Diversidad de macroartrópodos acuáticos en diferentes rotaciones en cultivos de arroz con énfasis en insectos.

Tesina de grado
Licenciatura en Ciencias Biológicas

María Emilia Tauber Chiarino

Orientadora: Dra. Leticia Bao [1]
Co-orientador: Dr. Sebastián Martínez[2]

[1] **Cátedra de Entomología, Facultad de Agronomía, UdelaR**
[2] **Laboratorio de Patología Vegetal, INIA Treinta y Tres.**

Noviembre, 2023

TABLA DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS..... 3

RESUMEN.....4

SUMMARY..... 5

INTRODUCCIÓN.....6
Características del cultivo de arroz y su relación con los macroinvertebrados.....6
Grupos funcionales..... 9

MATERIALES Y MÉTODOS.....14
Área de Estudio.....14
Procesamiento de Muestras e identificacion de individuos.....16
Análisis de Datos..... 16

RESULTADOS.....19

DISCUSIONES.....29

CONCLUSIONES.....34

BIBLIOGRAFÍA.....36

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a todas las personas que han sido pilares fundamentales en este camino.

A la Dra. Leticia Bao, por su invaluable orientación, apoyo constante y sabios consejos que han enriquecido este trabajo.

Al Dr. Sebastián Martínez, por su guía y las sugerencias que han contribuido significativamente al desarrollo de este proyecto.

Al Dr. Enrique Morelli y la Dra. Ana Verdi, quienes generosamente dedicaron su tiempo para evaluar y corregir esta tesis.

Al equipo del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria del departamento de Treinta y Tres por su participación y colaboración en las salidas de campo.

A mis padres, les agradezco de todo corazón por su apoyo incondicional, amor y comprensión. Sin su constante aliento, este logro no habría sido posible.

A mis queridos hermanos y amigos, les agradezco por su compañía, ánimo y por estar a mi lado en cada paso de este viaje.

RESUMEN

El cultivo de arroz es una actividad agrícola fundamental en América Latina, y en Uruguay, donde ocupa un lugar destacado en la economía agrícola del país. Los campos de arroz, que suelen permanecer inundados durante gran parte de su ciclo de crecimiento, se consideran humedales artificiales con importantes funciones ecológicas y biodiversidad. El objetivo general de este trabajo fue identificar las comunidades de macroartrópodos acuáticos, con énfasis en insectos asociados a diferentes rotaciones del cultivo de arroz en Uruguay, comparando la composición de la comunidad de macroartrópodos en las diferentes rotaciones del cultivo e identificar grupos bioindicadores profundizando en su taxonomía. Se encontró que la diversidad de especies de macroartrópodos vario según la rotación del cultivo. Las rotaciones de arroz y pastura presentaron una mayor diversidad en comparación con la rotación de arroz continuo. Los coleópteros fueron el grupo más abundante y diverso en todas las rotaciones estudiadas, y se consideran buenos bioindicadores. Se observaron diferencias en la composición de grupos funcionales de insectos entre las rotaciones y las fechas de muestreo. Los predadores y los recolectores-recopiladores fueron los grupos más abundantes, lo que indica su importancia en el control biológico de las plagas del arroz. Los resultados también mostraron diferencias en la riqueza taxonómica de los insectos entre las rotaciones, con una mayor diversidad en las rotaciones de arroz con pastura. Sin embargo, el número de individuos recolectados fue bajo en comparación con otros estudios, lo que sugiere la necesidad de combinar múltiples métodos de muestreo para evaluar adecuadamente la biodiversidad de los artrópodos. El estudio reconoce ciertas limitaciones y sugiere la necesidad de llevar a cabo muestreos más completos y exhaustivos para obtener resultados más precisos. Además, se destaca la importancia de adquirir un mayor conocimiento sobre las interacciones entre los organismos acuáticos y el cultivo de arroz.

Palabras clave; cultivo de arroz; biodiversidad; macroartrópodos acuáticos; bioindicadores; grupos funcionales.

SUMMARY

Rice cultivation is a fundamental agricultural activity in Latin America and occupies a prominent position in the agricultural economy of Uruguay. Rice fields, which are typically flooded for a significant portion of their growth cycle, are considered artificial wetlands with important ecological functions and biodiversity. Associated biodiversity comes mostly from wetlands existing in natural prairies before rice cultivation. Change in land-use for cultivation is the main cause of diversity loss in the world. Uruguayan traditional rice and pasture rotation systems favored sustainability and diversity conservation by maintaining vegetation regeneration between crop periods. Recent rice intensification processes, like pasture shortage and crop incorporation in the rotation, threaten diversity conservation. The objective of this study was to identify aquatic macroarthropods communities, with an emphasis on insects associated with different rice crop rotations in Uruguay. This study compared the composition of macroarthropods communities in different crop rotations of a long-term experiment and aimed to identify bioindicator groups by delving into their taxonomy. Rotations included: continuous rice, rice with short or long pasture, and rice-soybean. Found macroarthropod species diversity varied depending on the crop rotation. Rice-pasture rotations exhibited greater diversity compared to continuous rice rotation. The Order Coleoptera was the most abundant and diverse group among rotations, a group considered a good indicator of environmental quality. Differences were observed in the composition of insect functional groups among the rotations and sampling dates. Predators and collector-gatherers were the most abundant groups, indicating their probable importance in the biological control of rice pests. The results also revealed differences in the taxonomic richness of insects among the rotations, with greater diversity in rice with pastures. However, the number of collected individuals was low compared to other studies, suggesting the need to combine multiple sampling methods to adequately assess arthropod biodiversity. The study acknowledges certain limitations and suggests the need for more comprehensive and exhaustive sampling to obtain more precise results. In addition, the importance of acquiring a greater understanding of the interactions between aquatic organisms and rice cultivation is emphasized.

Keywords; rice cultivation; biodiversity; aquatic macroarthropods; bioindicators; functional groups

INTRODUCCIÓN

Características del cultivo de arroz y su relación con los macroinvertebrados.

El cultivo de arroz es la principal actividad y fuente de ingresos de millones de personas, y el cereal más cultivado para consumo humano en el mundo (FAO, 2004). En América Latina, el arroz es uno de los cereales más importantes (Landis et al., 2000). En Uruguay es uno de los principales productos de la economía agrícola, ubicándolo en el séptimo puesto entre los países exportadores mundiales de arroz según el Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria del Uruguay (INIA, 2019). Una de las características destacadas de este cultivo radica en su preferencia por permanecer bajo inundación durante gran parte de su ciclo de crecimiento en la mayoría de los sistemas de producción. Debido a su naturaleza como hábitats acuáticos con una fase seca predecible, los cultivos de arroz pueden ser considerados como ecosistemas acuáticos estacionales que son gestionados agronómicamente con diferentes niveles de intensidad (Bambaradeniya, 2000).

Los campos de arroz, según la convención internacional Ramsar, se consideran humedales artificiales que realizan importantes funciones ecológicas que sustentan una biodiversidad notable (Rizo-Patrón et al., 2013).

La similitud entre los arrozales y los humedales naturales ha hecho que diferentes organismos se adapten a este agroecosistema (Sanchez-Bayo y Goka, 2006), constituyendo una zona de hábitat temporal de la biota acuática (Bambaradeniya et al., 2004). Como en otros humedales complejos y multifuncionales, el régimen hidrológico juega un papel clave en la ecología de estos agroecosistemas. La fuente y frecuencia de riego afecta directamente la ecología y la biodiversidad de los cultivos (Bambaradeniya y Amarasinghe, 2003). Con la reducción de los humedales naturales, la aparición de agroecosistemas de arroz en amplias zonas del Uruguay podrían ser evaluados como un refugio viable para los organismos que habitan (Lupi et al., 2013; Wakhid et al., 2020). Cuando se inunda el arroz, el agua utilizada para el riego está sujeta a cambios químicos y físicos, como cambios térmicos y de nutrientes, lo que produce fluctuaciones que inciden en la creación de un microclima en las zonas del cultivo (Lupi et al., 2013).

Los agroecosistemas son sistemas complejos y dinámicos que requieren de una comprensión integral de las diferentes especies que los componen (Urcelay, 2004).

La rotación de cultivos es una práctica agrícola fundamental que ayuda a mantener la salud del suelo y reducir las poblaciones de malezas. En arroz, esto implica períodos de espera entre dos fases de cultivo que pueden variar de 4 a 6 años, según las condiciones específicas de cada finca (Deambrosi, 2009). En la mayoría de los casos, después de dos años de cultivo, se deja la tierra en reposo. En el sector del arroz, es común alternar cultivos de arroz con pasturas que están plantados con una mezcla de gramíneas y leguminosas. El objetivo de este sistema de rotación es mantener una alta productividad, conservar los recursos naturales, minimizar el uso de pesticidas y fertilizantes, y diversificar las fuentes de ingresos, entre otros beneficios (Deambrosi, 2009; Pittelkow et al., 2016). Sin embargo, en los últimos años, ha aumentado el interés por intensificar la producción para satisfacer demandas del mercado, esta se logra mediante diversas estrategias, como mayor frecuencia de cultivo de arroz, nuevas cosechas y reducción de pastizales. Aunque aún no se ha determinado con certeza su sostenibilidad en términos de productividad y medio ambiente, en Uruguay se lleva a cabo un experimento a largo plazo desde 2012, que tiene como objetivo principal evaluar y comparar los efectos de la intensificación de las rotaciones de arroz en productividad, uso de insumos e indicadores ambientales (Martínez, S. 2023).

Los invertebrados, principalmente artrópodos, son de los organismos más abundantes y con mayor diversidad biológica en los agroecosistemas (Curcó et al., 2001). Las fuentes naturales de agua albergan más del 6% de todas las especies de insectos del mundo y algunos de ellos pueden colonizar estanques de agua artificiales formados para el cultivo de arroz (Dijkstra et al., 2014). Los insectos representan el 60% de todas las especies animales conocidas reportados de hábitats de agua dulce y representan alrededor de 100.000 especies, seguidas por vertebrados (14,5%), crustáceos (10%), arácnidos (5%) y moluscos (4%) (Balian et al., 2008; Dijkstra et al., 2014).

La biodiversidad de macroinvertebrados, especialmente insectos, puede verse afectada debido al manejo del cultivo, reduciendo la riqueza de especies y la composición de la fauna (Bambaradeniya y Amarasinghe, 2003). La existencia de insectos acuáticos en cuerpos de agua temporarios requiere que sobrevivan a períodos de sequía in situ, que

migren a otros ambientes acuáticos, o los re colonicen luego de la extinción (Fontanarrosa et al., 2004). Se han observado cambios en la abundancia en relación con diferentes etapas fenológicas de crecimiento del arroz (Molozzi et al., 2007) que han sido reportados como similares entre diferentes temporadas de crecimiento (Che Salmah et al., 2017). El corto período de inundación en los campos de arroz puede afectar la supervivencia de algunas especies con ciclos de vida más largos, al tiempo que favorece a algunos grupos (Lupi et al., 2013) habiendo continuamente modificaciones en las comunidades (Callisto y Goulart, 2005).

Las comunidades de artrópodos, desempeñan roles fundamentales en los cultivos de arroz, ya que participan en procesos clave como, la descomposición de la materia orgánica, el control de plagas y la promoción de la salud de las plantas (Ali et al., 2022; Zhang et al., 2013). Su interacción compleja y equilibrada con el ecosistema de arroz contribuye a la productividad y la sostenibilidad de los cultivos, influyendo en el rendimiento y la calidad de los granos (Zhong et al., 2011; Zhao et al., 2021).

Según Heinrichs (2007), los artrópodos pueden desempeñar un papel importante en el manejo de plagas del arroz. Algunas especies actúan como predadores y parasitoides naturales, ayudando a controlar las poblaciones de insectos plaga, lo que puede reducir la necesidad de utilizar pesticidas.

Los procesos ecológicos en los ecosistemas son influenciados por los organismos que los componen. Sin embargo, puede ser difícil determinar las contribuciones específicas de cada especie a estos procesos. Por lo tanto, además de calcular la riqueza de especies, a menudo se utiliza un enfoque funcional. Este enfoque puede implicar identificar especies clave o definir grupos funcionales en función de sus roles en el funcionamiento del ecosistema. Los gremios, que son grupos de especies que explotan los recursos ambientales de manera similar, también son comúnmente utilizados en este enfoque, particularmente para recursos tróficos (Blondel, 2003).

