el procesado de los audios obtenidos siguió el mismo protocolo para ambas.

Los muestreos se realizaron durante 12 días en los meses de abril, mayo, julio y agosto del año 2022, en zonas cercanas a los ejidos de cada ANP. Debido a la variación en el tiempo de permanencia en cada salida de campo, el muestreo acústico fue mayor en **LF** con 13 sitios de muestreo a comparación de los 6 sitios de **ET**, la Tabla 1 muestra el número de muestras obtenidas en cada sitio, así como las horas totales.

Ubicación	No. de muestras	Horas obtenidas
El Triunfo	6	08:28:45
Frailescana	13	14:28:38
TOTAL	19	22:56:23

Tabla 1: Número de muestras y horas obtenidas en cada sitio

Se anexan imágenes satelitales de los sitios de estudio, así como de las localidades visitadas.

Análisis estadístico

Se obtuvo un total de 1,376 minutos de grabaciones. Todos los minutos fueron explorados visual y auditivamente, para determinar su utilidad para los análisis. Posteriormente, se seleccionó un minuto de cada diez, empezando por los primeros 10 minutos de grabación, obteniendo un total de 136 minutos usados para los índices. Este particionamiento del muestreo total responde al hecho de que analizar la totalidad de los audios resulta sumamente complicado con la tecnología actual. Elegir 1 minuto cada 10 minutos dentro de las grabaciones permite obtener una aproximación del comportamiento acústico total de un ambiente y es la manera en la que se realiza la partición de los audios en la mayoría de los trabajos ecoacústicos o de ecología del paisaje sonoro. El particionamiento de las grabaciones se realizó con el software Audacity versión 3.2.1 (Audacity, 2022).

Cada minuto resultante fue procesado en el software R 3.5.0 (R Core Team, 2021), en donde se les aplicaron tres índices acústicos a través del paquete "SoundEcology" (Villanueva-Rivera & Pijanowski, Package "soundecology", 2018): índice de equidad acústica (**IEA**); índice de complejidad acústica (**ICA**) e índice de diversidad acústica (**IDA**), cuya descripción y rangos se incluyen en la Tabla 2.

ÍNDICES ACÚSTICOS	DESCRIPCIÓN Y RANGOS
Índice de Equidad Acústica	Basado en el índice de equidad de Gini, el índice de equidad acústica mide que tan equitativamente se encuentran distribuidos los sonidos de origen biológico (biofonías) a lo largo de una grabación. Este índice es un indicador de la aleatoriedad de los sonidos, prueba si todas las especies en una muestra presentan la misma abundancia. El rango de este índice es de 0/1, los valores bajos de este índice (más cercanos al cero), pueden indicar paisajes sonoros saturados, hábitats acústicamente ricos, grabaciones con ruido de viento y lluvia o incluso ausencia de sonido.
Índice de Complejidad Acústica	Este índice calcula la diferencia absoluta entre dos valores contiguos de amplitud espectral en una misma frecuencia, estima la variabilidad de las intensidades entre muestras de tiempo dentro de una banda de frecuencia. El rango de este índice es de 0/+, sin que presente un límite, los valores altos de este índice pueden indicar altos niveles de actividad sonora de aves o insectos que estridulan.
Índice de Diversidad Acústica	Este índice está basado en el índice de diversidad de Shannon, aplicado a la proporción relativa de la señal que ocurre en cada banda de 1 kHz. Asume que el número de picos de frecuencia aumenta con un mayor número de especies registradas. El rango de los valores es de 0/+, valores altos de este índice pueden indicar un mayor número de frecuencias ocupadas, grabaciones con poca información obtenida o una mayor equidad del paisaje sonoro.

Tabla 2: Descripción de los índices acústicos y sus rangos. (Villanueva-Rivera et al., 2011 y Sánchez-Giraldo et al., 2021)

Los valores de los índices (**IEA**, **ICA** e **IDA**), ofrecen aproximaciones de medidas de biodiversidad. Los resultados numéricos que se obtienen con los índices acústicos representan distintos valores de entropía o número de variaciones en las longitudes de onda obtenidos. Cuando estas aproximaciones se llevan a un nivel de biodiversidad, la variabilidad en las propiedades físicas del sonido de las grabaciones, como la intensidad, la frecuencia y la amplitud de picos, se entiende como una representación de la cantidad de organismos que vocalizan en cierto periodo o qué tan aleatorios son los sonidos en un segmento de grabación. Siguiendo esa aproximación, los valores altos de los índices responderían a una mayor variedad de organismos que vocalizan. Las áreas con menos actividad sonora están directamente ligadas a zonas con menor biodiversidad, mientras que los lugares con vocalizaciones variadas y mayor actividad acústica están relacionadas a zonas con una mayor biodiversidad. Así, es posible tener una aproximación de la biodiversidad de una zona o región. Los

resultados fueron organizados en tablas y figuras mediante Microsoft Excel 365 (Anexos).

RESULTADOS

Tanto en el **ET** como en **LF**, las zonas de muestreo presentan similitudes en la variación de condiciones, así como de las especies que allí habitan. Esto permite utilizar el promedio como una manera práctica de abordar el comportamiento acústico de las zonas estudiadas. El **índice de equidad acústica** mostró una variación muy amplia, con valores mínimos de 0.0057 en el sitio 3 a las 6:24 *a.m.* dentro de **ET** y 0.0024 para el sitio 14 a las 7:14 *a. m.* dentro de **LF**. Los valores máximos fueron 0.8959 en el sitio 1 a las 6:09 *a. m.* en **ET** y 0.900 en el sitio 18 a las 6:20 *a. m.* para **LF**. El promedio de equidad para los seis sitios muestreados en **ET** fue de 0.4151 y 0.2834 para los 13 sitios de **LF**. Los valores promedio, mínimos y máximos para cada sitio se muestran en la tabla 3. Para el **índice de complejidad acústica** se obtuvo un valor mínimo de 1634.7626 en el sitio 1 a las 6:19 *a. m.* en **ET** y 1652.8830 en el sitio 16 a las 6:20 *a. m.* en **LF**, los valores máximos fueron 1995.3465 para el sitio 5 a las 7:40 *a. m.* en **ET** y 2241.1773 para el sitio 9 a las 6:32 *a. m.* en **LF**. El promedio de complejidad para los seis sitios muestreados en **ET** fue de 1775.8588 y 1784.6988 para los 13 sitios de **LF**. Los valores promedio, mínimos y máximos para cada sitio se muestran en la tabla 4. El **Índice de diversidad acústica**, arrojó un promedio de 1.6412 para los seis sitios muestreados en **ET**, con un valor mínimo de 0.0906 en el Sitio 1, y un máximo de 2.3024 en el sitio 3. Para **LF**, el promedio de diversidad acústica de los 13 sitios muestreados fue de 1.9741, el sitio 18 obtuvo un valor de cero en la primera medición del índice, siendo este el valor más bajo obtenido en todos los sitios y resultante de un bajo nivel de volumen de los sonidos captados, el segundo valor mínimo fue de 0.9168, en el sitio 8 a las 6:32 *a. m.* El valor máximo fue de 2.3025 en el sitio 15, registrado a las 7:04 y 7:14 *a. m.* Los valores promedio, mínimos y máximos para cada sitio se muestran en la tabla 5. Como se mencionó en la revisión de la literatura, estos índices carecen de una unidad concreta de medición, por lo que los valores que se obtienen son interpretados de acuerdo al índice que se esté midiendo. Los valores obtenidos por tiempo fueron graficados para tener una representación visual de la manera en la que el sonido se comportó en los sitios, con cada índice durante el periodo de muestreo. Las figuras mostraron tendencias variadas para cada fecha y sitio de grabación, en algunos casos se puede notar el patrón de aumento gradual de los valores de los índices conforme el amanecer progresa, estos valores

llegan a un umbral antes de descender (Figuras 1-3). Estas figuras fueron elegidas entre las obtenidas debido a que permiten una visualización más clara de los cambios acústicos de los sitios en relación con la hora. Los patrones que muestran las gráficas corresponden a un incremento en la actividad y número de organismos que vocalizan y que forman parte de un ciclo natural para la biodiversidad, la transición entre noche y día.

En total, organizamos y graficamos más de 130 minutos y obtuvimos más de 12 gráficas, encontradas en los anexos.

ÍNDICE ACÚSTICO DE EQUIDAD			
SITIO	PROMEDIO	MINIMO	MÁXIMO
1	0.7958	0.2759	0.8959
2	0.1562	0.0577	0.3262
3	0.2191	0.0057	0.5236
4	0.4449	0.2978	0.5822
5	0.0760	0.0081	0.3696
6	0.7986	0.5507	0.8954
7	0.2783	0.1468	0.4387
8	0.3575	0.1167	0.7924
9	0.1972	0.0274	0.3847
10	0.5342	0.3298	0.6836
11	0.1973	0.0882	0.2505
12	0.1416	0.0708	0.347
13	0.0599	0.0137	0.1461
14	0.5568	0.2082	0.7541
15	0.0088	0.0024	0.0264
16	0.5157	0.1067	0.7852
17	0.0911	0.0095	0.3036
18	0.6763	0.2514	0.9000
19	0.0698	0.0083	0.1522

Tabla 3: Valores promedio del índice acústico de complejidad en los 19 sitios de estudio.

ÍNDICE ACÚSTICO DE COMPLEJIDAD			
SITIO	PROMEDIO	MINIMO	MÁXIMO
1	1745.5270	1634.7626	1829.1535
2	1796.4585	1663.0685	1841.1007
3	1791.0070	1658.4181	1872.6084
4	1808.9418	1719.3609	1851.4458
5	1743.3407	1674.5239	1995.3465
6	1769.8776	1682.3360	1879.1716
7	1818.5497	1712.3479	1911.4397
8	1816.8694	1789.1242	1834.8153
9	1902.5798	1769.1412	2241.1773
10	1769.9406	1678.7580	1831.3614
11	1695.5178	1682.0511	1716.4172
12	1900.2620	1776.7930	1975.8014
13	1720.2176	1662.4855	1830.8019
14	1743.9820	1675.1407	1831.7465
15	1706.1811	1673.0826	1816.7616
16	1687.0995	1652.8830	1826.0979
17	1815.7114	1721.8748	2027.5542
18	1772.4674	1675.6035	1901.7803
19	1851.7061	1828.2546	1880.9434

Tabla 4: Valores promedio del índice acústico de equidad en los 19 sitios de estudio.

ÍNDICE ACÚSTICO DE DIVERSIDAD			
SITIO	PROMEDIO	MÍNIMO	MÁXIMO
1	0.6064	0.0906	2.1381
2	2.2480	2.1240	2.2967
3	2.1706	1.8292	2.3024
4	1.9231	1.6827	2.1405
5	2.2728	2.072	2.3024
6	0.6264	0.1050	1.7579
7	2.1309	1.9742	2.2587
8	1.8338	0.9168	2.2634
9	2.2011	2.0194	2.3008
10	1.7366	1.4102	2.0438
11	2.2195	2.1831	2.2878
12	2.2371	2.0629	2.2909
13	2.3011	2.2998	2.3021
14	2.2333	1.1003	2.1973
15	2.3021	2.3005	2.3025
16	1.6748	0.9605	2.2831
17	2.2700	2.1442	2.3022
18	0.8794	0	2.1964
19	2.2839	2.2389	2.3023

Tabla 5: Valores promedio del índice acústico de diversidad en los 19 sitios de estudio.

