

La mesofauna edáfica como indicadora de la estabilidad del ecosistema: su efecto sobre la tasa de descomposición de rastrojos

Tesis presentada para optar al título de magister de la Universidad de Buenos Aires, área ciencias del suelo.

Mariano Tomás Cassani
Ingeniero Agrónomo - UBA - 2015

Lugar de trabajo: Cátedra de Manejo y Conservación de Suelos, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires.



Escuela para Graduados Ing. Agr. Alberto Soriano
Facultad de Agronomía – Universidad de Buenos Aires

COMITÉ CONSEJERO

Director de Tesis

Marcelo Juan Massobrio

Ingeniero Agrónomo (Universidad de Buenos Aires)

Doctor en Calidad ambiental recursos vegetales y edáficos (Universidad de Vigo,
España)

Co-director de Tesis

Alberto Jorge Sfeir

Ingeniero Agrónomo (Universidad de Buenos Aires)

Magíster Scientiae en Ciencias del Suelo (Universidad de Buenos Aires)

Consejera de Tesis

María Leticia Sabatté

Ingeniera Agrónoma (Universidad Nacional de Lujan)

Doctora en Ciencia y Tecnología (Universidad Nacional de General Sarmiento)

JURADO DE TESIS

JURADO

Sergio Montico

Ingeniero Agrónomo (Universidad Nacional de Rosario)

Doctor en ingeniería (Universidad Nacional de Rosario)

JURADO

Olga Susana Heredia

Ingeniera Agrónoma (UBA)

Magíster Scientiae en Ciencias del Suelo (Universidad de Buenos Aires)

Doctora (Universidad de Buenos Aires)

JURADO

Ada Susana Albanesi

Ingeniera agrónoma (Universidad Nacional de La Plata)

Magíster Scientiae en Ciencias del Suelo (Universidad de Buenos Aires)

Fecha de defensa de la tesis: 12 de junio de 2020

Dedicatoria

A mis viejos y Lucho;
A Mai;
A la abuela y la tía;
A mis queridos amigos;
A Huguito y Emma.

Agradecimientos

A mi gran maestro Marcelo a quien le agradezco infinitamente haberme transmitido su forma de ver la agronomía, además de sus grandes consejos y ayudas.

A Cristina, por brindarme su amistad y recibirme tantas veces en Luján.

A Alberto por su gran ayuda y compromiso para realizar esta tesis.

A Leti por su apoyo y valiosos consejos.

A Adelia por su gran ayuda en la estadística.

A Silvia, por su gran ayuda en el análisis climático.

A Celio y Mario por su gran apoyo.

A Seba y Dai mis dos colegas y amigos.

A Leo y Kevin por ayudarme en los muestreos a campo.

A los integrantes de la Cátedra de Manejo.

A la FAUBA y a la UBA, por haberme formado y haberme otorgado una beca para poder realizar la maestría.

Al proyecto UBACyT Res. 20020130100690BA y UBACyT Res. 20020170100612BA por financiar esta tesis.

Declaro que el material incluido en esta tesis es, a mi mejor saber y entender, original producto de mi propio trabajo (salvo en la medida en que se identifique explícitamente las contribuciones de otros), y que este material no lo he presentado, en forma parcial o total, como una tesis en ésta u otra institución.

Publicaciones derivadas de la tesis

Cassani, M.T., Sabatté, M.L., González Arzac, A., Massobrio M.J. Mesofauna as an indicator of agroecosystem stability: degree of artificialization effect on land uses in Azul district, Argentina. *SN Appl. Sci.* 2, 324 (2020). <https://doi.org/10.1007/s42452-020-2119-3>

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ABREVIATURAS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN GENERAL.....	16
Estabilidad del ecosistema.....	16
Las comunidades de la criptofauna.....	17
Índices biológicos de estabilidad.....	17
La descomposición de rastrojos.....	18
HIPÓTESIS Y OBJETIVOS.....	19
Hipótesis.....	19
Objetivo general.....	19
Objetivos específicos.....	19
CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	20
ORGANIZACIÓN DE LA TESIS.....	23
CAPÍTULO I.....	24
SELECCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LOS SITIOS DE ESTUDIO.....	24
I.1. INTRODUCCIÓN.....	25
I.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	25
I.3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	25
I.3.1. Selección de los sitios de estudio.....	25
I.3.2. Parámetros climáticos.....	26
I.3.3. Muestreo de suelo.....	26
I.3.4. Análisis estadístico de datos.....	27
I.4. RESULTADOS.....	28
I.4.1. Selección de los sitios de estudio.....	28
I.4.2. Clima.....	28
I.4.3. Parámetros edáficos seleccionados para caracterización de los sitios de estudio.....	35
I.5. DISCUSIÓN.....	39
I.5.1. Clima.....	39
I.5.2. Suelo.....	40
I.6. CONCLUSIONES.....	41
CAPÍTULO II.....	42
LA MESOFAUNA.....	42

II.1.1 Microfauna.....	43
II.1.2. Macrofauna.....	43
II.1.3. Mesofauna.....	43
II.1.2. Aplicación de indicadores biológicos.....	46
II.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	47
II.3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	47
II.3.1. Muestreo de Mesofauna.....	47
II.3.2. Aplicación de indicadores biológicos.....	50
II.3.3. Tratamiento estadístico de la información.....	51
II.4. RESULTADOS.....	51
II.4.1. A campo.....	51
II.4.2. Laboratorio.....	58
II.5. DISCUSIÓN.....	65
II.5.1. A campo.....	65
II.5.2. Confrontación campo vs. Laboratorio.....	66
II.6. CONCLUSIONES.....	68
CAPITULO III.....	69
DESCOMPOSICIÓN DE RASTROJO.....	69
III.1. INTRODUCCIÓN.....	70
III.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	70
III.3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	71
III.3.1. A campo.....	71
III.3.2. En Laboratorio.....	73
III.3.3. Tratamiento estadístico de la información.....	75
III.4. RESULTADOS.....	76
III.4.1. Descomposición de rastros.....	76
III.4.1.1. Características del rastrojo.....	76
III.5. DISCUSIÓN.....	85
III.5.1. A campo.....	85
III.5.2. En laboratorio.....	86
III.6. CONCLUSIONES.....	89
CAPÍTULO IV CONCLUSIONES GENERALES.....	90
IV.1. SINTESIS.....	91
IV.2. CONCLUSIONES.....	93
BIBLIOGRAFÍA.....	95
ANEXOS.....	103

ANEXO 1 DATOS DE LA SERIE MAR DEL PLATA.....	103
ANEXO 2 ANÁLISIS DE SUELO.....	105
ANEXO 3 BIOLOGÍA.....	108
ANEXO 4 ANÁLISIS DE LA MESOFAUNA.....	109
ANEXO 5 DESCOMPOSICIÓN DE RASTROJOS.....	115

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización del área de estudio ubicada en el partido de Azul (Provincia de Buenos Aires) y caracterización de los diferentes ambientes presentes en la zona de Pablo Acosta.....	21
Figura 2: Subambiente de lomas periféricas dentro del ambiente serrano.....	22
Figura 3: Subambiente de lomas periféricas dentro del ambiente serrano.....	22
Figura 4: Temperaturas medias, mínimas medias y máximas medias mensuales para la serie 1997-2018.....	29
Figura 5: Precipitaciones totales anuales para cada año de la serie analizada (1931-2017), y año con mayor precipitación (año 2012) y menor precipitación (año 1935), para la localidad de Azul.....	31
Figura 6: Análisis de ACR para cada año de la serie analizada para la localidad de Azul.....	32
Figura 7: Resultado del test de Pettitt para la detección de cambios abruptos.....	32
Figura 8: Resultado del test de Hubert para la detección de cambios abruptos, para la localidad de Azul.....	33
Figura 9: Análisis espectral (MESA) para la serie 1931-2015, para la localidad de Azul.....	34
Figura 10: Precipitaciones mensuales acumuladas para los años 2016, 2017 y 2018 y el promedio mensual para la serie 1931-2017.....	34
Figura 11: Temperaturas medias mensuales para los años 2016, 2017 y 2018, y el promedio mensual para la serie 1997-2018.....	35
Figura 12: POM, OC y LOI para los cuatro sitios analizados.....	38
Figura 13: Tamaño de los diferentes organismos que habitan en el suelo.....	44
Figura 14: Cuadro con figuras de los subórdenes de Ácaros y Colémbolos.....	46
Figura 15: Sacabocados extraídos a campo de cada sitio de estudio.....	48
Figura 16: Armado de microcosmos.....	48
Figura 17: Microcosmos cubiertos con la malla de 1 mm.....	49
Figura 18: Microcosmos cubiertos con la malla de 1 mm.....	49
Figura 19: Extracción de mesofauna mediante el método Berlesse modificado.....	50
Figura 20: Total de individuos de mesofauna (ácaros+colémbolos) por metro cuadrado presentes en cada sitio.....	52
Figura 21: Total de <i>individuos · m⁻²</i> presentes en cada sitio. a: ácaros, b: colémbolos.....	52
Figura 22: Ácaros y colémbolos por metro cuadrado presentes en cada fecha de muestreo.....	53
Figura 23: Ácaros y colémbolos por metro cuadrado presentes para cada fecha dentro de cada sitio.....	54
Figura 24: Número de <i>individuos · m⁻²</i> de cada suborden de ácaro presentes en cada sitio.....	55
Figura 25: <i>individuos · m⁻²</i> de cada suborden de colémbolo presentes en cada sitio.....	56
Figura 26: Análisis discriminante de la mesofauna para los sitios bajo estudio.....	57
Figura 27: Indicadores de estabilidad para cada sitio de estudio.....	58
Figura 28: Total de individuos de mesofauna (ácaros+colémbolos) por metro cuadrado presentes en cada sitio.....	59
Figura 29: Total de <i>individuos · m⁻²</i> de ácaros y de colémbolos presentes en cada sitio.....	59
Figura 30: Ácaros y colémbolos por metro cuadrado presentes para cada fecha de muestreo....	60
Figura 31: Ácaros y colémbolos por metro cuadrado presentes para cada fecha en los distintos sitios.....	61
Figura 32: <i>individuos · m⁻²</i> de cada suborden de ácaro presentes en cada sitio.....	61
Figura 33: <i>individuos · m⁻²</i> de cada suborden de colémbolo presentes en cada sitio.....	62
Figura 34: Análisis de discriminante para los sitios estudiados en el ensayo en macetas.....	63
Figura 35: Indicadores de estabilidad para cada sitio de estudio. a: oribátida/prostigmata. b: ácaro/colémbolo.....	64
Figura 36: Tamaño del rastrojo utilizado para el armado de bolsitas de descomposición.....	71
Figura 37: Un conjunto de tres bolsas de descomposición de diferentes tamaños de malla.....	72

Figura 38: Conjuntos de bolsas de descomposición distribuidas en un sitio de trabajo.....	73
Figura 39: Un conjunto de 3 bolsas de descomposición en maceta. Nótese que no se cubrieron con rastrojo para poder ser fotografiadas.....	74
Figura 40: Diagrama del diseño experimental del ensayo en microcosmos por sitio, para los cuatro sitios.....	75
Figura 40: RR para cada sitio analizado en cada campaña a campo.....	79
Figura 41: RR para cada tamaño de fauna edáfica dentro de cada sitio para cada campaña a campo.....	80
Figura 42: RR para micro+mesofauna en cada sitio para las tres campañas a campo.....	81
Figura 44: Resultados de RR para cada sitio, RR de cada tamaño de criptofauna dentro de cada sitio y RR de micro+meso para cada sitio.....	84
Figura 45: Resultado del análisis de modelo mixto para la variable POM.....	105
Figura 46: Resultado del análisis de modelo mixto para la variable OC.....	106
Figura 47: Resultado del análisis de modelo mixto para la variable LOI.....	107
Figura 48: Análisis de Kruskal Wallis para la variable Colémbolos en ensayos a campo.....	109
Figura 49: Análisis de Kruskal Wallis para las variables poduromorfa, entonomorfa y symphypleona en ensayos a campo.....	109
Figura 50: resultado del análisis discriminante para el muestreo a campo.....	110
Figura 51: resultado del análisis discriminante para el muestreo en macetas.....	111
Figura 52: Análisis de Kruskal Wallis para la variable ácaros+colémbolos en ensayos a campo.....	112
Figura 53: Análisis de Kruskal Wallis para la variable oribátido, astigmata, mesostigmata y prostigmata en ensayos a campo.....	112
Figura 54: Análisis de Kruskal Wallis para la variable ácaros y colémbolos en ensayos en macetas.....	113
Figura 55: Análisis de Kruskal Wallis para la variable ácaros+colémbolos en ensayos en macetas.....	113
Figura 56: Análisis de Kruskal Wallis para la variable poduromorfa, entonomorfa y symphypleona en ensayos en macetas.....	114

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Datos del valor T para Azul y las localidades comparadas.....	30
Tabla 2: medidas resumen para las precipitaciones medias mensuales para la estación Aero-Azul (1931-2017).....	30
Tabla 3: Análisis de tendencia para la serie 1931-2015 para la localidad de Azul.....	33
Tabla 4: Porcentajes de carbono orgánico total (OC), materia orgánica particulada (POM), materia orgánica por calcinación (LOI) y materia orgánica (OM) para cada sitio y cada fecha de muestreo.....	36
Tabla 5: Diferentes parámetros químicos analizados: N-total (%), Fósforo ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), pH, CE ($\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$) en pasta y CE ($\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$) en extracto para cada sitio de estudio.....	36
Tabla 6: valores de densidad aparente para distintas fechas y sitios de muestreo.....	36
Tabla 7: Fechas de extracción de muestras de suelo a campo para el monitoreo de variables....	37
Tabla 8: Porcentajes de carbono orgánico total (OC), materia orgánica particulada (POM), y materia orgánica por calcinación (LOI) para cada sitio y cada fecha de muestreo.....	37
Tabla 9: Tasa de Descomposición de rastros ($\text{g} \cdot \text{año}^{-1}$) de la primer campaña para las variables sitio y tamaño de fauna edáfica.....	77
Tabla 10: Tasa de Descomposición de rastros ($\text{g} \cdot \text{año}^{-1}$) de la segunda campaña para la interacción sitio*tamaño.....	77
Tabla 11: Tasa de Descomposición de rastros ($\text{g} \cdot \text{año}^{-1}$) de la tercer campaña para las variables sitio y tamaño de fauna edáfica.....	78
Tabla 12: resultado de las pruebas a posteriori de la variable tasa de descomposición de rastros ($\text{g} \cdot \text{año}^{-1}$).....	82
Tabla 13: Resultado ANOVA, tasas de descomposición para la primera campaña a campo....	115
Tabla 14: Resultado ANOVA, tasas de descomposición para la segunda campaña a campo..	115
Tabla 15: Resultado ANOVA, tasas de descomposición para la tercera campaña a campo.....	115
Tabla 16: Resultado ANOVA, tasas de descomposición para el ensayo en laboratorio.....	115

ABREVIATURAS

RR: Rastrojo remanente (%)
POM: Materia orgánica particulada (%)
LOI: Materia orgánica por calcinación (%)
OC: Carbono orgánico total (%)
ACR: Anomalía centrada reducida
OM: Materia orgánica (%)
D.a.: Densidad aparente ($g \cdot cm^{-3}$)
CE: Conductividad eléctrica ($\mu S \cdot cm^{-1}$)
N-total: Nitrógeno total (%)

RESUMEN

El sistema edáfico regula los procesos más significativos a nivel de ecosistema: los procesos de producción y descomposición. Los agentes crónicos de estrés de origen antrópico incluyen los diferentes sistemas de labranza, que usualmente inciden en la métrica poblacional de las comunidades de fauna que habitan el suelo. Entre ellas la mesofauna edáfica es sensible a las perturbaciones naturales y antrópicas del medio produciendo cambios en su composición específica y su abundancia. Este comportamiento nos permitió seleccionarla como indicadora de los disturbios generados en la estabilidad del ecosistema por el uso de las tierras. Teniendo en cuenta estas consideraciones el objetivo de este proyecto fue evaluar el efecto de los factores geosféricos heredados frente a los factores crónicos de estrés sobre la diversidad de la mesofauna y su consecuencia sobre la descomposición de los rastrojos. El área de estudio se localizó en un ambiente de lomas periféricas del Partido de Azul. Se seleccionaron sitios de intensidad de uso de las tierras con diferente grado de artificialización. En cada sitio se analizaron parámetros edáficos físicos, químicos y biológicos. En los mismos se identificó la mesofauna y se realizó un ensayo a campo, con bolsas de descomposición (*litter-bag*), para medir el rastrojo remanente y la tasa de descomposición de los rastrojos. Se seleccionaron indicadores para determinar el grado de estabilidad del ecosistema y su relación con la descomposición de rastrojos. En laboratorio, en microcosmos, en condiciones controladas de humedad y temperatura se simuló las condiciones de los sitios y se midió el rastrojo remanente y la tasa de descomposición. La capacidad de descomposición de los rastrojos de las comunidades de mesofauna está condicionadas por la geósfera heredada y se expresaron a través de los distintos grados de artificialización de uso de las tierras. A campo los indicadores de estabilidad del ecosistema seleccionados fueron concluyentes al discretizar el sitio 1 (clausura) del resto de los sitios analizados. En los experimentos en microcosmos los diferentes indicadores aplicados dieron resultados distintos de los observados a campo y variaron de un indicador a otro.

Palabras claves: geósfera, sistemas complejos, artificialización del uso de la tierra, criptofauna, rastrojo remanente.

ABSTRACT

The soil system regulates the most significant processes at the ecosystem level: the processes of production and decomposition. The chronic stress agents of anthropogenic origin include the different tillage systems, which usually affect the population metrics of the fauna communities that inhabit the soil. Among them, the edaphic mesofauna is affected by natural and anthropogenic disturbances of the environment, producing changes in their specific composition and abundance. This behavior allowed us to select it as an indicator of disturbances generated in the stability of the ecosystem caused by land use. With these considerations, the objective of this project was to evaluate the effect of inherited geospheric factors versus chronic stress factors on mesofauna diversity and their consequence on stubble decomposition. The study area was located in an environment of peripheral hills of the Partido de Azul. Sites of intensity of land use with different degree of artificialization were selected. Physical, chemical and biological soil parameters were analysed at each site. The mesofauna was identified and a field test was carried out with decomposition bags (litter-bag) to measure the remaining stubble and the rate of decomposition of the stubble. Indicators were selected to determine the degree of stability of the ecosystem and its relationship with the decomposition of stubble. In the laboratory, in microcosms, under controlled conditions of humidity and temperature, the conditions of the sites were simulated and the remaining stubble and the rate of decomposition were measured. The decomposition capacity of the stubble of the mesofauna communities is conditioned by the inherited geosphere and expressed through the different degrees of artificialization of land use. In the field, the indicators of ecosystem stability selected were conclusive when discretizing site 1 (closure) from the rest of the sites analysed. In the microcosm experiments, the different indicators applied gave different results from those observed in the field and varied from one indicator to another.

Keywords: geosphere, complex systems, artificialization of land use, cryptofauna, residual stubble.

INTRODUCCIÓN GENERAL

Cuando el hombre por desidia, ignorancia o falta de alternativas abusa de los recursos que le proporciona el ambiente, el equilibrio natural se altera, desencadenando procesos que culminan en una intensa degradación de la biota, el suelo, el agua y el aire. El grado de alteración de ese equilibrio depende principalmente del grado de fragilidad natural, la intensidad de su uso y la irracionalidad de su manejo (Massobrio, 2004).

En los últimos años ha aumentado la preocupación respecto de los tipos de utilización y manejo del ecosistema edáfico como un medio capaz de contribuir al bienestar del hombre a través del tiempo. Si bien la calidad del suelo está conceptualizada como el principal eslabón entre las estrategias para las prácticas de manejo y la ejecución de los principales objetivos para el logro de una agricultura sostenible no debe dejar de ser vista en términos del funcionamiento óptimo del suelo en el ecosistema (Doran et al., 1996). Paralelamente los investigadores en la problemática de la conservación y manejo del suelo han hecho grandes progresos en la descripción y comprensión de las complejas interacciones biológicas, biofísicas y bioquímicas del suelo (Nakamura, 1989; Deleporte y Tillier, 1999; Massobrio, 2003; Massobrio et al., 2012). Estas interacciones acondicionan al suelo como hábitat para las redes tróficas de la criptofauna edáfica y la vegetación. En este sentido, el suelo regula los procesos más significativos a nivel de ecosistema: los procesos de producción y descomposición. Los agentes crónicos de estrés, generalmente de origen antrópico, incluyen los diferentes sistemas de labranza, que inciden en la métrica poblacional de las comunidades de fauna que habitan el suelo.

Estabilidad del ecosistema

El uso de los ecosistemas donde se hace agricultura (sensu lato) debe ser analizado en el contexto de su fragilidad ambiental. Ésta afecta a la cosecha sostenida del ecosistema, conduciéndola a estados diferentes del óptimo desde el punto de vista humano, en una trama de tendencia destructiva conocida como enfermedad ecosistémica (Massobrio, 1998, 2004). El paisaje es alterado por efecto de las actividades antrópicas y, al mismo tiempo éste afecta la calidad de vida. Un paisaje es una red multidimensional espacio temporal. En él conviven los distintos atributos geosféricos: clima, relieve, roca, suelo, hidrología, flora y fauna conjuntamente con el hombre, con sus sistemas materiales (las intervenciones que pueden ser visualizadas y cuantificadas) e inmateriales (sistemas socio culturales).

Un paisaje es un sistema complejo. Los sistemas complejos están constituidos por muchos componentes que a su vez son factores generando sistemas de interface favoreciendo comportamientos globales que se encuentran interrelacionados (Massobrio, 2003, 2004; García, 2007; Massobrio et al., 2013). La naturaleza posee una fuerte tendencia a estructurarse en forma de entes discretos excitables que interactúan y que se organizan en niveles jerárquicos de complejidad. Con esta consideración los sistemas complejos no son en ningún sentido casos raros ni curiosidades, muy por el contrario, dominan la estructura y función del universo y se constituyen y se manifiestan en la inmensa mayoría de los fenómenos observables (García, 2007).