Grupos funcionales

Los macroinvertebrados son esenciales para el funcionamiento de los ecosistemas, ya que transforman la materia orgánica. Han desarrollado adaptaciones morfológicas y fisiológicas que les permiten ajustarse a su hábitat, destacándose por su estrategia alimenticia (Motta et al., 2016). Estos organismos se agrupan en "grupos funcionales", que clasifican diferentes especies de macroinvertebrados según sus comportamientos alimenticios dentro del ecosistema acuático (Cummins, 1974). Estos grupos incluyen recolectores-recopiladores, filtradores, predadores, raspadores-rascadores, perforadores-herbívoros y trituradores-herbívoros (Ramírez y Gutiérrez-Fonseca, 2014).

El enfoque de grupos funcionales ha surgido como una herramienta útil para analizar la diversidad de especies en estos ecosistemas (Córdova-Tapia y Zambrano, 2015). Agrupar especies según sus características funcionales proporciona información sobre sus roles ecológicos e interacciones en el sistema. Esto es crucial para desarrollar estrategias de manejo que fomenten el equilibrio ecológico y la sostenibilidad. En contextos diversos, como los ecosistemas arroceros, este enfoque ha sido resaltado por su importancia (Settle et al., 1996).

Los filtradores son macroinvertebrados acuáticos que tienen adaptaciones especializadas para capturar partículas directamente desde la columna de agua. Estas adaptaciones incluyen la construcción de redes de filtración de agua o la presencia de estructuras bucales modificadas. Según Wotton et al. (1998), los filtradores desempeñan un papel importante en los ecosistemas de agua dulce al reducir la exportación de partículas aguas abajo ya que consumen una amplia gama de partículas de variado tamaño y composición.

Los predadores son organismos que se alimentan de otros organismos utilizando diversas estrategias para capturarlos. Mientras que algunos predadores tienen dientes fuertes, muchos son altamente especializados y utilizan estructuras y comportamientos únicos para capturar a sus presas. Por ejemplo, el labio en Odonata es una estructura modificada exclusiva de los insectos acuáticos (Ramírez, 2010), mientras que algunos Hemiptera tienen partes bucales parecidas a un pico para inyectar veneno y consumir tejido (Mazzucconi et al., 2009). Estos desempeñan un papel vital en el ecosistema al controlar

la población de otros organismos y contribuir a la transferencia de energía (Oberndorfer et al., 1984; Cooper et al., 1990).

Los organismos raspadores-rascadores se alimentan de recursos que crecen en sustratos al rasparlos con sus partes bucales, las cuales están adaptadas para recolectar partículas fuertemente adheridas a rocas y otros sustratos. Estos organismos consumen una variedad de recursos, como algas adheridas a rocas y biopelículas bentónicas compuestas por bacterias, hongos, algas y su matriz de polisacáridos, que cubren los sustratos duros en ecosistemas acuáticos (Lock et al., 1984). Son abundantes en los ecosistemas fluviales y su consumo de algas puede tener efectos significativos en los productores primarios. En un metanálisis realizado por Femenilla y Hawkins (1995) sobre estudios que evaluaron el papel de los invertebrados como consumidores primarios en los ecosistemas fluviales, se concluyó que desempeñan un papel importante en el consumo de biomasa productora y también afectan la composición de las especies de algas. Es importante destacar que diferentes densidades de raspadores pueden tener efectos variados, tanto positivos como negativos, en la biomasa y producción de algas (Femenilla y Hawkins, 1995; Hernández- Pérez y Labbé, 2014).

Los recolectores-recopiladores son a menudo abundantes en los ecosistemas acuáticos, donde tienden a ser más comunes en áreas con un flujo lento donde las partículas finas son abundantes. Varias subfamilias de Chironomidae son recolectores y también son una presa importante para otros consumidores (Hershey, 1987). La ingestión de partículas es sólo parte de la función de estos; su comportamiento alimentario a menudo provoca pequeñas perturbaciones y la suspensión de partículas en la columna de agua, con el potencial de transporte aguas abajo (Cross et al., 2008).

Los perforadores-herbívoros son organismos que se alimentan de plantas vasculares al cortar o perforar el tejido con sus piezas bucales afiladas o masticadoras, y consumen los líquidos de las plantas. Se ha observado que especies pequeñas perforan las células de algas individuales para consumir los fluidos celulares, evitando el consumo de las paredes celulares ricas en celulosa (Swanson et al., 2007). Esta categoría no se incluyó originalmente en los grupos propuestos por Cummins (1974), pero se añadió posteriormente en la primera edición del manual de insectos acuáticos de América del Norte (Merritt y Cummins, 1978). Existen pocos estudios que evalúen las funciones

ecológicas de los macroinvertebrados perforadores. Sin embargo, se espera que organismos como las larvas de Hydroptilidae (Trichoptera), que suelen ser abundantes en los arroyos, tengan efectos significativos en las comunidades de algas.

Los trituradores-herbívoros son organismos que cortan o mastican trozos de material vegetal, tanto vivo como muerto, incluyendo hojas y madera. Su función principal es descomponer partículas grandes de material vegetal en fragmentos más pequeños, que luego son transportados aguas abajo o están disponibles para otros consumidores en el flujo del agua (Wallace y Webster, 1996). También contribuyen a la disponibilidad de nutrientes para los consumidores microbianos (Díaz Villanueva et al., 2012). En general, los denominamos consumidores de material orgánico particulado grueso (CPOM) y productores de material orgánico particulado fino (FPOM). Los trituradores de material vegetal vivo incluyen herbívoros y minadores. Los trituradores de material vegetal en descomposición son detritívoros y perforadores de la madera y han recibido mucha atención por parte de los ecólogos de arroyos (Ramírez y Gutiérrez-Fonseca, 2014). Existe una sólida cantidad de evidencia que demuestra la importancia de los macroinvertebrados como descomponedores de material vegetal muerto que ingresa a los ecosistemas acuáticos (Webster y Benfield, 1986; Gessner, 1999).

Bioindicadores

Se considera que un organismo es un bioindicador de calidad de agua, cuando este se encuentra invariablemente en un ecosistema de características definidas y cuando su población es porcentualmente superior o ligeramente similar al resto de los organismos que comparten el mismo hábitat (Roldán, 1999), por lo que es importante reconocer el gran valor que tiene la bioindicación como un método para evaluar la calidad del agua. Kolkwitz y Marsson (1908, 1909) estudiaron las respuestas de los organismos que habitan el medio acuático para evaluar la calidad del agua, estableciendo el concepto de indicador biológico. Por otra parte, Patrick (1949, 1950) propone métodos biológicos para evaluar las condiciones de las corrientes.

Entre las comunidades más utilizadas como bioindicadores para evaluar la calidad del agua están los macroinvertebrados. Su utilidad se ha incrementado significativamente ya que su muestreo es simple y resulta menos costoso que la mayor parte de las técnicas

analíticas de laboratorio (Pyne, 1986; Chessman, 1995). En particular, los insectos son un componente importante tanto en la biodiversidad como en el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos, son muy buenos bioindicadores de la calidad del agua cuando se trata de cultivos (Rizo- Patrón, 2003) y tienen la capacidad de responder en corto tiempo a las diferentes intervenciones del ser humano sobre el ambiente. Por lo tanto, su uso para el análisis de la calidad del ambiente acuático se ha desarrollado en diferentes lugares del mundo (Rosenberg y Resh, 1993; Roldán, 1997; Fernández, 2002; Roldán 2003; Mafla 2005). Estos organismos han sido estudiados en diversos cultivos por su importancia en la cadena trófica y como bioindicadores de contaminación (Curcó et al., 2001) pudiendo generar información importante sobre la calidad del agua (Rizo-Patrón et al. 2013; Melo et al. 2015). La identificación a nivel de género y especies proporciona información más precisa respecto a las relaciones ecológico-ambientales que guardan los organismos, así como sobre su sensibilidad a las diferentes perturbaciones.

Sin embargo, en Uruguay se encuentran escasos trabajos publicados con referencia a las comunidades de macroinvertebrados acuáticos relacionados con los agroecosistemas.

Por ejemplo, Bao et al. (2021) presentaron la primera descripción de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos asociados al cultivo de arroz en Uruguay. Encontraron que algunos grupos poseen una asociación con una fuente de agua en particular, por lo que podrían ser analizados por su potencial como bioindicadores de la calidad del agua para cada fuente estudiada. Los índices de riqueza y diversidad en este trabajo fueron superiores a las reportadas para el arroz en agroecosistemas de otros países.

Otro ejemplo en Uruguay, Vilaboa et al. (2012) realizaron una evaluación en efluentes de tambos mediante el uso de macroinvertebrados donde encontraron que la mayoría de macroinvertebrados identificados eran resistentes a la contaminación. Los taxa particularmente importantes por su valor como bioindicadores de agua limpias estuvieron ausentes, concluyendo que los tramos evaluados presentaron algún signo de contaminación.

Teniendo en cuenta la extensión del área y la producción bajo riego, los agroecosistemas arroceros en Uruguay podrían tener potencial para proporcionar servicios ecosistémicos y contribuir a la conservación de los humedales regionales, siempre que el uso de

insecticidas permanezca en un bajo porcentaje del área productiva total (Bao y Martínez, 2018). Así, obtener información sobre el estado actual de la biodiversidad de estos sistemas es altamente deseable para la toma de decisiones en la gestión y manejo actual en arroz, con la necesidad de preservar las áreas de humedales (Pires et al., 2015).

Según Fernando (1993), es necesario un mayor conocimiento sobre las interacciones entre los organismos acuáticos y el cultivo de arroz.

Objetivo general e Hipótesis

El objetivo principal de este trabajo fue identificar comunidades de macroartrópodos acuáticos asociados a diferentes rotaciones del cultivo de arroz, en Uruguay.

Se plantea como hipótesis que la composición de las comunidades serán afectadas por las diferentes rotaciones del cultivo.

Objetivos específicos

1. Caracterizar la composición de las comunidades de macroartrópodos acuáticos en áreas de cultivo de arroz bajo diferentes rotaciones.
2. Evaluar los grupos funcionales de insectos acuáticos.
3. Identificar grupos bioindicadores profundizando en su taxonomía.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de Estudio

Los muestreos se realizaron en el Experimento de Largo Plazo (ELP) “Arroz, pasturas y otros cultivos” de la Unidad Experimental de Paso de la Laguna (UEPL) del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA), localizado en el departamento de Treinta y Tres, junto al río Olimar Grande al noreste de Uruguay (33°16'36.6"S, 54°10'11.6"W). La UEPL consta de 399 hectáreas, de las cuales unas 250 hectáreas cuentan con un sistema de riego por inundación. Es la plataforma para la mayoría de los ensayos de investigación en arroz, pasturas en zonas bajas, invernada de ovinos y vacunos, y recientemente se ha instalado un ensayo de rotaciones en zona baja (Arroz, 2019).

El ELP “Arroz, pasturas y otros cultivos” (Figura 1.2) instalado en 2012, tiene como objetivo identificar sistemas de intensificación del uso del suelo, mediante rotaciones de arroz-pastura, incorporando nuevos rubros agrícolas que constituyan alternativas y resulten sustentables en términos físicos y económicos para los sistemas arroceros. El experimento contrasta 6 rotaciones, con distintas proporciones de arroz, cultivos y pasturas, repetidas 3 veces en el espacio y con todas sus fases presentes simultáneamente (Figura 1.1).

Rotación	Rotación	PV	OI	PV	OI	PV	OI	PV	OI	PV	OI	PV	OI
Rotación 1	**Arroz continuo**	Arroz	Cc										
Rotación 2	**Arroz y cultivos**	Arroz	Cc	Soja	Cc	Arroz	Cc	Sorgo	Cc				
Rotación 3	**Arroz y pastura corta**	Arroz	P	P	P								
Rotación 4	**Arroz y pastura**	Arroz	Cc	Arroz	P	P	P	P	P	P	P		
Rotación5	**Arroz, cultivos y pastura**	Arroz	Cc	Soja	Cc	Soja	Cc	Arroz	P	P	P	P	P
Rotación 6	**Arroz y soja**	Arroz	Cc	Soja	Cc								

Fig 1.1 Detalle de los ciclos de cultivo para las diferentes rotaciones del experimento de largo plazo “Arroz, pasturas y otros cultivos” (2012). Fuente: Macedo et al 2017. Cc = cultivo de cobertura, P = pastura.

Fig 1.2 Foto aérea del experimento de largo plazo “Arroz, pasturas y otros cultivos” en la Unidad Experimental Paso de la Laguna, Treinta y Tres, Uruguay. Foto de Matias Oxley.

Las rotaciones evaluadas en este trabajo fueron: R1) Arroz contínuo, R3) Arroz y pastura corta, R4) Arroz y pastura larga, y R6) Arroz y soja.