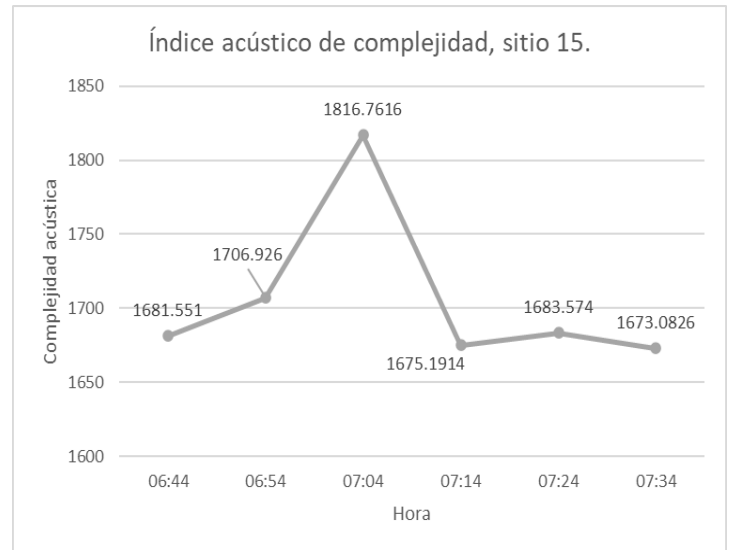


Figura 1: Valores del índice acústico de complejidad en el sitio 15 cada 10 minutos

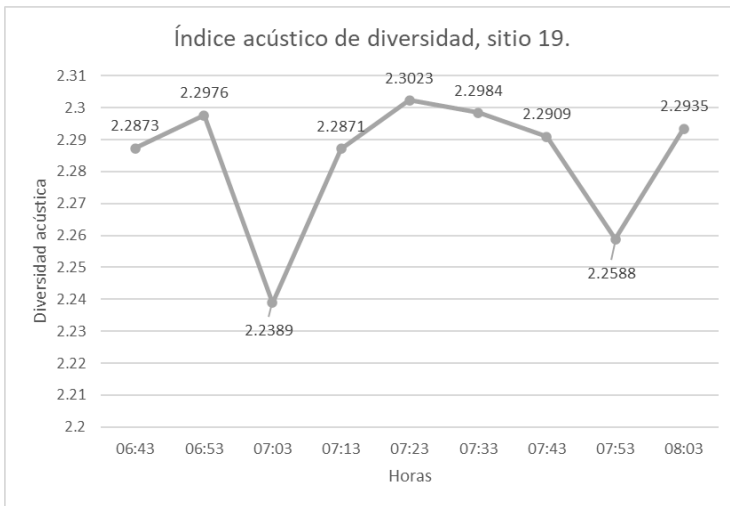


Figura 2: Valores del índice acústico de diversidad en el sitio 19 cada 10 minutos.

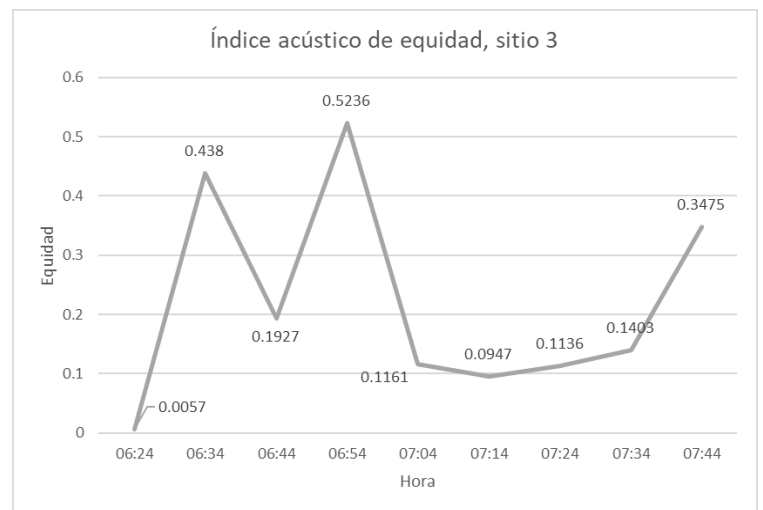


Figura 3: Valores del índice acústico de equidad en el sitio 3 cada 10 minutos.

DISCUSIÓN

Las señales sonoras que emitidas por los organismos y presentes en los ecosistemas varían ampliamente. Otros estudios han demostrado que las oscilaciones acústicas se ven afectadas por la densidad de la vegetación, así como por variables ambientales como la humedad y la topología del lugar (Villanueva-Rivera et al., 2011). La variación en los resultados obtenidos en nuestros sitios de muestreo puede enfatizar el hecho de que el comportamiento del sonido es diferente y depende en gran medida del sitio de muestreo, el periodo de grabación y los instrumentos utilizados para obtener las muestras sonoras. Aunque los valores obtenidos con los índices no muestran una misma tendencia en todos los sitios y períodos de grabación, algunos de los períodos analizados sí muestran una tendencia positiva, con un aumento en los valores de los índices a medida que avanza el amanecer. Esto se relaciona directamente con el cambio de actividad acústica que ocurre entre la noche y el día, donde hay un incremento en la diversidad de organismos que vocalizan conforme amanece. En estos casos los valores de los índices llegan a alcanzar a un umbral alto justo antes de empezar a disminuir, lo que podría ser una muestra de un “*momentum sonorum*”, y tener un sentido ecológico-evolutivo. La vida ha evolucionado dentro de una red de sonidos producidos no solo por los organismos, sino también por el planeta. Los organismos han tenido una historia evolutiva de la mano de un mundo sonoro, desarrollando mecanismos que les permiten desenvolverse eficazmente dentro de una vasta red de sonidos naturales. Un ejemplo de esto, como menciona la doctora Bakker en su libro “*The Sounds of Life*”, es la ecolocalización, que ha sido perfeccionada por la evolución hasta alcanzar una precisión comparable a la de muchos instrumentos médicos creados por la humanidad (Bakker, 2022). Otro ejemplo es la hipótesis de la adaptación acústica, que sugiere que las diferencias estructurales en los hábitats influyen en las señales acústicas a través de los efectos de transmisión de dichas señales (Farina, 2018). Estos ejemplos, entre otros, resaltan la relación inherente entre el sonido y la evolución.

Otra consideración importante es el hecho de que los índices carecen de una unidad concreta de medición, y su interpretación representa una parte de nuestro camino en la cuantificación de la diversidad de los ecosistemas, y como estos índices se relacionan entre sí y con la diversidad biológica (Cultid-Medina & Escobar, 2019).

Nuestras grabaciones se realizaron en diversos sitios que presentaban condiciones ambientales variadas. Algunas de las muestras fueron obtenidas cerca de ríos y cascadas, lo que posiblemente influyó en los valores de los índices debido a la presencia de geofonías. Estudios ecoacústicos en áreas con menor presencia de geofonías o utilizando filtros de frecuencia para excluir los sonidos terrestres han demostrado que existen condiciones en las que los índices se comportan manera más adecuada. Asimismo, en nuestras grabaciones, en los sitios 2, 5, 9 y 10, se observó que algunas especies mostraron dominancia acústica llegando en algunos casos a opacar a los demás sonidos naturales. Esto afecta los valores obtenidos y es importante mencionar que, en algunos minutos, algún organismo puede percharse extremadamente cerca del micrófono durante un corto período de tiempo, lo que también afecta el valor obtenido si se analiza ese minuto en particular.

Diferentes estudios han explorado el comportamiento de índices acústicos como medidas de biodiversidad en paisajes (Dröge et al., 2021). Saskia Drögue y colaboradores exploraron la relación entre los índices acústicos y la riqueza de especies de aves observada en diferentes tipos de uso de suelo en el noreste de Madagascar. Sus resultados mostraron fuertes variaciones ecoacústicas en el paisaje, dependiendo de los diferentes tipos de uso del suelo. Los índices de diversidad, equidad y entropía acústica se correlacionaron con la riqueza de especies de aves, que es un indicador estándar de biodiversidad. Sin embargo, el índice de complejidad acústica arrojó resultados inesperados, con valores altos en las zonas de cultivo agrícola y valores más bajos en los bosques primarios. Se ha sugerido que los valores del Índice de complejidad acústica deberían ser mayores en hábitats que presentan condiciones para una mayor variabilidad de sonidos (Pieretti, Farina, & Morri, 2011).

Nuestro estudio se llevó a cabo en regiones consideradas megadiversas. Los sitios de muestreo se ubicaron en zonas con una alta variabilidad de los sonidos biológicos. Aunque en algunos casos los índices de complejidad y de diversidad (Figuras 1, 2 y 3) mostraron patrones más claros de aumento de la energía sonora al amanecer, las demás gráficas y valores no presentaron un patrón claro. Esto puede deberse a la dominancia acústica de ciertas especies o a las condiciones ambientales específicas de cada sitio de grabación. Se necesitan más estudios con grabadoras sincronizadas y un mayor procesamiento de los audios para descubrir los patrones que crean los paisajes sonoros.

Existen estudios que exploran el uso de los índices acústicos para investigar los patrones y dinámicas de los coros del atardecer y las rutinas de canto de la mañana (Farina et al., 2015). Sus resultados demuestran que existen diferentes comunidades acústicas dentro de un mismo sitio y estas comunidades pueden reflejar tipologías específicas de hábitats específicos. Aunque en el estudio de Farina y colaboradores la variabilidad del índice de complejidad no fue significativa a lo largo de sus puntos de muestreo ubicados cada 100 metros, otro estudio realizado en 2014 por Farina y Pieretti mostró cambios en las comunidades acústicas en una distancia de 25-30 metros de los puntos de muestreo, los cuales fueron atribuidos a la heterogeneidad ambiental (Farina & Pieretti, 2014).

Los registros sonoros obtenidos en la presente investigación se realizaron en sitios cercanos entre sí, y los resultados de los análisis con los índices presentaron una alta variabilidad. Las zonas muestreadas, al encontrarse dentro de ecotonos, también presentan una alta heterogeneidad, lo que explicaría el cambio de comunidades acústicas de un sitio a otro y la alta variabilidad en los resultados.

Los valores proporcionados por los índices acústicos son útiles tanto para la comparación de sitios diferentes dentro de una misma zona (Dröge et al., 2021) como para monitorear el impacto de las perturbaciones en los ambientes (Krause & Farina, 2016) y el estado de la biodiversidad (Depraetere et al., 2012 y Xie, et al., 2017). Los valores de los índices acústicos obtenidos en la presente investigación corresponden a valores elevados que se esperarían en ambientes megadiversos de zonas neotropicales, como las localidades estudiadas. Tomando como referencia el trabajo de Camilo Sánchez y colaboradores (Sánchez-Giraldo et al., 2021), su investigación fue realizada en una ANP dentro de una zona de bosque de montaña de alta relevancia por su diversidad biológica en Colombia. Los índices acústicos que ellos obtuvieron arrojaron valores entre 850 y 1050 para el **ICA**, de 1.4 a 2 para el **IDA** y de 0.3 a 0.6 para el **IEA**.

Nuestros análisis acústicos realizados en **LF** y **ET** revelaron valores considerablemente superiores a los obtenidos por Camilo Sánchez y colaboradores, especialmente para el **IDA** y el **ICA**. En nuestros resultados, el valor del **ICA** superó los 1700, y el **IDA** fue superior a 1.5. Esta diferencia podría deberse al hecho de que nuestros estudios se llevaron a cabo en regiones tropicales cercanas a ecotonos, en comparación con las zonas de bosque de

montaña estudiadas por Camilo Sánchez y colaboradores.

En cuanto al **IEA**, nuestros resultados fueron más bajos. Sin embargo, esto podría deberse a la diferencia en las grabadoras utilizadas, ya que este índice mide la equidad de las señales sonoras distribuidas en las bandas, un parámetro estrechamente relacionado con la física de los micrófonos.

Es importante destacar que, con periodos de grabación más largos, los índices acústicos resultan más confiables y descriptivos.

El presente estudio expone una exploración de los fundamentos teóricos detrás de los métodos acústicos y parte de su metodología cuando se pretende utilizarlos como una herramienta de aproximación de la biodiversidad y una manera alternativa y complementaria para el monitoreo biológico.

CONCLUSIÓN

Los resultados obtenidos en la presente investigación muestran que las grabadoras son capaces de capturar información de las comunidades acústicas y, en algunos casos, esta información reveló patrones de comportamiento acústico, como el incremento de vocalizaciones al amanecer. Además, los valores obtenidos a través de los índices fueron en su mayoría altos en comparación con los valores de referencia de otros estudios, lo cual es esperable en zonas con alta biodiversidad como las estudiadas.

Los datos acústicos que recopilamos forman parte de una extensa red de comunicación que expresa patrones y procesos derivados de las comunidades y su interacción con el paisaje. Los métodos ecoacústicos ofrecen una oportunidad para descifrar esta red de comunicación interespecífica presente en los paisajes. Sin embargo, se requieren más estudios para comprender la función del sonido en los ecosistemas y su medición. También es necesario estandarizar los instrumentos de grabación, sus parámetros y los periodos de captura de datos acústicos, de modo que se minimice la segregación de los datos sonoros y se pueda mejorar el procesamiento de los datos acústicos con el fin de obtener resultados más descriptivos y precisos en el contexto del monitoreo de la biodiversidad.