La complejidad está asociada a las propiedades que emergen gracias a la interacción de varios elementos constituyentes. Se relaciona además con la generación espontánea de orden que se muestra en diversas escalas temporales y espaciales en las

que ocurren las interacciones, sin la presencia de un control central, o de un plan predefinido-tanto en el diseño estructural de los elementos y/o codificado en los mecanismos de interacción. Tanto los procesos físicos (meteorización, adsorción, desorción, intercambio de agua y aire, etc.), como los químicos (intercambio de iones, disolución y precipitación, etc.) y biológicos (descomposición bioturbación, crecimiento radicular, etc.) tienen lugar a escalas espaciales y temporales características y, a veces, involucran un cierto rango de escalas manteniendo ciertas cualidades invariantes en todas ellas. Así por ejemplo el ecosistema edáfico es un resultado histórico y, se podría decir que es un resultado evolutivo. Como tal, se puede suponer que ha estado sometido a procesos de selección (“sensu lato”) que han producido sistemas con una alta eficiencia en el procesado y disipación de la energía externa que reciben. Ese resultado evolutivo, otorga propiedades a los sistemas, llamada resiliencia ecológica la cual determina la persistencia de las relaciones dentro del sistema y la capacidad de absorber las variables de estado, las variables de conducción y de sus parámetros, frente a factores de estrés, y persistir. A su vez, la resiliencia ingenieril es la capacidad de un sistema de volver a un estado de equilibrio después de una perturbación temporal (Massobrio, 2003). Teniendo en cuenta estas consideraciones los sistemas edáficos están en un régimen de criticalidad, característico de sistemas capaces de evolucionar que les permite mantener un cierto control sobre su estado, al mismo tiempo que le da “adaptabilidad” a nuevos regímenes de perturbación (Massobrio, 2003, 2004; Massobrio et al., 2013).

Por último, puede considerarse que los sistemas naturales comprenden una jerarquía de sistemas auto-organizados anidados, estabilizados por relaciones de cooperación y enfocados en límites espaciales y temporales. Por lo tanto, la función del suelo se concibe como una jerarquía de efectos multiplicadores que vinculan los procesos de pequeña escala y rápido desarrollo con los procesos de escala cada vez mayor y más lentos. Esta analogía con los dispositivos mecánicos se apoya en la observación de escalas discretas para las interacciones en el suelo. Tiende a invalidar modelos que presentarían la función del suelo como redes complejas de interacciones con una organización estocástica (Kaufmann, 1993; Perry, 1995).

La naturaleza y las cualidades de las interacciones que se producen entre todos los componentes revelan progresivamente su importancia a medida que los estudios pasan del primer paso de una evaluación bruta de los procesos a escalas más finas y microprocesos largamente ignorados (Lavelle et al., 2006).

Las comunidades de la criptofauna

Los procesos de producción y descomposición en un agroecosistema no pueden ser entendidos o manipulados sin considerar la composición y actividad de las redes tróficas que habitan el suelo (Brussaard et al., 1997; Lavelle et al., 2006). Las comunidades de la fauna edáfica o criptofauna juegan un rol clave en el funcionamiento de los ecosistemas, ya que controlan en buena medida la velocidad de descomposición de la materia orgánica, participan en los ciclos biogeoquímicos y en la formación y mantenimiento de la estructura del suelo (Coleman & Whitman, 2005; Moore et al., 2005).

Índices biológicos de estabilidad

Tradicionalmente, los sistemas de producción agrícola han sido evaluados mediante el concepto de calidad, donde utilizan indicadores de índole química y física, con algunas propiedades estudiadas por excelencia, como, por ejemplo: contenido de materia orgánica, densidad aparente, etc. (Domínguez, 2012). En las últimas décadas se han intensificado las búsquedas de diferentes medios para caracterizar el estado de conservación del medio edáfico. El uso de índices biológicos es un método eficaz que utiliza a la Mesofauna edáfica como indicadora de la estabilidad del ecosistema. El número, la densidad y el balance de sus grupos permiten predecir y evaluar las transformaciones ocasionadas por la aplicación de diferentes métodos de producción agrícola en condiciones edafoclimáticas específicas, así como considerar integralmente el funcionamiento del ecosistema. (Scheu, 2002; Socarrás, 2013). La utilización de los diferentes grupos de Mesofauna en la evaluación de la estabilidad del ecosistema conlleva a un análisis del grado de sensibilidad frente a las perturbaciones ocasionadas por el hombre. Para lograr una correcta interpretación de lo que ocurre en el ambiente, se debe hacer un estudio de la ecología de cada grupo, logrando así predicciones e interpretaciones acertadas en la conservación de los suelos (Socarrás, 2013).

La descomposición de rastrojos

Actualmente la mayoría de la producción primaria neta de biomasa vegetal del mundo ingresa en el sistema edáfico para ser consumida y luego descompuesta en formas minerales para posteriormente ser reabsorbidas por las plantas. Por lo tanto, el proceso de descomposición es el segundo proceso ecosistémico más importante después de la producción primaria de biomasa (Wilkinson, 1998). La descomposición de rastrojos depende principalmente de la relación entre los diferentes organismos que habitan el agroecosistema: los productores y los descomponedores.

La fauna que habita el suelo responde a los factores crónicos de estrés por el uso de las tierras como resultado de las perturbaciones físico-químicas que son producidas en su hábitat (Lavelle & Spain, 2001). Las comunidades de la criptofauna son sensibles a las prácticas de manejo y las perturbaciones del sistema edáfico (Pankhurst et al., 1997; Massobrio et al., 2012). La criptofauna cumple un rol clave en los procesos de descomposición de la materia orgánica (Brussaard et al., 1997; Lavelle et al., 2006). Y por lo tanto las complejas relaciones entre los diferentes grupos de criptofauna afectan en gran medida la tasa de la descomposición de rastrojos (Swift et al., 1979).

HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

Teniendo en cuenta las consideraciones planteadas con anterioridad los objetivos e hipótesis de este proyecto de tesis son:

Hipótesis

- H1-La capacidad de descomposición de los rastrojos de las comunidades de Mesofauna está gobernada por los distintos factores geosféricos heredados.
- H2-Alternativa: Los factores crónicos de estrés por los sistemas de uso de las tierras condicionan la capacidad de descomposición de los rastrojos de las comunidades de la Mesofauna.
- H3-Síntesis: La capacidad de descomposición de los rastrojos de las comunidades de Mesofauna está gobernada por los distintos factores geosféricos heredados, pero se expresa a través de los distintos grados de artificialización de uso de las tierras.

Objetivo general

Evaluar el efecto de los factores geosféricos heredados frente a los factores crónicos de estrés por el uso de las tierras, que usualmente inciden en la métrica poblacional de las comunidades de mesofauna, el grado de estabilidad del ecosistema a través de indicadores biológicos y su consecuencia sobre la descomposición de los rastrojos en geoambientes de lomas Periféricas del Partido de Azul, provincia de Buenos Aires.

Objetivos específicos

- 1-Seleccionar los sitios de estudio teniendo en cuenta distintos grados de artificialización por el uso de las tierras.
- 2-Cuantificar los parámetros climáticos y edáficos presentes en los sitios de estudio.
- 3-Describir y comparar la mesofauna en los sitios bajo estudio.
- 4-Estimar el grado de estabilidad del ecosistema a través de indicadores biológicos.
- 5-Calcular la tasa de descomposición de los rastrojos, el porcentaje de rastrojo remanente y analizar el efecto de la mesofauna sobre los mismos.

CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El Partido de Azul está ubicado en el centro de la Provincia de Buenos Aires, en la región pampeana (36,13°37,27' S y 59,08°60,12' O), posee una superficie de 661500 ha y se encuentra limitado por los partidos de Tapalqué, Las Flores, Rauch, Tandil, Benito Juárez y Olavarría.

Este territorio abarca dos regiones hidrográficas (cuenca inferior y alta cuenca) con tres cuencas endorreicas que corresponden a las del Arroyo del Azul, Arroyo de Los Huesos y Arroyo Tapalqué. Al sur del partido (alta cuenca) se pueden diferenciar tres ambientes físico-geográficos: 1) ambiente serrano (18.176 has); 2) ambiente periserrano (aproximadamente 65.344 has) y 3) ambiente ondulado de piedemonte (89.388 has) (Figura 1).

En el ambiente serrano los cauces se comportan como ríos de montaña, con tendencia a diseños subparalelos y constituyen los colectores del importante escurrimiento superficial y subsuperficial presente en las tierras de este sector del partido, donde existen cursos intermitentes, sectores de vaguadas y de cubetas alineadas. Fisiográficamente este ambiente está integrado por dos subambientes denominados “Lomas periféricas” y “Cerros” donde predomina un relieve muy ondulado y escarpado, con pendientes en diversas orientaciones (Piscitelli y Sfeir, 1993).

Estas tierras presentan algunas limitantes para su uso y manejo producto de los paisajes que ellas integran, y otras que están vinculadas a la acción que ha ejercido el hombre sobre las mismas. La pedregosidad, la rocosidad, los suelos muy someros, la inclinación de los terrenos y la inaccesibilidad son características heredadas, que conjuntamente a las características edáficas generan fragilidad a la erosión hídrica, la cual se manifiesta por el uso irracional de las tierras en procesos de degradación con distinto grado de intensidad (Sabatté et al., 2009). El uso de la tierra en el partido de Azul, históricamente ganadero, fue reemplazado en los últimos 25 años por un uso agrícola (Vásquez et al., 2016) que conjuntamente con los nuevos sistemas de labranza, incursionó en ambientes más frágiles aún, desplazando la ganadería a los pastizales serranos de menor productividad.

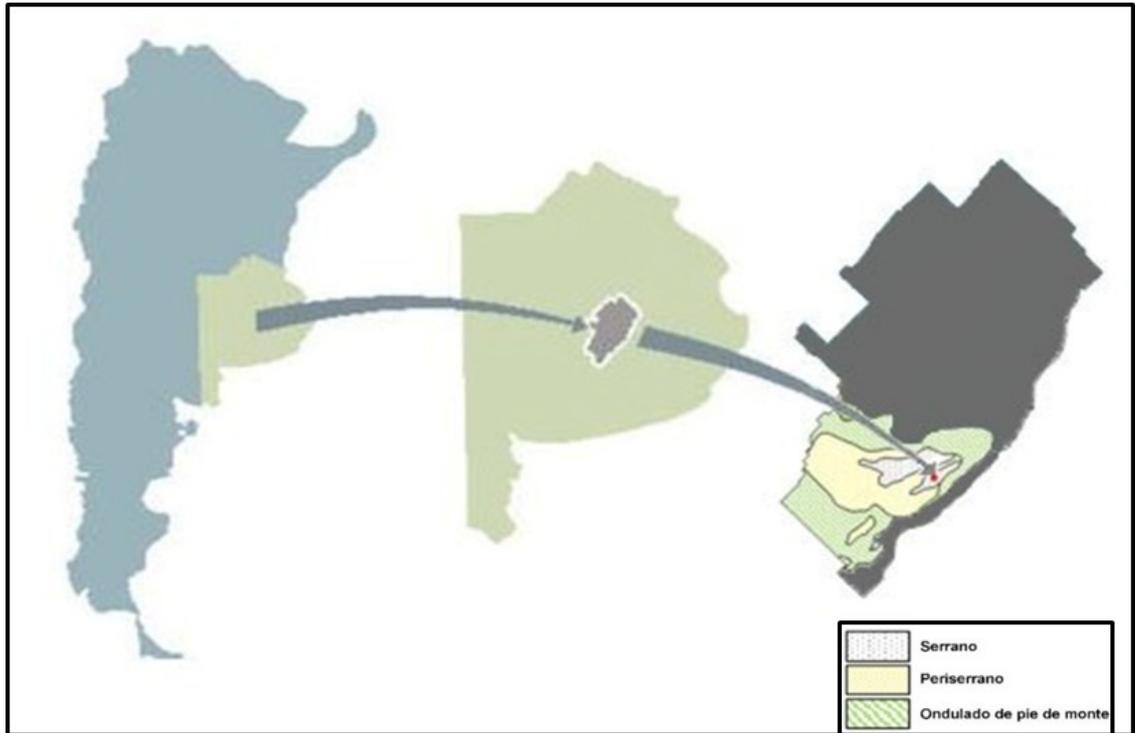


Figura 1. Localización del área de estudio ubicada en el partido de Azul (Provincia de Buenos Aires) y caracterización de los diferentes ambientes presentes en la zona de Pablo Acosta.

El trabajo se localizó en las Lomas Periféricas del partido de Azul. Las mismas poseen un relieve ondulado, muy suavemente convexo-cóncavo, con pendiente hasta el 5% y una longitud de 500m. Los suelos presentes son Argiudoles típicos, líticos y petrocálcicos, y hapludoles líticos y petrocálcicos (Piscitelli y Sfeir, 2004). Se caracteriza por la fragilidad de las tierras donde el proceso de agriculturización se manifestó en forma tardía a pesar de la potencialidad productiva de las mismas (Figuras 2 y 3).



Figura 2: Subambiente de lomas periféricas dentro del ambiente serrano



Figura 3: Subambiente de lomas periféricas dentro del ambiente serrano.

ORGANIZACIÓN DE LA TESIS

Para el desarrollo de los objetivos propuestos, la tesis se organiza de la siguiente manera:

- En el Capítulo 1, “Selección y caracterización de los sitios de estudio”, donde se desarrollan los objetivos 1 y 2. Selección de los sitios de estudio. Metodología para el análisis climático y del suelo presente en los sitios.
- En el Capítulo 2 “La Mesofauna”, se desarrollan los objetivos 3 y 4. Descripción de la mesofauna y su rol en el ecosistema edáfico. Análisis de las métricas poblacionales presentes en cada sitio (a campo y en microcosmos). Aplicación de indicadores de estabilidad del agroecosistema.
- En el Capítulo 3 “Descomposición de rastrojos”, se desarrolla el objetivo 5. Cálculo de la tasa de descomposición de rastrojos, el porcentaje de rastrojo remanente y el efecto de la mesofauna sobre los mismos (a campo y en microcosmos).
- En el capítulo 4 “Conclusiones generales”, se desarrolla una síntesis de los objetivos y puesta a prueba de las hipótesis en relación a los resultados y la discusión.

CAPÍTULO I
SELECCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LOS SITIOS DE ESTUDIO

I.1. INTRODUCCIÓN

La evolución de los sistemas naturales hacia nuevos estados de equilibrio ocurre naturalmente: La erosión (geológica) de la superficie terrestre es un proceso inevitable e incluso necesario para la formación del suelo y el establecimiento de distintas formas de vida, que ocurre en tiempos geológicos. Sin embargo, éste y otros procesos pasan a ser indeseables cuando se ven acelerados por las actividades humanas (procesos de degradación) con consecuencias generalmente desfavorables para el bienestar del hombre. Dado que muchos de estos procesos sólo pueden ser revertidos en cientos o miles de años, adquieren el carácter de irreversibles en la escala temporal humana. El grado de alteración de este equilibrio, así como la tasa a la que ocurren los procesos que la originan, dependen principalmente del grado de estabilidad del medio natural, la intensidad de su uso y la irracionalidad de su manejo (FAO, 1980; Massobrio et al., 1993).

I.2. LOS OBJETIVOS ESPECÍFICOS DE ESTE CAPÍTULO SON:

- 1-Seleccionar los sitios de estudio teniendo en cuenta distintos grados de artificialización por el uso de las tierras.
- 2-Cuantificar los parámetros climáticos y edáficos presentes en los sitios de estudio seleccionados.

I.3. MATERIALES Y MÉTODOS

I.3.1. Selección de los sitios de estudio

Dentro del ambiente de lomas periféricas, se seleccionaron 4 sitios de trabajo siguiendo un gradiente en relación con los distintos grados de artificialización de uso de las tierras, presuponiendo diferentes niveles de estabilidad en cada sitio. Los distintos sitios presentaron diferencias en la secuencia de sistemas de labranzas en el tiempo. Además, con el objetivo de anular el efecto del relieve en el desarrollo de los suelos, su humedad y temperatura, los sitios bajo estudio presentaron homogeneidad en relación con su posición en el paisaje.

Para identificar los suelos presentes en los sitios seleccionados se realizó un análisis de correlación a campo de las series descriptas en la Carta de Suelos de la República Argentina, 3760-22-Chillar, hoja Mariano Acosta, siendo la serie Mar del Plata, Argiudol Típico, Limosa fina, mixta, muy profunda, térmica la dominante para el ambiente bajo estudio (INTA, 1970; Soil Taxonomy, 2006). Se realizó una transecta en la curva de nivel 240 msnm y mediante pozos de observación hasta 80 cm de profundidad con barreno se describieron los rasgos morfológicos para verificar las series de suelos descriptas por INTA en los distintos sitios. Los datos morfológicos y analíticos de dicha serie se presentan en el anexo I.

I.3.2. Parámetros climáticos

Se analizaron las series climáticas históricas de la localidad bajo estudio, utilizando la siguiente metodología: Elección de la escala espacio-temporal. Previo al análisis climático de las series de precipitación, el procesamiento de los datos comprendió:

El control de calidad de los datos: Outliers, falta de datos;

La prueba de Homogeneidad: Prueba Standard Normal Homogeneity Test (SNHT) de Alexandersson y Moberg (1997);

Prueba de aleatoriedad: Prueba de aleatoriedad de Von Neumann ratio (Von Neumann, 1941).

La evolución temporal de las series climáticas se analizó a través:

Anomalía centrada reducida (ACR), la cual se obtiene restando cada observación de precipitación anual por la media de precipitaciones anuales y luego dividir, ese resultado, por el desvío estándar.

$$ACR = \frac{X_i - \bar{X}}{\sigma}$$

Detección de cambios abruptos: Método de Pettitt (1979), Método de Hubert (1989). Para ello se utilizó el software Khonostat (IRB, 2002).

La Tendencia en las series climáticas fue analizada a través de la Prueba de Mann Kendall según la versión descripta por Helsel y Hirsch (1992)

Se estudiaron también, el Análisis espectral de máxima entropía (MESA), con el fin de buscar y cuantificar los períodos significativos presentes en las series temporales (Burg, 1975; Ross, 1975; Ulrich y Bishop, 1975). Consiste en obtener el espectro de una serie temporal a través de la combinación de un proceso autorregresivo (AR) y de un proceso basado sobre la media móvil (MA) constituyendo el modelo ARMA con el método de máxima entropía. Permite detectar bajas frecuencias, que son de gran interés en el estudio de recurrencia climática (Pérez et al., 2013).

En los ensayos en laboratorio se realizó un análisis de humedad y temperatura, registrado por un DataLogger.

I.3.3. Muestreo de suelo

En los sitios seleccionados a campo, se tomaron muestras de suelo compuestas de cinco submuestras cada una a la profundidad de 0-10 cm. Las mismas fueron acondicionadas y transportadas al laboratorio, donde se secaron al aire y luego se tamizaron utilizando una malla de 2 mm de diámetro y fueron guardados en bolsas plásticas para posteriores análisis.

Los parámetros de las muestras de los suelos estudiados se determinaron por métodos estandarizados, (Page et al., 1982; Klute, 1986; Nelson y Sommers, 1996) los que se detallan a continuación:

Materia Orgánica (OM): Calcinación oxidación con $K_2Cr_2O_7$ (1N) y H_2SO_4 (96%).

Materia Orgánica Particulada (POM $>50 \mu$); permite discretizar diferentes prácticas de manejo en espacios temporales más cortos (Eiza et al., 2005; Duval et al., 2016).

Carbono Orgánico Total (OC); LECO Modelo CR12. Es un método muy confiable, permite separar diferentes sitios frente a diferentes prácticas de manejo (Duval et al., 2016).

Materia Orgánica por Calcinación (LOI) (Loss on ignition); Permite separar diferentes sitios frente a diferentes prácticas de manejo (Eyherabide et al., 2014).

pH: relación sedimento-agua (1: 2,5);

Conductividad eléctrica: en pasta y en extracto;

Nitrógeno total: método Micro-Kjeldahl;

Fósforo Disponible: extracción método Bray y Kurtz;

Densidad Aparente: método del cilindro.

Las comunidades de la criptofauna son sensibles a las prácticas de manejo y las perturbaciones del sistema edáfico (Pankhurst et al., 1997; Massobrio et al., 2012). La materia orgánica está relacionada con las perturbaciones antrópicas, variando su contenido con los distintos niveles de artificialización por el uso (Eiza et al., 2005; Eyherabide et al., 2014; Duval et al., 2016). Consecuentemente, se seleccionaron distintas maneras de expresar la materia orgánica (POM, LOI, OC), como los parámetros de análisis de suelo, para la problemática desarrollada en este trabajo, considerados más adecuados debido a su estrecha relación con las propiedades biológicas del suelo con el comportamiento de la mesofauna. (Martelli, 2010; Cassani et al., 2016).

I.3.4. Análisis estadístico de datos

Se analizó de manera estadística las diferencias en POM, OC y LOI para los cuatro sitios bajo estudio, correspondientes a los muestreos del mes de mayo del 2017, enero y septiembre del 2018. Dichos valores fueron sometidos a pruebas de homogeneidad de varianzas y de normalidad. Como las variables fueron medidas en varias ocasiones en los mismos sitios, estamos ante un análisis de medidas repetidas en el tiempo, en donde no se cumple con el supuesto de independencia de las observaciones. Para ello mediante la interfaz de Infostat con R (Di Rienzo et al., 2018), se utilizaron modelos mixtos para el análisis y así poder comparar entre los diferentes sitios. Cuando se encontraron diferencias significativas se aplicó el test LSD Fisher para la comparación de medias ($p \leq 0,05$).

Para el graficar las diferentes variables climáticas se utilizó el software Microsoft Excel®. Para el gráfico de las variables edáficas se utilizó el software GraphPad Prism®.

I.4. RESULTADOS

I.4.1. Selección de los sitios de estudio

Los sitios seleccionados se detallan a continuación:

Sitio	Nombre	Características
1	Clausura	Clausura de 25 años. Este lote fue cercado para investigación, donde se impidió el acceso de animales y la siembra. Este posee una pradera naturalizada.
2	Sara I Of	Siembra Directa a favor de la pendiente durante 10 años y luego Siembra Directa hasta la actualidad, 15 años.
3	Sara I Rf	Labranza con reja y vertedera a favor de la pendiente durante 10 años y luego Siembra Directa hasta la actualidad, 15 años.
4	Sara II	Diferentes tipos de labranzas desde hace 25 años a la actualidad (arado de reja y vertedera, discos y siembra directa).