Las muestras se extrajeron con una red Surber 30x30 que se mantuvo por un período de un minuto (Carle y Maughan, 1980; Rizo-Patrón et al., 2011; Bao et al., 2021) en tres puntos dentro de cada parcela, incluyendo tres parcelas por cada tratamiento considerando las diferentes rotaciones del cultivo, 72 puntos en total (3 puntos x 3 parcelas x 4 tratamientos x 2 fechas). Estos muestreos se realizaron en dos fechas: el primero se llevó a cabo el 16 febrero de 2022 y el segundo el 18 de marzo del mismo año (Figura 1.3).

Fig 1.3 Áreas de cultivo muestreadas con red Surber (izquierda) y vista panorámica del cultivo (derecha) en marzo de 2022, en el departamento de Treinta y Tres.

Procesamiento de Muestras e identificacion de individuos

El procesamiento de muestras e identificación de ejemplares se llevó a cabo en la Cátedra de Entomología, Departamento de Protección Vegetal de la Facultad de Agronomía, Montevideo. Las muestras se fijaron en alcohol 95%, luego se estabilizaron en alcohol 70% para su conservación y posterior procesamiento. La identificación de macroartrópodos se llevó a cabo siguiendo claves taxonómicas nacionales e internacionales (Springer 2006; Springer 2008; Merritt y Cummins 2007; Betancourt et al., 2009). Se adjudicaron los grupos funcionales siguiendo a Ramírez y Gutiérrez-Fonseca (2014). Se realizó una base fotográfica de las diferentes morfoespecies recolectadas, ordenadas por orden y familia para facilitar su visualización. La información sobre los individuos recolectados para cada grupo fue ingresada en una planilla electrónica para su análisis.

Análisis de Datos

Con los datos obtenidos a nivel de taxa de insectos se realizó una curva de acumulación de especies mediante EstimateS 9.1.0 (Colwell, 2013) calculando los estimadores de riqueza (Chao 1 y 2, Jacknife 1 y 2, Bootstrap y ACE) con el propósito de comparar los

valores generados a partir del análisis de los observados y su tendencia (Figura 1.4). El uso de distintos estimadores no-paramétricos permite determinar la calidad del muestreo realizado y el número de especies que falta por recolectar (Toti et al., 2000). Se calcularon las abundancias relativas de los grupos funcionales y se comparó la composición de grupos funcionales según rotación y fecha de muestreo.

Se calcularon los índices de biodiversidad con el programa PAST y se aplicó un análisis de varianza (ANAVA) para comparar los valores de diversidad de Shannon para cada rotación y discriminación de medias por Test LSD de Fisher (alfa=0.05). Para los conteos de taxa (especies y morfoespecies) e individuos, se utilizó un modelo lineal generalizado mixto (MLGMx) que se ajustó a una distribución binomial negativa y se realizó comparación de medias por Test LSD de Fisher (alfa=0.05). En el ANAVA y los MLGMx se utilizó el programa Infostat (Di Rienzo et al., 2020).

Con la matriz de datos obtenida a partir de los acumulados de las colectas de las dos fechas por parcela y rotación se realizaron los test de ANOSIM y SIMPER (programa PAST, Hammer et al., 2001). A su vez, con el mismo software, se realizó un análisis de especies bioindicadoras, tomando como umbral el valor de 60% para designar especies fuertemente bioindicadoras, siguiendo el criterio planteado por Pinzón y Spence (2010).

Índice	Descripción
Chao 1	Basado en el número de especies en una muestra que están representados por un individuo (*singletons*) o por dos individuos (*doubletons*). Es un estimador basado en abundancia.
Chao 2	Basado en las especies que aparecen solo en una muestra (*uniques*) o en dos muestras (*duplicates*). Es un estimador basado en incidencia.
Jacknife 1	Este estimador tiene en cuenta las especies que aparecen solo en una muestra (*uniques*), ponderadas por el número total de muestras.
Jacknife 2	Este estimador tiene en cuenta las especies que aparecen en solo una muestra (*uniques*) y en dos muestras (*duplicates*), ambos ponderados por el número total de muestras.
Bootstrap	Tiene en cuenta la probabilidad de que una especie sea muestreada a medida que aumenta el número de muestras.
ACE	(Abundance-based Coverage Estimator of species richness). Es un estimador basado en el número de individuos de las especies "raras". El investigador debe definir el nivel de abundancia para la cual una especie se considera "rara" (generalmente 10 individuos es el valor umbral).

Fig 1.4 Descripción de los estimadores de riqueza. Fuente: Gotelli y Colwell (2001).

RESULTADOS

Se recolectó un total de 263 ejemplares de los cuales 93 corresponden al primer muestreo realizado en febrero y los 170 restantes al segundo realizado en marzo de 2022. En ellos, 212 fueron insectos, 37 arañas (14.06%) y 14 crustáceos (5,32%). Se identificaron 5 órdenes, 16 familias, y 50 morfoespecies de insectos (Figura 2.1, 2.2). Coleoptera fue el orden con más familias registradas (5), seguido por Odonata (4), mientras que el orden Ephemeroptera solo estuvo representado por la familia Baetidae.

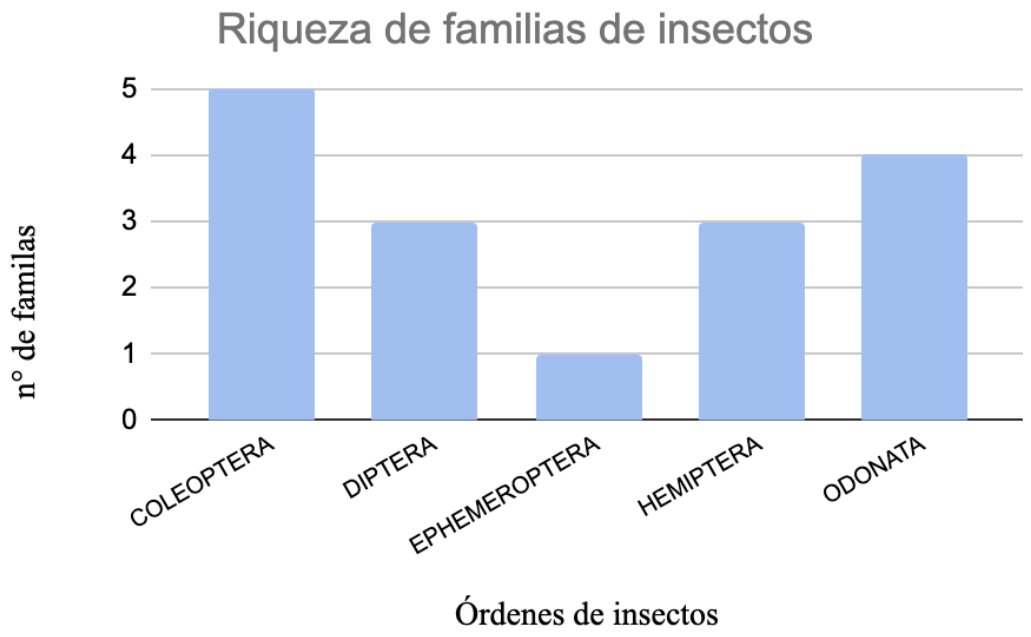

Fig 2.1 Riqueza de familias por cada orden de insectos recolectados en el muestreo (2022) con red Surber en las diferentes rotaciones en el experimento de largo plazo de la Unidad Experimental Paso de la Laguna, Treinta y Tres, Uruguay.

Orden	Familia	Genero/Especie/Morfoespecie	Grupo funcional
Ephemeroptera	Beatidae	4	Recolector-Recopilador
Odonata	Libellulidae	3	Predador
	Ashenidae	2	Predador
	Lestidae	1	Predador
	Coenagrionidae	3	Predador
Hemiptera	Belostomatidae	3	Predador
	Corixidae	1	Perforador-Herbívoro
	Notonectidae	3	Predador
Coleoptera	Hydrophilidae	6	Predador
	Dytiscidae	12	Predador
	Haliplidae	2	Triturador-Herbívoro/Perforador-Herbívoro
	Carabidae	2	Predador
	Noteridae	2	Predador
Diptera	Culicidae	4	Filtrador/Recolector-Recopilador
	Chironomidae	1	Recolector-Recopilador
	Tabanidae	1	Predador

Fig 2.2. Riqueza de especies/morfoespecies de insectos y grupos funcionales siguiendo a Ramírez y Gutiérrez-Fonseca (2014).

Los coleópteros representaron el grupo más abundante y diverso en el cultivo. Los odonatos, representados mayoritariamente por las familias Coenagrionidae y Libellulidae, fueron el segundo grupo más abundante. En las cuatro rotaciones evaluadas, se observa que R3, R4 y R6, fueron las que más variedad de macroartrópodos presentaron, con ejemplares de todos los órdenes encontrados, R1 solo representó a 4 órdenes de los 5 encontrados (Figura 2.3).

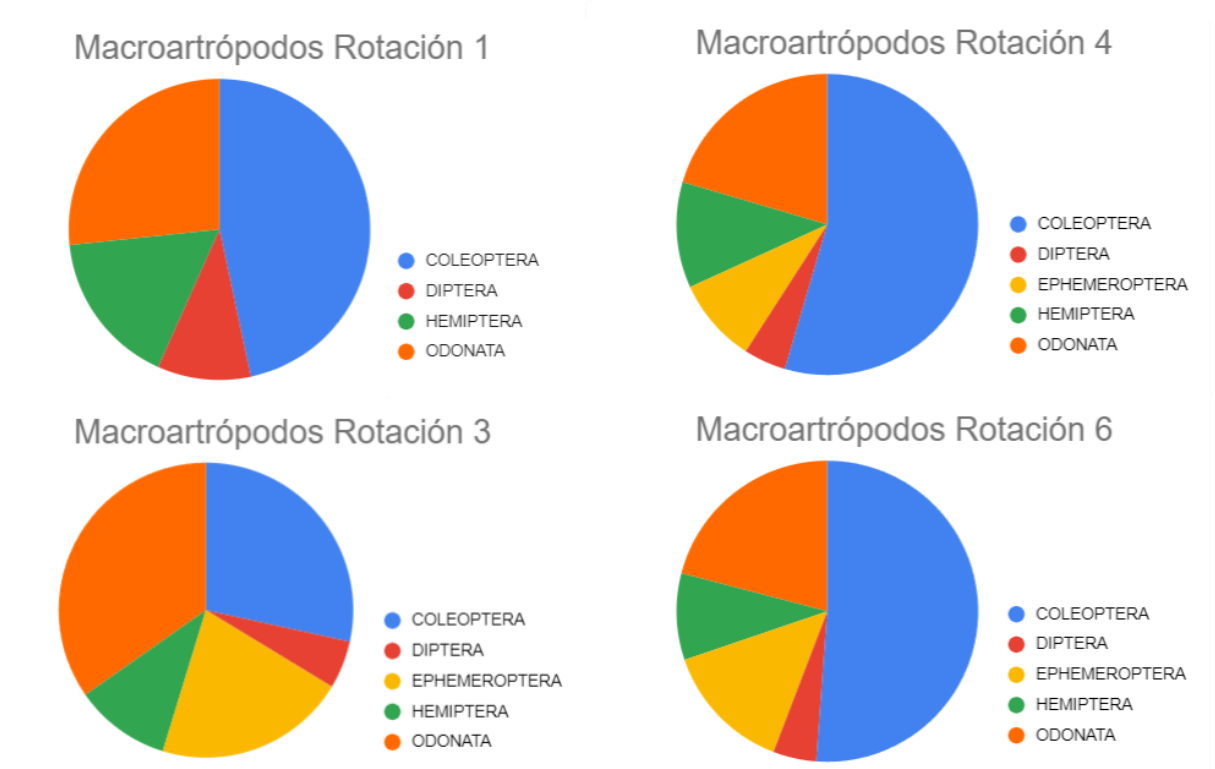

Fig 2.3 Abundancia relativa de los órdenes de insectos registrados en cada rotación en el experimento de largo plazo en la Unidad Experimental Paso de la Laguna, Treinta y Tres.

Analizando la composición de grupos funcionales según los dos momentos de muestreo a nivel global se destaca que, el grupo más abundante son los predadores. En los dos muestreos se registraron recolectores y filtradores. Los raspadores-rascadores estuvieron ausentes en ambos muestreos por lo que se evidencia que la composición de los grupos funcionales varía en las dos fechas de muestreo y en las diferentes rotaciones. (Figuras 2.2, 2.4 y 2.5).