Referencias

- Audacity. (2022). *Audacityteam*. Obtenido de <https://www.audacityteam.org/>
- Bakker, K. (2022). *The Sounds of Life* (1st ed.). Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Chhaya V., Lahiri S., Jagan MA., Mohan R., Pathaw NA. & Krishnan A. (2021) Community Bioacoustics: Studying Acoustic Community Structure for Ecological and Conservation Insights. *Front. Ecol. Evol.* 9:706445. doi: 10.3389/fevo.2021.706445.
- CONAMP. (2019). *Área de Protección de Recursos Naturales Zona de Protección de Forestal en los terrenos que se encuentran en los municipios de La Concordia, Ángel Albino Corzo, Villa Flores y Jiquipilas, Chiapas*. Ciudad de México, México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Cultid-Medina, C., & Escobar F, C. (2019). Pautas para la estimación y comparación estadística de la diversidad biológica. En M. CE, *La biodiversidad en un mundo cambiante: Fundamentos teóricos y metodológicos para su estudio*. (págs. 175-202). Ciudad de México: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo/ Libermex.
- Depraetere, M., Pavoine, S., Jiguet, F., Gasc, A., Duvail, S., & Sueur, J. (2012). Monitoring animal diversity using acoustic indices: Implementation in a temperate woodland. *Ecological Indicators*, 46-54.
- Dröge, S., Andreas Martin, D., Andriafanomezantsoa, R., Burivalova, Z., Rosin Fulgence, T., Osen, K., . . . Kreft, H. (2021). Listening to a changing landscape: Acoustic indices reflect bird species richness and plot-scale vegetation structure across different land-use types in north-eastern Madagascar. *Ecological Indicators*.
- Duque Montoya, D. (2019). METHODOLOGY FOR ECOSYSTEM CHANGE ASSESSING USING ECOACOUSTICS ANALYSIS. ECOLÓGICAS: APROXIMACIÓN CONCEPTUAL. *Corredores Biológicos: Acercamiento conceptual y experiencia en América.*, 11-47.
- Farina, A. (2018). Ecoacoustic Codes and Ecological Complexity. *BioSystems*, 164:147-154.
- Farina, A. (2019). Acoustic codes from a rural sanctuary: How ecoacoustics events operate across a landscape scale. *BioSystems*.
- Farina, A. (2019). Ecoacoustics: A Quantitative Approach to Investigate the Ecological Role of Environmental Sounds. *Mathematics*, 7(1),21.
- Farina, A., & Pieretti, N. (2014). Sonic environment and vegetation structure: A methodological approach for a soundscape analysis of a Mediterranean maqui. *Ecological Informatics*, 120-132.
- Farina, A., Ceraulo, M., Bobryk, C., Pieretti, N., Quinci, E., & Lattanzi, E. (2015). Spatial and temporal variation of bird dawn chorus and successive acoustic morning activity in a Mediterranean landscape. *Bioacoustics*.
- Ferreira M., L., Oliveira G., E., Lopez C., L., Brito R., M., Baumgarten, J., Rodrigues H., F., & Sousa-Lima S., R. (2018). What do insects, anurans, birds, and mammals have to say about soundscape indices in a tropical savanna. *Journal of Ecoacoustics*.
- Grant B. C., P., & J. Samways, M. (2016). Use of ecoacoustics to determine biodiversity patterns across ecological gradients. *Conservation Biology*, 1320-1329.
- Hobbs, R. (1997). Future Landscapes and the future of landscape ecology. *Landscape and Urban Planning*, 1-9.
- Holgate, B. K. (2019). *Using Ecoacoustic Monitoring of Biodiversity to Inform Urban*

- Development in Peri-urban Settings*. Brisbane, Queensland: School of Earth, Environmental and Biological Science.
- INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA. (1999). *Programa de Manejo de la Reserva de la Biosfera El Triunfo*. México D.F.: Instituto Nacional de Ecología.
- Instituto para el Desarrollo Sustentable de Mesoamérica, A.C. (IDESMAC). (2012). *Red de Áreas Naturales Protegidas Comunitarias y Servicios Ambientales en Chiapas*. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.: INDESOL.
- Krause, B., & Farina, A. (2016). Using ecoacoustic methods to survey the impacts of climate change on biodiversity. *Biological Conservation*, 245-254.
- MacArthur, R., & Wilson, E. (2001). *The Theory of Island Biogeography*. Princeton: Princeton University Press.
- Morera, C., Pintó, J., & Romero, M. (2007). PAISAJE, PROCESOS DE FRAGMENTACIÓN Y REDES
- Pieretti, N., Farina, A., & Morri, D. (2011). A new methodology to infer the singing activity of an avian community: The Acoustic Complexity Index (ACI). *Ecological Indicators*, 868-873.
- Pijanowski, B., Farina, A., Gage, S., Dumyahn, S., & Krause, B. (2011). What is soundscape ecology? An introduction and overview of an emerging new science. *Landscape Ecology*, 1213-1232.
- R Core Team. (2021). *R: A language and environment for statistical computing*. Obtenido de <https://www.R-project.org/>.
- Sánchez-Giraldo, C., Correa- Ayram, C. & Daza M, J. (2021). Environmental Sound as a mirror of landscape ecological integrity in monitoring programs. *Perspectives in Ecology and Conservation*.
- Sueur, J., & Farina, A. (2015). Ecoacoustics: the Ecological Investigation and Interpretation of Environmental Sound. *Biosemiotics*, 8:493-502.
- Troll, C. (2003). Ecología del Paisaje. *Gaceta Ecológica*, 71-84.
- Vila Subirós, J., Varga Linde, D., Llausàs Pascual, A., & Ribas Palom, A. (2006). Conceptos y métodos fundamentales en ecología del paisaje (landscape ecology). Una interpretación desde la geografía. *Documents d'Anàlisi Geogràfica*, 151-166.
- Villanueva-Rivera, L., & Pijanowski, B. (04 de 03 de 2018). *Package "soundecology"*. Obtenido de <http://lrvillanueva.github.io/soundecology/>
- Villanueva-Rivera, L., Pijanowski, B., Doucette, J., & Pekin, B. (2011). A primer of acoustic analysis for landscape ecologist. *Landscape ecology*, 26:1233-1246.
- Xie, J., Towsey, M., Zhu, M., Zhang, J., & Roe, P. (2017). An Intelligent system for estimating frog community calling activity and species richness. *Ecological Indicators*, 13-22.

ANEXOS

ÍNDICE DE ANEXOS

	Página
TABLAS	
Tablas de valores de índices acústicos, ET	23
Tabla de valores de índices acústicos, LF	24
FIGURAS	
Mapa de las ubicaciones estudiadas	27
Sitios de muestreo en ET	27
Sitios de muestreo en LF	28
Gráficas de los sitios de muestreo	29

Tablas con los valores de ICA, IDA e IEA en los sitios de muestreo en El Triunfo.

5 de Abril

Índice acústico de equidad

Hora	06:09	06:19	06:29	06:39	06:49	06:59	07:09	07:19	07:29
Sitio 1	0.8959	0.8929	0.8868	0.8029	0.2759	0.8473	0.8547	0.872	0.8336
Sitio 2		0.0577	0.2439	0.3262	0.104	0.1158	0.117	0.1289	

Índice acústico de complejidad

Hora	06:09	06:19	06:29	06:39	06:49	06:59	07:09	07:19	07:29
Sitio 1	1785.552	1634.763	1787.629	1790.491	1829.154	1793.989	1797.246	1641.898	1649.022
Sitio 2		1809.251	1815.913	1817.216	1663.069	1814.084	1814.576	1841.101	

Índice acústico de diversidad

Hora	06:09	06:19	06:29	06:39	06:49	06:59	07:09	07:19	07:29
Sitio 1	0.0906	0.129	0.2379	0.8642	2.1381	0.6182	0.4777	0.3639	0.5378
Sitio 2		2.2967	2.196	2.124	2.2839	2.2789	2.2805	2.2757	

6 de Abril

Índice acústico de equidad

Hora	06:24	06:34		06:54	07:04	07:14	07:24	07:34	07:44
Sitio 3	0.0057	0.438	0.1927	0.5236	0.1161	0.0947	0.1136	0.1403	0.3475
Sitio 4			0.4904	0.2978	0.5822	0.4093			

Índice acústico de complejidad

Hora	06:24	06:34	06:44	06:54	07:04	07:14	07:24	07:34	07:44
Sitio 3	1658.4181	1864.4805	1830.6254	1705.1049	1832.2894	1834.6016	1675.4273	1872.6084	1845.5077
Sitio 4			1838.546	1719.3609	1851.4458	1826.4143			

Índice acústico de diversidad

Hora	06:24	06:34	06:44	06:54	07:04	07:14	07:24	07:34	07:44
Sitio 3	2.3024	1.9609	2.2239	1.8292	2.2803	2.2879	2.282	2.27	2.0987
Sitio 4			1.8776	2.1405	1.6827	1.9917			

7 de Abril

Índice acústico de equidad

Hora	06:00	06:10	06:20	06:30	06:40	06:50	07:00	07:10	07:20	07:30	07:40
Sitio 5	0.0469	0.0889	0.1952	0.3696	0.0242	0.0421	0.0311	0.0096	0.0081	0.0101	0.0104
Sitio 6			0.8945	0.8954	0.8774	0.6241	0.8944	0.854	0.5507		

Índice acústico de complejidad

Hora	06:00	06:10	06:20	06:30	06:40	06:50	07:00	07:10	07:20	07:30	07:40
Sitio 5	1700.2805	1691.9004	1674.5239	1836.2216	1685.9561	1684.1189	1693.3606	1685.9465	1686.1132	1842.9796	1995.3465
Sitio 6			1837.0735	1685.6907	1838.8903	1682.336	1696.1036	1879.1716			

Índice acústico de diversidad

Hora	06:00	06:10	06:20	06:30	06:40	06:50	07:00	07:10	07:20	07:30	07:40
Sitio 5	2.2966	2.2864	2.2368	2.072	2.3009	2.2974	2.301	2.3024	2.3024	2.3023	2.3023
Sitio 6			0.1209	0.105	0.2796	1.5191	0.106	0.4961	1.7579		

Tablas con los valores de ICA, IDA e IEA en los sitios de muestreo en La Frailescana.

25 de Mayo						
Índice acústico de equidad						
Hora	06:22	06:32	06:42	06:52	07:02	07:12
Sitio 7	0.2151	0.3225	0.2027	0.1468	0.3438	0.4387
Sitio 8		0.7924	0.2376	0.2833	0.1167	
Índice acústico de complejidad						
Hora	06:22	06:32	06:42	06:52	07:02	07:12
Sitio 7	1797.5354	1712.3479	1806.3572	1837.139	1846.4788	1911.4397
Sitio 8		1789.1242	1817.1186	1834.8153	1826.4195	
Índice acústico de diversidad						
Hora	06:22	06:32	06:42	06:52	07:02	07:12
Sitio 7	2.1624	2.116	2.1862	2.2587	2.0876	1.9742
Sitio 8		0.9168	2.0467	2.1084	2.2634	

26 de Mayo								
Índice acústico de equidad								
Hora	06:12	06:22	06:32	06:42	06:52	07:02	07:12	07:22
Sitio 9	0.265	0.1303	0.2744	0.3847	0.2042	0.2292	0.0625	0.0274
Sitio 10		0.6694	0.3298	0.5147	0.6836	0.4564	0.5511	
Índice acústico de complejidad								
Hora	06:12	06:22	06:32	06:42	06:52	07:02	07:12	07:22
Sitio 9	1769.1412	1913.5708	2241.1773	1792.8272	1876.5331	1930.5122	1845.6394	1851.2373
Sitio 10		1807.8816	1790.1965	1829.468	1678.758	1681.9783	1831.3614	
Índice acústico de diversidad								
Hora	06:12	06:22	06:32	06:42	06:52	07:02	07:12	07:22
Sitio 9	2.1585	2.2656	2.1659	2.0194	2.1998	2.2048	2.2937	2.3008
Sitio 10		1.4546	2.0438	1.8294	1.4102	1.9188	1.7626	

18 de Julio					
Índice acústico de equidad					
Hora	06:28	06:38	06:48	06:58	07:08
Sitio 11	0.2342	0.2505	0.1803	0.2334	0.0882
Índice acústico de complejidad					
Hora	06:28	06:38	06:48	06:58	07:08
Sitio 11	1683.5123	1682.0511	1708.1692	1687.4394	1716.4172
Índice acústico de diversidad					
Hora	06:28	06:38	06:48	06:58	07:08
Sitio 11	2.1831	2.1845	2.2418	2.2002	2.2878