Los sitios seleccionados se ubicaron en la misma curva de nivel (240 m.s.n.m.) con una pendiente del 2%, orientación noreste.

De los trabajos de campo se confirma que todos los sitios poseen un suelo clasificado como serie Mar Del Plata, Argiudol Típico, Limosa fina, mixta, muy profunda, térmica. (INTA, 1970; Soil Taxonomy, 2006)

Las rotaciones para los sitios agrícolas (sitios 2, 3 y 4) desde el 2015 hasta fines del 2018 fueron:

Sitio 2 y 3: trigo/soja-maíz-girasol-maíz.

Sitio 4: trigo/soja-girasol-maíz-maíz.

I.4.2. Clima

Según la clasificación de Köppen, el partido de Azul posee un clima templado húmedo con influencia oceánica, inviernos suaves, veranos cortos y frescos y presenta todas las estaciones húmedas. Pertenece a la región húmeda-subhúmeda (INTA, 1989).

Se obtuvieron datos de la serie 1997-2018 de la Estación Meteorológica Aero-Azul, localizada en la Ciudad de Azul para las temperaturas. Se observa en la figura 4 las temperaturas medias, mínimas y máximas mensuales, donde la media para Azul se ubicó en torno a los 21,8 °C para el mes de enero y los 7 °C para el mes de julio (NOAA, 2019). Las temperaturas máximas medias son de 31,4 °C para el mes de enero y las mínimas medias de -1,4 °C para el mes de julio (figura 4).

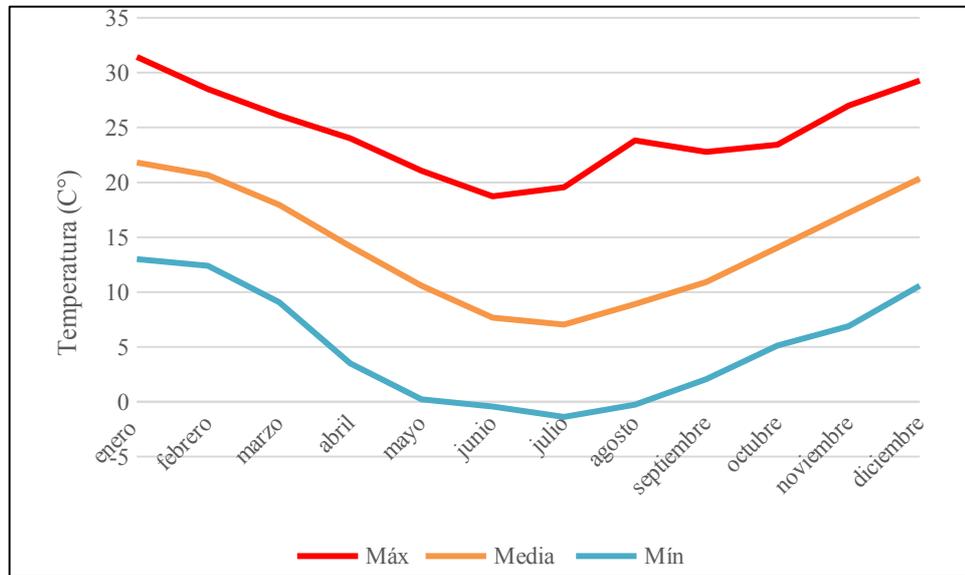


Figura 4: Temperaturas medias, mínimas medias y máximas medias mensuales para la serie 1997-2018

Para la serie de precipitaciones medias mensuales 1931-2015 de la Estación Meteorológica Aero-Azul (SMN, 2018), localizada en las afueras de la Ciudad de Azul, se procedió a realizar el análisis del test de Homogeneidad SNHT de Alexandersson y Moberg (1997) (tabla 1), que permitió corroborar la homogeneidad de los datos climáticos comparándolos con datos de localidades cercanas, para así verificar que no hubo variaciones de datos por relocalización de la estación meteorológica, ausencia de toma de datos en algunos años o cambios en las prácticas observacionales. Por lo tanto, se analizaron las series de precipitaciones anuales de Azul y de las localidades de Balcarce, Carlos Casares, General La Madrid y Saladillo. Todas las localidades presentaron un valor de T menor que el valor crítico (Khaliq y Quarda, 2007), pudiendo considerarse homogéneas al nivel de significación $\alpha = 0,05$ (tabla 1). Por lo tanto, las variaciones que se encontraron en los datos climáticos se originaron en las variaciones del tiempo y del clima. Esto permitió continuar con el análisis climático.

Tabla 1: Datos del valor T para Azul y las localidades comparadas

Localidad	Valor T
Azul	4,64
Balcarce	8,307
Carlos casares	4,48
Gral. La Madrid	7,602
Saladillo	8,488

Con los datos de las series climáticas de precipitaciones mensuales se procedió a realizar un análisis estadístico básico (tabla 2). Se observó una media anual de precipitaciones de 921 mm. El valor de precipitaciones mínimo anual fue de 590 mm, correspondiente al año 1935 (figura 5) y el de máximo anual de 1449 mm, ocurrido en el año 2012 (figura 5).

El valor de máxima precipitación para un mes fue de 601 mm, correspondió al mes de abril. Valores de ausencia de precipitación, fueron observados en los meses de marzo, abril, mayo, junio, agosto y septiembre. A su vez, los restantes meses del año para la serie analizada, presentaron valores mínimos registrados muy por debajo de la media. (Tabla 2).

Tabla 2: Medidas resumen para las precipitaciones medias mensuales para la estación Aero-Azul (1931-2017).

	En	Feb	Mar	Abr	Ma	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anua
	e				y								l
Media	97	90	121	79	66	44	44	47	63	91	92	88	921
D.E.	56	47	63	75	55	41	33	48	41	62	53	45	181
CV	58	52	52	94	83	94	76	102	66	69	58	52	20
Mín	7	13	0	0	0	0	1	0	0	2	2	10	590
Máx	254	221	316	601	335	274	161	310	165	451	231	214	1449

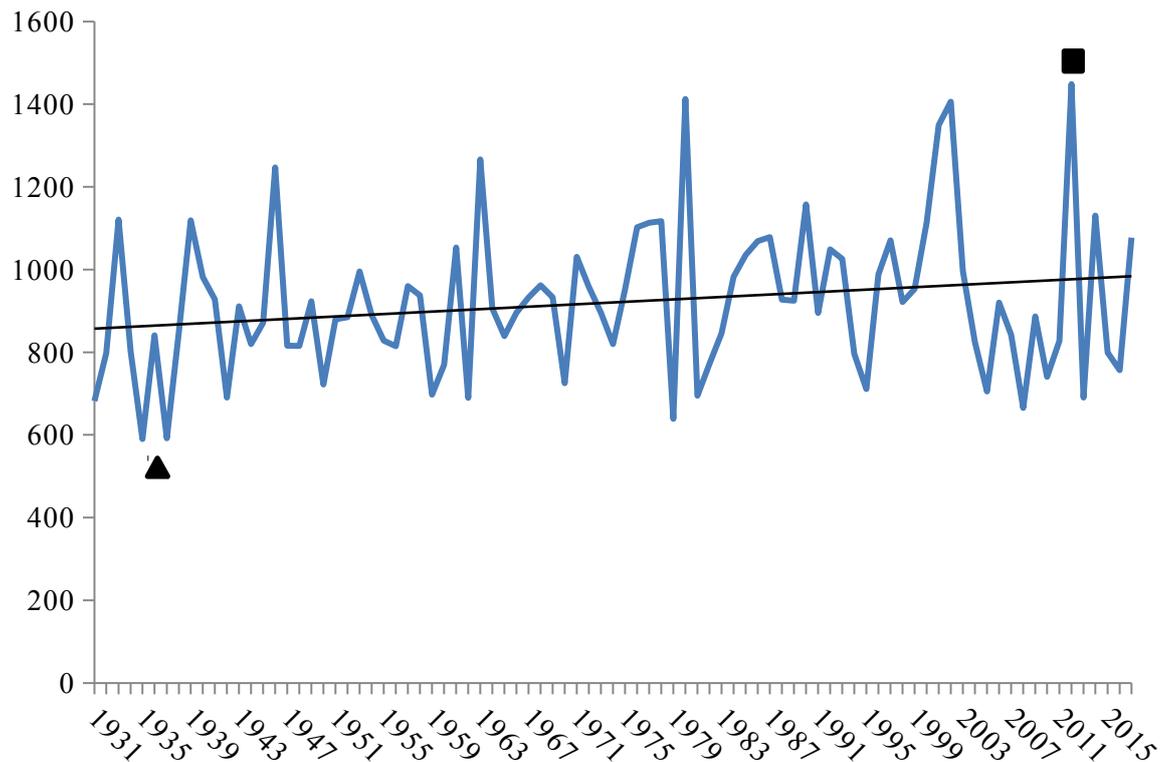


Figura 5: Precipitaciones totales anuales para cada año de la serie analizada (1931-2017), y año con mayor precipitación ■ (año 2012) y menor precipitación ▲ (año 1935), para la localidad de Azul. Se muestran la línea de tendencia, donde se observa el leve incremento de las Precipitaciones en el tiempo.

Se realizó el análisis de la Anomalía Central Reducida (ACR) (figura 6). Se observaron picos de grandes eventos de precipitaciones y también sequías. Para los años 1933, 1939, 1946, 1963, 1977, 1978, 1980, 1990, 2000, 2001, 2002, 2012 y 2014 se observaron anomalías con más de 1 veces los desvíos estándar, correspondientes a grandes precipitaciones. En los años 1935, 1937, 1942, 1950, 1959, 1962, 1970, 1979, 1981, 2005, 2008 y 2013 se detectaron anomalías con más de -1 desvió estándar, correspondientes de sequias muy intensas.

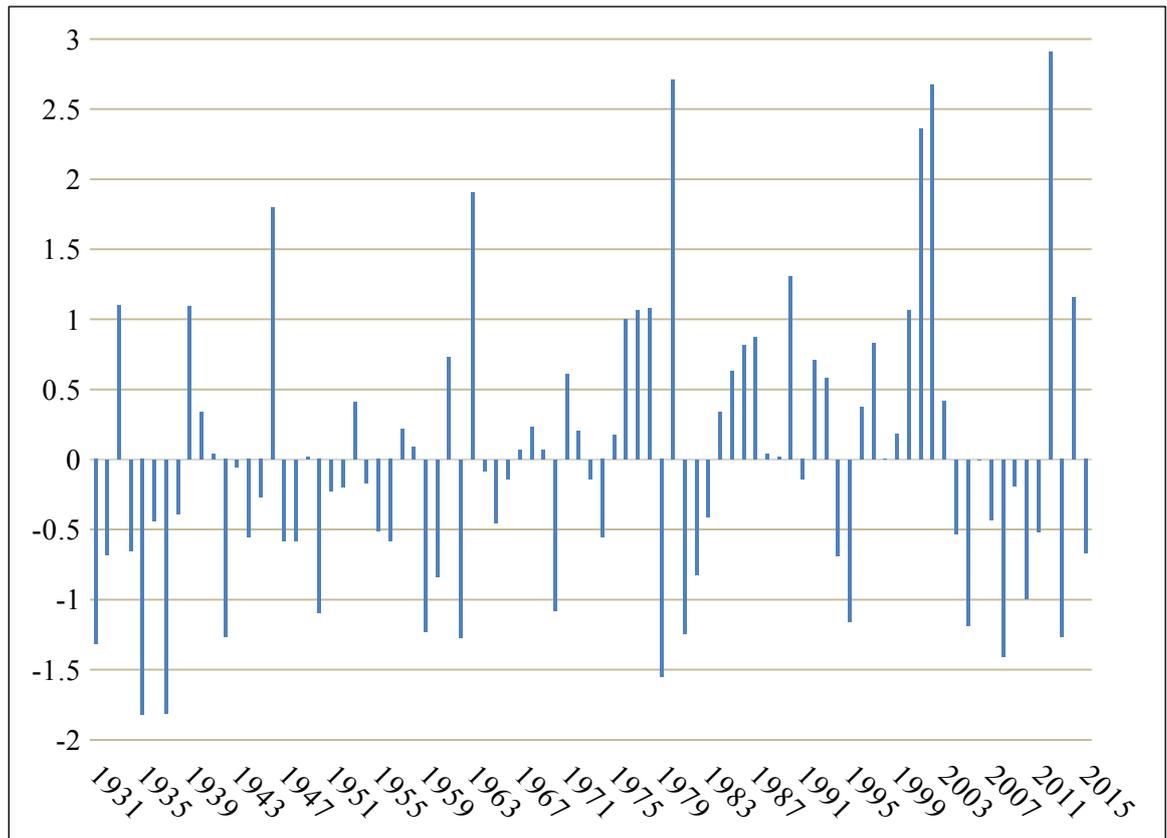


Figura 6: Análisis de ACR para cada año de la serie analizada para la localidad de Azul.

Se procedió a la realización de la detección de cambios abruptos con el programa Khronostat (IRD, 2002), en donde se pusieron a prueba los test de Pettitt (1979) y Hubert (1989) (figura 7 y 8).

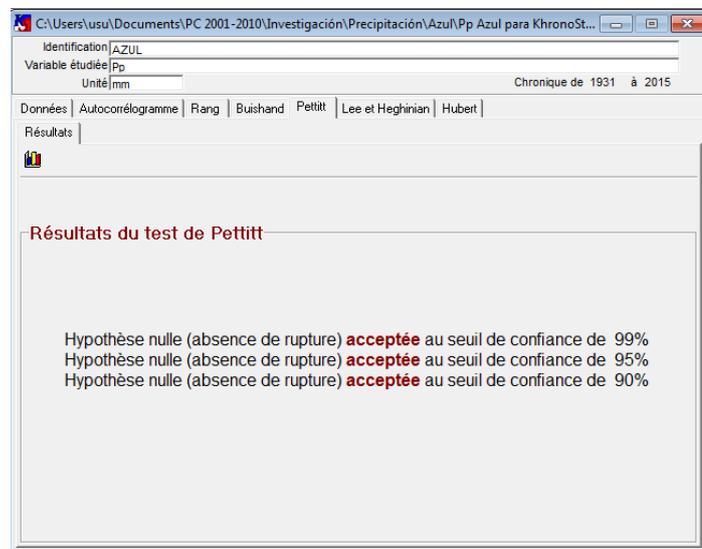


Figura 7: Resultado del test de Pettitt para la detección de cambios abruptos.

En el test de Pettitt se puso a prueba la hipótesis nula de ausencia de cambios abruptos, dando como resultado el no rechazo de la hipótesis nula, para los tres niveles de significancia ($\alpha = 0,01$, $\alpha = 0,05$ y $\alpha = 0,1$). Asimismo, para el test de Hubert tampoco se detectaron cambios abruptos de precipitaciones en la serie analizada 1931-2015 para la localidad de Azul, con un nivel de significancia de $\alpha = 0,01$.

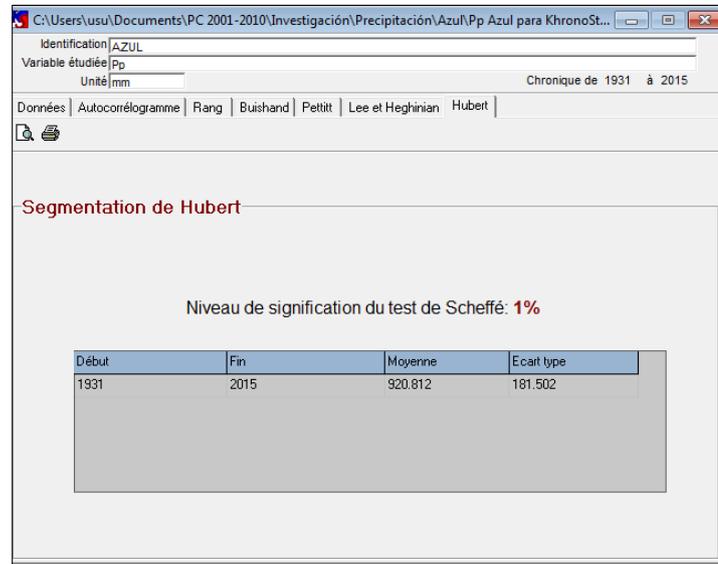


Figura 8: Resultado del test de Hubert para la detección de cambios abruptos, para la localidad de Azul.

La tendencia en las series de precipitación anual fue examinada utilizando la prueba de Mann-Kendall. (Tabla 3). Donde para la serie 1931-2015 la tendencia fue positiva estadísticamente significativa. Esto significa que hubo una tendencia de mayores precipitaciones a través de los años estudiados.

Tabla 3: Análisis de tendencia para la serie 1931-2015 para la localidad de Azul

Mann-Kendall trend	
Test Z	Signific.
1,90	+

Siendo: $+ p \geq 0,05$

También se realizó el análisis espectral (MESA) para la serie 1931-2015. Este método permitió buscar y cuantificar los períodos significativos presentes en una serie temporal.

En la figura 9, se observan los picos que superan el intervalo de confianza del 95%. Se advirtió la existencia de diversas periodicidades en intervalos de 12 años y 2,5 años ($\alpha = 0,05$). Los intervalos de 12 años se asociaron a los ciclos de manchas solares. Los intervalos de 2,5 años se los relacionó con la inversión periódica en la detección de los vientos en la estratósfera, que ocurre cada 27 meses, las cuales se les llaman oscilaciones cuasi bianuales. Otra causa pudo deberse a la influencia del ENOS (El

Niño Oscilación del Sur) que puede causar oscilaciones entre 3 y 8 años (Pérez et al., 2013; WMO, 1985).

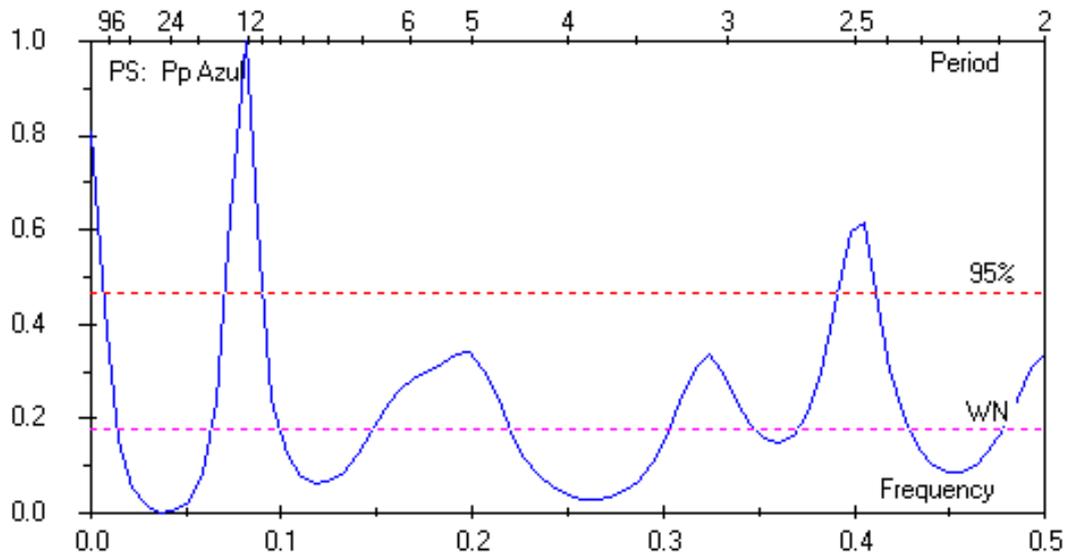


Figura 9: Análisis espectral (MESA) para la serie 1931-2015, para la localidad de Azul.

1.4.2.1 Análisis de las precipitaciones y temperaturas durante los experimentos a campo

Durante los dos años de estudio (2017 y 2018) y a su vez el año anterior al primer estudio (2016), se analizaron las precipitaciones y las temperaturas para tener una visión más detallada de las posibles influencias del tiempo meteorológico en las distintas variables estudiadas en esta tesis (figura 10).

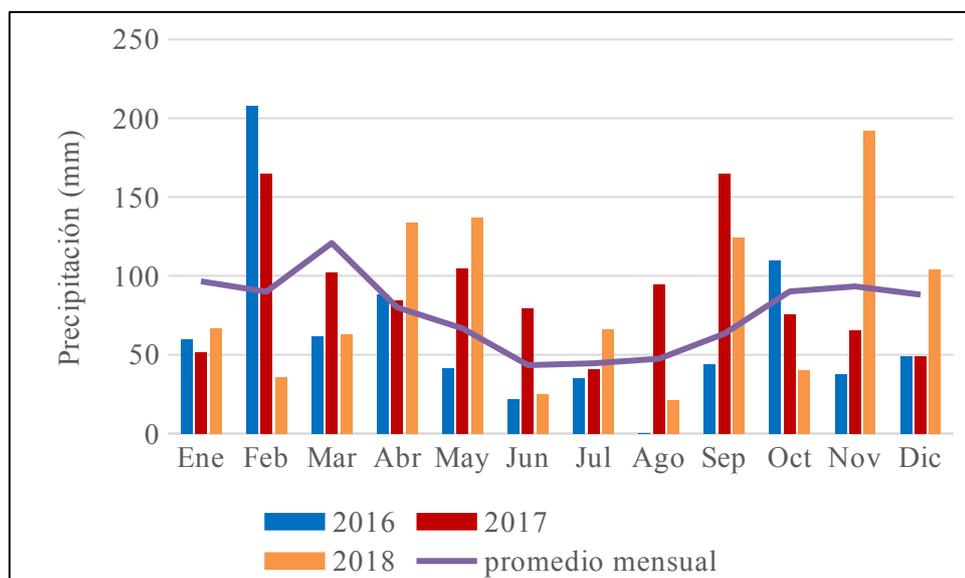


Figura 10: Precipitaciones mensuales acumuladas para los años 2016, 2017 y 2018 y el promedio mensual para la serie 1931-2017.

El año 2016, fue un año seco, donde las precipitaciones mensuales no superaron al promedio mensual, salvo en el mes de febrero y octubre. La precipitación total acumulada fue de 757 mm, muy por debajo del promedio anual de 921 mm.