La R1 (arroz continuo) fue el que presentó menor variedad en grupos funcionales tanto en febrero como en marzo, en la primera fecha los filtradores representaron 14,3% mientras que los predadores el 85,7% del total de individuos. Comparando con el muestreo de marzo, los predadores ocupan el 93,8% de la población, mientras que el 6,3% correspondió al grupo de recolectores, en este muestreo no hubo presencia de filtradores.

En la R3 (arroz y pastura corta), se observa que los predadores ocuparon el 70% en ambas fechas, tanto los filtradores como recolectores estuvieron presentes en los

muestreos, en febrero a su vez se encontraron representantes del grupo de los trituradores- herbívoros como la familia Haliplidae.

En la R4 (arroz y pastura larga) también se evidenció que más del 70% en ambos muestreos corresponden al grupo de los predadores. En febrero, tanto recolectores como perforadores-herbívoros ocuparon el 10%, a su vez los filtradores estuvieron presentes en el muestreo de marzo ocupando el 4%, mientras que los recolectores fueron el segundo grupo más abundante en esta fecha. Los trituradores-herbívoros sólo estuvieron presentes en el primer muestreo.

En la R6 (arroz y soja) se observó que tanto los predadores como recolectores estuvieron presentes en ambos momentos. En febrero se evidenció la presencia de perforadores-herbívoros, mientras que en marzo estuvo presente el grupo de los trituradores-herbívoros y filtradores.

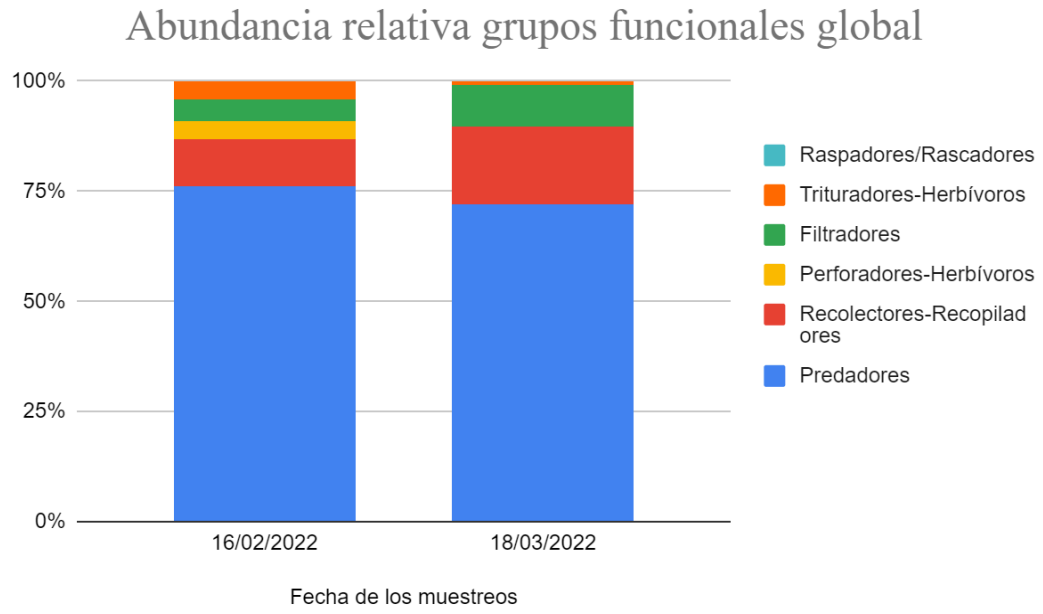

Fig 2.4 Abundancia relativa de grupos funcionales globales pertenecientes a insectos en las dos fechas de muestreo del experimento de largo plazo en la Unidad Experimental Paso de la Laguna, Treinta y Tres, Uruguay (2022).

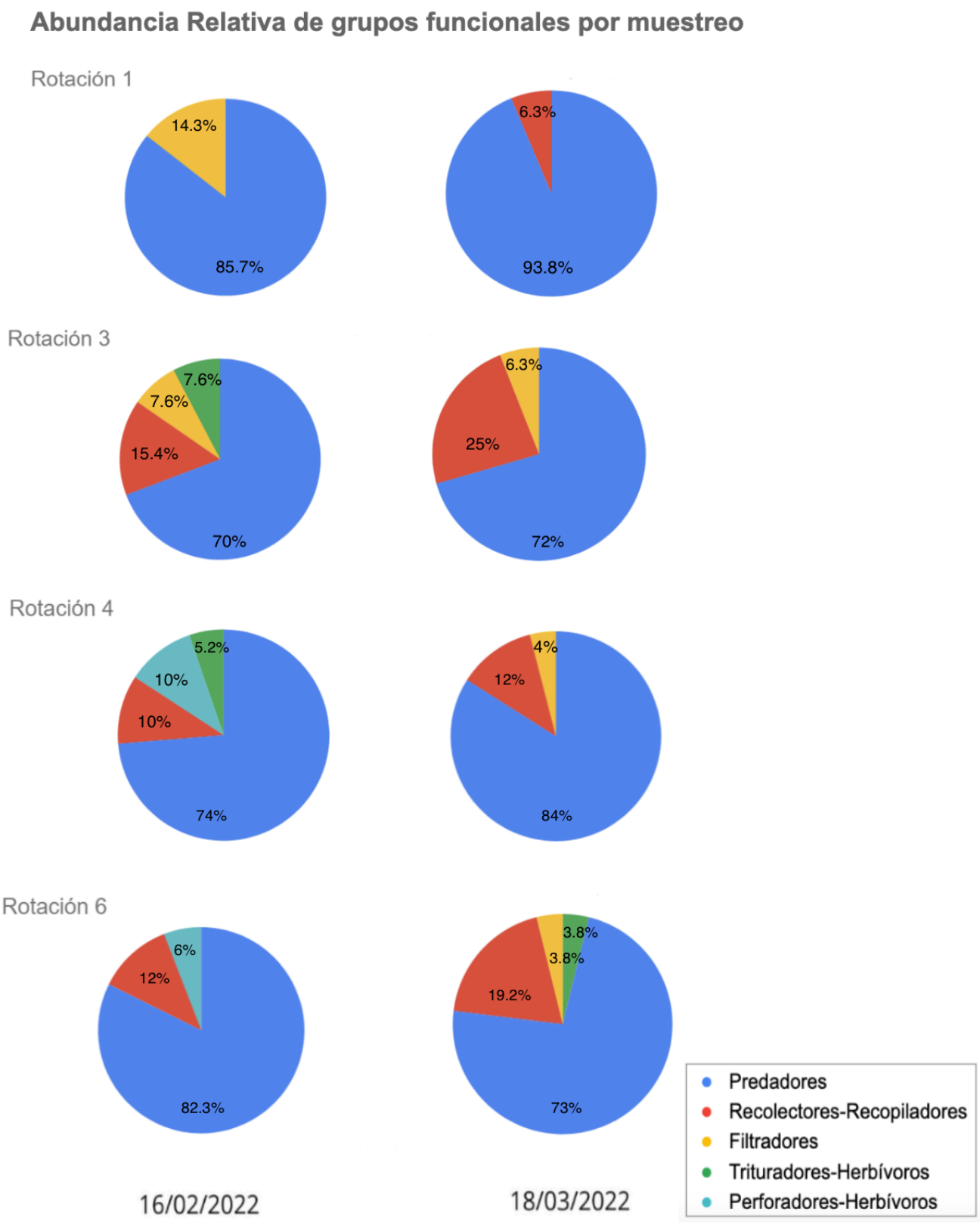

Fig 2.5 Abundancia relativa de grupos funcionales de cada rotación evaluada en los dos momentos de muestreo en el experimento de largo plazo en la Unidad Experimental Paso de la Laguna, Treinta y Tres (16/02/2022 y 18/03/2022).

Se observa que en la rotación arroz y pastura corta (R3) hubo más diversidad de familias de dípteros, registrando la familia Tabanidae únicamente en esta rotación (Figura 2.6). Además, hubo una gran presencia de la familia Baetidae, mientras que en la rotación arroz continuo (R1) no se registró ningún ejemplar de esta familia perteneciente al orden Ephemeroptera. Respecto a la familias de Hemiptera, se observa que hubo más presencia en la rotación arroz y pastura larga (R4). Tanto en esta rotación como la R6 (arroz y soja) se observó la presencia de la familia Corixidae, en esta última rotación (R6) la familia Belostomatidae estuvo ausente.

Coleoptera se destacó por tener el mayor número de registros de familias, con un total de cinco (Noteridae, Hydrophilidae, Haliplidae, Dytiscidae, Carabidae). Se observó una notable presencia de estas familias, especialmente en la rotación arroz pastura corta (R3) y arroz y pastura larga (R4), donde los adultos de la familia Carabidae estuvieron presentes exclusivamente en estas dos. Por otro lado, las familias Dytiscidae e Hydrophilidae se encontraron en todas las rotaciones, mientras que Noteridae y Haliplidae solo se registraron en las rotaciones R3, R4 y R6 (Figura 2.6).

En la rotación arroz continúo (R1) y arroz y soja (R6), se registraron cuatro familias Odonata, registrando para estas dos rotaciones la familia Aeshnidae, mientras que en la rotación tres se destaca una gran presencia de la familia Coenagrionidae (Figura 2.6).

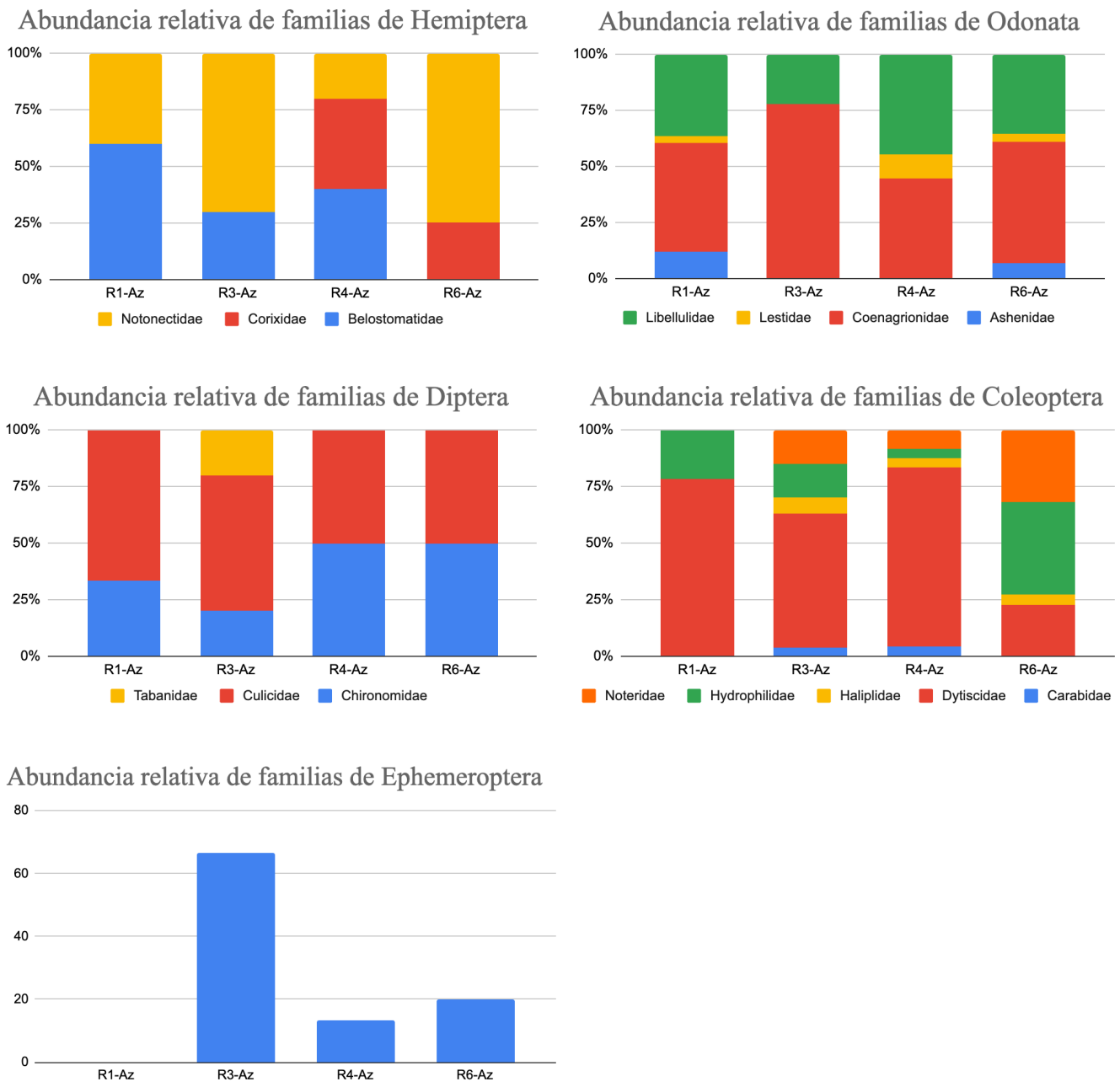

Fig 2.6 Abundancia relativa de familias de insectos en cada rotación en el experimento de largo plazo en la Unidad Experimental Paso de la Laguna, Treinta y Tres, Uruguay.