19 de Julio

Índice acústico de equidad					
Hora	06:25	06:35	06:45	06:55	07:05
Sitio 12	0.1213	0.0917	0.0708	0.347	0.0772
Índice acústico de complejidad					
Hora	06:25	06:35	06:45	06:55	07:05
Sitio 12	1919.2185	1875.0573	1975.8014	1954.4399	1776.793
Índice acústico de diversidad					
Hora	06:25	06:35	06:45	06:55	07:05
Sitio 12	2.2637	2.2787	2.2909	2.0629	2.2892

20 de Julio

Índice acústico de equidad						
Hora	06:27	06:37	06:47	06:57	07:07	07:17
Sitio 13	0.0355	0.0178	0.1461	0.0137	0.1154	0.031
Sitio 14		0.4991	0.2082	0.7541	0.6159	0.7065
Índice acústico de complejidad						
Hora	06:27	06:37	06:47	06:57	07:07	07:17
Sitio 13	1662.4855	1665.9055	1823.2655	1666.4958	1830.8019	1672.3515
Sitio 14		1697.4603	1831.7465	1675.1407	1821.4341	1694.1286
Índice acústico de diversidad						
Hora	06:27	06:37	06:47	06:57	07:07	07:17
Sitio 13	2.2998	2.3017	2.3004	2.3021	2.3019	2.3004
Sitio 14		1.793	2.1973	1.1003	1.5552	1.3205

21 de Julio

Índice acústico de equidad						
Hora	06:44	06:54	07:04	07:14	07:24	07:34
Sitio 15	0.0087	0.0264	0.0046	0.0024	0.0039	0.0068
Índice acústico de complejidad						
Hora	06:44	06:54	07:04	07:14	07:24	07:34
Sitio 15	1681.551	1706.926	1816.7616	1675.1914	1683.574	1673.0826
Índice acústico de diversidad						
Hora	06:44	06:54	07:04	07:14	07:24	07:34
Sitio 15	2.3023	2.3005	2.3025	2.3025	2.3024	2.3024

23 de Agosto

Índice acústico de equidad							
Hora	06:10	06:20	06:30	06:40	06:50	07:00	07:10
Sitio 16	0.7367	0.7852	0.5135	0.5493	0.3583	0.1067	0.5599
Índice acústico de complejidad							
Hora	06:10	06:20	06:30	06:40	06:50	07:00	07:10
Sitio 16	1658.8844	1652.883	1667.1919	1826.0979	1665.4602	1662.1572	1677.0216
Índice acústico de diversidad							
Hora	06:10	06:20	06:30	06:40	06:50	07:00	07:10
Sitio 16	1.1772	0.9605	1.8299	1.6459	2.0864	2.2831	1.7406

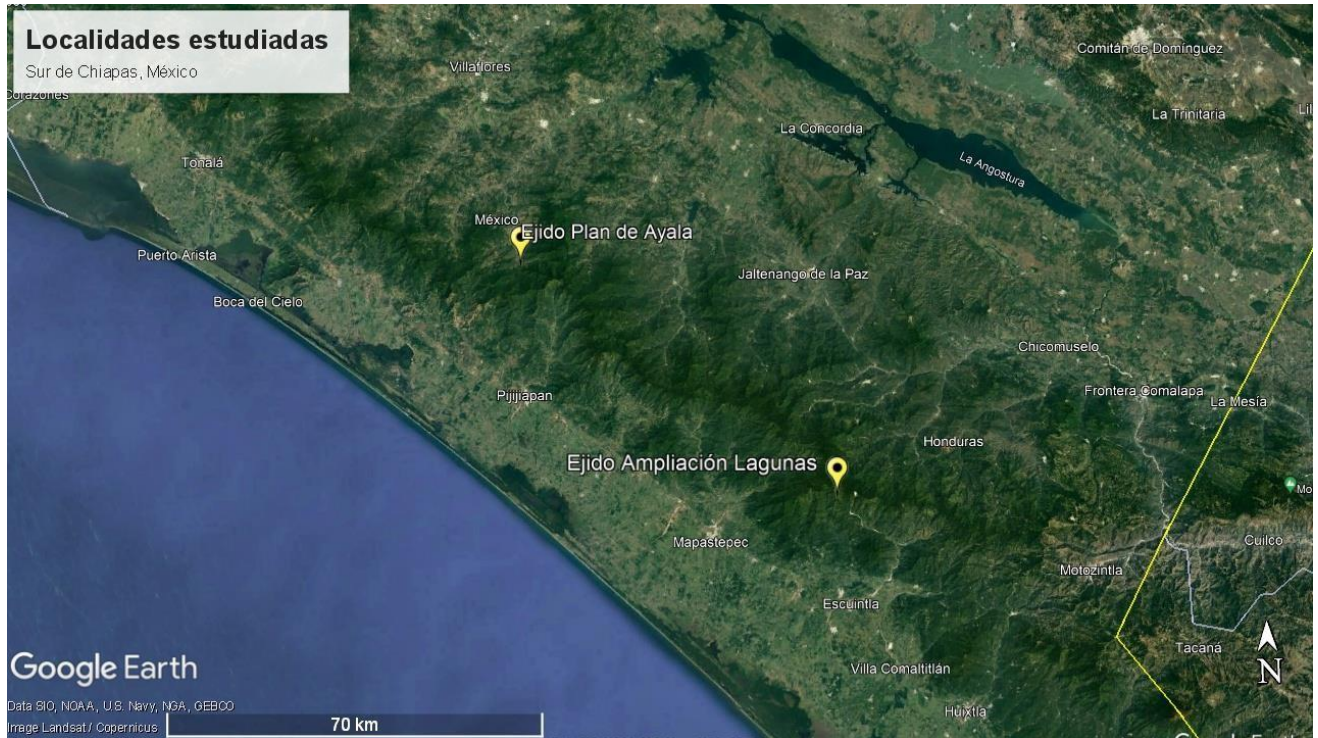
24 de Agosto

Índice acústico de equidad						
Hora	06:10	06:20	06:30	06:40	06:50	07:00
Sitio 17	0.0254	0.0095	0.0572	0.1119	0.3036	0.0389
Sitio 18		0.9	0.8983	0.8809	0.2514	0.4509
Índice acústico de complejidad						
Hora	06:10	06:20	06:30	06:40	06:50	07:00
Sitio 17	1848.8788	1759.2525	1721.8748	1730.7469	2027.5542	1805.9611
Sitio 18		1675.6035	1706.1325	1705.1036	1901.7803	1873.7169
Índice acústico de diversidad						
Hora	06:10	06:20	06:30	06:40	06:50	07:00
Sitio 17	2.3012	2.3022	2.296	2.2774	2.1442	2.2991
Sitio 18		0	0.0459	0.2127	2.1964	1.9421

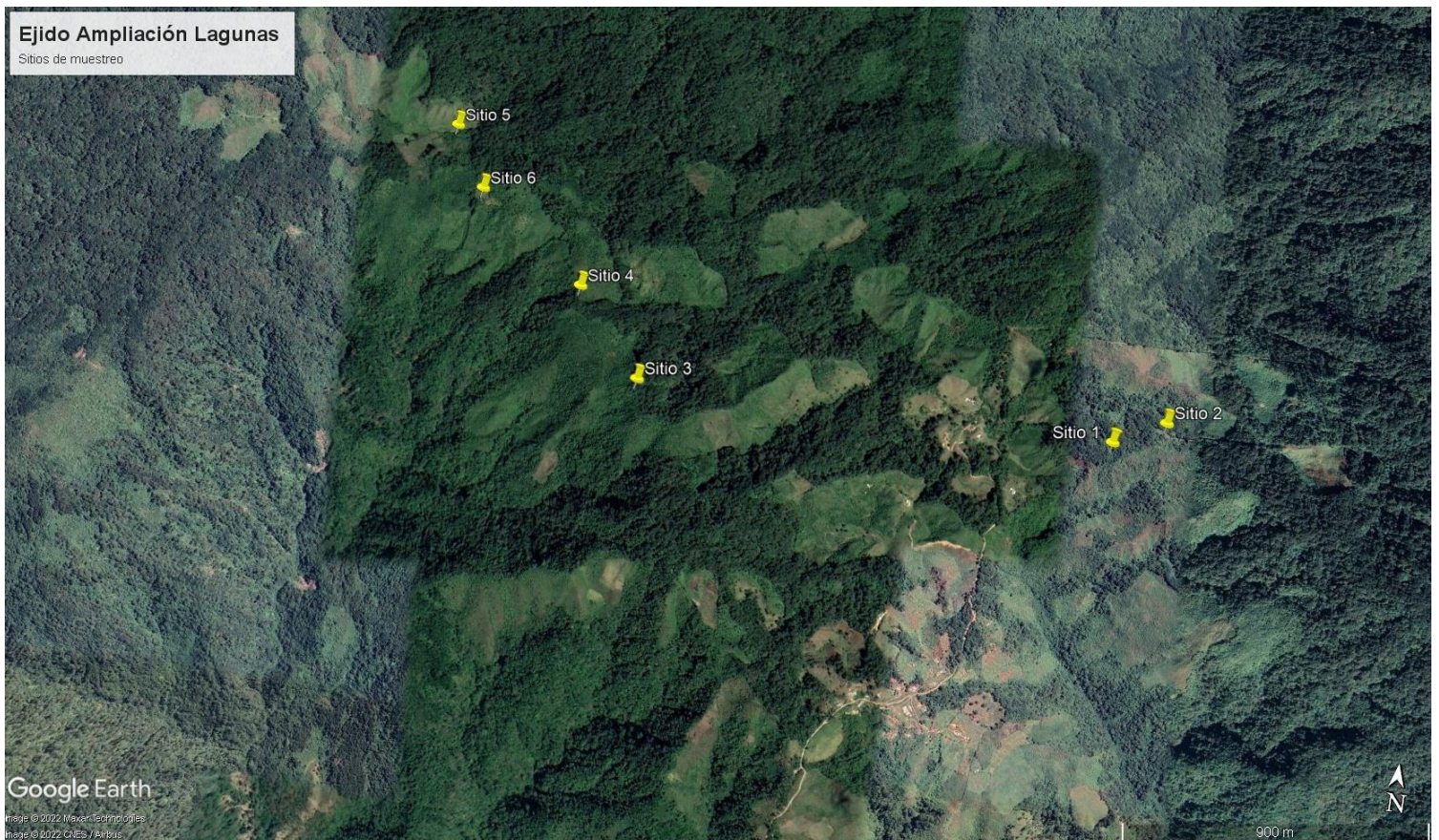
25 de Agosto

Índice acústico de equidad									
Hora	06:43	06:53	07:03	07:13	07:23	07:33	07:43	07:53	08:03
Sitio 19	0.0835	0.0394	0.1522	0.0668	0.0083	0.0353	0.0685	0.1188	0.0553
Índice acústico de complejidad									
Hora	06:43	06:53	07:03	07:13	07:23	07:33	07:43	07:53	08:03
Sitio 19	1852.2447	1848.2488	1880.9434	1877.2431	1828.2546	1846.5864	1832.498	1841.787	1857.5492
Índice acústico de diversidad									
Hora	06:43	06:53	07:03	07:13	07:23	07:33	07:43	07:53	08:03
Sitio 19	2.2873	2.2976	2.2389	2.2871	2.3023	2.2984	2.2909	2.2588	2.2935