Para el año 2017 la situación fue mejorando con precipitaciones mensuales por encima o casi igual a la media, pero llegando a los meses de octubre, noviembre y diciembre, los tres meses previos al inicio del segundo ensayo, las precipitaciones fueron muy por debajo del promedio mensual. Las precipitaciones acumuladas fueron de 1077 mm.

El año 2018 comenzó muy seco, con bajas precipitaciones y solamente en el mes de abril y mayo superaron a las medias mensuales. Sin embargo, los meses posteriores los cuales son los meses anteriores al comienzo del tercer ensayo, las lluvias no fueron suficientes para superar a las medias mensuales (salvo julio). Durante el tercer ensayo las precipitaciones fueron abundantes, salvo el mes de octubre las cuales fueron muy por debajo de la media mensual. Las precipitaciones mensuales fueron de 1009 mm.

En la figura 11 se presenta un análisis de las temperaturas medias mensuales ocurridas para los años del ensayo y el promedio mensual para la serie histórica.

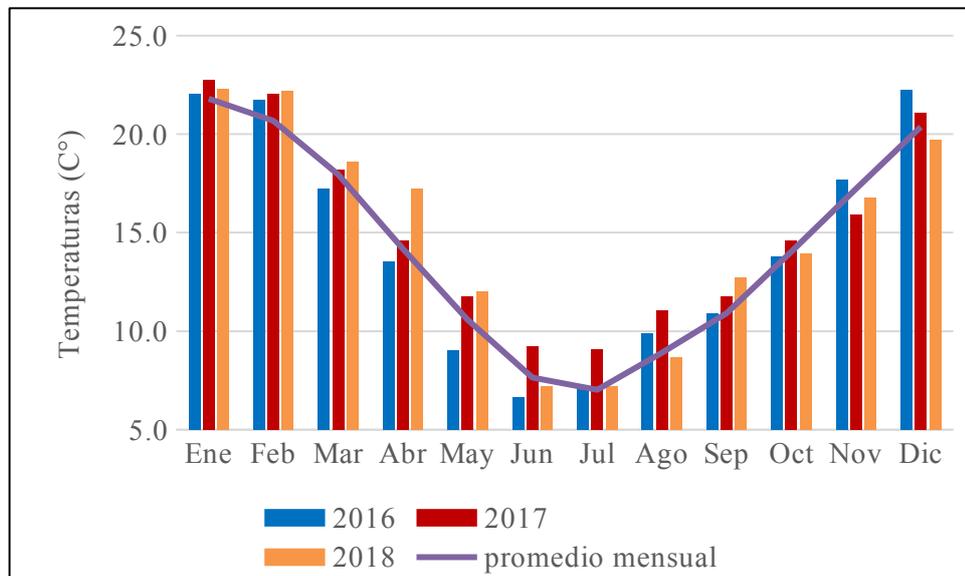


Figura 11: Temperaturas medias mensuales para los años 2016, 2017 y 2018, y el promedio mensual para la serie 1997-2018.

I.4.3. Parámetros edáficos seleccionados para caracterización de los sitios de estudio

En el mes de mayo de 2017 se realizó el muestreo de los suelos de los sitios seleccionados para su caracterización (Tabla 4 y 5).

En la tabla 4 se presentan los resultados de los parámetros edáficos: porcentajes de carbono orgánico total (OC), materia orgánica particulada (POM), materia orgánica humificable (OM) y materia orgánica por calcinación (LOI) para cada sitio y cada fecha de muestreo.

Tabla 4: Porcentajes de carbono orgánico total (OC), materia orgánica particulada (POM), materia orgánica por calcinación (LOI) y materia orgánica (OM) para cada sitio y cada fecha de muestreo.

Fecha	Sitio	OC (%)	POM (%)	LOI (%)	OM (%)
may-17	1	4,23	1,04	9,09	4,8
	2	3,97	0,64	8,69	4,6
	3	3,97	0,62	8,79	4,4
	4	3,15	0,54	7,2	4,1

En la tabla 5 se presentan los diferentes parámetros químicos analizados para cada sitio de estudio.

Tabla 5: Diferentes parámetros químicos analizados: N-total (%), Fósforo ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), pH, CE ($\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$) en pasta y CE ($\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$) en extracto para cada sitio de estudio.

Sitio	N-total (%)	Fosforo ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	Ph	CE ($\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$) en pasta	CE ($\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$) en extracto
1	0,26	4,5	5,3	357	405
2	0,28	4	5	720	947
3	0,24	4	4,9	908	1235
4	0,22	3	4,9	1130	1152

En los meses de junio y diciembre se realizaron análisis de densidad aparente en los distintos sitios seleccionados, en el mes de junio se tomaron muestras de densidad aparente de los sitios con grados de artificialización más significativos, sitio 1 (clausura) y sitio 4 (Sara II) (tabla 6).

Tabla 6: Valores de densidad aparente para distintas fechas y sitios de muestreo.

Fecha	Sitio	D.a. ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)
Junio 2018	1	0,93
	4	1,24
Diciembre 2018	1	0,86
	2	1,08
	3	1,12
	4	1,17

Se observó (tabla 6) que la densidad aparente de los sitios agrícolas con distinto grado de intensificación manifestó, en diciembre de 2018, una disminución de la densidad aparente (ejemplo: sitio 4 pasó de $1,24 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ a $1,17 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$). Este

comportamiento puede ser atribuido a la ejecución en todos los sitios agrícolas (2, 3 y 4) de una labranza con rodillo con cuchillas para mejorar la tasa de infiltración entre otros aspectos.

1.4.3.1 Monitoreo de parámetros edáficos

Con el objeto de interpretar la manifestación de la incidencia de la criptofauna sobre la descomposición de rastrojos, se seleccionaron distintos parámetros edáficos: porcentajes de carbono orgánico total (OC), materia orgánica particulada (POM) y materia orgánica por calcinación (LOI). En la tabla 7 se presentan las fechas de monitorio para las variables seleccionadas.

Tabla 7: Fechas de extracción de muestras de suelo a campo para el monitoreo de variables

<i>Fechas de extracción</i>				
Mayo 2017	Enero 2018	Junio 2018	Sept. 2018	Dic. 2018

En la tabla 8 se presentan los resultados de los análisis de los parámetros seleccionados para las distintas fechas de muestreo.

Tabla 8: Porcentajes de carbono orgánico total (OC), materia orgánica particulada (POM), y materia orgánica por calcinación (LOI) para cada sitio y cada fecha de muestreo.

Fecha	Sitio	OC (%)	POM (%)	LOI (%)
may-17	1	4,23	1,04	9,09
	2	3,97	0,64	8,69
	3	3,97	0,62	8,79
	4	3,15	0,54	7,2
ene-18	1	5,68	3,51	12,28
	2	3,85	1,08	8,8
	3	3,49	0,65	8,5
	4	3,18	0,86	7,69
jun-18	1	4,38	2	10,69
	4	2,9	0,49	7,49
sep-18	1	5,47	1,4	11,6
	2	4,15	2,24	9,63
	3	3,87	1,08	9,01
	4	3,34	0,87	7,5
dic-18	1	-	-	9,78
	2	-	-	9,08
	3	-	-	7,5
	4	-	-	8,78

De la tabla 8 se utilizaron los datos obtenidos de POM y OC para todas las fechas de mayo 2017 enero y septiembre de 2018, y para LOI para todas las fechas de muestreo salvo el mes de junio del 2018.

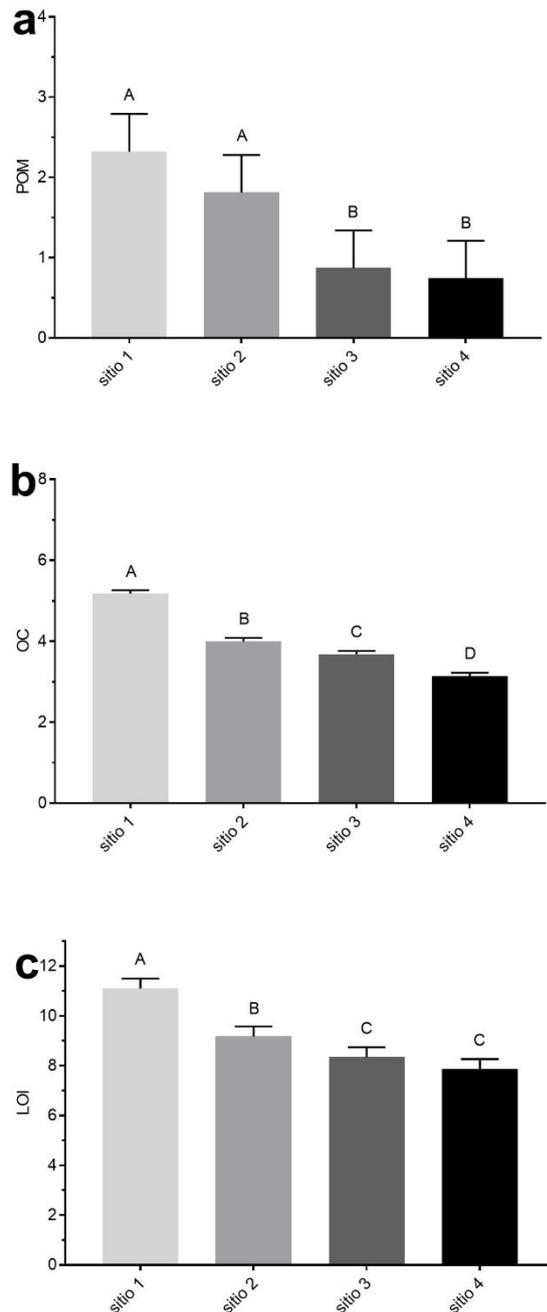


Figura 12: POM (A), OC (B) y LOI (C) para los cuatro sitios analizados. Las letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

En la figura 12A, la variable POM obtuvo diferencias estadísticas significativas entre los sitios 1 y 2 con respecto a los sitios 3 y 4. Dichos sitios presentaron los mayores valores y los menores valores encontrados respectivamente de la variable. POM no difirió entre el sitio 1 y 2, tampoco el sitio 3 y 4. Se observó que POM difirió entre sitios de menor grado de artificialización (sitio 1 y 2) por el uso de las tierras en relación con sitios con mayor grado de uso de las tierras (3 y 4).

La variable OC fue la que más discretizó entre los sitios, con distintos usos de la tierra. El mayor valor de OC lo presentó la clausura (sitio 1) y difirió significativamente del resto. Valores menores y decrecientes de OC se observaron en los sitios 2, 3 y 4 respectivamente. A su vez todos los sitios presentaron diferencias significativas entre ellos (figura 12B).

LOI, también discretizó entre los diferentes sitios con distinto grado de artificialización de uso de las tierras. El mayor valor de LOI se observó para el sitio 1 (clausura) y difirió estadísticamente del resto. Le siguió en valor decreciente de LOI el sitio 2, el cual también difirió estadísticamente del resto. La variable LOI para los sitios 3 y 4 presentó los menores valores y ambos difirieron del resto, pero no entre ellos (figura 12C).

Las salidas del programa estadístico se encuentran en el Anexo 2.

I.5. DISCUSIÓN

I.5.1. Clima

El análisis de la serie de precipitaciones 1931-2015 arrojó como resultado que no hubo cambios abruptos en las mismas. A pesar de esto, según Pérez et al. (2019a) si comparamos con la subregión pampa deprimida, y la subregión pampa arenosa (Irigoin, 2011; Pérez et al., 2019b), ambas lindantes a la subregión pampa serrana, en dichas regiones si ocurrieron cambios abruptos. Si bien para la serie analizada no hubo cambios abruptos, si se observaron aumentos con una tendencia levemente positiva en las precipitaciones para la serie de Azul 1931-2015.

El análisis climático es de suma importancia para caracterizar y evaluar su comportamiento a través del tiempo ya que la actividad de la fauna edáfica está íntimamente relacionada con la humedad y la temperatura de manera positiva, en climas templados (Wall et al., 2008) como el clima presente en este estudio.

El comportamiento climático durante el ensayo a campo 2017 y 2018 se manifestó dentro de las tendencias calculadas para la serie histórica 1931-2015. Esto sustentó el análisis climático durante los experimentos a campo a pesar de carecer de una serie climática que considerara los años de los trabajos a campo. Esto pone de manifiesto que el análisis climático es de gran importancia al realizar trabajos de campo.

I.5.2. Suelo

La diferencia entre sitios en relación a los parámetros seleccionados, permitieron con claridad determinar la incidencia de los grados de artificialización por el uso de las tierras. La distribución espacial de los organismos de la mesofauna está íntimamente relacionada con la presión creciente sobre los agroecosistemas, resultando que algunos de los factores como la materia orgánica principalmente, impulsan la heterogeneidad espacial y la actividad de los organismos a diferentes escalas entre la mesofauna (Cassani et al., 2016). Según Eyherabide et al. (2014) los parámetros seleccionados para el monitoreo, LOI y OC son muy eficaces y fueron validados para suelos de la región pampa serrana. Eiza et al. (2005) determinó que la POM permite discretizar cambios debidos a las prácticas de manejo y al uso del suelo en situaciones más recientes, ya que su tiempo de ciclado es menor. Duval et al. (2016) encontraron disminuciones de OC de alrededor del 30% en suelos agrícolas muestreados de 0-10cm respecto a suelos de una clausura con pastizal naturalizado de 30 años. A su vez encontró disminuciones de entre 40% y 50% en POM. Estos datos coincidieron con los obtenidos en los diferentes muestreos realizados en cada sitio.

Las variables edáficas seleccionadas permitieron diferenciar e indicar con precisión contrastes entre sitios confirmando un gradiente de artificialización por el uso de las tierras, desde el sitio 1 hacia el sitio 4.

I.6. CONCLUSIONES

- El comportamiento climático durante el desarrollo experimental de la tesis se manifestó dentro de las tendencias para los parámetros climáticos analizados de la serie 1931-2015.
- Las variables edáficas analizadas (POM, OC y LOI) permitieron indicar con precisión diferencias entre sitios, confirmando un gradiente de artificialización por el uso de las tierras, desde el sitio 1 hacia el sitio 4.

CAPÍTULO II LA MESOFAUNA

II.1. INTRODUCCIÓN

La criptofauna o fauna edáfica puede clasificarse teniendo en cuenta diversos criterios, a saber:

- tiempo de permanencia en el suelo (parte del tiempo en que su ciclo biológico se desarrolla en nivel subsuperficial o superficial);

- adaptación y preferencia al suelo: epiedáficos, viven en la superficie; hemiedáficos, habitan en suelos orgánicos; euedáficos, habitan a nivel subsuperficial (Christiansen, 1964);

- régimen alimenticio: macrofitófagos, consumen restos vegetales; microfitófagos, se alimentan de la microflora, como hongos, bacterias y algas; micófagos, se alimentan de hongos; depredadores, se alimentan de animales vivos; necrófagos, consumen carroña; coprófagos, se nutren de materia fecal de diversos animales (Luxton, 1972; Krantz y Lindquist, 1979);

- por el tamaño del cuerpo (tamaño del individuo adulto): la microfauna, individuos menores a 0,1 mm; la mesofauna, individuos mayores a 0,1 mm y menores a 2 mm y la macrofauna, mayores a 2 mm (Swift et al., 1979).

En relación con el clima, las temperaturas óptimas para los nematodos (microfauna) son de entre 20 y 30 C° (Anderson y Coleman, 1982). Según Gongalsky et al. (2008) las temperaturas, en promedio de 24 C°, son óptimas para la mesofauna. Viergutz et al. (2007) sugieren que temperaturas en promedio de 25 C° son óptimas para la vida de individuos de macrofauna.

II.1.1 Microfauna

La microfauna incluye a los protozoos, nematodos y rotíferos, generalmente se trata de organismos acuáticos, no terrestres en el sentido estricto del término, por cuanto habitan en las películas intersticiales de agua en la matriz del suelo (Coleman et al., 2018). Se alimentan de la microflora (hongos, bacterias y actinomicetes), pero también pueden ser depredadores o consumidores de las raíces, como los nematodos fitoparásitos, algunos de los cuales puedan causar graves plagas. A su vez abundan depredadores, protozoos y otros, que se alimentan de otros elementos de la microfauna, e incluso de la mesofauna, como lo hacen los nematodos entomófagos (Curl et al., 1988).

II.1.2. Macrofauna

La macrofauna, los de mayor tamaño (ancho del cuerpo mayor a 2 mm), se destacan porque a través de sus actividades participan en procesos ecosistémicos fundamentales. Los integrantes de este grupo se caracterizan porque operan en escalas de tiempo y espacio más amplias que los individuos más pequeños, tienen ciclos biológicos largos (un año o más) y baja tasa reproductiva (Zerbino et al., 2008), en comparación con el resto de la fauna edáfica.

II.1.3. Mesofauna

Dentro de la mesofauna hay diferentes grupos, que no siempre ingresan en el criterio de clasificación de tamaños de manera estricta como los protistas, algunos de los cuales ingresan como mesofauna y otros como microfauna. Los microartrópodos, ácaros y colémbolos, ingresan en este criterio sin solaparse con otro tamaño de clasificación (Martínez y Narciso, 2009). (Figura 13).

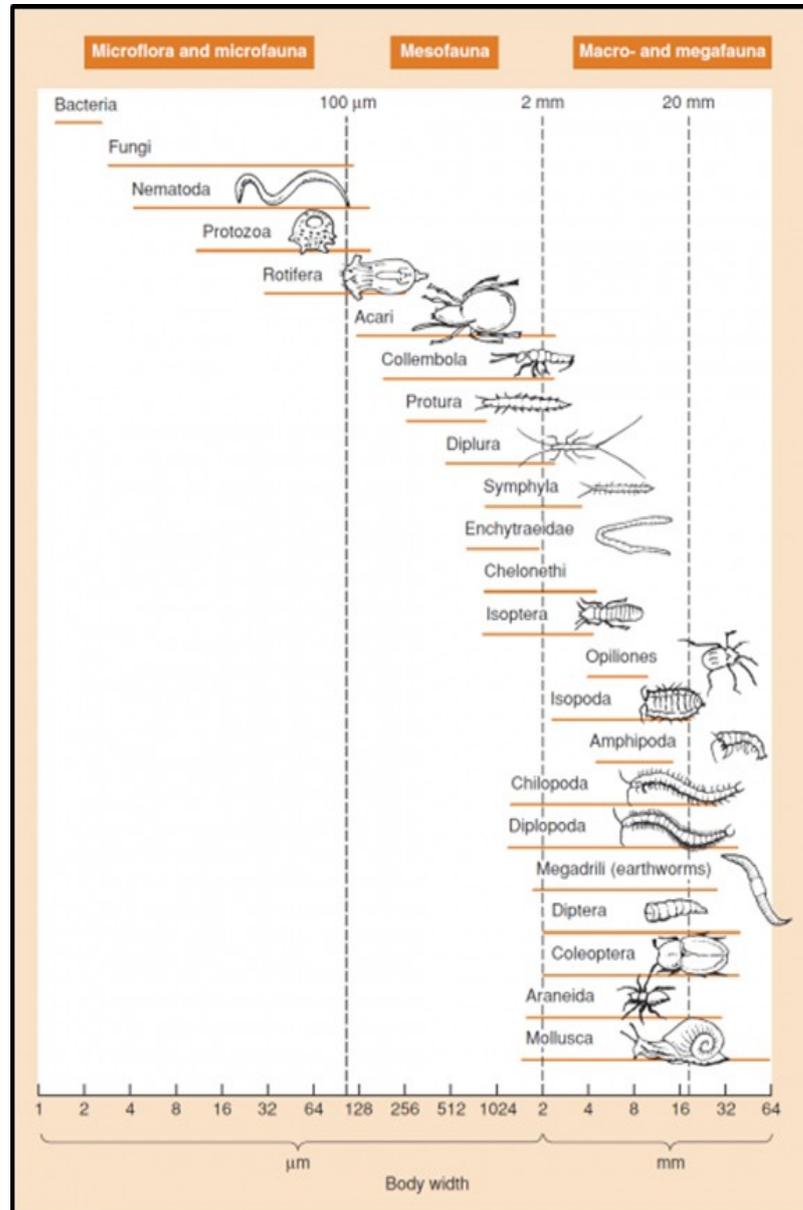


Figura 13: Tamaño de los diferentes organismos que habitan en el suelo. (Swift et al., 1979).

La mesofauna, ácaros y colémbolos principalmente, influyen indirectamente sobre la descomposición de los rastrojos y el ciclo de los nutrientes, a través de la alimentación selectiva sobre las poblaciones microbianas, la dispersión de propágulos de hongos y bacterias, y en forma directa por la fragmentación de restos vegetales (Sabatté, 2011), por lo tanto, son conocidos por ser catalizadores de la actividad

microbiana (figura 14) (Anexo 3). Según Gupta (1994) la descomposición de rastrojos puede ser acelerada en 1.7 a 1.9 veces en presencia de ácaros y colémbolos, en comparación con la presencia en el suelo de sólo microfauna. Por ello constituyen factores decisivos para el mantenimiento de la productividad edáfica (Socarrás, 2013). Estas comunidades de la mesofauna son sensibles a las prácticas de manejo y a las perturbaciones del sistema edáfico por el grado de artificialización del uso de las tierras (Pankhurst et al., 1997; Massobrio et al., 2012). Dentro de la mesofauna, subclases ácaros (*Acari*) y la subclase colémbolos (*Collembola*) son los más importantes indicadores biológicos de estado de los ecosistemas. (Socarrás, 2013) y de la calidad de los suelos (Bedano, 2006 a, b).



Colémbolo Podudomorpha Copyright © 2017 Leo-Guy de Repentigny



Colémbolo Entomobryomorpha Copyright © 2015 Susan Leach Snyder



Colémbolo Symphypleona Copyright © 2011 Ben Coulter

		
<p>Acaro Oribatido Copyright © 2010 tom murray</p>		
<p>Acaro Astigmata</p>		
<p>Acaro Mesostigmata Copyright © 2009 David J. Biddinger</p>		<p>Acaro Prostigmata Copyright © 2012 Josh D. Kouri</p>

Figura 14: Cuadro con figuras de los subórdenes de Ácaros y Colémbolos. Extraídas de bugguide.net copyright © 2003-2018 Iowa State University.