Se observó mayor presencia de Araneae en R3 y R4. Los crustáceos encontrados pertenecen al género *Hyalella* Smith 1874, estuvieron presentes en la rotación arroz y pastura corta (R3), y arroz y pastura larga (R4) (Figura 2.7).

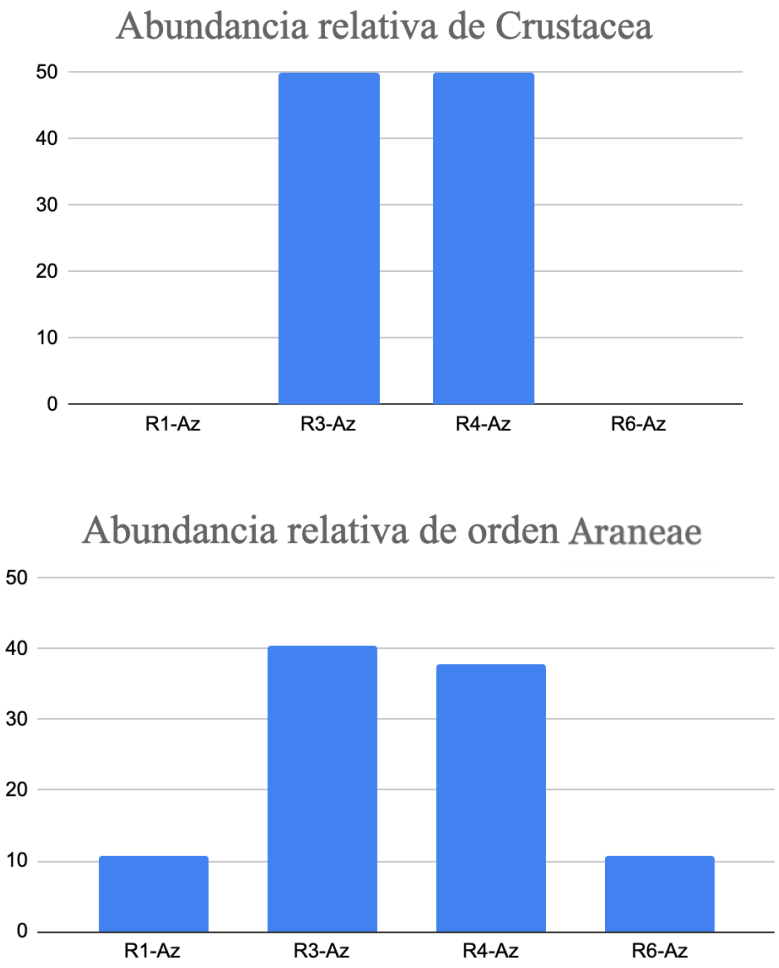

Fig 2.7 Abundancia relativa de Crustacea y orden Araneae para cada rotación en el experimento de largo plazo en la Unidad Experimental Paso de la Laguna, Treinta y Tres, Uruguay.

Los índices de Shannon, variaron de 0,79 para R1 a 1,22 para R4 sin diferencias significativas (ANAVA F=1.07, P=0.3688). La rotación de arroz y pastura (R3) es la que presenta mayor número de taxones y la de arroz continuo (R1) el menor valor. Un comportamiento similar se observa para el número de individuos donde las diferentes letras dentro de cada columna indican diferencias significativas (Figura 2.8).

Rotación	Índice de Shannon ± E.E.*	N° de Individuos ± E.E.*	N° de Taxa ± E.E.*
R4-AZ	1.22 ± 0.20 A	3.14 ± 0.68 B	2.93 ± 0.55 AB
R3-AZ	1.14 ± 0.18 A	5.59 ± 0.98 A	3.82 ± 0.60 A
R6-AZ	0.95 ± 0.22 A	2.82 ± 0.71 B	2.36 ± 0.54 AB
R1-AZ	0.79 ± 0.18 A	2.63 ± 0.56 B	2.31 ± 0.44 B

Fig. 2.8 Índice de diversidad, abundancia y riqueza, en insectos en las diferentes rotaciones en el experimento de largo plazo de la Unidad Experimental Paso de la Laguna, Treinta y Tres, Uruguay.

Las curvas de acumulación de especies del muestreo fueron no asintóticas, indicando que habría especies adicionales por muestrear (Figura 2.9). Los estimadores de riqueza mostraron estar en concordancia con los demás resultados donde el número de individuos colectados fue bastante bajo en relación a otros muestreos (Jack 1: 72%, Chao 1: 65% y Bootstrap 85%).

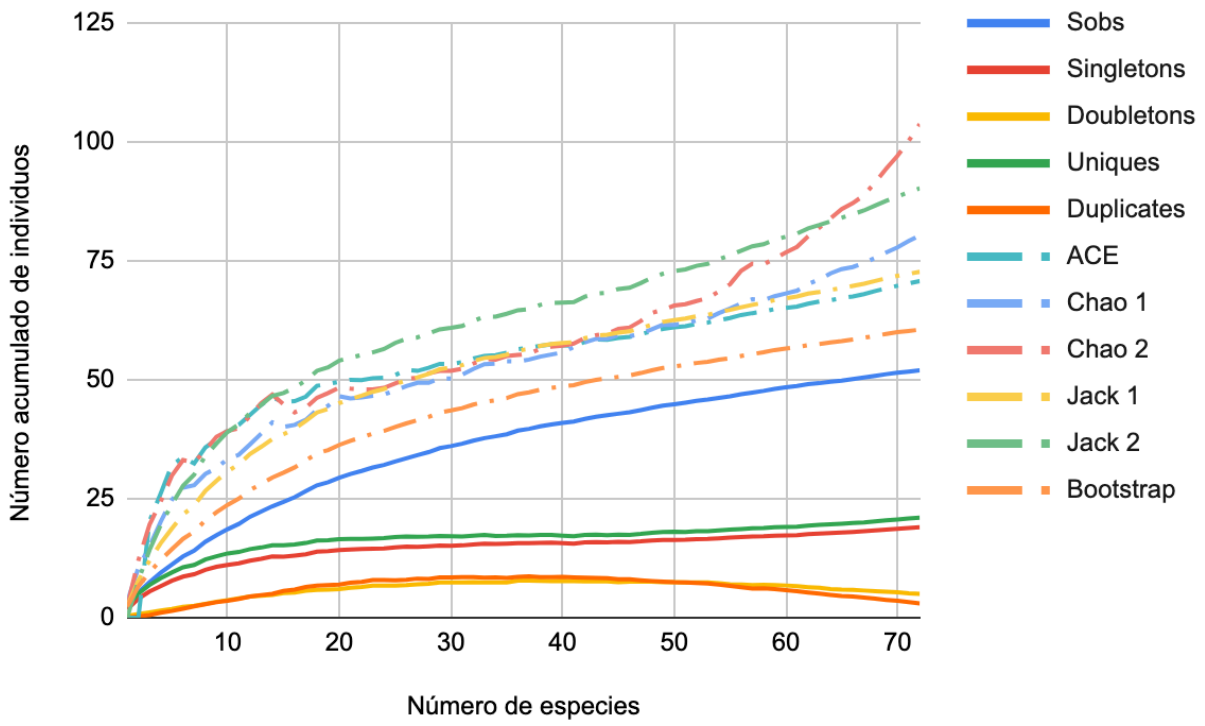

Fig 2.9 Curva de acumulación de especies de macroinvertebrados mostrando la riqueza observada (Sobs), singletons, doubletons, uniques y duplicates, junto a los estimadores de riqueza

Chao 1 y 2, Jacknife 1 y 2, Bootstrap y ACE, en el experimento de largo plazo en la Unidad Experimental Paso de la Laguna, Treinta y Tres, Uruguay.

Los resultados del análisis de ANOSIM (R=0,352, p=0,02, factor ambiente 9999 permutaciones) a partir de la matriz de acumulados por parcela y rotación muestran que hay diferencias entre las rotaciones pero se registra cierto solapamiento. Por otra parte, de acuerdo al test de SIMPER, se observó que 21 morfoespecies explican el 74% de las diferencias entre las rotaciones (Figura 2.10).

Las morfoespecies Dytiscidae sp4, Baetidae sp2, Coenagrionidae sp3 y sp1, Notonectidae sp2 y Libellulidae sp2 fueron más abundantes en la rotación arroz y pastura corta (R3). Por otra parte, Dytiscidae sp4 también estuvo presente en mayor abundancia en la R4 (Arroz y pastura larga) y R1 (arroz continuo) (Figura 2.10).

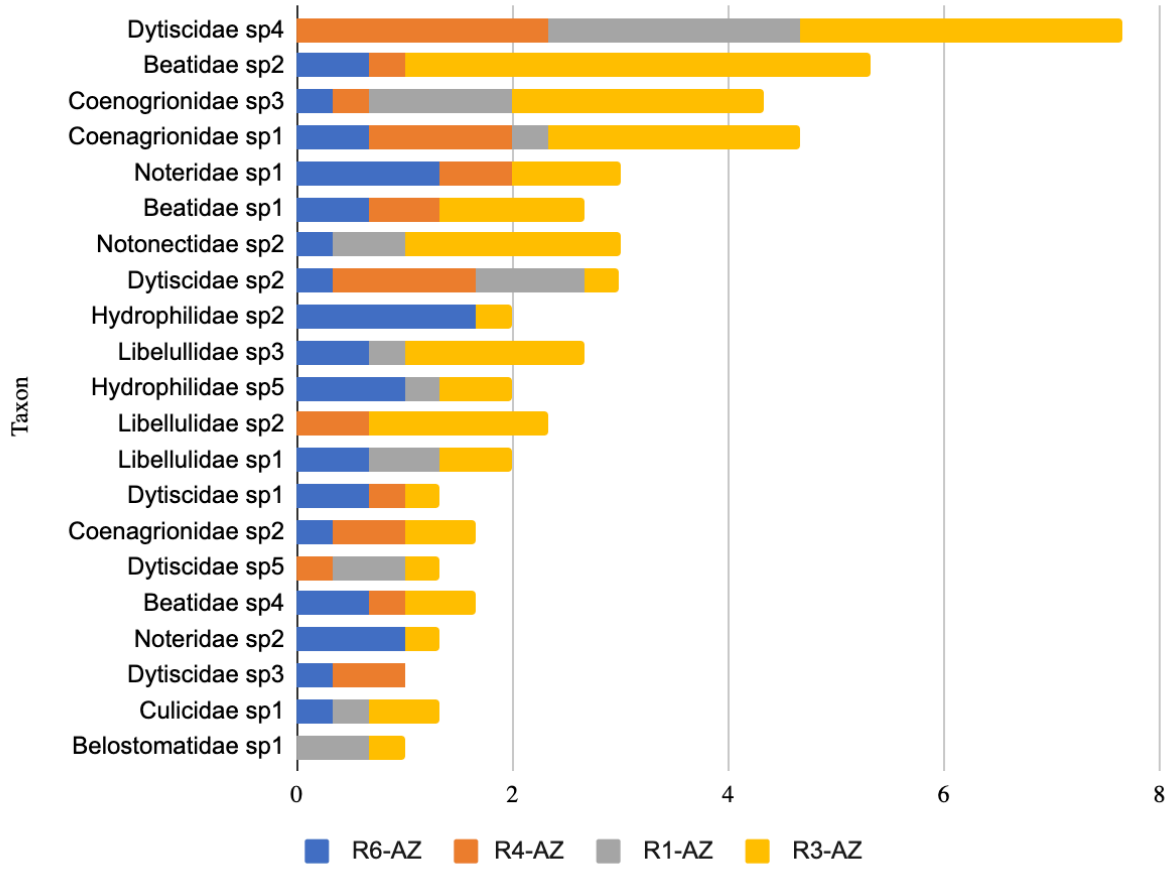

Fig 2.10 Gráfica del test SIMPER mostrando las morfoespecies de insectos evaluadas en las diferentes rotaciones: Arroz contínuo (R1-Az), Arroz y pastura corta (R3-Az), Arroz y pastura larga

(R4-Az), Arroz y soja (R6-Az), muestreo con red Surber, en el experimento de largo plazo en la Unidad Experimental Paso de la Laguna, Treinta y Tres, Uruguay.