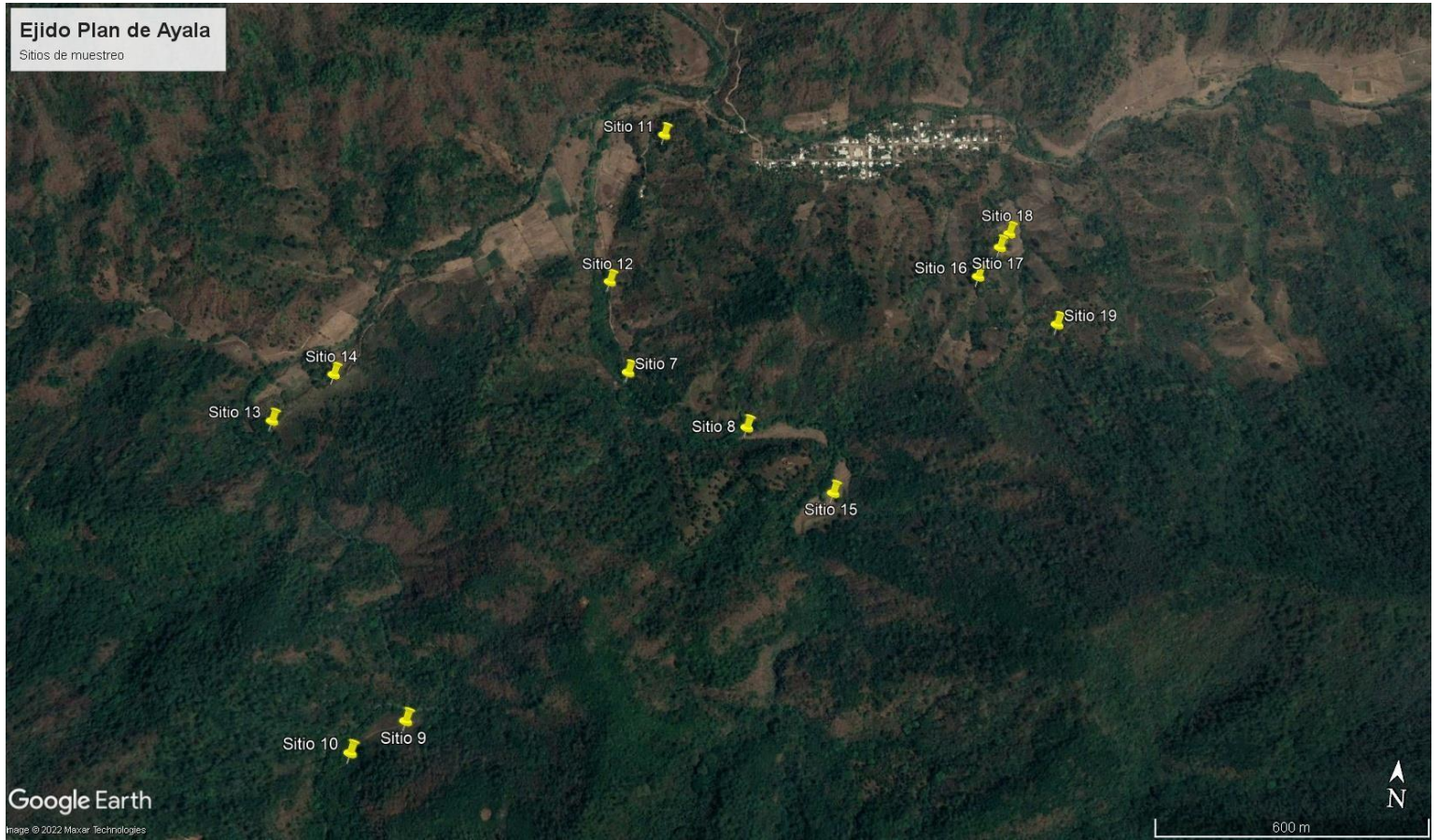
Mapa de las localidades estudiadas.



Sitios de muestreo ET:



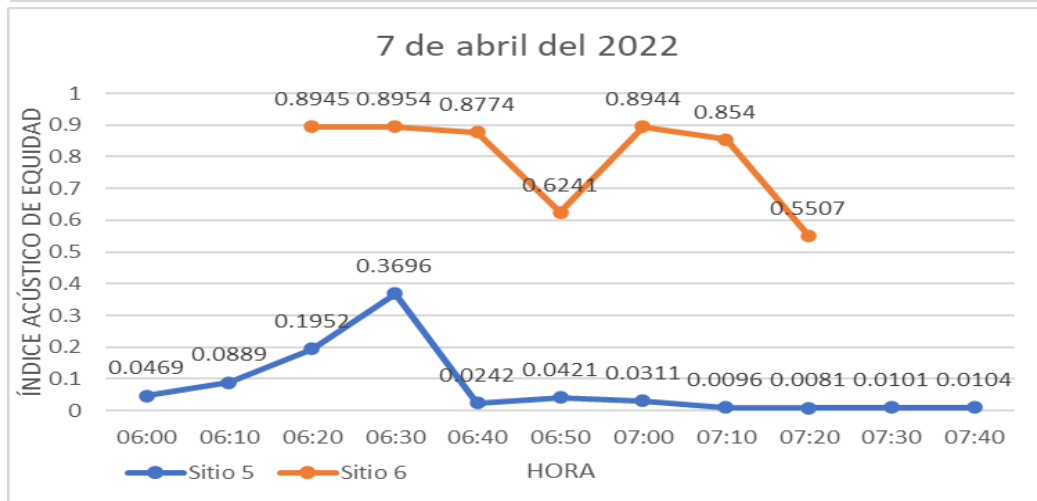
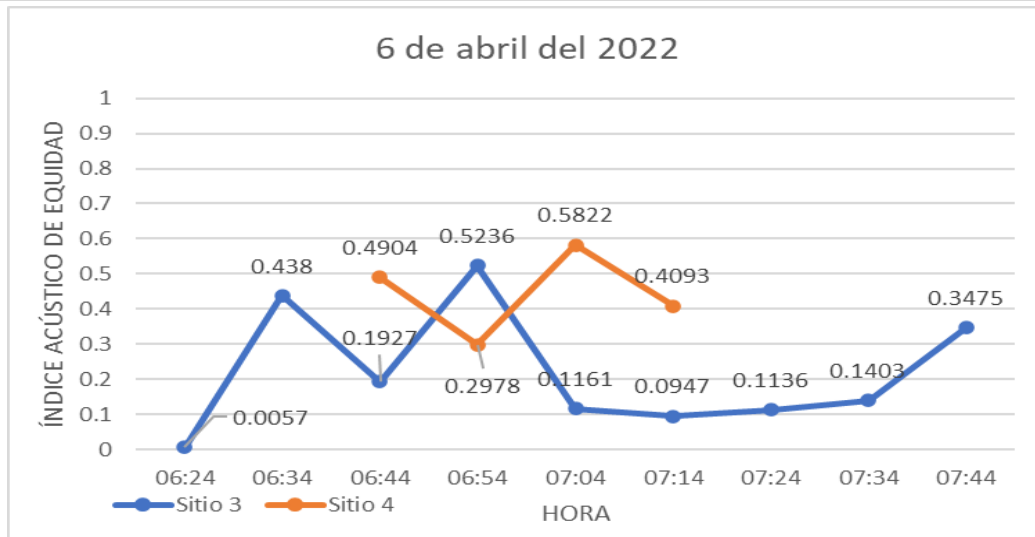
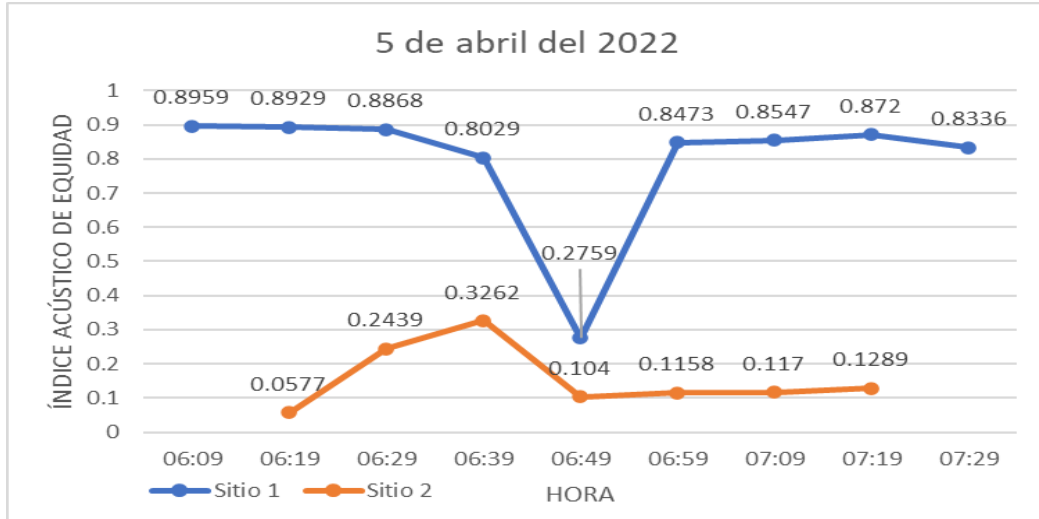
Sitios de muestreo LF.



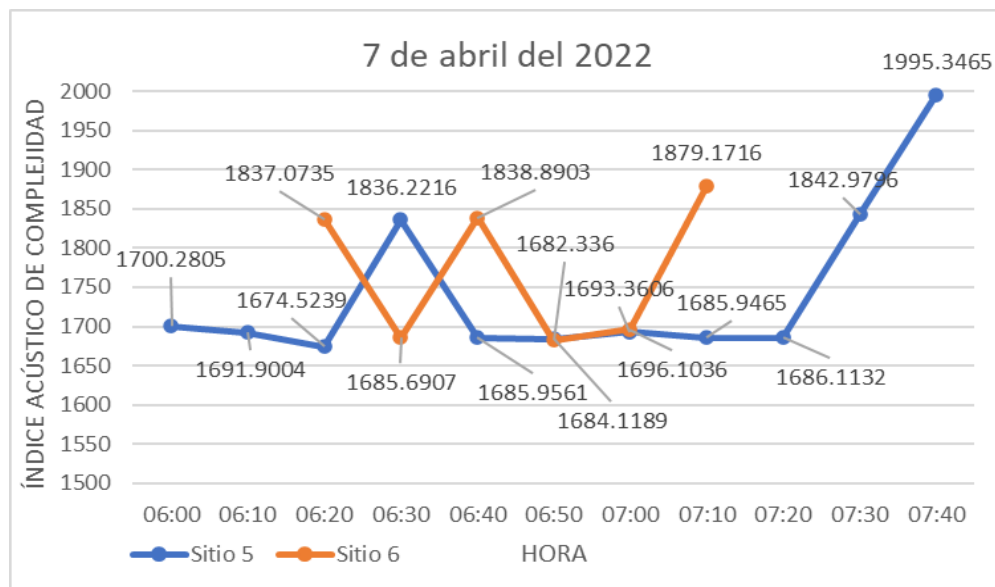
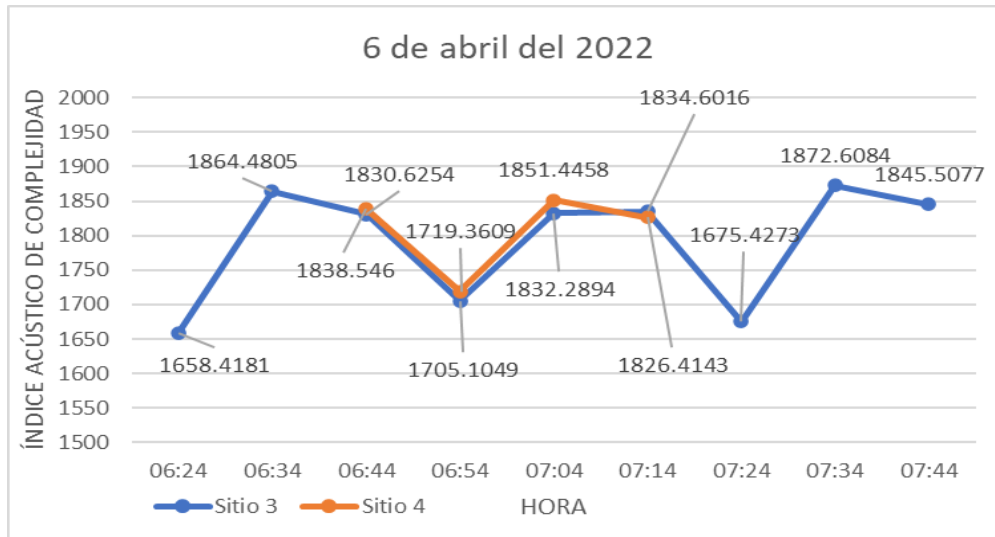
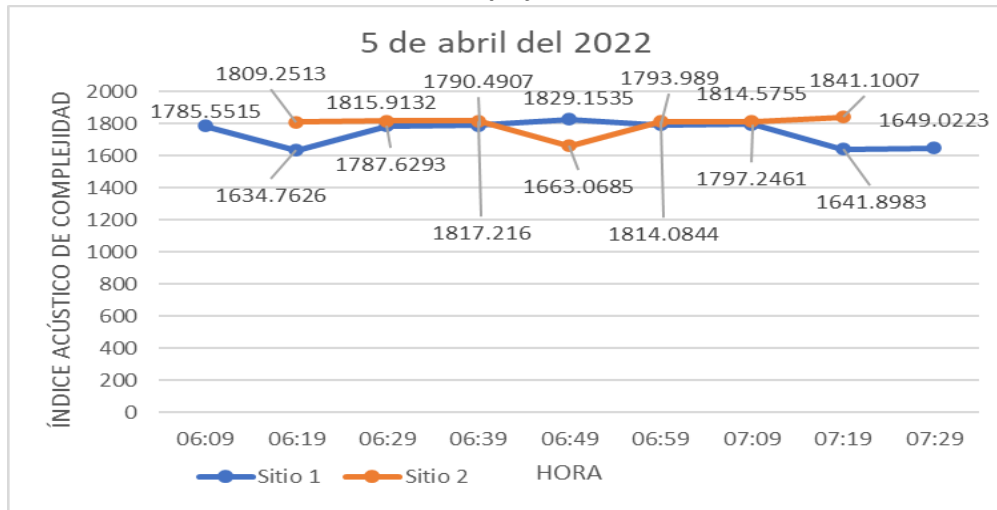
Gráficas y tablas de los resultados obtenidos.