II.1.2. Aplicación de indicadores biológicos

En la década de los noventa se observó un avance en la evaluación de los ecosistemas a partir del comportamiento de los integrantes de la mesofauna edáfica.

Andrés (1990), Van Straalen (1998) y Behan-Pelletier (1999) destacaron el papel de los oribátidos (Ácaros) como indicadores biológicos de la humedad y del contenido de materia orgánica en los ecosistemas boscosos, así como en las plantaciones forestales y los agroecosistemas.

Andrés (1990) propuso la relación entre Ácaros: Oribátida/Prostigmata. Mateos (1992) presentó la relación Acaro/Colémbolo, la cual es útil para determinar el grado de perturbación en las zonas afectadas. Cuando esta es favorable a los colémbolos, grupo indicador de la fertilidad y estabilidad del medio edáfico, se considera que el ecosistema está conservado y es estable; mientras que, si los más abundantes son los ácaros, habría que hacer un análisis de qué grupo de ácaros está dominando y cuál es su función en el sistema edáfico.

II.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Teniendo en cuenta lo expresado con anterioridad los objetivos específicos de este capítulo son:

- Describir y comparar la mesofauna en los sitios bajo estudio.
- Estimar el grado de estabilidad del ecosistema a través de indicadores biológicos.

II.3. MATERIALES Y MÉTODOS

El método más común de extracción de microartrópodos que habitan el suelo es a través de la técnica Berlese (Berlese, 1888). Esta técnica es solo para la extracción de ácaros y colémbolos, y a veces en menor medida pueden caer otros individuos de la mesofauna. Los Ácaros y colémbolos habitan los horizontes superficiales del suelo, en los primeros 10 cm se los encuentran en mayor proporción (Curl Elroy y Old, 1988). Estos individuos se mueven por los poros del suelo, ya que no cavan ni construyen galerías. Por lo tanto, son más abundantes en ambientes menos antropizados, donde los procesos de degradación física, química y biológica se expresan en menor intensidad.

II.3.1. Muestreo de Mesofauna

Para el muestreo de identificación y clasificación de la mesofauna a campo se tomaron dos muestras (2) con sacabocados de 5 cm de diámetro y a 7 cm de profundidad con el rastrojito acompañante (Manly, 2001) (figura 15). En cada sitio de muestreo se extrajeron muestras durante los meses de marzo del 2017 como muestreo de caracterización de la mesofauna. Para analizar las métricas poblacionales con el objetivo de comparar los distintos sitios con diferente grado de artificialización, se realizó durante el año 2018 muestreos durante las cuatro estaciones, en los meses de enero, marzo, septiembre y diciembre.

Paralelamente en laboratorio, se diseñó un experimento en microcosmos. Para ello se utilizaron ocho (8) macetas (16 cm de diámetro por 15 cm de altura) para cada sitio de estudio, en total treinta y dos macetas (32), en donde se colocaron 4 minireactores (128) de 5 cm de diámetro por 7 cm de profundidad, correspondiente a cada sitio de estudio: 1, 2, 3 y 4, que fueron extraídos a campo, para transportar la

comunidad de criptofauna presente en los mismos. Dentro de las macetas, se completó, entre los minireactores, con suelo extraído a campo de cada uno de los sitios de estudio, a una profundidad de 0 a 10 cm, que fue previamente secado y tamizado a 2 mm (figura 16). Se dejó alrededor de un mes para estabilizar las comunidades de la fauna edáfica presente en cada sitio, controlando la humedad y temperatura durante todo el ensayo. Dicho ensayo se mantuvo en capacidad de campo, siendo controlado a través de dos sensores de humedad conectados a un DataLogger que monitoreaba cada 30 minutos. El déficit por debajo de la capacidad de campo fue repuesto constantemente a través de un riego de micro gota con agua destilada, para mantener el estado hídrico durante todo el ensayo. La temperatura fue monitoreada con el mismo dispositivo. Para evitar la contaminación por polvo atmosférico se procedió a cubrir los microcosmos con una malla de 1 mm (figura 17). A su vez todos los microcosmos fueron cubiertos con una malla de 1 mm, dentro del espacio generado se colocaron tubos fluorescentes para controlar la luz y la temperatura (figura 18). Para realizar el muestreo de las métricas poblacionales de los ensayos en microcosmo, se extrajo un minireactor (1) de cada maceta, de cada sitio cada 3 meses: agosto del 2017, noviembre del 2017, febrero del 2018 y mayo del 2018.



Figura 15: Sacabocados extraídos a campo de cada sitio de estudio.



Figura 16: Armado de microcosmos.



Figura 17: Microcosmos cubiertos con la malla de 1 mm.



Figura 18: Microcosmos cubiertos con la malla de 1 mm. La flecha roja indica la ubicación de los tubos fluorescentes.

A las muestras de mesofauna obtenidas con sacabocados, tanto para las extraídas a campo como en laboratorio, se les realizó la separación de los distintos componentes de la fauna utilizando embudos Berlesse modificados (figura 19); los ejemplares fueron fijados en alcohol 70% para su conservación y se identificaron mediante claves (Dindal, 1990) hasta el nivel de suborden y se realizó el conteo de individuos (Brussaard et al., 1997), donde luego se pasó a individuos/metro cuadrado.



Figura 19: Extracción de mesofauna mediante el método Berlesse modificado.

II.3.2. Aplicación de indicadores biológicos

Teniendo en cuenta el comportamiento y las funciones de los grupos que componen la Mesofauna y considerándolos como buenos indicadores biológicos del estado de estabilidad del ecosistema, en el presente trabajo se aplicaron los siguientes indicadores de estabilidad:

- La relación Oribátida/Prostigmata (Andrés, 1990). (Valores ≥ 1 son agroecosistemas estables, valores < 1 agroecosistemas inestables).
- La relación Acaro/Colémbolo (Mateos, 1992). (valores ≤ 1 son agroecosistemas estables, valores > 1 son agroecosistemas inestables).

Dichos indicadores se aplicaron para los muestreos de los meses de enero, marzo, septiembre y diciembre del 2018 y en microcosmo, para todos los muestreos realizados.

II.3.3. Tratamiento estadístico de la información

Las respuestas de los subórdenes de mesofauna a los sitios se evaluaron mediante análisis multivariado discriminante (Manly, 2001). También se calcularon diferencias entre las densidades de los subórdenes y los distintos tratamientos, mediante el test de Kruskal-Wallis. Los análisis se realizaron mediante la interfaz del software Infostat con R (Di Rienzo et al., 2018).

Los gráficos de $\text{individuos} \cdot \text{m}^{-2}$ fueron realizados mediante el software GraphPad Prism®. Los gráficos de análisis discriminante fueron realizados mediante el software Infostat con R (Di Rienzo et al., 2018).

II.4. RESULTADOS

II.4.1. A campo

Este experimento se realizó durante el año 2018. Los muestreos fueron realizados en el mes de enero, marzo, septiembre y diciembre de dicho año.

En la figura 20 se observa el número de $\text{individuos} \cdot \text{m}^{-2}$ para cada sitio de estudio. Se observó la mayor cantidad de individuos de mesofauna (ácaros+colémbolos) por metro cuadrado en el sitio 1, difiriendo significativamente del resto de los sitios. Valores menores de $\text{individuos} \cdot \text{m}^{-2}$ se observaron en los sitios 2 y 3, difiriendo

significativamente de los sitios 1 y 4. Se encontraron valores de $\text{individuos} \cdot \text{m}^{-2}$ intermedios entre el sitio 1 y, los sitios 2 y 3, en el sitio 4. Este sitio no presentó diferencias significativas con el resto.

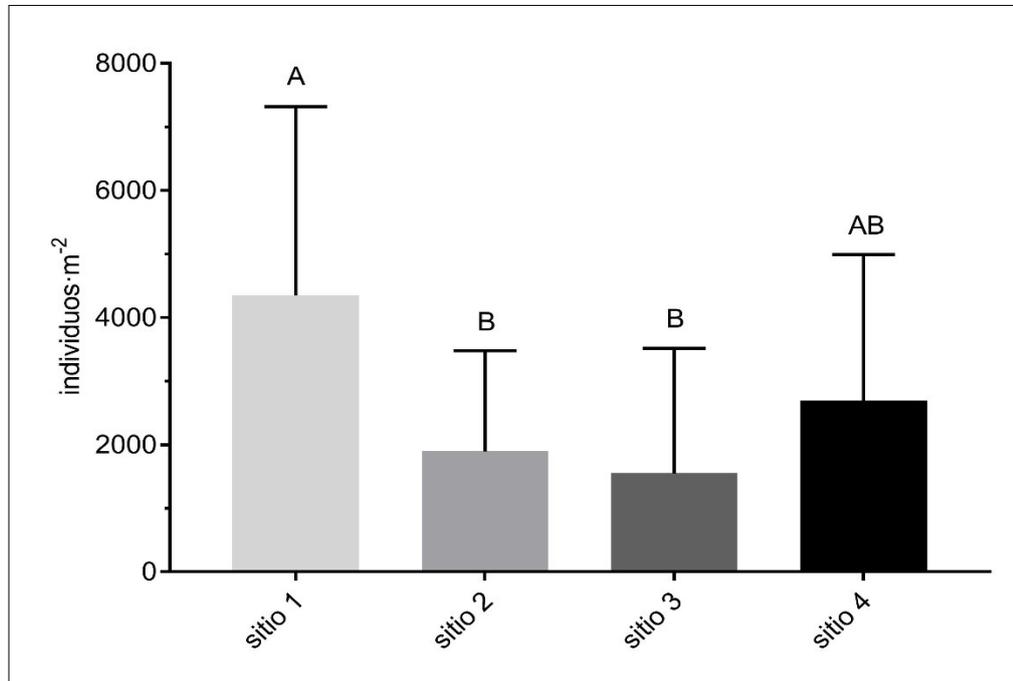


Figura 20: Total de individuos de mesofauna (ácaros+colémbolos) por metro cuadrado presentes en cada sitio. Las letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

El análisis de $\text{individuos} \cdot \text{m}^{-2}$ de ácaros y colémbolos se presenta en la figura 21 a y b. Los mayores valores de ácaros y colémbolos se observaron en el sitio 1. No se encontraron diferencias significativas para la variable $\text{ácaro} \cdot \text{m}^{-2}$ (figura 21 a), pero se observó una tendencia donde los mayores valores los presentó el sitio 1, seguido por el sitio 4, y luego por el 2 y 3 con valores similares. En $\text{colémbolo} \cdot \text{m}^{-2}$ (figura 21 b), en cambio, si se encontraron diferencias significativas. El mayor número de colémbolos fue observado en el sitio 1 y difirió significativamente del resto de los sitios (2, 3 y 4). Valores inferiores al sitio 1, se observaron en los sitios 2, 3 y 4 no siendo estadísticamente diferentes entre ellos.

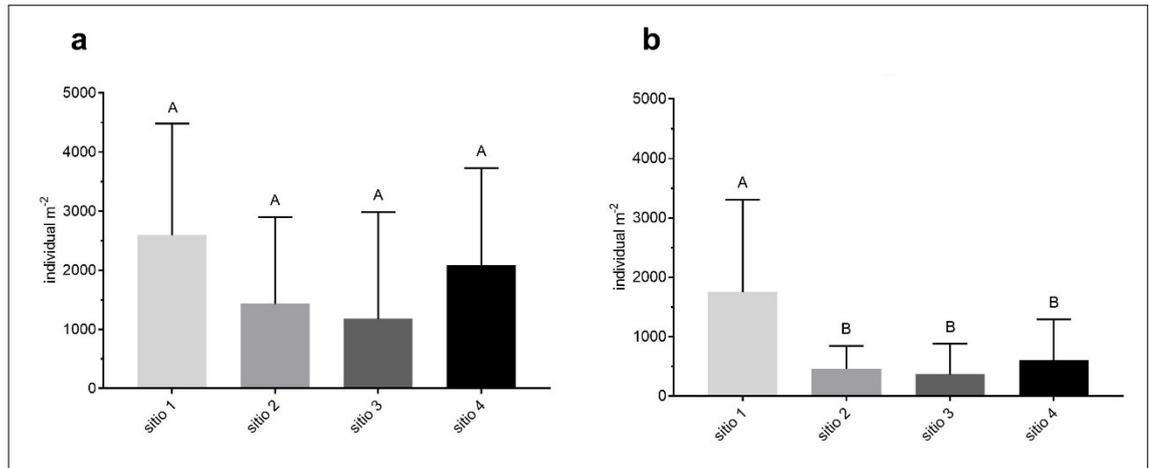


Figura 21: Total de $\text{individuos} \cdot \text{m}^{-2}$ presentes en cada sitio. a: ácaros, b: colémbolos. Las letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

En la figura 22, se presenta el número de $\text{individuos} \cdot \text{m}^{-2}$ ácaros y colémbolos en cada fecha de muestreo (enero, marzo, septiembre y diciembre del 2018) para todos los sitios analizados. Se observó que la variable número de $\text{ácaros} \cdot \text{m}^{-2}$ fue mayor en el mes de marzo y difirió significativamente del resto de los meses de muestreo. Los restantes meses presentaron valores similares y no difirieron entre ellos. Para la variable $\text{colémbolos} \cdot \text{m}^{-2}$, no se observaron diferencias significativas entre los meses, pero si se observó en el mes de septiembre valores que tienden a ser superiores al resto de los meses.

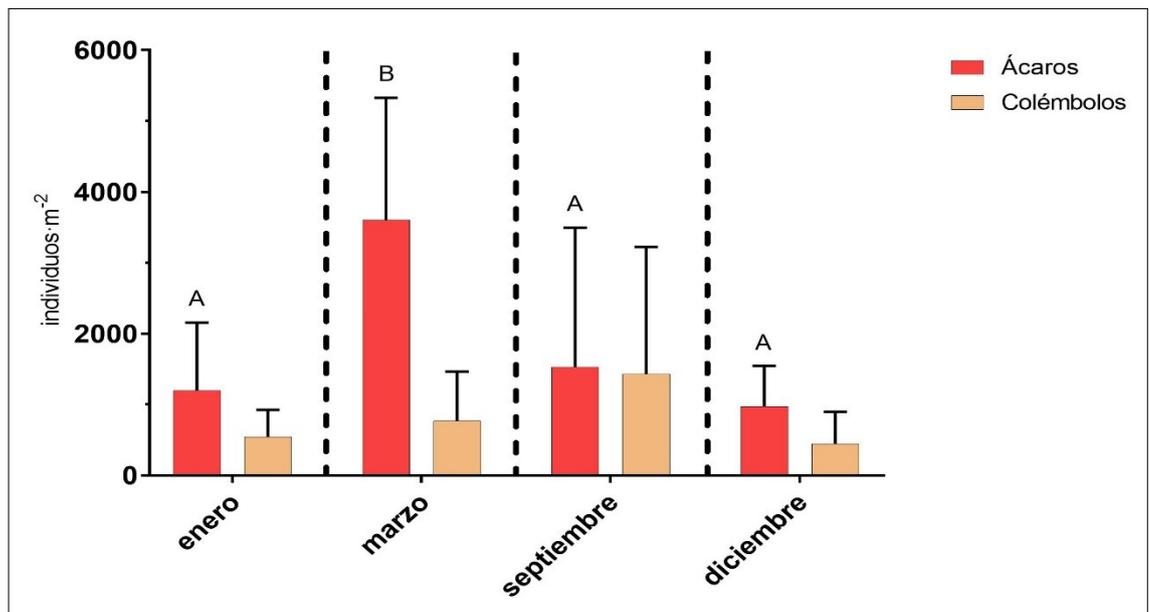


Figura 22: Ácaros y colémbolos por metro cuadrado presentes en cada fecha de muestreo. Las letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

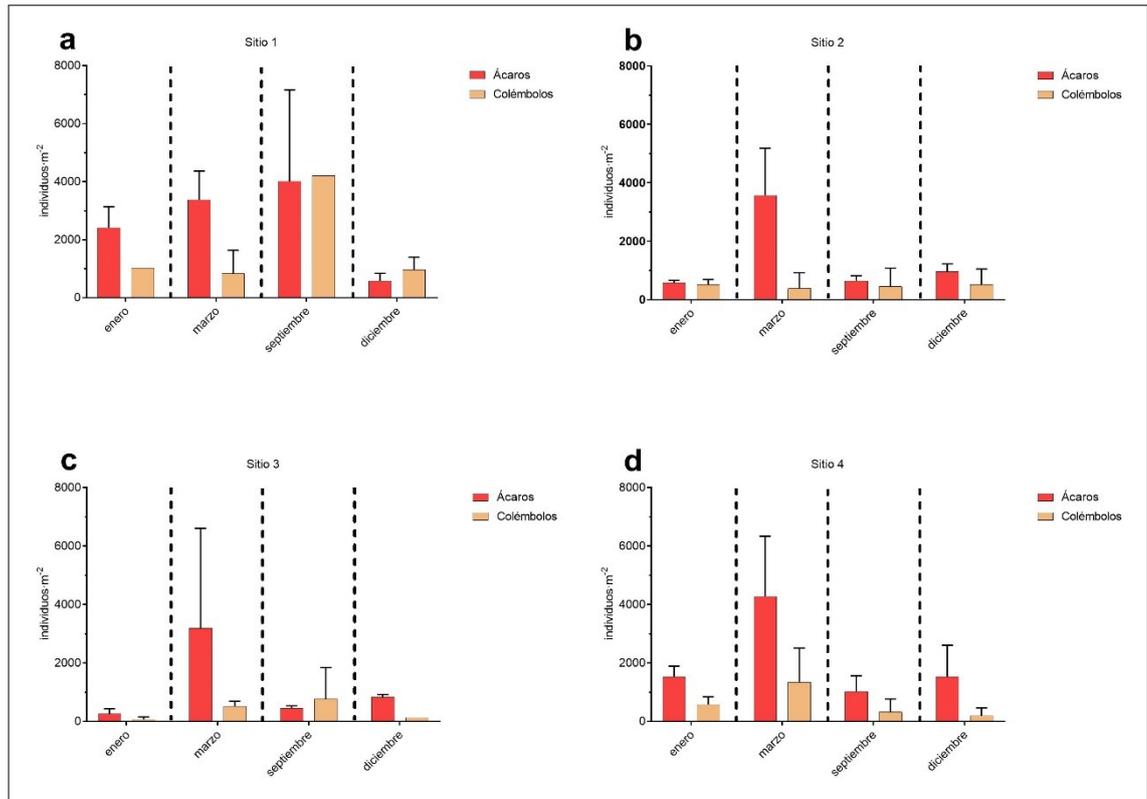


Figura 23: Ácaros y colémbolos por metro cuadrado presentes para cada fecha dentro de cada sitio. Sitio 1 (a), sitio 2 (b), sitio 3 (c) y sitio 4 (d).

En la figura 23 (a, b, c y d) se presenta la cantidad de ácaros y colémbolos para las fechas de muestreo en los sitios analizados. El número de *ácaros* $\cdot m^{-2}$ en el sitio 1 (figura 23 a) fue alto durante los meses de enero, marzo y septiembre, y disminuyeron en el mes de diciembre. Diferente resultado se observó para *colémbolos* $\cdot m^{-2}$, donde el mayor número observó en septiembre y en los restantes meses, los valores observados fueron bajos. Se observó que los valores de *ácaros* $\cdot m^{-2}$ en los meses de enero y marzo fueron del doble de *colémbolos* $\cdot m^{-2}$. Los mayores valores de individuos de ácaros y colémbolos se observaron en el mes de septiembre. En la figura 23 b, se observó un pico del número de individuos de *ácaros* $\cdot m^{-2}$ en el mes de marzo para el sitio 2. Los valores de *individuos* $\cdot m^{-2}$ observados para los restantes meses, son bajos, siendo similares entre ellos. Asimismo, los colémbolos presentaron valores bajos para todas las fechas de muestreo. En el sitio 3, los individuos de ácaros y colémbolos, siguieron la misma tendencia que el sitio 2, pero con valores menores (figura 23 c). En el sitio 4 se observó la misma tendencia que en los sitios 2 y 3. A su vez, se observaron valores de individuos de ácaros del doble de colémbolos durante los meses de enero, marzo y septiembre (figura 23 d).