Se analizó el valor bioindicador de las especies encontradas siguiendo el criterio planteado por Pinzón y Spence (2010) donde se registró una fuerte asociación de la morfoespecie Dytiscidae sp6 con la rotación R4, mientras que en la rotación R3 se registró una asociación con cuatro morfoespecies (Figura 2.11).

Morfoespecie	IndVal(%)	p
Rotación R3-AZ		
Ashenidae sp1	66,67	0,045
Beatidae sp2	81,25	0,005
Libellulidae sp1	71,43	0,018
Notonectidae sp2	66,67	0,049
Rotación R4-AZ		
Dytiscidae sp6	66,67	0,0455

Fig 2.11 Especies que alcanzaron valor de 60% para designar bioindicadoras, registradas en R3 y R4, en el experimento de largo plazo en la Unidad Experimental Paso de la Laguna, Treinta y Tres, Uruguay.

DISCUSIONES

Las áreas de estudio utilizadas para el cultivo de arroz proporcionan ambientes diversificados y dinámicos para los macroartrópodos (Settle et al., 1996). Los resultados obtenidos en este estudio concuerdan con otros reportados en campos de arroz (Bambaradeniya et al., 2004; Bambaradeniya y Edirisinghe, 2008; Wilby et al., 2006) confirmando la existencia de una gran diversidad de insectos acuáticos.

Se recolectaron en total 212 insectos, de los cuales se identificaron 16 familias. Además, se recolectaron 37 arañas y 14 crustáceos. Sin embargo, es relevante destacar que este número es menor en comparación con lo reportado por otros autores en estudios similares, donde se registraron más de 70 familias (Bao et al., 2021; Fritz et al. 2011).
Al comparar los resultados con red Surber con otros trabajos no se puede garantizar que se capturen todos los taxones de macroinvertebrados presentes en la comunidad (Torralba-Burrial y Ocharan, 2007).

Los coleópteros representaron el grupo más abundante y diverso presente en todas las rotaciones estudiadas. Los coleópteros están descritos como buenos bioindicadores, ya sea por baja o alta tolerancia a la contaminación, constituyendo una buena herramienta por el gran número de especies que presentan (Garrido y Benetti, 2004).

La presencia de la familia Chironomidae, cuyas larvas poseen hábitos acuáticos y son de gran importancia en la colonización de cuerpos de agua (Bentancourt et al., 2009), estuvo representada por cuatro ejemplares de una misma morfoespecie, un número menor que lo registrado en un estudio llevado a cabo en Brasil donde fue el taxón más frecuente (Meneghel et al., 2022). Chironomidae es uno de los taxones menos sensibles a la contaminación (Suhling et al., 2000) y podría haber sido tolerante a las prácticas que caracterizan la producción de arroz.

Los resultados de nuestro estudio sobre la presencia de Araneae y crustáceos en los campos de arroz son consistentes con investigaciones anteriores. Bambaradeniya et al. (1998) encontraron una alta abundancia Araneae y crustáceos en arrozales, lo que sugiere que estos campos ofrecen hábitats adecuados debido a la presencia de agua,

vegetación y refugio. Johnston et al. (2015) también resaltan la importancia de los arrozales como fuentes de alimento, ya que estos artrópodos se alimentan de otros invertebrados presentes en el entorno. Cabe destacar que los crustáceos estuvieron ausentes en las rotaciones R1 y R6. Esta observación podría estar relacionada con algún factor de gran importancia como valor bioindicador, lo que sugiere la necesidad de seguir explorando este tema en futuras investigaciones.

Las rotaciones de arroz y pastura corta (R3) como arroz y pastura larga (R4) fueron las que registraron más diversidad de macroartrópodos con respecto a la rotación arroz continuo y arroz y soja. Estas diferencias, con una mayor riqueza y diversidad de especies en las pasturas, puede deberse a una mayor variedad del tapiz vegetal. Se ha demostrado que una mayor diversidad vegetal puede proveer de alimento y reservorio para un rango más amplio de insectos, además de proveer mayor tiempo para que se estabilicen las poblaciones, lo que favorecerá a aquellos que pueden permanecer luego de la inundación del cultivo (Yadav y Mishra 2013; Weigelt et al., 2009).

De acuerdo a la composición de grupos funcionales, se destacan los predadores como grupo más abundante, seguido de los recolectores-recopiladores, similar a lo observado por Rodríguez-Barrios et al. (2011). La presencia de predadores es importante ya que son agentes potenciales de control biológico de las plagas de arroz, Coenagrionidae es considerada benéfica, debido al hábito predador de sus integrantes (Simaika y Saways, 2008), el control natural que ejercen es un servicio del propio ecosistema (Naeem et al., 1999). Se registraron recolectores y filtradores en los dos muestreos realizados, con una importante participación en los ecosistemas de agua dulce al reducir la exportación de partículas aguas abajo ya que consumen la materia orgánica suspendida en la columna de agua (Wotton et al., 1998; Álvarez-Arango et al., 2006). Los raspadores-rascadores estuvieron ausentes en ambos muestreos, esto puede estar asociado a la gran cantidad de predadores presentes, lo que también pudo haber influido en la variación de la composición de los grupos funcionales en las dos fechas de muestreo y en las diferentes rotaciones. Esto es similar a lo encontrado en cursos de agua dulce con vegetación ribereña nativa en Uruguay, donde los predadores fueron el grupo dominante y los raspadores-rascadores sólo estuvieron representados por el 9% (Morelli y Verdi, 2014).

Con respecto al índice de Shannon, no se encontraron diferencias significativas entre las diferentes rotaciones en los cultivos de arroz. El índice de Shannon es una medida de la diversidad biológica y la falta de diferencia estadística podría indicar una similaridad en la estructura de la comunidad de insectos en las distintas rotaciones evaluadas (Gotelli y Colwell 2001). Las prácticas de rotación de cultivos no estarían influyendo de manera significativa en la diversidad biológica de la comunidad de insectos a la escala de paisaje del ensayo.

Sin embargo, a nivel del análisis del número de taxa, se observaron diferencias entre las rotaciones R1 y R3. Es posible que factores como la composición del suelo, la disponibilidad de recursos o las prácticas agrícolas influyan en esta variación (Guzmán-Mendoza et al. 2016).

El análisis de los estimadores de riqueza indica que el número de ejemplares recolectados fue significativamente inferior en comparación con otros muestreos. Este muestreo abarcó al menos el 57.6% de las especies detectadas, y, dependiendo del estimador utilizado, se estima que el número de especies por recolectar varía en un rango entre el 57% y el 86%.

El acumulado de individuos recolectados por parcela indica que existen diferencias entre las rotaciones, pero existe solapamiento. Esto es consistente con estudios similares donde se utilizó el mismo método de muestreo y se encontraron diferencias en la composición de morfoespecies encontradas según la localidad y la fuente de agua (Bao, 2019). Las diferencias en la altura de la lámina de agua en las parcelas inundadas puede afectar la sobrevivencia y/o permanencia de las diferentes especies. Además, las distancias entre los bloques del ensayo de rotaciones pueden favorecer la dispersión de algunas especies y ser un limitante del estudio. Al rotar los cultivos de arroz en diferentes parcelas, se altera el hábitat y la disponibilidad de alimento para los insectos presentes en la comunidad. Algunas especies de insectos pueden tener una capacidad de dispersión limitada, por lo que la distancia entre las parcelas de cultivo puede influir en su movilidad y supervivencia. Cuando las parcelas de cultivo de arroz están muy cerca unas de otras, como en este experimento, es más probable que las poblaciones de insectos se dispersen fácilmente de una parcela a otra (Landis et al. 2000). Esto puede resultar en una mayor propagación de plagas y enfermedades, ya que los insectos portadores de estos

problemas pueden moverse libremente entre las parcelas. Por otro lado, cuando las parcelas de cultivo están más distantes, la dispersión de los insectos puede ser más limitada. Esto puede tener beneficios, ya que las poblaciones de plagas pueden tener dificultades para establecerse en nuevas parcelas de una misma rotación y su propagación puede ser más lenta (Fory et al., 2006).

Las principales diferencias entre la composición de especies en las rotaciones estuvieron dadas por 21 morfoespecies (Test SIMPER). En arroz y pastura corta (R3) se registró Baetidae sp2 (Ephemeroptera), una de las familias más diversas y abundantes con preferencia por sustratos específicos y alta sensibilidad a los procesos de degradación e impacto antropogénico. Estos aspectos permiten postular a esta como una familia con potencial como bioindicadora. Algunos estudios realizados en Brasil por Salles (2011), Buss y Salles (2007) y Castillo y Goulart (2005) han demostrado las ventajas del uso de esta familia en los biomonitoreos de la calidad del agua. El estudio realizado por Rizo-Patrón et al. (2013) sugiere que la familia Baetidae, tiene un valor de sensibilidad de 5 a la contaminación del agua, y son especialmente sensibles a la exposición a pesticidas, en particular a los insecticidas. Se puede suponer que la disminución en los niveles poblacionales, o incluso la ausencia por completo en las otras rotaciones, puede estar relacionada con la exposición a alguno de los pesticidas utilizados en dichos tratamientos. Esto sugiere que el manejo utilizado puede tener un impacto en la composición de la comunidad de macroartrópodos, ya que se observaron diferencias entre especies consideradas sensibles y resistentes a la contaminación.

La otra morfoespecie asociada al cultivo de arroz y pastura corta fue Dytiscidae sp4. Para Uruguay están descritas 27 especies de 14 géneros (Garrido y Benetti, 2004) debido a la cantidad de individuos que presentó esta familia se sugiere un estudio más exhaustivo en su taxonomía.

Para el cultivo de arroz y pastura larga (R4) según el test de SIMPER, se registraron 3 morfoespecies para Coenagrionidae y 2 para Libellulidae. Sus larvas son de hábitos acuáticos, por lo que se encuentran asociados a cultivos de arroz. Estos organismos son usados como bioindicadores ya que responden a cambios en las condiciones ambientales (Ramírez, 2010). Los adultos de estas familias se benefician de la presencia de vegetación herbácea, lo cual es consistente con los trabajos de Foote y Hornung (2005) y

Remsburg et al. (2008), quienes indicaron que la mayor abundancia y diversidad están asociadas a áreas con plantas altas, que sirven como perchas y están relacionadas con la defensa de territorios para la reproducción, termorregulación y vigilancia. Es relevante mencionar que el suborden Zygoptera, al cual pertenece la familia Coenagrionidae, se encuentra asociado a ecosistemas más preservados (Barbosa et al. 2013; Oliveira et al. 2015). Libellulidae, es considerada bioindicadora debido a su alta sensibilidad ante perturbaciones en el medio ambiente (Franco et al. 2021).

Es importante tener en cuenta las limitaciones asociadas al diseño del estudio, ya que estas podrían haber restringido la amplitud de los mecanismos propuestos que respaldan nuestras conclusiones. Para futuros trabajos, se podría aumentar la frecuencia de las repeticiones en el tiempo, incorporando métodos complementarios de muestreo, como el llevado a cabo en Rizo-Patrón et al (2011), donde se implementaron bloques de concreto con malla de nylon sumergidas en el agua para la colonización de macroinvertebrados durante un mes. Además, se podría considerar la metodología propuesta por Callisto et al. (2021), que emplea redes de arrastre (kick nets). El registro continuo de las propiedades fisicoquímicas y la altura de la lámina de agua es igualmente relevante, ya que podría contribuir a identificar posibles diferencias en la composición de las comunidades.

CONCLUSIONES

Este estudio proporciona evidencia de la existencia de una amplia diversidad de insectos acuáticos en áreas de cultivo de arroz. Aunque los resultados se basan en un alcance limitado debido a dos muestreos en un año, se observó una menor cantidad de individuos recolectados en comparación con otros estudios previos. Se destacó la presencia de Araneae y crustáceos en los campos de arroz, y las rotaciones con pasturas mostraron una mayor diversidad de macroartrópodos

Se recomienda el uso de métodos complementarios de muestreo, lo que contribuirá a fortalecer la evaluación. Esta diversidad de enfoques ayuda a abordar la variabilidad espacial y temporal en la comunidad, lo que a su vez proporciona una comprensión más sólida de su estructura y función en el entorno de los cultivos de arroz.