Valores de equidad, complejidad y diversidad de los sitios 1-6, del 5 al 7 de abril del 2022

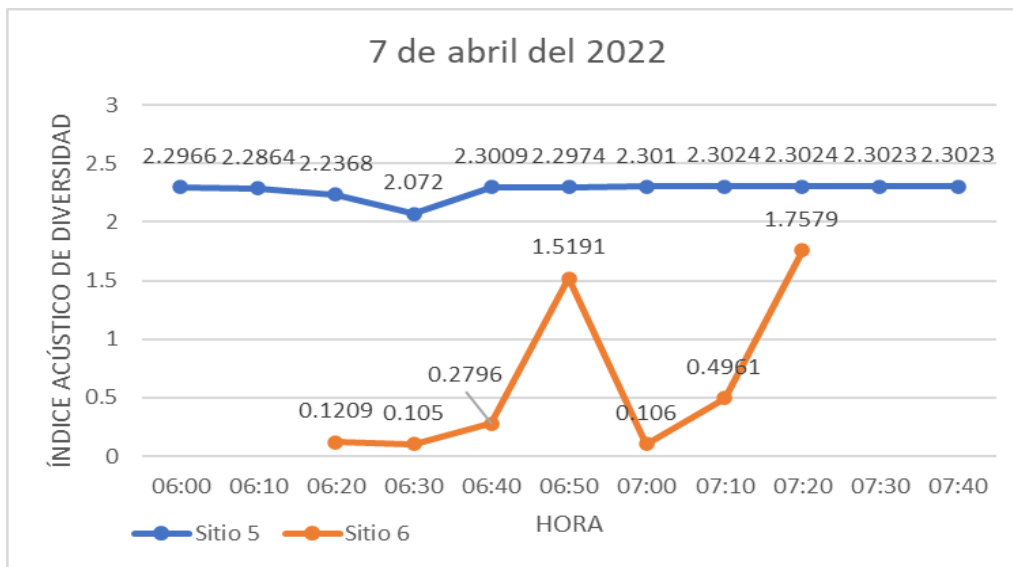
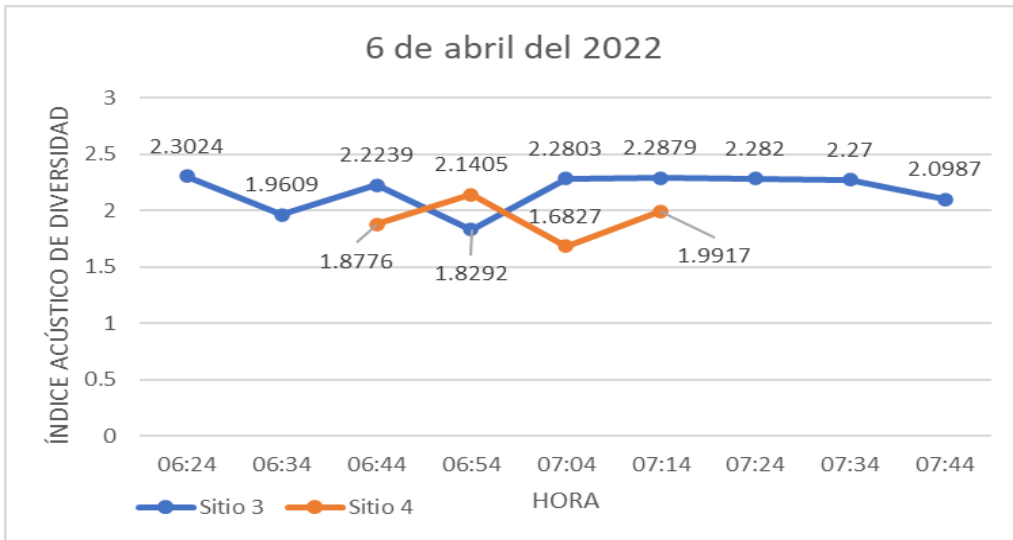
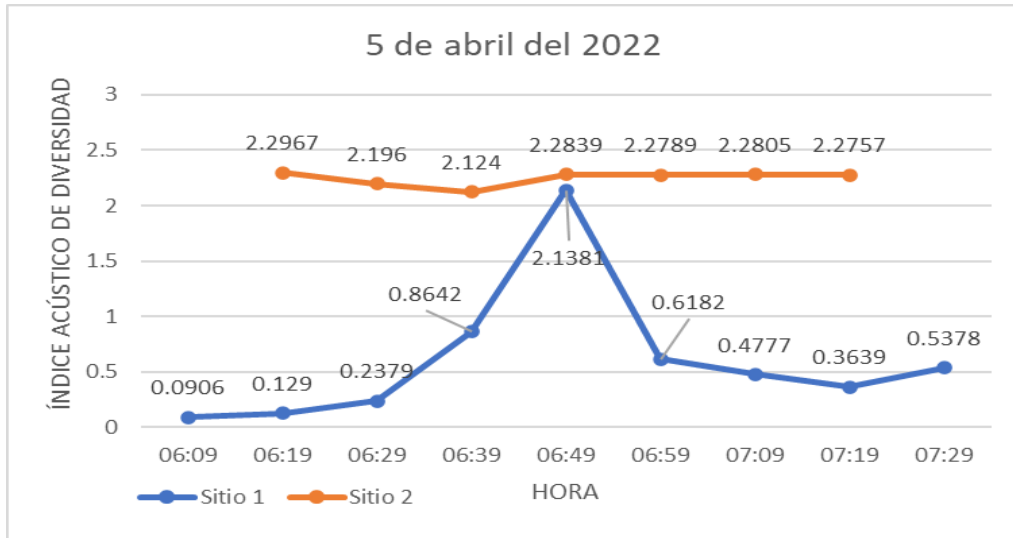
Equidad.



Complejidad.

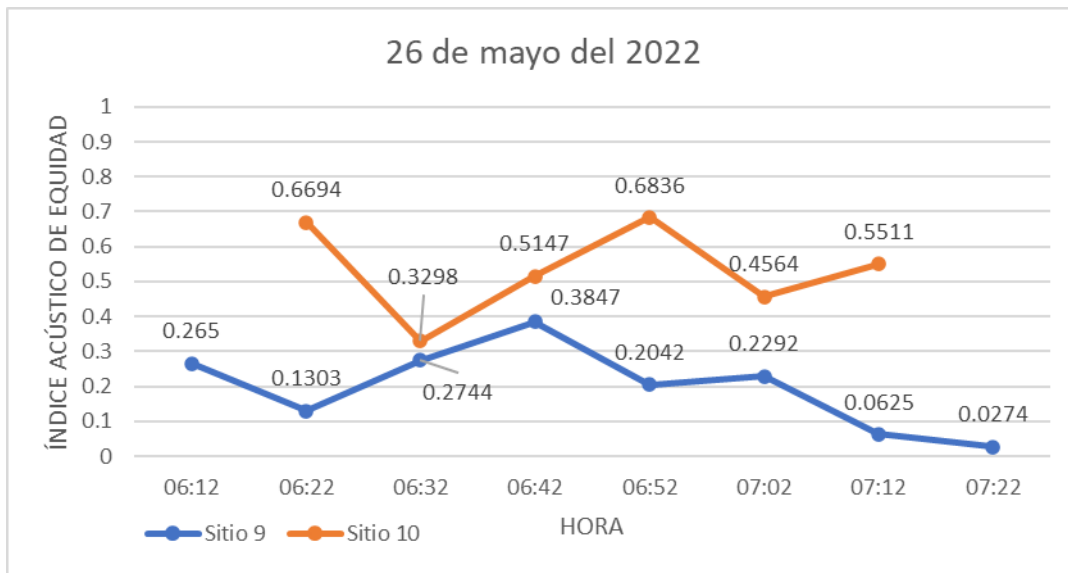
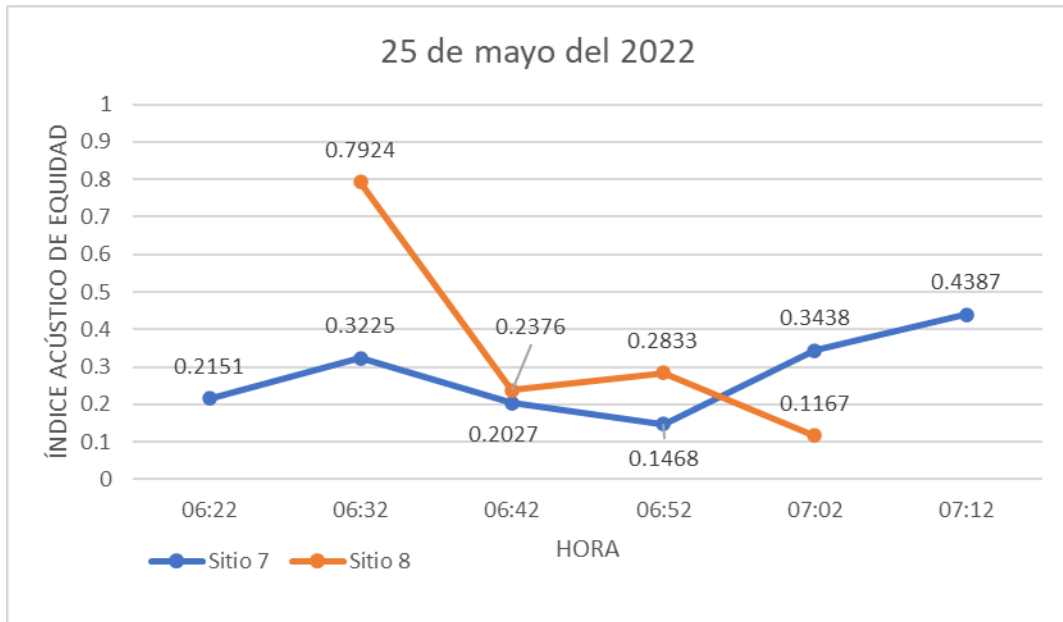


Diversidad.