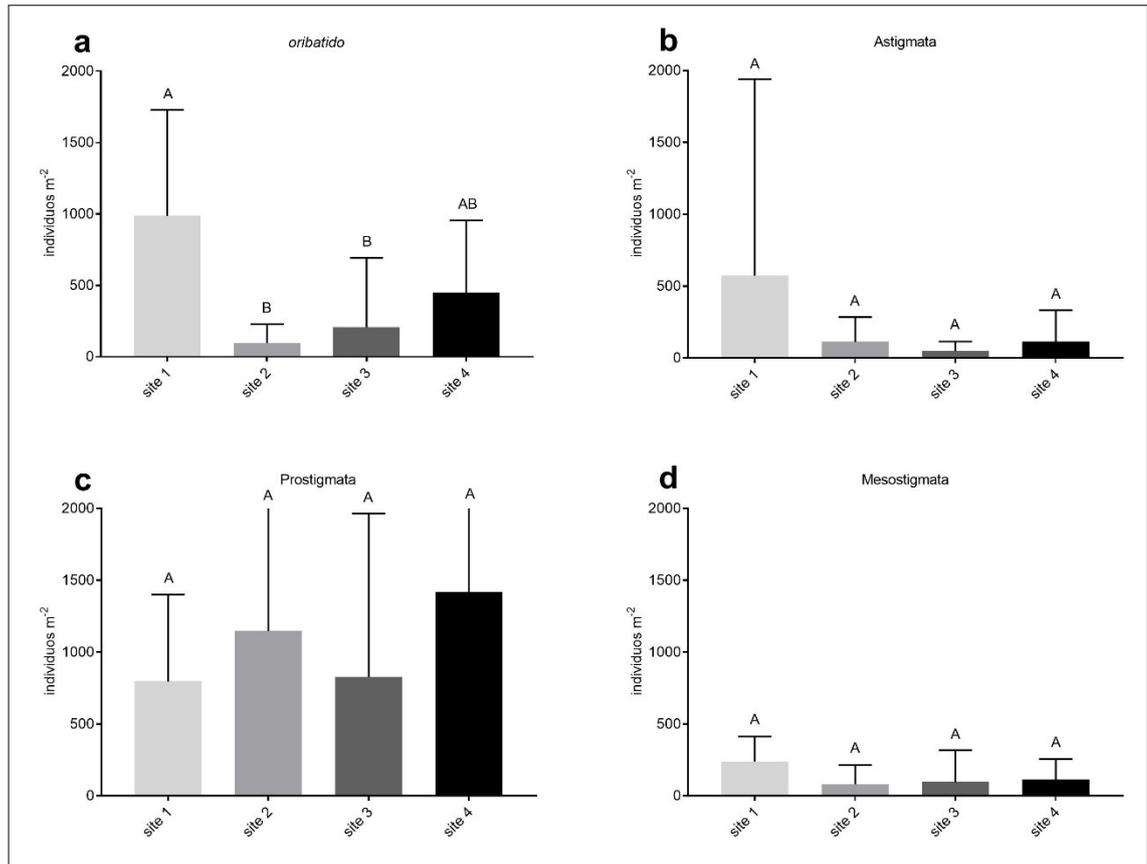


Figura 24: Número de $\text{individuos} \cdot \text{m}^{-2}$ de cada suborden de ácaro presentes en cada sitio. Oribátido (a), Astigmata (b), Prostigmata (c) y Mesostigmata (d). Las letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

En la figura 24, se presenta el número $\text{individuos} \cdot \text{m}^{-2}$ de cada suborden de ácaros presentes en cada sitio. En el análisis del número de $\text{individuos} \cdot \text{m}^{-2}$ de cada suborden entre los diferentes sitios, se observó que Oribátido (Figura 24 a) presenta el mayor número de $\text{individuos} \cdot \text{m}^{-2}$ en el sitio 1, siendo estadísticamente diferente al resto. Menores valores presentaron los sitios 2 y 3, siendo estadísticamente iguales entre ellos dos. Se observaron valores intermedios en el sitio 4, siendo estadísticamente igual al sitio 1 como a los sitios 2 y 3 (figura 24). Para $\text{astigmata} \cdot \text{m}^{-2}$ no se encontraron diferencias significativas entre los sitios, pero si se observó una tendencia de mayores $\text{individuos} \cdot \text{m}^{-2}$ en el sitio 1 (figura 24 b). Al analizar $\text{prostigmata} \cdot \text{m}^{-2}$ no se observaron diferencias entre sitios, pero si se observó una tendencia de valores más altos en los sitios 3 y 4, respecto al resto de los sitios (figura 24 c). En $\text{mesostigmata} \cdot \text{m}^{-2}$, no se encontraron diferencias significativas entre los sitios. En todos los casos se observaron valores muy bajos de $\text{individuos} \cdot \text{m}^{-2}$ (figura 24 d).

En la figura 25 se presenta el número de $\text{individuos} \cdot \text{m}^{-2}$ de cada suborden de colémbolo presentes en cada sitio. El suborden Symphypleona fue el único que presentó diferencias significativas. El mayor valor se observó en el sitio 1 y difirió significativamente del resto. A su vez, se observaron valores intermedios de $\text{individuos} \cdot \text{m}^{-2}$ entre los sitios 1 y 4 para los sitios 2 y 3, no difiriendo significativamente entre ambos. Los menores valores se observaron en el sitio 4, difiriendo significativamente del 1 (figura 25 c). En la figura 25 (a y b) se observa que

en relación a los subórdenes Poduromorfa y Entonomorfa no se encontraron diferencias significativas entre sitios. Se observó una tendencia de valores mayores de $\text{individuos} \cdot \text{m}^{-2}$ en el sitio 1.

Las salidas del programa estadístico se encuentran en el Anexo 4.

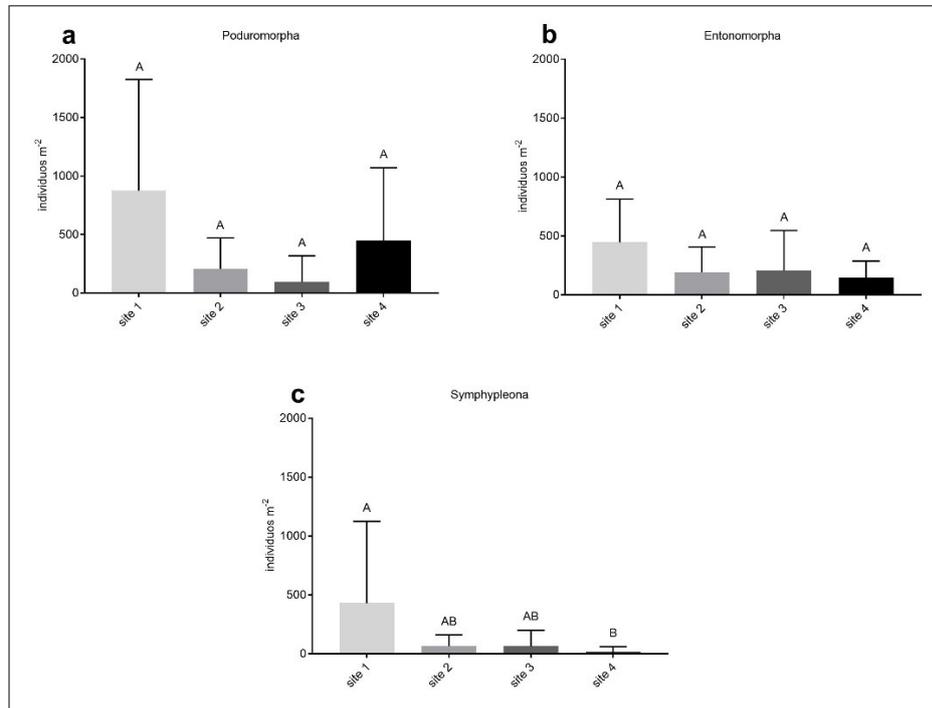


Figura 25: $\text{individuos} \cdot \text{m}^{-2}$ de cada suborden de colémbolo presentes en cada sitio. Poduromorfa (a), Entonomorfa (b) y Symphypleona (c). Las letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

Con el objetivo de discriminar el efecto de la intensidad de uso de la tierra sobre la mesofauna se realizó un análisis discriminante utilizando a los diferentes subórdenes de mesofauna presentes en cada sitio (figura 26). Dicho análisis dio diferencias estadísticas significativas. Los ejes 1 y 2 explican el 99% de la variación encontrada (77% el eje 1 y 22% el eje 2). Se observó claramente como los puntos correspondientes al sitio 1, menor grado de artificialización, se distribuyeron a la derecha de la línea 0 del eje canónico 1 (el que más explica) y, los puntos correspondientes a los restantes sitios, a la izquierda de la línea 0. Esto indicó que efectivamente la clausura, sitio no agrícola, se diferenció del resto de los sitios agrícolas. Por el otro lado, los sitios 2 y 3 presentaron una distribución bastante similar, sus puntos se ubican por arriba del eje 0 del eje canónico 2, separándolos de los puntos correspondientes al sitio 4. Dentro de los sitios agrícolas, los sitios 2 y 3 se parecieron entre sí, y se separaron del sitio 4. En el eje canónico 1, los subórdenes Oribátida, Prostigmata y Entonomorfa fueron los componentes del eje que más lo explicaron. A su vez, en el eje canónico 2, Symphypleona, Astigmata y Mesostigmata fueron los subórdenes que más lo explicaron.

Este análisis fue congruente con los analizados para la densidad de individuos por m^{-2} donde el sitio 1 se diferenció del resto de los sitios agrícola. Los sitios agrícolas

2 y 3 fueron similares, y el sitio 4 fue diferente. Por lo tanto, el eje canónico 1 separó, principalmente al sitio 1, la clausura, del resto de los sitios agrícolas y el eje 2, separó a los sitios agrícolas entre sí por la diferencia en el grado de artificialización de los mismos (Anexo 4).

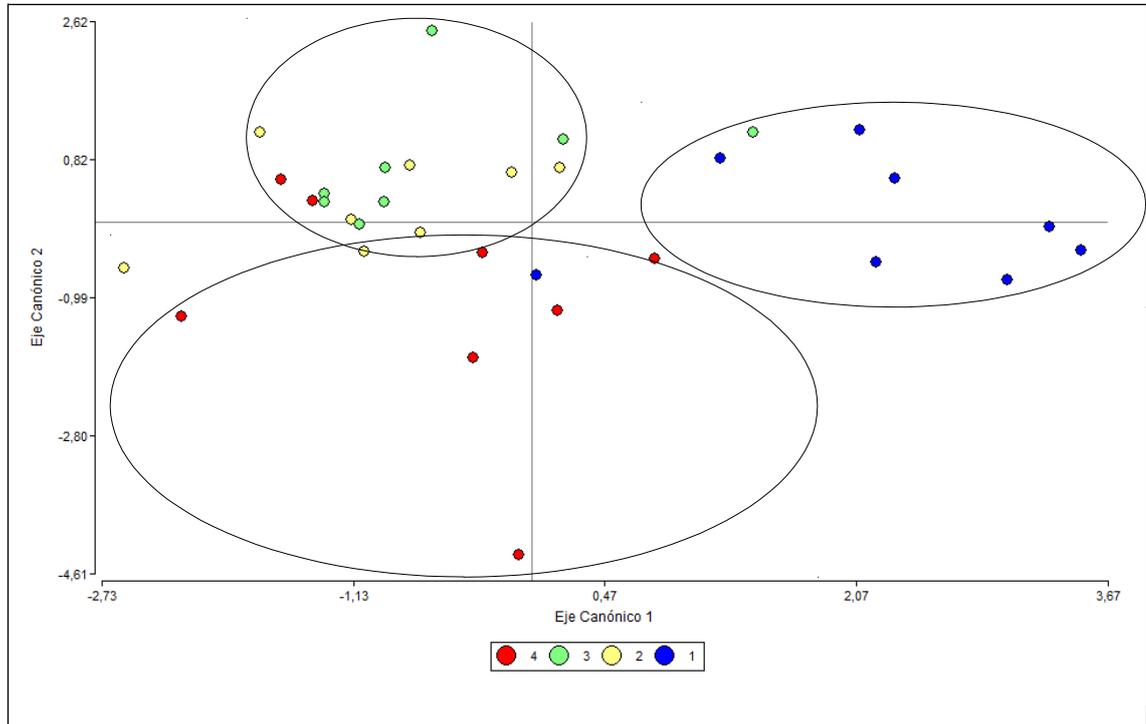


Figura 26: Análisis discriminante de la mesofauna para los sitios bajo estudio. Siendo 1 clausura, 2, 3 y 4 sitios con grado de artificialización creciente.

II.4.1.1. Indicadores de estabilidad

En la figura 27 se observan los resultados de la aplicación de los indicadores de estabilidad seleccionados.

El indicador Oribátida/Prostigmata (Figura 27 a) manifestó que es el sitio 1, la clausura, el que alcanza valores mayores a 1, el resto de los sitios (agrícolas) obtuvieron valores por debajo de 1. Por lo tanto, fue el sitio 1 el estable, y el resto de los sitios inestables.

Al aplicar el indicador Ácaros/Colémbolos (Figura 27 b), los sitios agrícolas 2, 3 y 4 alcanzaron valores de 3, y el sitio 1 un valor ligeramente superior a 1. Si bien los sitios 2, 3 y 4 fueron considerados inestables por haber obtenido valores muy superiores a 1, se consideró al sitio 1, (clausura) como estable por haber obtenido valores ligeramente superiores a 1, en comparación al resto.

Se observó que, para todos los índices calculados, el sitio 1 (la clausura) alcanzó valores cercanos o similares a 1, por lo tanto, fue el sitio considerado estable. El resto de los sitios, bajo distintos grados de artificialización por el uso, alcanzaron valores diferentes a 1, o muy por encima o muy por debajo de este. Por lo tanto fueron considerados inestables.

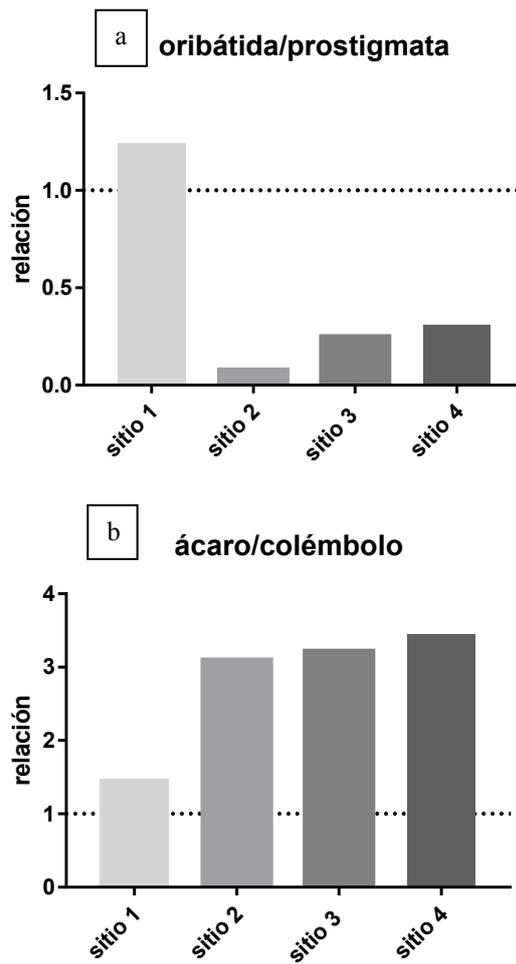


Figura 27: Indicadores de estabilidad para cada sitio de estudio. a: oribatida/prostigmata y b: Acaro/colémbolo.

II.4.2. Laboratorio

El experimento transcurrió desde mayo del 2017 hasta mayo del 2018. Los muestreos fueron realizados en los meses de agosto y noviembre del 2017, febrero y marzo del 2018.

En la figura 28, se observa el total de individuos de mesofauna (ácaros+colémbolos) por metro cuadrado. Se observó que no se encontraron diferencias significativas entre los distintos sitios analizados. Si se observó una tendencia, con los valores más altos en el sitio 1 (clausura), seguidos por los sitios 2 y 3 con valores intermedios, y el menor valor en el sitio 4.

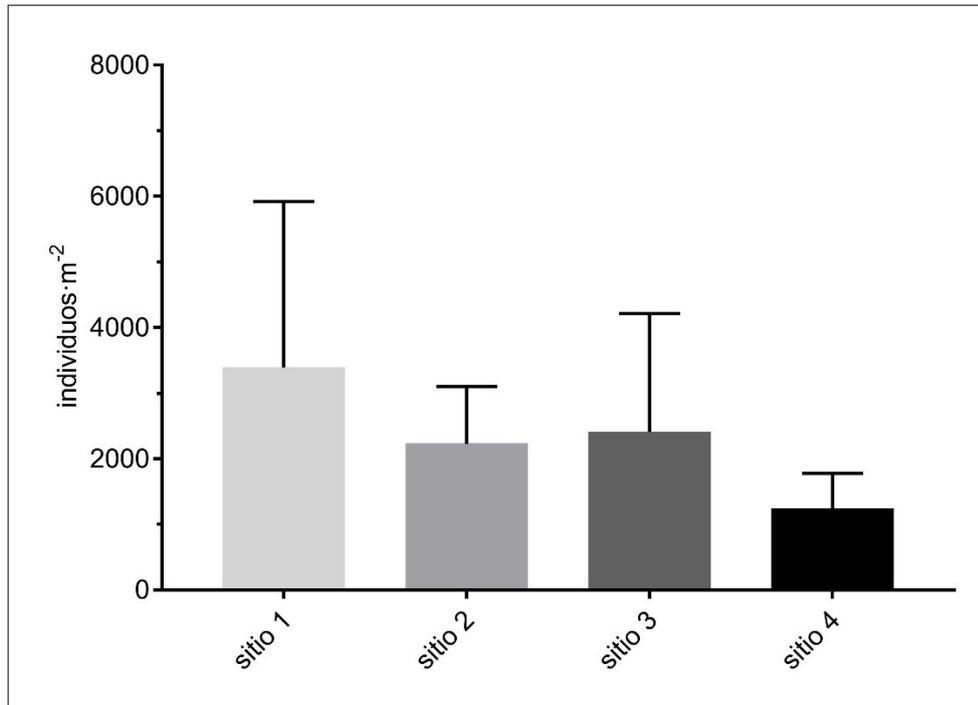


Figura 28: Total de individuos de mesofauna (ácaros+colémbolos) por metro cuadrado presentes en cada sitio.

En la figura 29 a y b, se presentan el total de $individuos \cdot m^{-2}$ de ácaros y colémbolos para cada sitio. Al analizar la figura 29 a, se observó que los valores más altos correspondieron a los sitios 1 y 2, el menor valor se observó para el sitio 4, y valores intermedios a los anteriores en el sitio 3. A su vez, se encontraron diferencias significativas entre los sitios 1 y 2 frente al sitio 4. El sitio 3 no presentó diferencias frente al resto. En la figura 29 b, el número de $colémbolos \cdot m^{-2}$ para cada sitio fue parecido, no encontrándose diferencias significativas entre ellos.

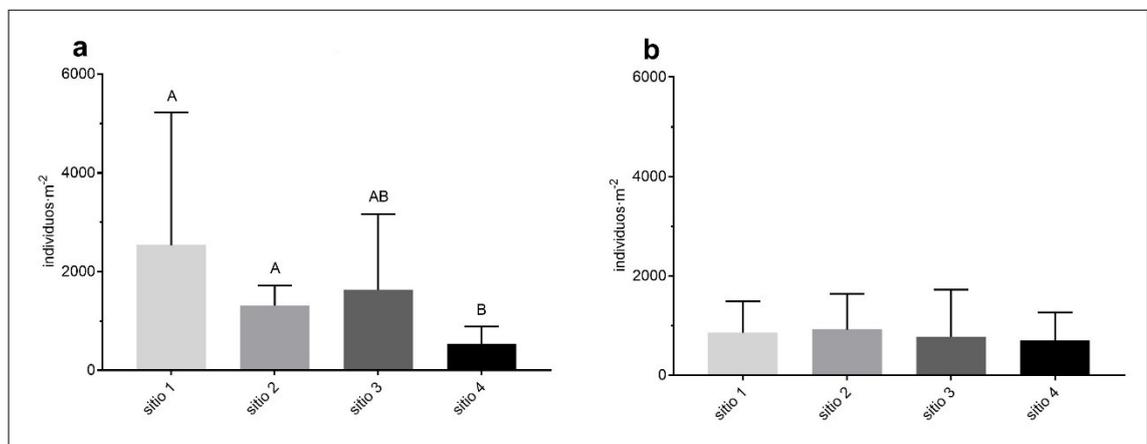


Figura 29: Total de $individuos \cdot m^{-2}$ de ácaros (a) y de colémbolos (b) presentes en cada sitio. Las letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

En el análisis del número de *individuos · m⁻²* para cada fecha de muestreo (figura 30) no se encontraron diferencias significativas. El número de ácaros y colémbolos permaneció estable durante el transcurso de los muestreos (un año), un resultado esperable en condiciones controladas de humedad y temperatura, donde uno se independiza de las condiciones meteorológicas exteriores.

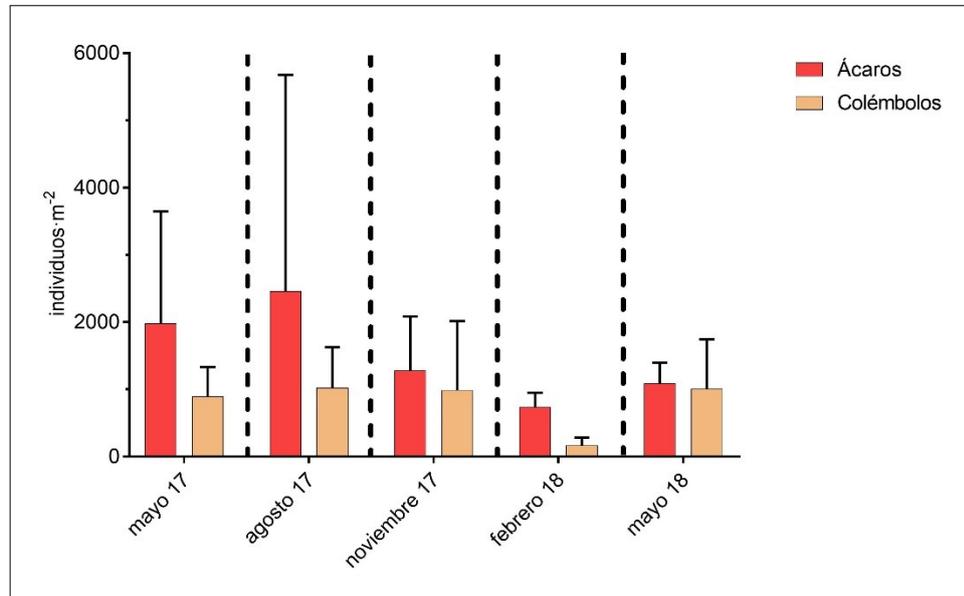


Figura 30: Ácaros y colémbolos por metro cuadrado presentes para cada fecha de muestreo.

En la figura 31 (a, b, c y d) no se encontraron diferencias significativas en los ácaros y colémbolos presentes para las distintas fechas de muestreo en cada sitio.