Las prácticas de rotación de cultivos de arroz no afectaron el índice de diversidad de Shannon en la comunidad de insectos, pero hubo diferencias significativas en la riqueza taxonómica entre las distintas rotaciones.

Este estudio representa el primer trabajo en caracterizar comunidades de macroartrópodos en diferentes rotaciones asociadas al cultivo de arroz y su potencial como bioindicadores de la calidad del agua. A pesar de basarse en datos limitados, sienta las bases para futuras líneas de investigación que permitirán profundizar en este campo. Resalta la influencia de las rotaciones de cultivos en la riqueza y variedad de especies, además de destacar la importancia de ciertos grupos funcionales que ofrecen un enfoque completo, simplificando la información para comprender de qué manera los organismos impactan en la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas.

Estos hallazgos contribuyen significativamente a nuestro conocimiento sobre la biodiversidad y el funcionamiento de los ecosistemas agrícolas, proporcionando información relevante para la evaluación del estado de los ecosistemas y la implementación de prácticas de manejo sostenible que promuevan la conservación de la diversidad biológica y el equilibrio de los agroecosistemas.

BIBLIOGRAFÍA

Ali, M. P., Biswas, M., Clemente-Orta, G., Kabir, M. M. M., Datta, J., Haque, S. S., & Howlader, M. T. H. (2022). Landscape diversity influences the arthropod species diversity in the rice field. Frontiers in Environmental Science, 10, 740287.

Álvarez-Arango, L. F., Arango-Jaramillo, M. C., & Roldán-Pérez, G. (2006). Diversidad de los macroinvertebrados dulceacuícolas en Colombia. FERNANDO GAST HARDERS, 261.

Arroz (2019). Inauguración de la cosecha 2019. Asociación Cultivadores de Arroz, 97, 10-14.

Asociación de Cultivadores de Arroz (ACA). (2013). El cultivo de arroz en Uruguay. Recuperado de https://www.aca.com.uy/wp-content/uploads/2017/11/El-cultivo-de-arroz-en-el-Uruguay.pdf

Balian, E., Segers, H., Lévêque, C., & Martens, K. (2008). The Freshwater Animal Diversity Assessment: An overview of the results. Hydrobiologia, 595(1), 627-637. https://doi.org/10.1007/s10750-007-9246-3

Bambaradeniya, C. N. B., & Amerasinghe, F. P. (2003). Biodiversity associated with the rice field agro-ecosystem in Asian countries: a brief review. Working Paper 63. International Water Management Institute. Colombo, Sri Lanka. 29 pp.

Bambaradeniya, C. N. B., & Edirisinghe, J. P. (2008). Composition, structure and dynamics of arthropod communities in a rice agro-ecosystem. Ceylon Journal of Science (Biological Sciences), 37(1), 23-48.

Bambaradeniya, C. N. B., Fonseka, K. T., & Ambagahawatte, C. L. (1998). Un estudio preliminar de la fauna y la flora de un campo de arroz en Kandy, Sri Lanka.

Bambaradeniya, C. N. B. (2000). Ecology and biodiversity in an irrigated rice field ecosystem in Sri Lanka. (Tesis de doctorado, University of Peradeniya, Sri Lanka).

Bambaradeniya, C. N. B., Edirisinghe, J. P., Silva, D. N., Gunatilleke, C. V. S., Ranawana, K. B., & Wijekoon, S. (2004). Biodiversity associated with an irrigated rice agroecosystem in Sri Lanka. Biodivers. Conserv., 13, 1715-1753.

Bao, L., & Martínez, S. (2018). Control químico de insectos en el cultivo de arroz en Uruguay. Arroz, 96, 40-45. Recuperado de http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/12366/1/Arroz-2018-96-Bao.pdf

Bao, L., Martínez, S., Cadenazzi, M., Urrutia, M., Seijas, L., & Castiglioni, E. (2021). Aquatic macroinvertebrates in Uruguayan rice agroecosystem. Biodiversity Data Journal, 9, e60745. doi: https://doi.org/10.3897/BDJ.9.e60745.

Bao Fontes, L. (2019). Diversidad de artrópodos en el cultivo de arroz en el sistema de rotación con pasturas. (Tesis de doctorado, Universidad de la República, Uruguay).

Barbosa, J. M. (2013). O efeito da alteração ambiental sobre assembleias de Odonata na Amazônia Oriental (Tesis de maestría). Universidade do Estado de Mato Grosso, Mato Grosso, Brasil.

Bentancourt, C. M., Scatoni, I. B., & Morelli, E. (2009). Insectos del Uruguay. Montevideo, Uruguay: Facultad de Agronomía, Facultad de Ciencias, Universidad de la República.

Blondel, J. (2003). Guilds or functional groups: does it matter? Oikos, 100(2), 223-231.

Buss, D. F., & Salles, F. F. (2007). Using Baetidae Species as Biological Indicators of Environmental Degradation in a Brazilian River Basin. Environmental Monitoring and Assessment, 130, 365-372. doi: https://doi.org/10.1007/s10661-006-9403-6

Callisto, M., & Goulart, M. (2005). Invertebrate drift along a longitudinal gradient in a Neotropical stream in Serra do Cipó National Park, Brazil. Hydrobiologia, 530, 47-56.

Callisto, M., Mugnai, R., Castro, D., & Linares, M. (2021). Sampling methods for aquatic insects. En J.C. Santos & G.W. Fernandes (Eds.), Measuring arthropod biodiversity: A handbook of sampling methods (1sted.,p.20). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-53226-0_20

Carle, F. L. & Maughan, O. E., (1980). Accurate and efficient estimation of benthic populations: a comparison between removal estimation and conventional sampling techniques. Hydrobiologia 71: 181–187.

Chessman, B. C. (1995). Rapid assessment of rivers using macroinvertebrates: a Procedure based on habitat-specific sampling, family level identification and biotic index. Australian Journal of Ecology, 20, 122-129.

Che Salmah, M. R., Siregar, A. Z., Abu Hassan, A., & Nasution, Z. (2017). Dynamics of aquatic organisms in a rice field ecosystem: effects of seasons and cultivation phases on abundance and predator-prey interactions. Tropical Ecology, 58(1), 177-191.

Cooper, S. D., Walde, S. J., & Peckarsky, B. L. (1990). Prey exchange rates and the impact of predators on prey populations in streams. Ecology, 71, 1503-1514.

Cordova-Tapia, F., & Zambrano, L. (2015). La diversidad funcional en la ecología de comunidades. Ecosistemas, 24(3), 78-87. doi: 10.7818/ECOS.2015.24-3.10

Cross, W. F., Ramírez, A., Santana, A., & Silvestrini, L. (2008). Hacia la separación de la importancia relativa del consumo de invertebrados y la bioturbación en los arroyos puertorriqueños. Biotrópica, 40, 477-484.

Cummins, K. (1974). Structure and function of stream ecosystem. BioScience, 24(11), 631-641.

Curcó, A., Canicio, A., Escolano, M. A., Fores, E., Ibáñez, C., Luque, P., & Riera, X. (2001). Mejora de la gestión del hábitat en la Zepa del Delta del Ebro (Cataluña, España). Cataluña, España: SEO/Birdlife.

Colwell, R. K. (2013). Estimates: Statistical Estimation of Species Richness and Shared Species from Samples (Versión 9). Guía del Usuario y Aplicación. Recuperado de http://purl.oclc.org/estimates

Deambrosi, E. (2009). 10 años de la Unidad de Producción Arroz-Ganadería. Montevideo: INIA. Serie Técnica, 180, 9-12.

Díaz Villanueva, V., Albariño, R., & Canhoto, C. (2012). Positive effect of shredders on microbial biomass and decomposition in stream microcosms. Freshwater Biology, 57, 2504-2513.

Dijkstra, K. D., Monaghan, M. T., & Pauls, S. U. (2014). Freshwater biodiversity and aquatic insect diversification. Annual Review of Entomology, 59, 143-163. doi: 10.1146/annurev-ento-011613-161958

Di Rienzo, J. A., Guzman, A. W., & Casanoves, F. (2002). A multiple-comparisons method based on the distribution of the root node distance of a binary tree. *Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics*, *7*(2), 129-142. doi:10.1198/10857110260141193

FAO. (2004). All about rice. Recuperado de http://www.fao.org/rice2004/en/aboutrice.htm

Femenilla, J. W., & Hawkins, C. P. (1995). Interacciones entre herbívoros de arroyo y perifiton: un análisis cuantitativo de experimentos pasados. Journal of the North American Benthological Society, 14, 465-509.

Fernando, C. H. (1993). Ecología de arrozales y piscicultura: una visión general. Hydrobiologia, 259, 91-113.

Fernández, L. (2002). Uso de insectos acuáticos como bioindicadores de la calidad de agua de ríos utilizados por beneficios de café en la provincia de Alajuela, Costa Rica. (Tesis de licenciatura, Escuela de Biología, Universidad de Costa Rica).

Fontanarrosa, M. S., Torres, P. L. M., & Michat, M. C. (2004). Comunidades de insectos acuáticos de charcos temporarios y lagunas en la ciudad de Buenos Aires (Argentina). Revista de la Sociedad Entomológica Argentina, 63, 55-65.

Foote, A. L., & Hornung, C. L. R. (2005). Odonates as Biological Indicators of Grazing Effects on Canadian Prairie Wetlands. Ecological Entomology, 30, 273-283. doi: 10.1111/j.0307-6946.2005.00701.x

Franco, V., García, L., Martínez, S., & Viera, C. (2021). Diversidad de libélulas en sistemas arroceros de Uruguay con y sin uso de insecticidas. Revista INIA Uruguay, Junio 2021, no.65, p.45-49. (Revista INIA; 65). ISSN: 1510-9011.

Fritz, L., Heinrichs, E., Machado, V., Finger Andreis, T., Pandolfo, M., Salles, S., Oliveira, J., & Fiuza, L. (2011). Diversity and abundance of arthropods in subtropical rice growing areas in the Brazilian south. Biodiversity and Conservation, 20, 2211-2224. doi: 10.1007/s10531-011-0083-3

Garrido, J., & Benetti, C. (2004). Fauna de coleópteros acuáticos (Adephaga y Polyphaga) de Uruguay (América del Sur). Boletín - Asociación Española de Entomología, 28, 153-183. Recuperado de https://ddd.uab.cat/pub/limnetica/02138409v23n3-4/02138409v23n3-4p209.pdf

Gessner, M. O., Chauvet, E., & Dobson, M. (1999). Una perspectiva sobre la descomposición de la hojarasca en los arroyos. Oikos, 85, 377-384.

Gotelli, N. J., & Colwell, R. K. (2001). Cuantificación de la biodiversidad: procedimientos y peligros en la medición y comparación de la riqueza de especies. Cartas de Ecología, 4, 379-391. doi: 10.1046/j.1461-0248.2001.00230.x

Guzmán-Mendoza, R., Calzontzi-Marín, J., Salas-Araiza, M. D., & Martínez-Yáñez, R. (2016). La riqueza biológica de los insectos: análisis de su importancia multidimensional. Acta zoológica mexicana, 32(3), 370-379.

Hammer, Ø., Harper, D. A. T., & Ryan, P. D. (2001). PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. Palaeontologia Electronica, 4(1), 9pp. Recuperado de http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm

Heinrichs, E. A. (2007). Management of rice insect pests. In Radcliffe's IPM World Textbook. St. Paul, Minn. (USA): University of Minnesota. Recuperado de http://ipmworld.umn.edu/chapters/heinrich.htm

Hernández-Pérez, A., & Labbé, J. I. (2014). Microalgas, cultivo y beneficios. Revista de Biología Marina y Oceanografía, 49(2), 157-173.

Hershey, A. E. (1987). Tubos y comportamiento de forrajeo en larvas de Chironomidae: implicaciones para la evitación de depredadores. Oecologia, 73, 236-241.

INIA (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria). 2019. Boletín Periódico Arroz. 3a década noviembre. Programa Nacional Arroz, INIA Treinta y Tres. 21p.

Johnston, A. S. A., Sibly, R. M., Hodson, M. E., Alvarez, T., & Thorbek, P. (2015). Effects of agricultural management practices on earthworm populations and crop yield: validation and application of a mechanistic modelling approach. Journal of Applied Ecology, 52, 1334-1342. doi: 10.1111/1365-2664.12499

Kolkwitz, R., & Marsson, M. (1908). Ökologie der pflanzlichen Saprobien. Bericht der Deutschen Botanischen Gesellschaft, 26A, 505-519.