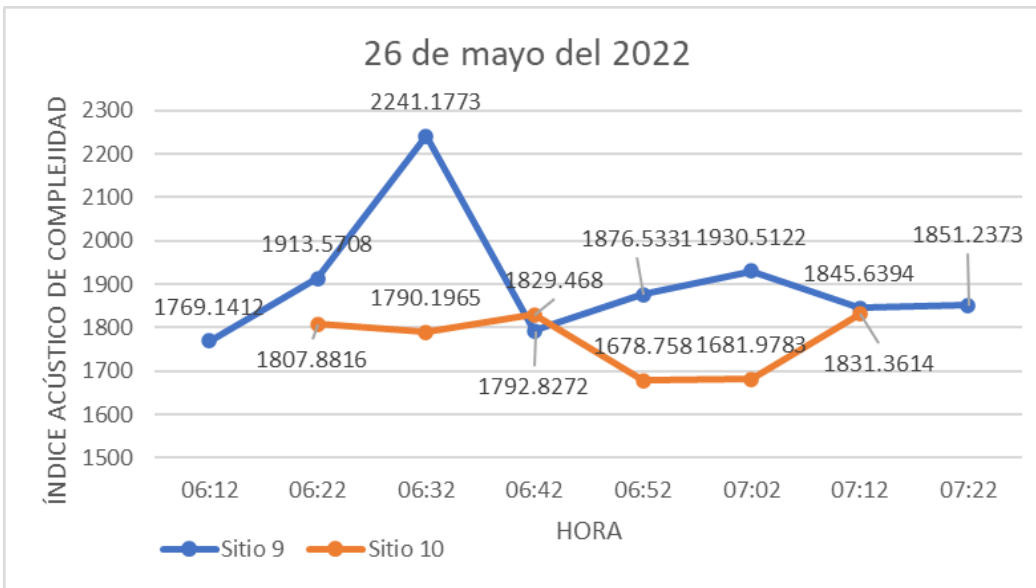
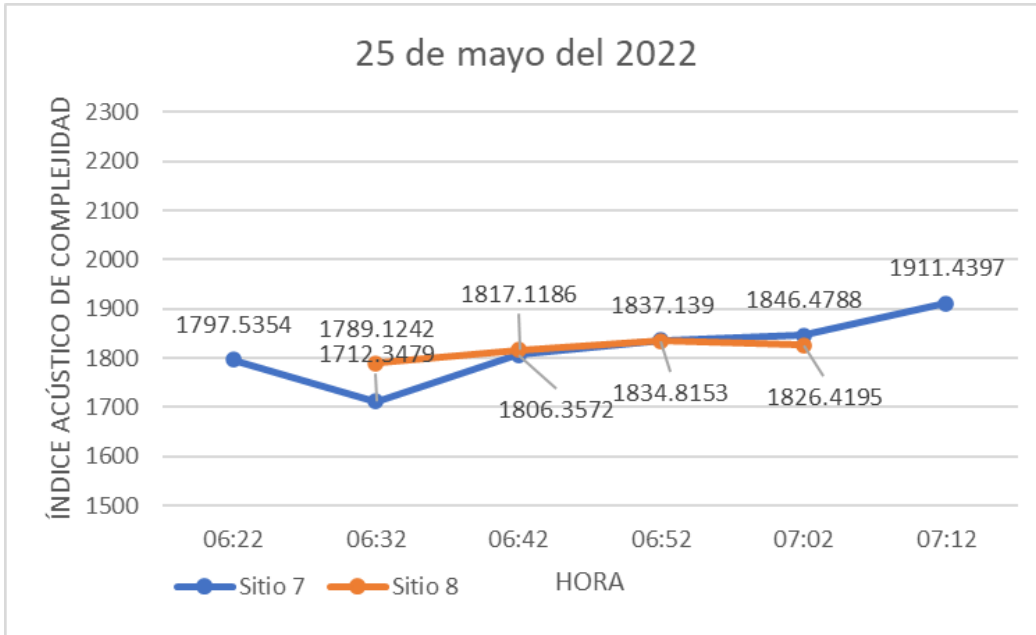


Valores de equidad, complejidad y diversidad de los sitios 7-10, del 25 y 26 de mayo del 2022

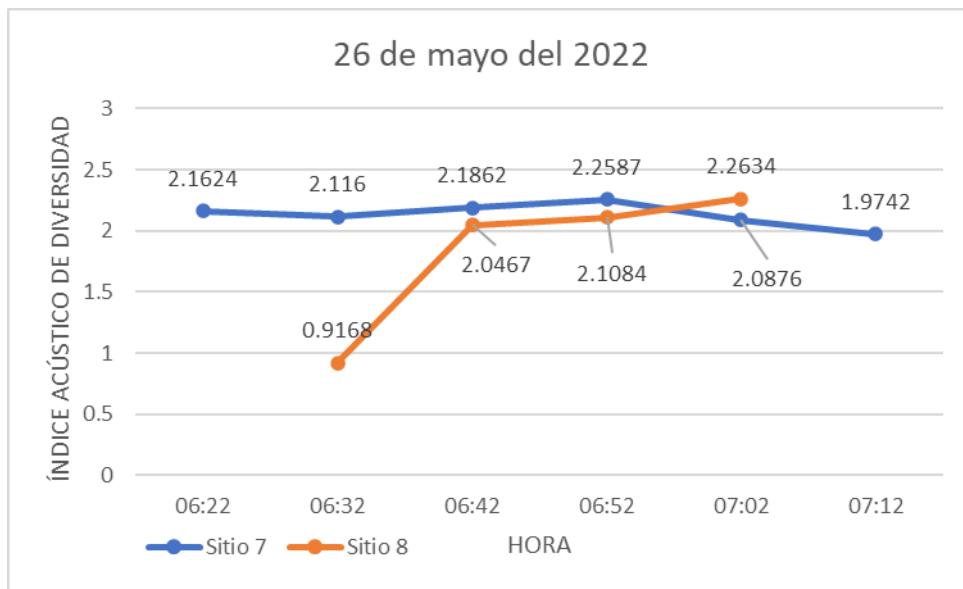
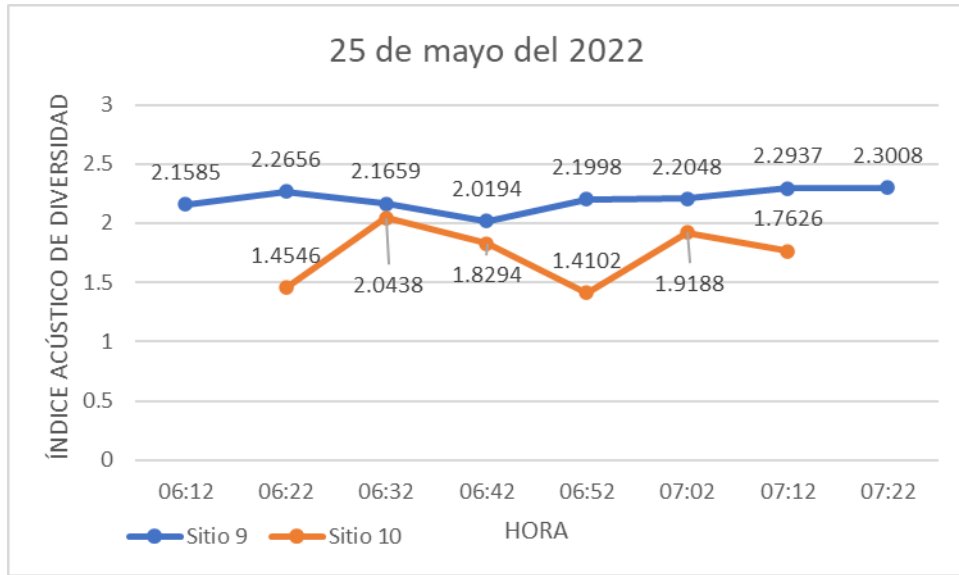
Equidad.



Complejidad.

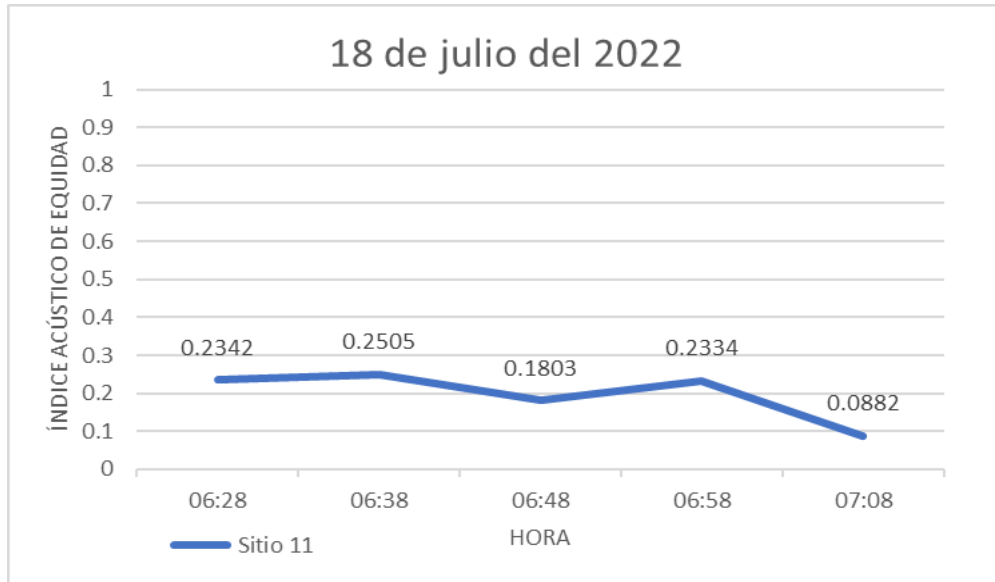


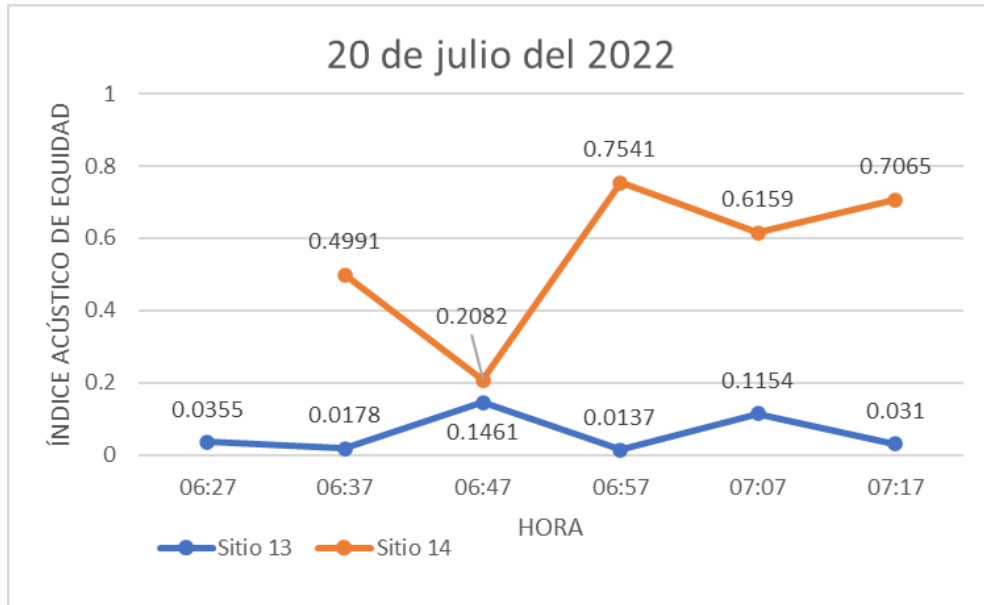
Diversidad.



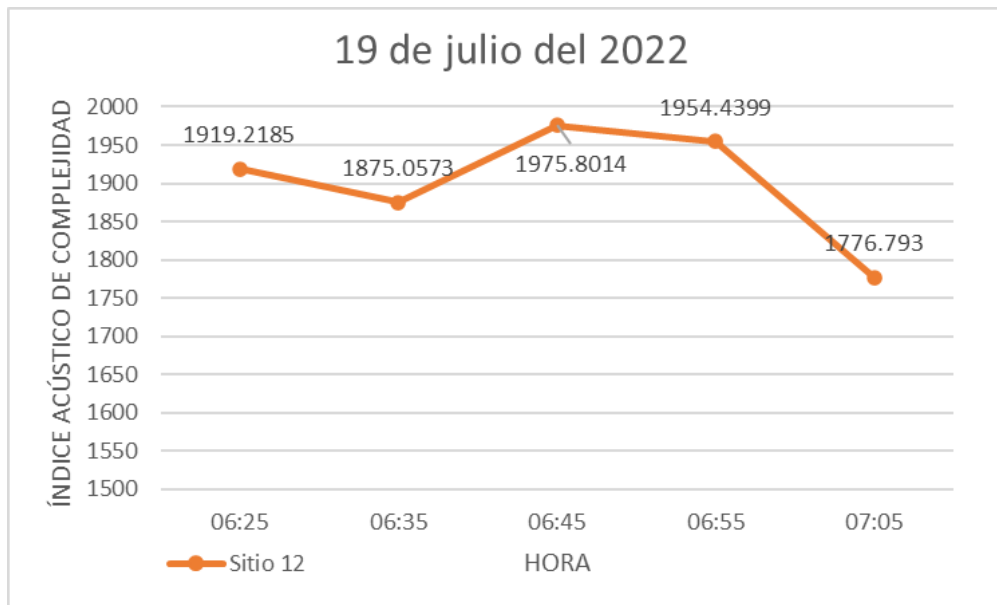
Valores de equidad, complejidad y diversidad de los sitios 11-15, del 18 al 21 de julio del 2022

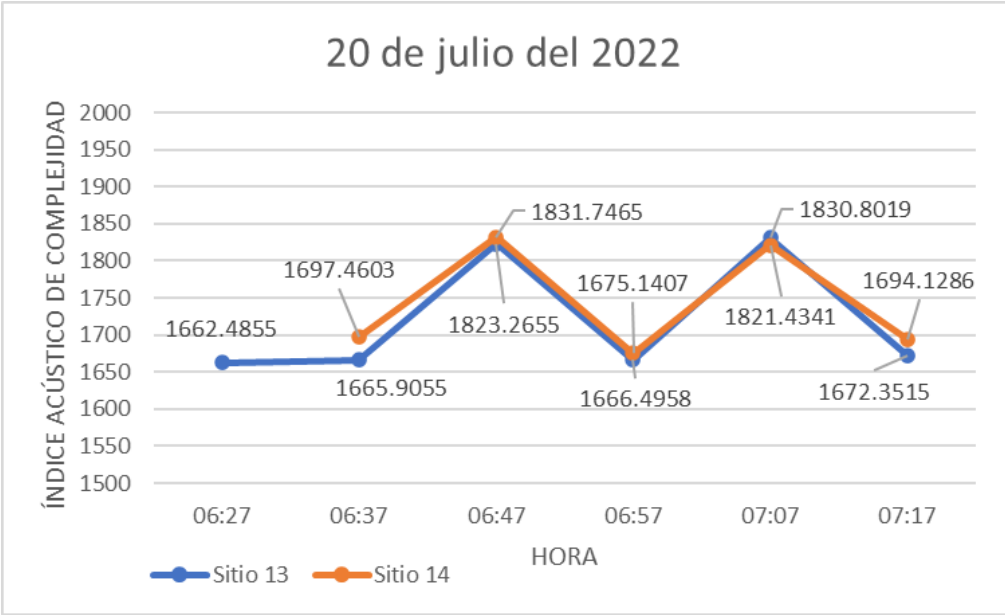
Equidad.