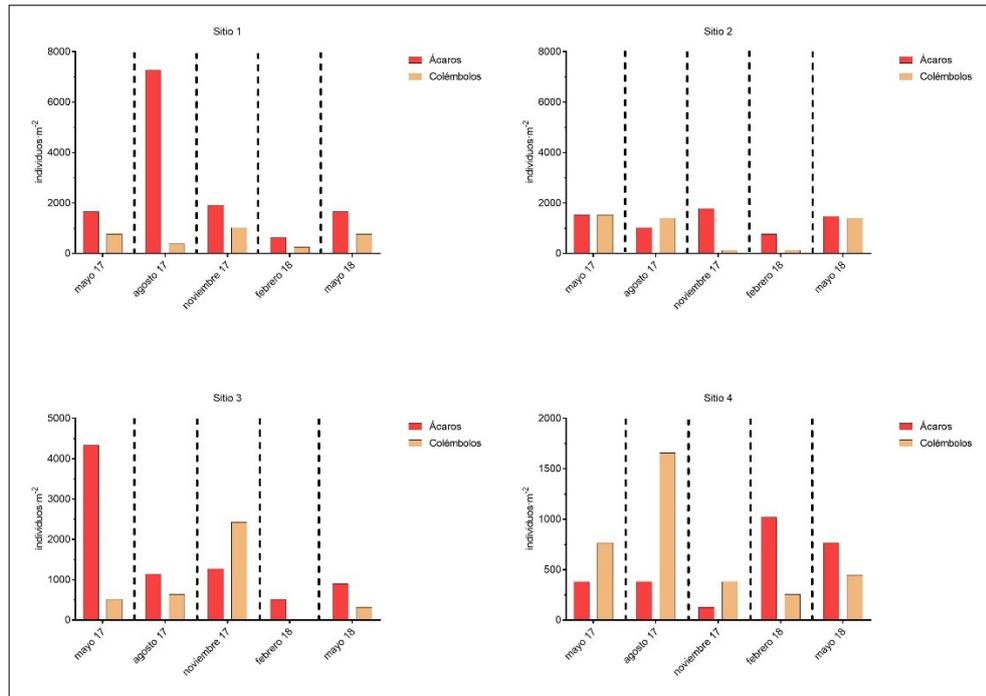


Figura 31: Ácaros y colémbolos por metro cuadrado presentes para cada fecha en los distintos sitios.

Las figuras 32 (a, b, c y d) y 33 (a, b y c) indicaron el número de $\text{individuos} \cdot \text{m}^{-2}$ de cada suborden de ácaros y colémbolos para cada sitio. No se encontraron diferencias significativas entre los sitios para cada suborden, siendo el número de individuos por m² similar para todos los sitios.

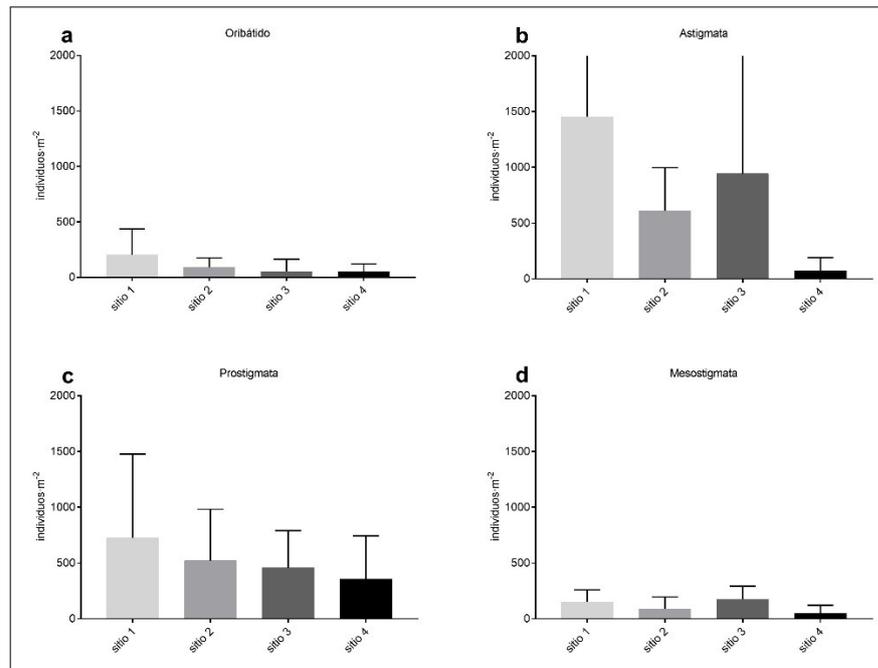


Figura 32: $\text{individuos} \cdot \text{m}^{-2}$ de cada suborden de ácaro presentes en cada sitio. Oribátido (a), Astigmata (b), Prostigmata (c) y Mesostigmata (d).

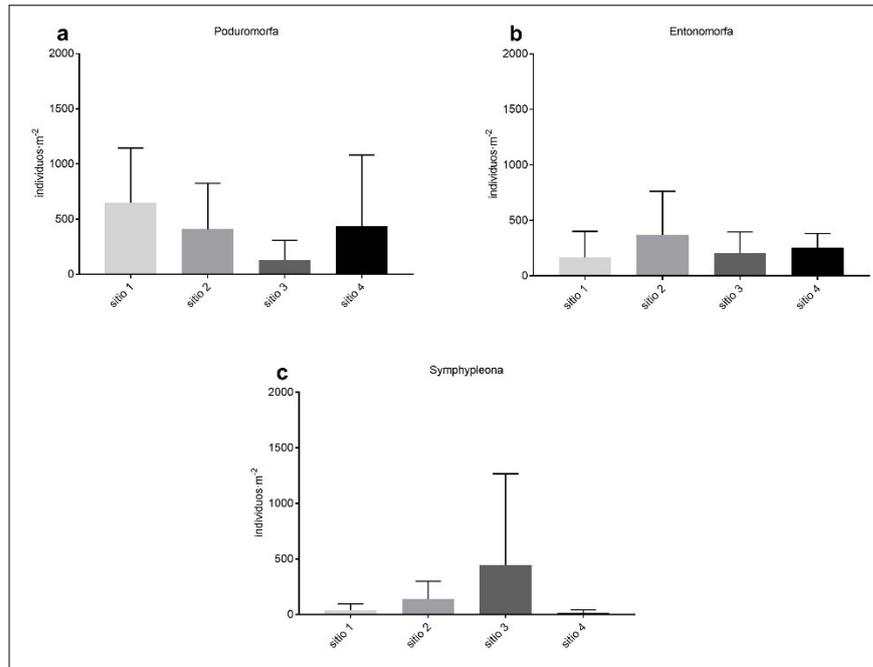
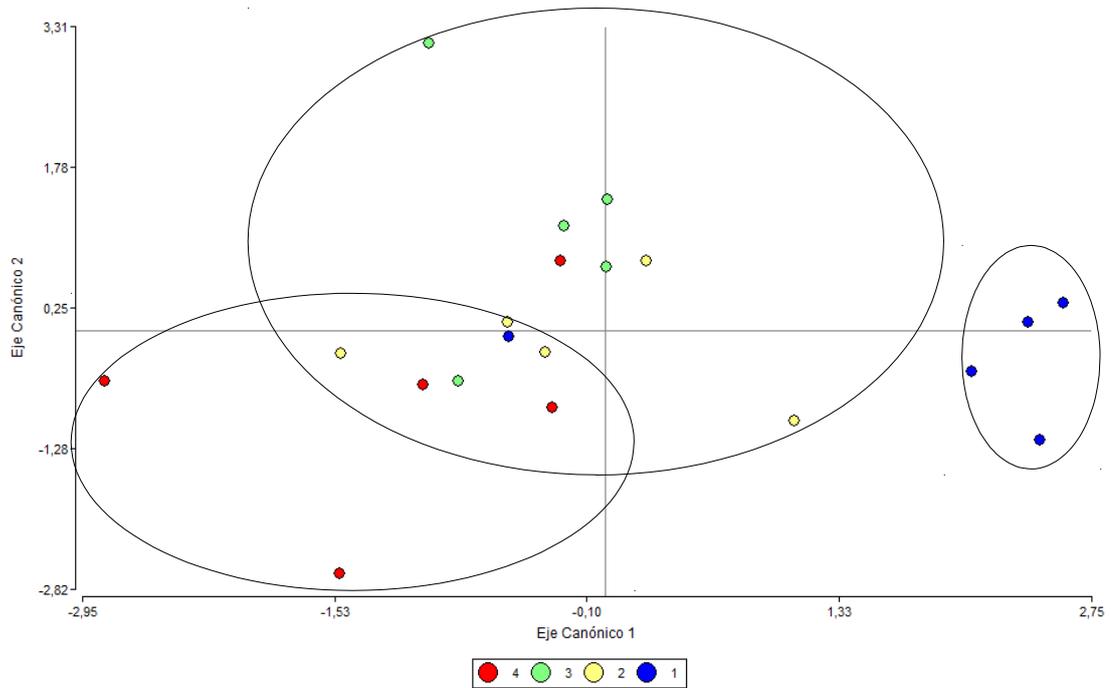


Figura 33: $\text{individuos} \cdot \text{m}^{-2}$ de cada suborden de colémbolo presentes en cada sitio. Poduromorfa (a), Entonomorfa (b) y Symphypleona (c).

Con el objetivo de discriminar el efecto de la intensidad de uso de la tierra sobre la mesofauna se realizó un análisis discriminante utilizando a los diferentes subórdenes de mesofauna presentes en cada sitio (figura 34). Se observó cómo los puntos correspondientes al sitio 1, la clausura, se distribuyeron a la derecha de la línea 0 del eje canónico 1 (el que más explica 68%, explicando el eje 2, 29%, en total 97%). Los sitios 2 y 3 presentaron una distribución bastante similar, se ubicaron en el centro, cercanos a la línea 0 de ambos ejes principalmente (el eje 1 y el eje 2). El sitio 4 en cambio, se diferenció un poco más de los sitios 1, 2 y 3, sus puntos se ubicaron a la izquierda del eje canónico 1 principalmente, y por debajo del eje canónico 2, en su mayoría. Dentro de los sitios agrícolas, los sitios 2 y 3 se parecieron entre sí, y se separaron del sitio 4. En el eje 1 los componentes Prostigmata, Mesostigmata y Symphypleona fueron los que más lo explicaron. En el eje 2 Mesostigmata, Poduromorfa y Symphypleona fueron los que más lo explicaron.



a 1. Los sitios 3 y 4 presentaron valores muy por encima de 1. Por lo tanto, según que índice se utilizó, se puede clasificar a cada sitio de manera diferente: como estables o inestables.

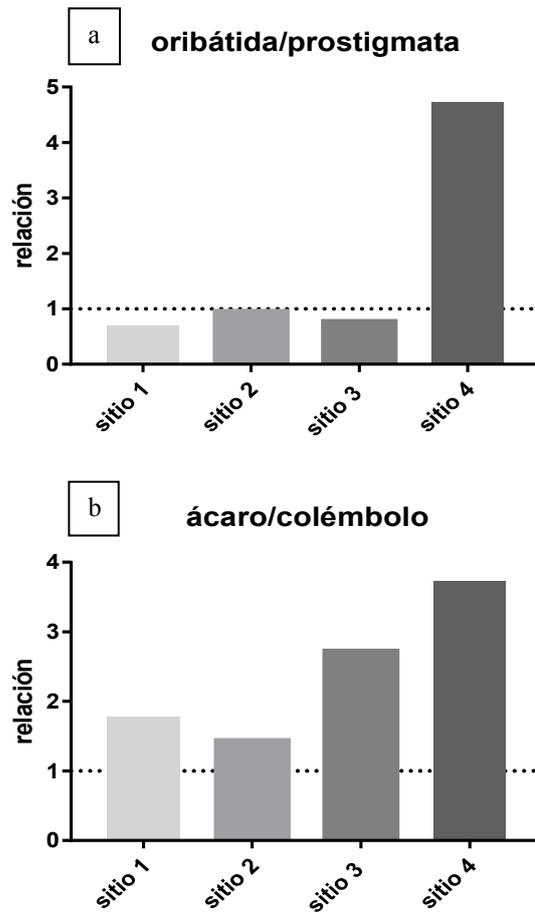


Figura 35: Indicadores de estabilidad para cada sitio de estudio. a: oribatida/prostigmata. b: ácaro/colémbolo.

II.5. DISCUSIÓN

II.5.1. A campo

Los resultados obtenidos en el análisis de las métricas poblacionales pusieron de manifiesto las diferencias en el grado de sensibilidad frente a las perturbaciones ocasionadas por el hombre (artificialización por el uso de las tierras) entre los distintos sitios. Estos indicaron una clara diferencia entre el sitio 1 (la clausura) frente a los restantes sitios agrícolas (2, 3 y 4). Resultados similares, fueron obtenidos por Bedano et al. (2001, 2005), en ambientes de clausura. Según Cortet et al. (2002) y Kautz et al. (2006), en sitios con grados de artificialización por el uso de la tierra creciente, disminuyen las densidades poblacionales de la mesofauna. Además, el sitio 1 (la clausura) presentó los mayores valores de densidad de colémbolos. Dichos resultados son similares a los observados por Sousa et al. (2004) en Portugal, para un gradiente creciente de ambientes con mayor artificialización por el uso de las tierras, poniendo de manifiesto que el uso de las tierras influye en las métricas poblacionales de los colémbolos.

Por otra parte, Bedano et al. (2001, 2005), Socarrás e Izquierdo (2016), indican la importancia de los muestreos en las diferentes épocas del año ya que la densidad de individuos varía durante las diferentes estaciones anuales debido a cambios en la temperatura y humedad. Esta situación fue contemplada en el tipo de muestreo con un criterio estacional. Las respuestas encontradas en los muestreos realizados en el año 2018, en el mes de marzo fueron significativamente diferentes y las mayores frente al resto de los meses para las densidades de ácaros.

En relación a los distintos niveles de artificialización, según Behan-Pelletier (1999), son los ácaros oribátidos los más susceptibles a las prácticas de manejo, por ello, su abundancia relativa en sitios menos antropizados es mayor, dichas afirmaciones se observaron en el sitio 1 (clausura). Socarrás e Izquierdo (2016) afirman que las áreas de pastizales se distinguen por una alta dominancia de los microartrópodos encargados de la descomposición de la materia orgánica (indicadores de estabilidad) y una caída brusca de la abundancia del resto de los grupos (indicadores de perturbación) del medio edáfico. Se sugiere por lo tanto que los oribátidos y colémbolos son grupos que efectivamente indican estabilidad en el sistema. Al mismo tiempo, los $\text{individuos} \cdot \text{m}^{-2}$ de symphypleona en el sitio 1 (clausura) fueron los mayores detectados, siendo muy bajos en el sitio 3 y 4. Resultados similares encontraron Sousa et al. (2004). donde en el sitio con mayor grado de artificialización por el uso de las tierras este suborden no se encontró. Según Socarrás (1998) los colémbolos y mesostigmata (cohorte gamasina), son los grupos más afectados en diversas prácticas de manejo en pastizales en Cuba, siendo estos indicadores de la estabilidad y la fertilidad del suelo debido a que son muy susceptibles a las perturbaciones del medio por tener cuerpos blanquecinos y blandos.

Adicionalmente, el análisis discriminante dio información que se complementa a la de densidades de $\text{individuos} \cdot \text{m}^{-2}$. Este análisis confirma muchas de las diferencias encontradas entre los subórdenes de ácaros y colémbolos respecto a los sitios bajos estudio, que en este caso serían los tratamientos de dicho experimento. Se pudo discriminar entre el sitio 1 (clausura) respecto al resto. Mismos resultados encontraron Bedano et al. (2016), donde el eje canónico 1 separó, en mayor medida al sitio, en este caso el ambiente natural (clausura de 30 años) del resto de los sitios agrícolas, en el

centro, este de Córdoba y norte de Buenos Aires. Como bien dijeron Cassani et al. (2016), la distribución espacial de los organismos de la mesofauna está íntimamente relacionada con la presión creciente sobre los agroecosistemas. Algunos de los factores como la materia orgánica, OC, POM y LOI, conjuntamente con el pH impulsan la heterogeneidad espacial y la actividad de los organismos de la mesofauna.

Finalmente, la aplicación de indicadores biológicos de estabilidad a campo, dieron como resultado una diferencia del sitio 1 (clausura) con el resto de los sitios. En ambos indicadores utilizados esta diferencia fue observada. Si bien en los resultados del indicador Ácaros/Colémbolos (Mateos, 1992) para ningún sitio dieron valores por debajo de 1, la clausura obtuvo los valores más cercanos a 1. En cambio, los restantes sitios obtuvieron valores mucho más altos en comparación al sitio 1. Por lo tanto, el resto de los sitios estarían en un estado de desequilibrio o de mayor perturbación, siendo sistemas inestables. Resultados similares encontraron Socarrás y Rodríguez (2005), para sitios disturbados, donde en agroecosistemas recultivados con *pinus cubensis*, en una zona anteriormente minera, observaron una muy alta relación Ácaro/Colémbolo, incluso aun luego de 16 años de la forestación. Del mismo modo, el indicador propuesto por Andrés (1990) Oribátida/Prostigmata, dio como resultado que la clausura presentara valores por encima de 1. Según dicho autor cuando se está en valores por debajo de 1, se estaría en una dominancia de prostigmata, grupo indicador de la oligotrofia y aridez, donde el grado de desequilibrio de las comunidades es irreversible, por lo tanto, sitios inestables. Dicho resultado se observó para los sitios 2, 3 y 4. Similares resultados fueron obtenidos por Bedano et al. (2001) donde en una clausura de 40 años y en sitios ganaderos, encontraron valores muy cercanos a 1. Asimismo, Socarrás e Izquierdo (2014) hallaron resultados parecidos, donde en sitios de pastizales los valores dieron muy por encima de 1, y en cambio en sitios agrícolas, valores cercanos a 1.

Adicionalmente, al hablar de índices y no indicadores, Bedano et al. (2011) propusieron el índice OM/PA, el cual a diferencia del resto combina distintos subórdenes de ácaros, dos subórdenes en el numerador y otros dos subórdenes en el denominador. Este índice fue pensado para utilizarse para detectar diferentes respuestas en sistemas agrícolas. Dichos índices pueden ser muy interesantes y muy útiles, pero no analizan la estabilidad de agroecosistema, sino la calidad del suelo.

II.5.2. Confrontación campo vs. Laboratorio

Una gran diferencia encontrada fue que en los experimentos en microcosmos en laboratorio se observó una menor densidad de individuos de ácaros y colémbolos respecto a los ensayos a campo. No obstante, en todos los microcosmos correspondientes a los sitios 1, 2 y 3 se observaron mayores densidades de ácaros astigmata respecto a los encontrados en los sitios 1, 2 y 3 del campo. En el microcosmo correspondiente al sitio 4, se encontró la misma densidad de astigmata que el sitio 4 a campo. Salminen y Haimi (1996) concluyeron en experimentos en microcosmos que cuanto más artificialización por el uso, mayor es la densidad de astigmatas. Hay que tener en cuenta que el retiro de cilindros con suelo, y su posterior colocación en macetas para el armado de microcosmos es una acción de gran perturbación, que posiblemente luego de un año de ensayos, no fue suficiente para que las poblacionales se estabilicen. Un mayor disturbio genera un menor número de especies en general, pero aumentan las oportunistas (Gray, 1989), en este caso se comprobó con el aumento de astigmatas y una disminución en general del resto de las especies, y en mayor grado de los oribátidos, que son indicadoras de estabilidad. Contrariamente al resto de los microcosmos, el 4, no

tuvo un aumento de individuos de astigmata. En los experimentos a campo este sitio fue uno de los que menos estabilidad presento. Si hablamos de su historial de uso, el sitio 4 viene de constantes y regulares perturbaciones a campo (diferentes labranzas), por lo tanto, frente a un factor de estrés tan grande como el armado del microcosmos, en este sitio no se manifestó el aumento de los astigmata por el grado de perturbación heredado por su uso.

Respecto a los indicadores de estabilidad, en los experimentos a campo se obtuvieron resultados muy concluyentes respecto a la diferencia entre el sitio de clausura respecto a los sitios bajo diferentes grados de artificialización por el uso de las tierras. Contrariamente a estos resultados, en los experimentos en microcosmos, los diferentes indicadores aplicados dieron resultados distintos, que variaron de un indicador a otro. Este comportamiento pone de manifiesto que es necesario seguir investigando en el desarrollo de indicadores más sensibles cuando se trabaja en microcosmos en laboratorio, ya que esta metodología dio información valiosa que complemento los trabajos de campo.

II.6. CONCLUSIONES

- La métrica poblacional, $\text{individuos} \cdot \text{m}^{-2}$, puso de manifiesto las diferencias en los grados de artificialización por el uso de las tierras.
- Para ambos indicadores biológicos aplicados, la clausura fue considerada estable.
- Un mayor disturbio genera un menor número de especies en general, pero aumentan las oportunistas, como se comprobó en el experimento en microcosmos.
- En los experimentos en microcosmos, los diferentes indicadores aplicados dieron resultados disímiles a los observados a campo, y variaron de un indicador a otro.

CAPITULO III
DESCOMPOSICIÓN DE RASTROJO

III.1. INTRODUCCIÓN

Según, Gholz et al. (2000) y Powers et al. (2009) el clima a escala regional posee relaciones positivas, mediante la temperatura y las precipitaciones, sobre la tasa de descomposición de los rastrojos. A escalas de semidetalle y mayores, donde el clima es homogéneo, la química como la relación C/N de los rastrojos y la comunidad de mesofauna, son las que juegan un rol clave en la descomposición de los mismos (Wall et al., 2008). En lo que respecta al clima, la calidad del rastrojo y la criptofauna, según el modelo conceptual de Swift et al. (1979), son los factores primarios en la descomposición de los rastrojos. Lavelle et al. (1993) encontraron que la actividad de la Macrofauna es particularmente importante en la regulación del proceso de descomposición, donde observaron que las interacciones entre la Macrofauna y los microorganismos es más intensa en áreas donde el clima es generalmente constante. Según Wilkinson (1998) la descomposición de rastrojos depende principalmente de la relación entre los diferentes organismos que habitan el agroecosistema: los productores y los descomponedores.

La discretización de los diferentes tamaños de criptofauna han demostrado ser métodos muy eficaces para señalar como las diferentes comunidades de criptofauna influyen en la tasa de descomposición de los rastrojos (González y Seastedt, 2001; Bradford et al., 2002; Kampichler y Bruckner, 2009; Castro-Huerta et al., 2015). La separación en micro, meso y macrofauna, no solamente ayuda a comprender cuantitativamente el rol de cada comunidad, en la descomposición de los rastrojos, sino también las interacciones y por lo tanto la contribución de la fauna que las rodea (Bradford et al., 2002). Según Petersen and Luxton (1982), la mesofauna consume y fragmenta los restos vegetales aumentando la superficie para la colonización de la microflora (capítulo II). Actualmente existen diferentes metodologías para calcular la descomposición de rastrojo a campo y en laboratorio. Entre ellas uno de la más utilizada es a través de las bolsitas de descomposición (litter-bag). En el caso de bolsitas de descomposición, los efectos directos involucran el consumo de rastrojo y la remoción de rastrojo de las bolsitas, los efectos indirectos involucran la modificación de los efectos directos de un grupo de fauna a través de la acción del otro (Petersen y Luxton, 1982). Se considera que la pérdida de rastrojo de las bolsitas incluye la fragmentación, además de la descomposición, como parte funcional del rol de la meso y macrofauna, facilitando el movimiento del rastrojo hacia el perfil del suelo.