Kolkwitz, R., & Marsson, M. (1909). Ökologie der tierischen Saprobien. Beitrage zur Lehre der biologischen Gewässerbeurteilung, Internationale der gesamten Hydrobiologie und Hydrographie, 2, 126-152. En: Hauer, F. R., & Lamberti, G. A. (Eds.). (1996). Methods in Stream Ecology (Vol. 6). Academic Press.

Landis, A., Wratten, S., y Gurr, GM (2000). Manejo del hábitat para conservar los enemigos naturales de las plagas de artrópodos en la agricultura. Revisión anual de entomología , 45 (1), 175-201.

Fory Sánchez, L. F., González, E., Velásquez, A. M., Morales, M., Arcia Moreno, K. A., Blanco, A. E., Quintero Muñoz, M. A., Ortiz Domínguez, A., Pérez Almeida, I., Duque E., M. C., & Lentini, Z. (2006). Análisis del flujo de genes en parientes silvestres/malezas del arroz en América tropical: comprensión de las interacciones entre cultivos y biodiversidad. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, CO. 1 p.

Lock, M., Costerton, J., Ventullo, R., Wallace, R., & Charlton, S. (1984). River epilithon: toward a structural-functional model. Oikos, 42, 10-22.

Lupi, D., Rocco, A., & Rossaro, B. (2013). Benthic macroinvertebrates in Italian rice fields. Journal of Limnology, 72(1), 184-200. doi: 10.4081/jlimnol.2013.s1.e16

Mafla, M. H. (2005). Guía para evaluaciones ecológicas rápidas con indicadores biológicos en ríos de tamaño mediano, Talamanca - Costa Rica. Macroinvertebrados (BMWP - CR -Biological Monitoring Working Party) y Hábitat (SVAP-Stream Visual Assessment Protocol). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica.

Martínez, S. (2023). Soil microbial community structure in rice rotation systems with crops and pastures in temperate Uruguay. Applied Soil Ecology, 188, 104929. ISSN 0929-1393.

Mazzucconi, S. A., López Ruf, M. L., & Bachmann, A. O. (2009). Hemiptera-Heteroptera: Gerromorpha y Nepomorpha. En E. Domínguez & H. R. Fernández (Eds.), Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos (pp. 167-231). Tucumán: Fundación Miguel Lillo.

Melo, S., Stenert, C., & Dalzochio, M. S. (2015). Development of a multimetric index based on aquatic macroinvertebrate communities to assess water quality of rice fields in southern Brazil. Hydrobiologia, 742, 1-14. doi: 10.1007/s10750-014-2087-4

Meneghel, R. E., Pires, M. M., Stenert, C., & Maltchik, L. (2022). La intensificación del ciclo de cultivo del arroz reduce la diversidad de comunidades de insectos acuáticos en los arrozales irrigados del sur de Brasil. Revista de Conservación de Insectos, 26(3), 515-524.

Merritt, R. W., & Cummins, K. W. (1978). An introduction to the aquatic insects of North America. Kendall/Hunt Publishing Company.

Merritt, R. W., & Cummins, K. W. (2007). Trophic relationships of macroinvertebrates. In F. R. Hauer & G. A. Lamberti (Eds.), Methods in stream ecology (2nd ed., pp. 585-601). Elsevier.

Molozzi, J., Hepp, L. U., & Dias, A. d. S. (2007). Influence of rice crop on the benthic community in Itaja Valley (Santa Catarina, Brazil). Acta Limnologica Brasileira, 19(4), 383-392.

Motta, A., Ortega, L., Niño, Y., & Aranguren, N., (2016). Grupos funcionales alimenticios de macroinvertebrados acuáticos en un arroyo tropical (Colombia). Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, 19(2), 425-433.

Naeem, S., Chapin III, F. S., Costanza, R., Ehrlich, P. R., Golley, F. B., Hooper, D. U.,Tilman, D. (1999). Biodiversity and ecosystem functioning: maintaining natural life support processes. Issues in Ecology, 4, 2-12.

Oberndorfer, R. Y., McArthur, J. V., & Barnes, J. R. (1984). Los efectos de los depredadores de invertebrados en el procesamiento de la hojarasca en un arroyo alpino. Ecología, 65, 1325-1331.

Oliveira-Junior, J. M. B., Shimano, Y., Gardner, T. A., Hughes, R. M., de Marco Júnior, P., & Juen, L. (2015). Neotropical dragonflies (Insecta: Odonata) as indicators of ecological condition of small streams in the eastern Amazon. Austral Ecology, 40(6), 733–744. https://doi.org/10.1111/aec.12242

Patrick, R. (1949). A proposed biological measure of stream conditions, based on a survey of the Conestoga basin, Lacaster County, Pennsylvania. Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia, 101, 277-341.

Patrick, R. (1950). Biological measure of stream conditions. Sewage and Industrial Wastes, 22, 926-939.

Pittelkow, C. M., Zorrilla, G., Terra, J., Riccetto, I., Macedo, I., Bonilla, C., & Roel, A. (2016). Sustainability of rice intensification in Uruguay from 1993 to 2013. Global Food Security, 9, 10-18.

Pires, M. M., Kotzian, C. B., Spies, M. R., & Baptista, V. d. A. (2015). Comparative assessment of aquatic macroinvertebrate diversity in irrigated rice fields and wetlands through different spatial scales: an additive partitioning approach. Marine and Freshwater Research, 67, 368-379. doi: 10.1071/MF14264

Pyne, A. I. (1986). The ecology of tropical lakes and rivers. Chichester, Great Britain: John Wiley & Sons.

Ramírez, A. (2010). Odonata. Revista de Biología Tropical, 58(Supplement 4), 97-136.

Ramírez, A., & Gutiérrez-Fonseca, P. E. (2014). Functional feeding groups of aquatic insect families in Latin America: a critical analysis and review of existing literature. Revista de Biologia Tropical, 62(2), 153-165.

Remsburg, A. J., Olson, A. C., & Samways, M. J. (2008). Shade alone reduces adult dragonfly (Odonata: Libellulidae) abundance. Journal of Insect Behavior, 21, 460-468.

Rizo-Patrón, F. (2003). Monitoreo de los arrozales del Proyecto Tamarindo: estudio de los agroquímicos y macroinvertebrados bentónicos en relación al Parque Nacional Palo Verde, Guanacaste, Costa Rica. Presentado en el Seminario técnico "Restauración y conservación de ecosistemas en la cuenca baja del Río Tempisque: hacia una perspectiva de manejo integrado", Estación Biológica Palo Verde, Bagaces, Guanacaste, Costa Rica.

Rizo-Patrón, F., Santo-Domingo, A. & Trama, F (2011). Evaluación de macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de la calidad de agua en arroceras bajo riego en el noreste de Argentina. Conservación de Los Recursos Acuáticos y la Biodiversidad en Arroceras Del Noreste de Argentina. 19-40.

Rizo-Patrón, F., Kumar, A., McCoy Colton, M. B., Springer, M., & Trama, F. (2013). Macroinvertebrate communities as bioindicators of water quality in conventional and organic irrigated rice fields in Guanacaste, Costa Rica. Ecological Indicators, 29, 68-78.

Rodríguez-Barrios, J., Ospina-Tórres, R., & Turizo-Correa, R. (2011). Grupos funcionales alimentarios de macroinvertebrados acuáticos en el río Gaira, Colombia. Revista de Biología Tropical, 59(4), 1537-1552.

Roldán, G. (1997). Macroinvertebrados acuáticos como indicadores de calidad de agua. Presentado en el Seminario "Invertebrados acuáticos y su utilización en estudios ambientales", Universidad Nacional de Colombia, Sociedad Colombiana de Entomología.

Roldán, G. (1999). Los macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales, 23(88), 375-387.

Roldán, G. A. (2003). Bioindicación de la calidad del agua en Colombia. Uso del método BMWP/Col. Medellín, Colombia: Editorial Universidad de Antioquia

Rosenberg, D., & Resh, V. (1993). Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates. New York, NY: Chapman & Hall.

Sánchez-Bayo, F., & Goka, K. (2006). Influencia de la luz en bioensayos de toxicidad aguda de imidacloprid y piritiona de zinc en crustáceos de zooplancton. Toxicología acuática, 78, 262-271.

Settle, W. H., Ariawan, H., Astuti, E., Cahyana, W., Hakim, A. L., Hindayana, D., Lestari, A. S., & Pajarningsih, S. (1996). Managing tropical rice pests through conservation of generalist natural enemies and alternative prey. Ecology, 77(7), 1975-1988.

Simaika, J. P., & Samways, M. J. (2008). Valuing dragonflies as service providers. En A. Córdoba-Aguilar (Ed.), Dragonflies and Damselflies: Model organisms for Ecological and Evolutionary Research (p. 109-123). Oxford, Biology.

Springer, M. (2006). Clave taxonómica para larvas de las familias del orden Trichoptera (Insecta) de Costa Rica. Revista de Biología Tropical, 54(1), 273-286.

Springer, M. (2008). Aquatic insect diversity of Costa Rica: State of knowledge. Revista de Biología Tropical, 56(4), 273-295.

Suhling, F., Befeld, S., Hausler, M., Katzur, K., Lepkojus, S., & Mesléard, F. (2000). Effects of insecticide applications on macroinvertebrate density and biomass in rice-fields in the Rhone delta, France. Hydrobiologia, 431, 69-79.

Swanson, A. K., Hrinda, S., & Keiper, J. B. (2007). Laboratory assessment of altered atmospheric carbon dioxide on filamentous green algae phenolic content and caddisfly growth and survival. Journal of Freshwater Ecology, 22, 49-60.

Torralba-Burrial, A., & Ocharan, F. (2007). Comparación del muestreo de macroinvertebrados bentónicos fluviales con muestreador surber y con red manual en ríos de Aragón (NE Península Ibérica). Limnetica, 26, 13-24. DOI: 10.23818/limn.26.02

Toti, D. S., Coyle, F. A., & Miler, J. A. (2000). A structured inventory of Appalachian grass bald and heath bald spider assemblages and a test of species richness estimator performance. Journal of Arachnology, 28, 329-345.

Urcelay Clos, A. M. (2004). Las relaciones ecológicas. Revista de Ciencias Ambientales, 20(1), 5-15.

Vilaboa, N. (2012). Evaluación de calidad de agua en un sistema lótico bajo impacto lechero mediante el uso de macroinvertebrados acuáticos (Tesina de Grado). Facultad de Ciencias, Universidad de la República, Uruguay.

Wakhid, W., Rauf, A., Krisanti, M., Sumertajaya, M., & Maryana, N. (2020). Species richness and diversity of aquatic insects inhabiting rice fields in Bogor, West Java, Indonesia. Biodiversitas Journal of Biological Diversity, 21(1), 34-42. DOI: https://doi.org/10.13057/biodiv/d210106

Wallace, J. B., & Webster, J. R. (1996). The role of macroinvertebrates in stream ecosystem function. Annual Review of Ecology and Systematics, 41, 115-139.

Webster, J. R., & Benfield, E. F. (1986). Desglose de plantas vasculares en ecosistemas de agua dulce. Revisión Anual de Ecología y Sistemática, 17, 567-594.

Weigelt, A., Weisser, W. W., Buchmann, N., & Scherer-Lorenzen. (2009). Biodiversity for multifunctional grasslands: equal productivity in high-diversity low-input and low-diversity high-input systems. Biogeosciences, 6, 1695-1706.

Wilby, A., La, L. P., Heong, K. L., Huyen, N. P. D., Quang, N. H., Minh, N. V., & Thomas, M. B. (2006). Arthropod diversity and community structure in relation to land use in the Mekong delta, Vietnam. Ecosystems, 9, 538-549.

Wotton, R. S., Malmqvist, B., Muotka, T., & Larson, J. (1998). Filtering capacity of macroinvertebrates in Swedish streams: an experimental study. Freshwater Biology, 39(2), 257-266.

Yadav, S. K., & Mishra, G. C. (2013). Biodiversity measurement determines stability of ecosystems. International Journal of Environmental Science Development and Monitoring, 4, 68-72.

Zhang, J., Zheng, X., Jian, H., Qin, X., Yuan, F., & Zhang, R. (2013). Biodiversidad de artrópodos y estructuras comunitarias de ecosistemas de arroz orgánico en la provincia de Guangdong, China. Entomólogo de Florida, 96(1), 1-9.

Zhao, J., Li, Y., Li, D., Li, Y., & You, M. (2021). Functional diversity and community composition of insects in relation to different rice cultivation practices. Insects, 12(2), 126.

Zhong, Q., Benliang, Z., Jia-en, Z., & Shiming, L. (2011). Study on diversity of arthropod community in a rice-duck integrated farming system in South China. Journal of Resources and Ecology, 2(2), 151-157.