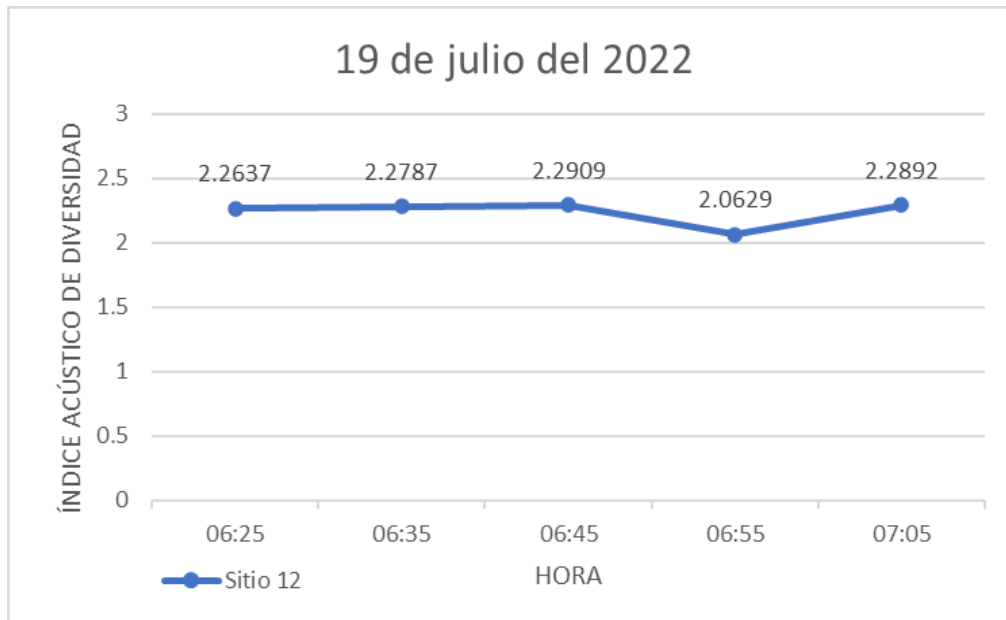


Complejidad.



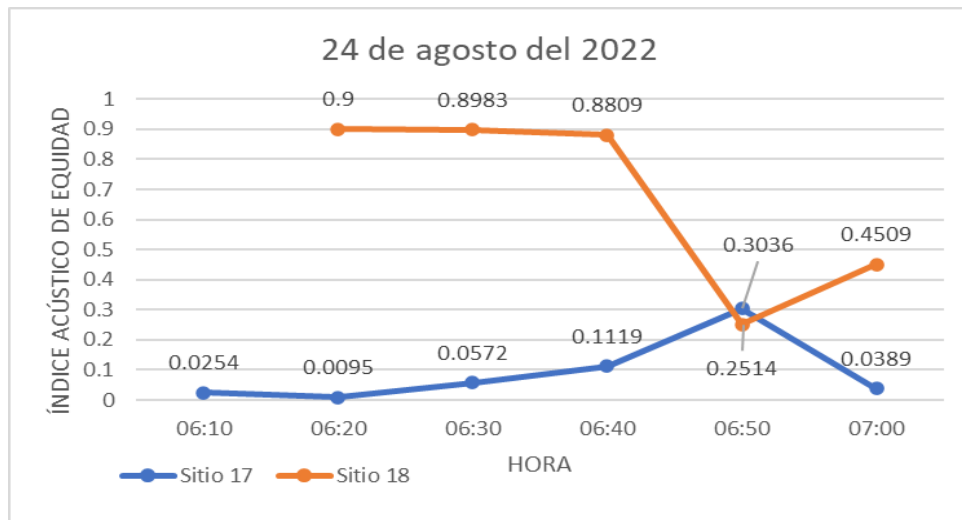
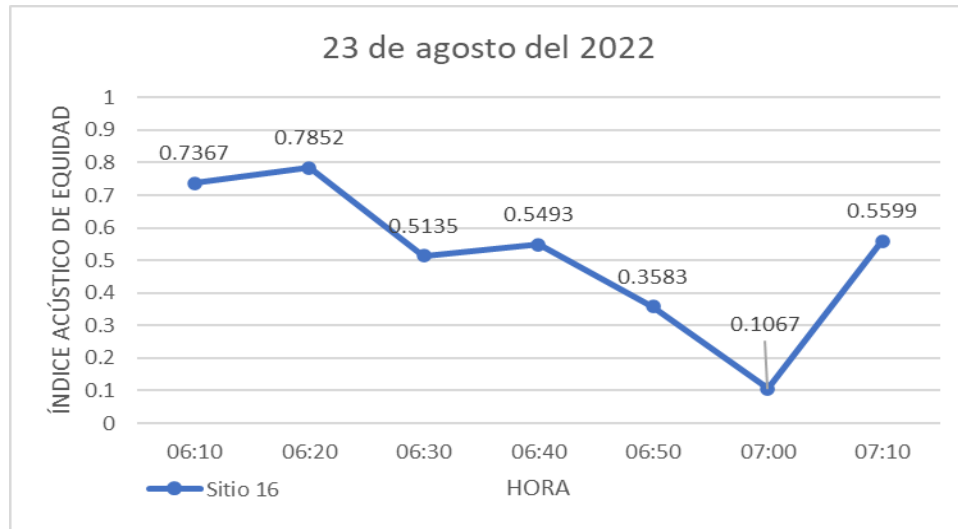


Diversidad.

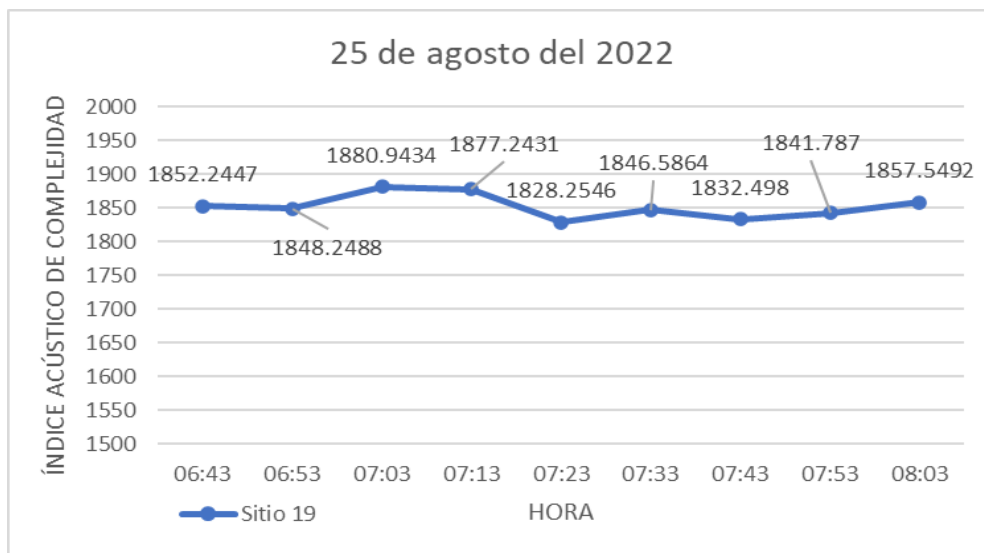
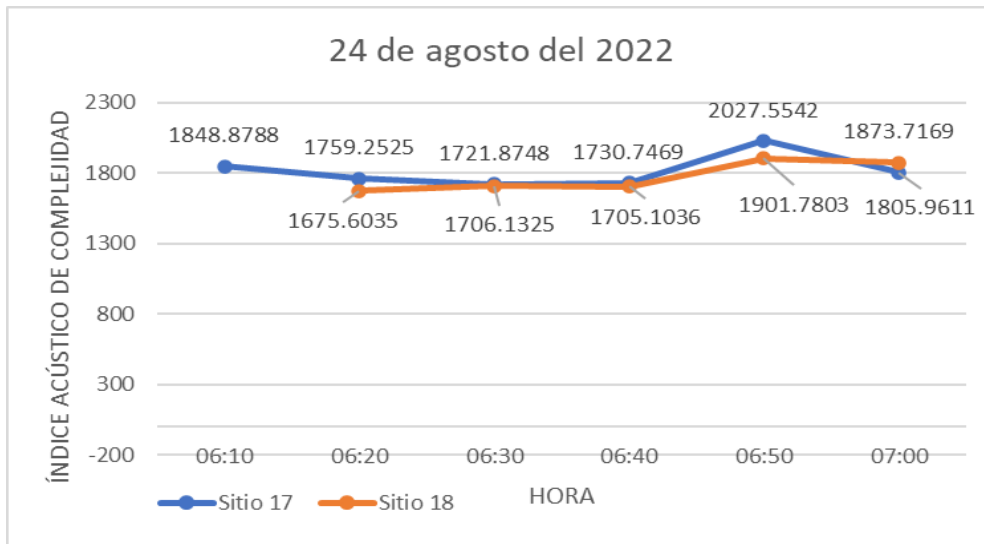
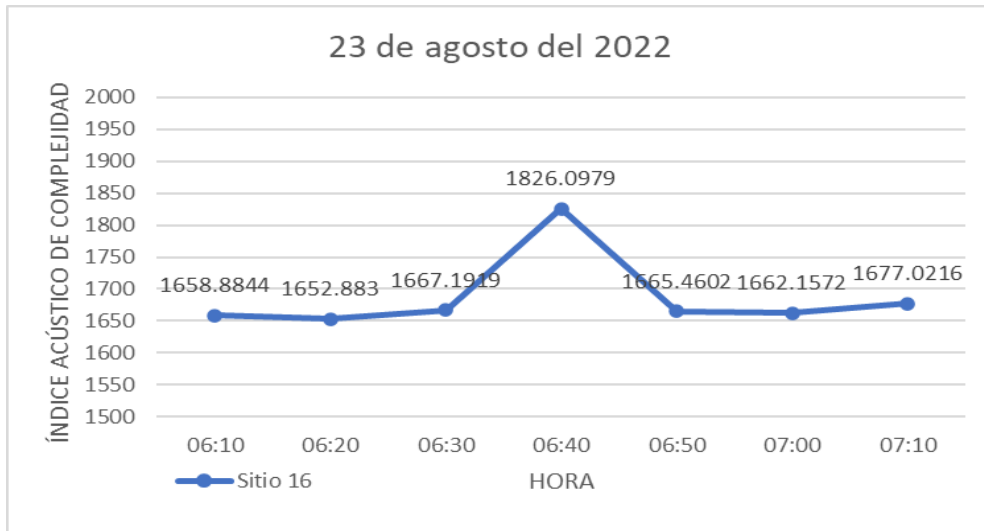




Valores de equidad, complejidad y diversidad de los sitios 16-19, del 23 al 25 de agosto del 2022
Equidad.



Complejidad.



Diversidad.