Por tales motivos, el análisis de la descomposición de rastrojo puede considerarse como un indicador de la estabilidad del agroecosistema, considerando a la descomposición como una emergente del mismo.

III.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Calcular la tasa de descomposición de los rastrojos, el porcentaje de rastrojo remanente y analizar el efecto de la mesofauna sobre los mismos.

III.3. MATERIALES Y MÉTODOS

III.3.1. A campo

Se diseñó un ensayo a campo para la medición de las tasas de descomposición de rastrojo. Se utilizaron bolsas de descomposición de 15 x 15 cm con diferentes diámetros de apertura de malla: 0,1 mm, 2 mm y 10 mm (figura 37). Esto permitió evaluar diferencias según la fauna (microfauna, mesofauna, macrofauna) que pueda atravesar cada malla. Se asume que la macrofauna puede atravesar las mallas de 10 mm pero no las de 2 mm; y que la mesofauna puede atravesar las mallas de 2 mm de diámetro de apertura pero no las de 0,1 mm, esta última deja atravesar la microfauna permitiendo descontar su efecto a la malla de 2 mm.

En cada uno de los cuatro sitios (4) bajo estudio se colocaron nueve conjuntos (9) de bolsas. Cada conjunto estuvo compuesto por tres bolsas (3), una (1) de 0,1 mm, una (1) de 2 mm y una (1) de 10 mm de diámetro de apertura de malla, siendo un total de veintisiete (27) bolsas por sitio y ciento ocho (108) en total. En cada bolsa se colocaron 6 gr de rastrojo de trigo, cortado a un tamaño no mayor a 2-3 cm (figura 36), equivalente a un rendimiento de 4000 kilos por hectárea de la campaña 2016, secados en estufa durante 48hs a 60°C. Al rastrojo cosechado, que fue utilizado para los ensayos, se analizó la relación Carbono/Nitrógeno (carbono orgánico, por calcinación; nitrógeno, método microKjeldhal), según Page et al. (1982) y Klute (1986). El rastrojo de trigo procedió de un lote vecino.



Figura 36: Tamaño del rastrojo utilizado para el armado de bolsitas de descomposición.

Las bolsas se colocaron, en los distintos sitios sobre la superficie del suelo, colocando no más de nueve (9) bolsas por metro cuadrado y cubiertas ligeramente con el rastrojo presente en el sitio (figura 37 y 38). Durante su transporte al campo, cada bolsita de descomposición fue colocada en una bolsa de nylon, para colectar el material que por transporte y manipuleo pudiera haber caído de la bolsa de descomposición.

Luego, si así lo hubo, se descontó al peso inicial medido previamente en el armado de las bolsitas.

Se realizaron 3 campañas a saber:

- Durante la primera campaña verano-otoño-invierno 2017 (de ahora en adelante VOI 2017), se extrajeron a los 61, 129 y 216 días desde el comienzo del experimento en el día 16 de enero y finalizando el día 20 de agosto.
- En la segunda campaña verano-otoño-invierno 2018 (de ahora en adelante VOI 2018), se extrajeron a los 70, 152 y 188 días desde el comienzo del experimento en el día 6 de enero y finalizando el 13 de julio.
- La tercera campaña, invierno-primavera 2018 (de ahora en adelante IP 2018), se extrajeron a los 33, 66 y 103 días desde el comienzo del experimento el día 15 de septiembre y finalizando el día 27 de diciembre.

En cada campaña y en los días estipulados en cada una de ellas se retiraron tres (3) conjuntos de bolsas de cada sitio al azar, las cuales se pesaron luego de su desecación en estufa durante 48hs a 60°C. Previamente, el rastrojo se limpió cuidadosamente de manera que, si lo hubiere, de eliminar partículas de suelo y material vegetal extraño. La descomposición se medirá por pérdida de peso seco, obteniendo valores de rastrojo remanente.



Figura 37: Un conjunto de tres bolsas de descomposición de diferentes tamaños de malla. Nótese que no se cubrieron con rastrojo para poder ser fotografiadas.



Figura 38: Conjuntos de bolsas de descomposición distribuidas en un sitio de trabajo. Nótese que no se cubrieron con rastrojo para poder ser fotografiadas.

III.3.2. En Laboratorio

En el experimento en microcosmos, el cual fue descrito en el capítulo II, en cada maceta se colocó un conjunto de tres bolsitas (3) de diferente tamaño de malla (0,1 mm; 2 mm y 10 mm) de 4 x 5 cm (figura 38). Siendo en total 96 bolsitas, 32 de cada tamaño de malla. Esto permitirá evaluar diferencias en la descomposición de rastrojo según la fauna (microfauna, mesofauna, macrofauna) que pueda atravesar cada malla.

Todas las bolsitas permiten el paso de bacterias y hongos, por lo que su presencia es la misma para todas. Se asume que la macrofauna puede atravesar las mallas de 10 mm pero no las de 2 mm; y que la mesofauna puede atravesar las mallas de 2 mm de diámetro de apertura pero no las de 0,1 mm, esta última deja atravesar la microfauna permitiendo descontar su efecto a la malla de 2 mm.

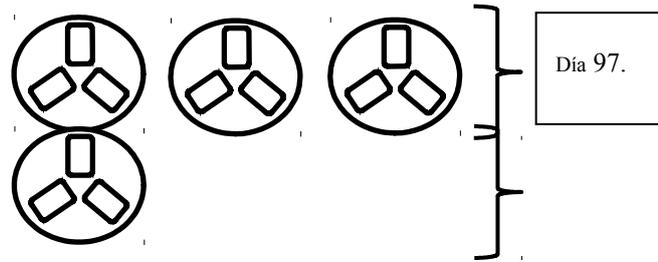


Figura 39: Un conjunto de 3 bolsas de descomposición en maceta. Nótese que no se cubrieron con rastrojo para poder ser fotografiadas.

En cada bolsita se colocaron 1,2 gramos de rastrojo de trigo previamente secado en estufa a 60°C por 48hs y cortado a un tamaño no mayor a 1 cm. El rastrojo de trigo fue recolectado a campo, en un lote vecino a los sitios experimentales, el día 23 de diciembre del 2016. Las mismas fueron colocadas sobre la superficie del suelo de la maceta y cubiertas ligeramente con rastrojo perteneciente al cosechado para el armado de las bolsas (figura 39).

Cada tres (3) meses, y durante doce (12) meses, se extrajeron tres (3) conjuntos de tres (3) tamaños de malla (micro, meso y macro) de cada maceta correspondiente a cada sitio bajo estudio. Desde el comienzo del experimento se extrajeron a los 97, 195, 300 y 371 días (figura 40). El rastrojo remanente, dentro de las mismas, se pesó luego de su desecación en estufa durante 48 hs a 60°C. La pérdida de rastrojo, al igual que las muestras a campo, se midió por pérdida de peso seco, obteniendo valores de rastrojo remanente.

Se determinó mantener el ensayo en capacidad de campo, controlada a través de dos sensores de humedad conectados a un DataLogger que monitoreaba cada 30 minutos. El déficit por debajo de la capacidad de campo fue repuesto constantemente a través de un riego de micro gota con agua destilada, para mantener el estado hídrico durante todo el ensayo. La temperatura fue monitoreada con el mismo dispositivo. Para evitar la contaminación por polvo atmosférico se procedió a cubrir los microcosmos con una malla de 1 mm. A su vez todos los microcosmos fueron cubiertos con una malla de 1 mm, dentro del espacio generado se colocaron tubos fluorescentes para controlar la luz y la temperatura (figura 18). El rastrojo utilizado para los ensayos a campo es el mismo que el utilizado en los tratamientos en los ensayos en laboratorio.



x 4 sitios

Figura 40: Diagrama del diseño experimental del ensayo en microcosmos por sitio, para los cuatro sitios (maceta con bolsitas de descomposición de los tres tamaños de malla).

III.3.3. Tratamiento estadístico de la información

Los pesos de los rastros dentro de cada una de las bolsitas, antes de ser colocadas a campo y microcosmo al inicio de cada campaña, se tomaron como rastrojo inicial base (%RI) para el cálculo de rastrojo remanente (RR). Los valores de rastrojo remanente (RR), fueron sometidos a pruebas de homogeneidad de varianzas y de normalidad.

Como la variable RR fue medida en varias ocasiones en los mismos sitios, estamos ante un análisis de medidas repetidas en el tiempo, en donde no se cumple con el supuesto de independencia de las observaciones. Para ello mediante la interfaz de Infostat con R (Di Rienzo et al., 2018), se utilizaron modelos mixtos para el análisis y así poder comparar entre los diferentes sitios y los diferentes tamaños de fauna edáfica. Cuando se encontraron diferencias significativas se aplicó el test LSD Fisher para la comparación de medias ($p \leq 0,05$).

Los gráficos de rastrojo remanente (RR) fueron realizados mediante el software GraphPad Prism®.

Con los valores de RR y %RI se calcularon las tasas de descomposición de rastros (K) mediante el modelo exponencial negativo de Olson (1963):

$$RR = RI * e^{-kt}$$

RR=Rastrojo Remanente
 RI = Rastrojo Inicial
 t = Tiempo (Días)
 k = Tasa de descomposición

Las diferentes tasas de descomposición de rastrojos (K) fueron sometidas a pruebas de homogeneidad de varianzas y de normalidad. Se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) para comparar entre los diferentes tamaños de aperturas de malla y sitios de estudio. Cuando se encontraron diferencias significativas se aplicó el test LSD Fisher para la comparación de medias ($p \leq 0,05$).

III.4. RESULTADOS

III.4.1. Descomposición de rastrojos

III.4.1.1. Características del rastrojo

El rastrojo de trigo utilizado para el armado de las bolsitas de descomposición posee una relación de Carbono / Nitrógeno de 40. Según Swift (1979) a menores valores de relación Carbono / Nitrógeno mayores tasas de descomposición de los restos vegetales.

III.4.1.2. A campo

Según los resultados del análisis climático y la duración y momento de los ensayos podemos determinar tres situaciones, a saber:

- Primera campaña: desde enero a agosto del 2017 (VOI 2017). Se presentó un período hídrico de déficit de humedad antes del ensayo. Durante el ensayo de 7 meses de duración que involucró las estaciones de verano-otoño-invierno donde manifestó un comportamiento climático característico del área bajo estudio (Capítulo I);
- Segunda campaña: desde enero a julio del 2018 (VOI 2018). Se presentó un periodo hídrico de déficit de humedad antes y durante buena parte del ensayo, con una duración de 6 meses que involucró a las estaciones verano-otoño-invierno (Capítulo I);
- Tercera campaña: desde septiembre a diciembre del 2018 (IP 2018) no se manifestó un período de déficits hídricos, involucrando una duración de 3 meses durante la estación de finales de invierno, primavera y principio de verano (Capítulo I).

III.4.1.2.1. Tasas de descomposición

En la primera campaña (VOI 2017), en el análisis de las tasas de descomposición, se observaron diferencias significativas entre los distintos sitios. Las mayores tasas de descomposición de rastrojo las presentó el sitio 1 (clausura), diferenciándose del resto de los sitios. Los sitios 2 y 4 presentaron valores similares estadísticamente entre ellos, pero diferentes al sitio 1 y 3. Las menores tasas de descomposición de los rastrojos se observaron en el sitio 3 (tabla 9 a).

En el análisis de las tasas de descomposición para cada tamaño de fauna edáfica se observó que la microfauna y la micro+mesofauna no difirieron estadísticamente entre ellas, sin embargo se observó una tendencia por parte de la micro+mesofauna de tener mayor tasa de descomposición frente a la microfauna. En cambio, ambas sí difirieron respecto a la micro+meso+macrofauna (tabla 9 b).

Para la primera campaña (VOI 2017) al analizar sitios más artificializados se observó una disminución en las tasas de descomposición. En el sitio 1, la clausura, siempre difirió estadísticamente del resto de los sitios bajo agricultura, y presentó tasas de descomposición superiores al resto.

Tabla 9: Tasa de Descomposición de rastros ($g \cdot año^{-1}$) de la primera campaña para las variables sitio (a) y tamaño de fauna edáfica (b). Las letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$). $g \cdot año^{-1}$

Primera campaña			
(a) Sitio		Medias	Diferencias significativas
	1	-1,14	A
	4	-0,87	B
	2	-0,86	B
	3	-0,67	C
(b) Tamaño de la fauna edáfica		Medias	Diferencias significativas
	Microfauna	-0,67	A
	Micro+mesofauna	-0,78	A
	Micro+meso+macrofauna	-1,2	B

En la segunda campaña (VOI 2018) se observó que la tasa de descomposición por microfauna para el sitio 4 fue muy baja en relación al sitio 1. La tasa de descomposición de micro+mesofauna del sitio 4 tuvo menor valor respecto al sitio 1. Al analizar los tamaños micro+meso+macrofauna, el sitio 4 obtuvo una menor tasa que el sitio 1 (tabla 10).

Tabla 10: Tasa de Descomposición de rastros ($g \cdot año^{-1}$) de la segunda campaña para la interacción sitio*tamaño. Las letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$). $g \cdot año^{-1}$

Segunda campaña			
Sitio	Tamaño	Medias	Diferencias significativas
4	micro	-0,18	A
4	micro+meso	-0,67	B
1	micro	-0,85	C
4	micro+meso+macro	-1,08	D
1	micro+meso	-1,11	D
1	micro+meso+macro	-1,39	E

En la tercera campaña (IP 2018), para los sitios 2 y 3 no se encontraron diferencias significativas entre las tasas de descomposición de los rastrojos, pero si hubo diferencias de ellos frente al sitio 1, el cual obtuvo la mayor tasa de descomposición (tabla 11 a). Para la variable tamaño de fauna edáfica, no se encontraron diferencias significativas entre la microfauna y la micro+mesofauna. Si se encontraron diferencias de la micro+meso+macrofauna con el resto, la cual obtuvo la mayor tasa de descomposición de rastrojos (tabla 11 b).

Tabla 11: Tasa de Descomposición de rastrojos ($g \cdot año^{-1}$) de la tercera campaña para las variables sitio (a) y tamaño de fauna edáfica (b). Las letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$). $g \cdot año^{-1}$

Tercera campaña		
(a) Sitio	Medias	Diferencias significativas
1	-0,69	A
2	-0,53	B
3	-0,51	B
(b) Tamaño de la fauna edáfica		
Medias	Diferencias significativas	
Microfauna	-0,26	A
Micro+mesofauna	-0,36	A
Micro+meso+macrofauna	-1,09	B

Las salidas del programa estadístico se encuentran en el Anexo 5.

III.4.1.2.2. Porcentaje de rastrojo remanente (RR)

Cuando se estudió la caída en el porcentaje de rastrojo remanente (RR%), para cada sitio a través del tiempo y para las tres campañas a campo (VOI 2017, VOI 2018 e IP 2018), se observó que todos los sitios presentan valores menores al 100%, por lo tanto, hubo descomposición de rastrojos en todos los sitios (figura 40).

En la primera campaña (VOI 2017) como resultado del análisis realizado, se observó el menor valor de RR en el sitio 1, siendo diferente estadísticamente del resto de los sitios. Valores de RR mayores que el sitio 1 se observaron en los sitios 2, 3 y 4, no encontrándose diferencias significativas entre ellos (figura 40 a). Se observó una diferencia entre el sitio 1 (la clausura) respecto a los sitios agrícolas (sitios 2, 3 y 4) con diferente grado de artificialización por el uso de las tierras (figura 40 a).

En la segunda campaña (VOI 2018) solo se pudo analizar los sitios 1 y 4, siendo el primero una clausura y el segundo un lote agrícola con el mayor grado de artificialización del uso de las tierras en el área de los ensayos. Esta situación se produjo por la destrucción a campo de las bolsitas de los sitios 2 y 3 por mecanización fuera del plan de labranzas planificado. Como resultado, se observó que el sitio 1 presentó menores valores de RR con respecto al sitio 4. A su vez se observó diferencias significativas entre ellos (figura 40 b).

En la tercera campaña (IP 2018), se observaron los menores valores de RR en el sitio 1, presentando diferencias significativas con el resto. Valores superiores de RR, se observaron en los sitios 2 y 3, no diferenciando significativamente entre ellos pero si respecto al sitio 1 (40 c).

En la primera (VOI 2017) y segunda campaña (VOI 2018) los valores de RR de cada sitio fueron similares, ya que ambas campañas fueron realizadas en la misma época del año. En cambio, la tercera campaña (IP 2018) fue realizada en distinta fecha y tuvo a su vez una menor duración. Esto justificaría los menores valores de RR para cada uno de los sitios observados. Es necesario aclarar que en la tercera campaña solo se pudieron analizar los sitios 1, 2 y 3, debido a la siembra no programada de maíz tardío con fines forrajeros que ocasionó la destrucción de las bolsitas de descomposición del sitio 4.

Como resultado, en las tres campañas, los menores valores de RR se observaron en el sitio 1 (clausura) y siempre difirieron significativamente de los sitios agrícolas (sitios 2, 3 y 4). Además, en la primera y tercera campaña se pudo comparar entre sitios bajo agricultura con diferente grado de artificialización en el uso de las tierras y no se encontró diferencias significativas entre ellos (figura 40 a, b y c).

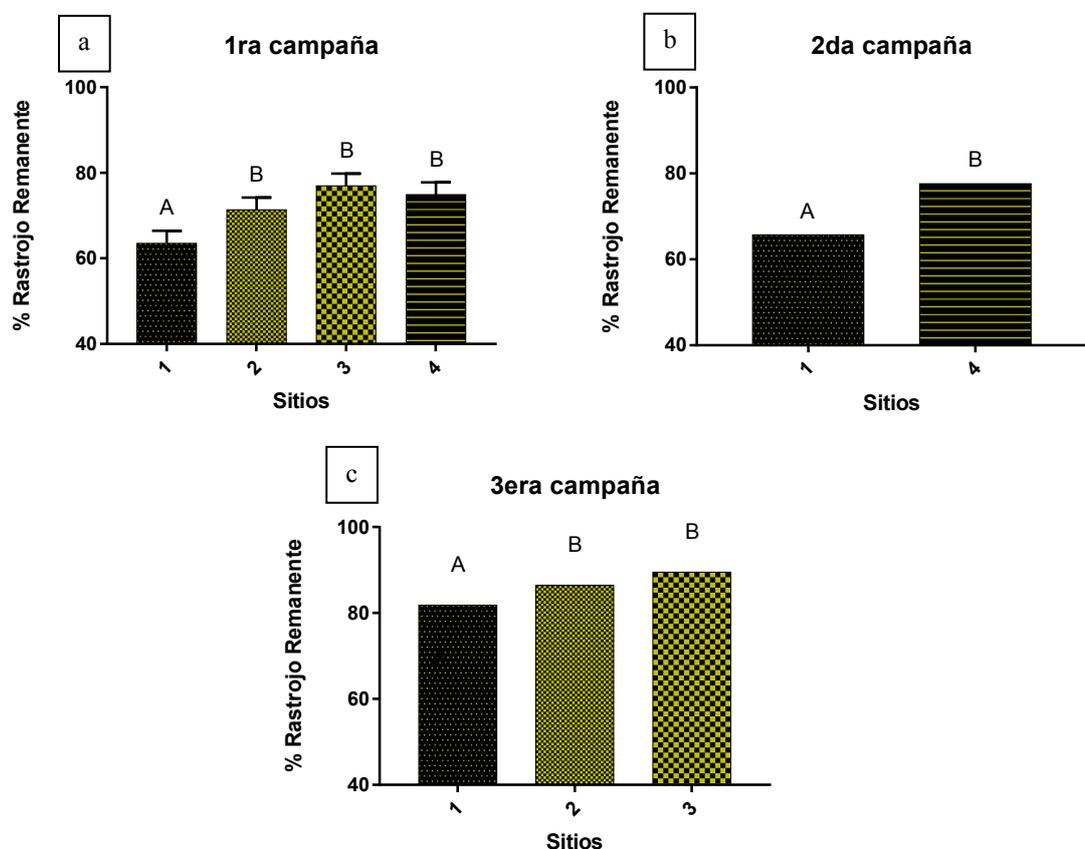


Figura 40: RR para cada sitio analizado en cada campaña a campo. a: 1ra campaña b: 2da campaña c: 3ra campaña. Las letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

En la figura 41 (a, b y c) se presenta el RR para cada tamaño de criptofauna dentro de cada sitio por campaña de muestreo. En la figura 41 a, se observó que en la

primera campaña (VOI 2017) no se encontraron diferencias significativas para RR entre la microfauna y la micro+mesofauna, pero si ellas respecto a la micro+meso+macrofauna para el sitio 1. En el sitio 2, los resultados observados fueron similares a los del sitio 1. En el sitio 4, se observó que el RR para la microfauna difirió significativamente del resto, a su vez el RR para micro+mesofauna no difirió de la micro+meso+macrofauna. A diferencia del resto de los sitios, en el sitio 3, los tres tamaños de fauna edáfica difirieron significativamente entre ellos. Además, se identificó que la mesofauna pasó de no diferir significativamente en los sitios 1 y 2 respecto a la microfauna a tener diferencia en los sitios 3 y 4. (figura 41 a).

En la segunda campaña (VOI 2018) se observó que la microfauna difiere estadísticamente de la micro+mesofauna y de la micro+meso+macrofauna en los sitios 1 y 4. La micro+mesofauna y la micro+meso+macrofauna difieren estadísticamente entre ellas para los mismos sitios (figura 41 b).

En la tercera campaña (IP 2018) se observó la microfauna no difirió significativamente de la micro+mesofauna, pero si ambas difirieron estadísticamente de la micro+meso+macrofauna para los tres sitios (figura 41 c).

En las tres campañas se observó que los RR son menores para todos los tamaños de criptofauna en el sitio 1, respecto al resto de los sitios (figura 41 a, b y c).

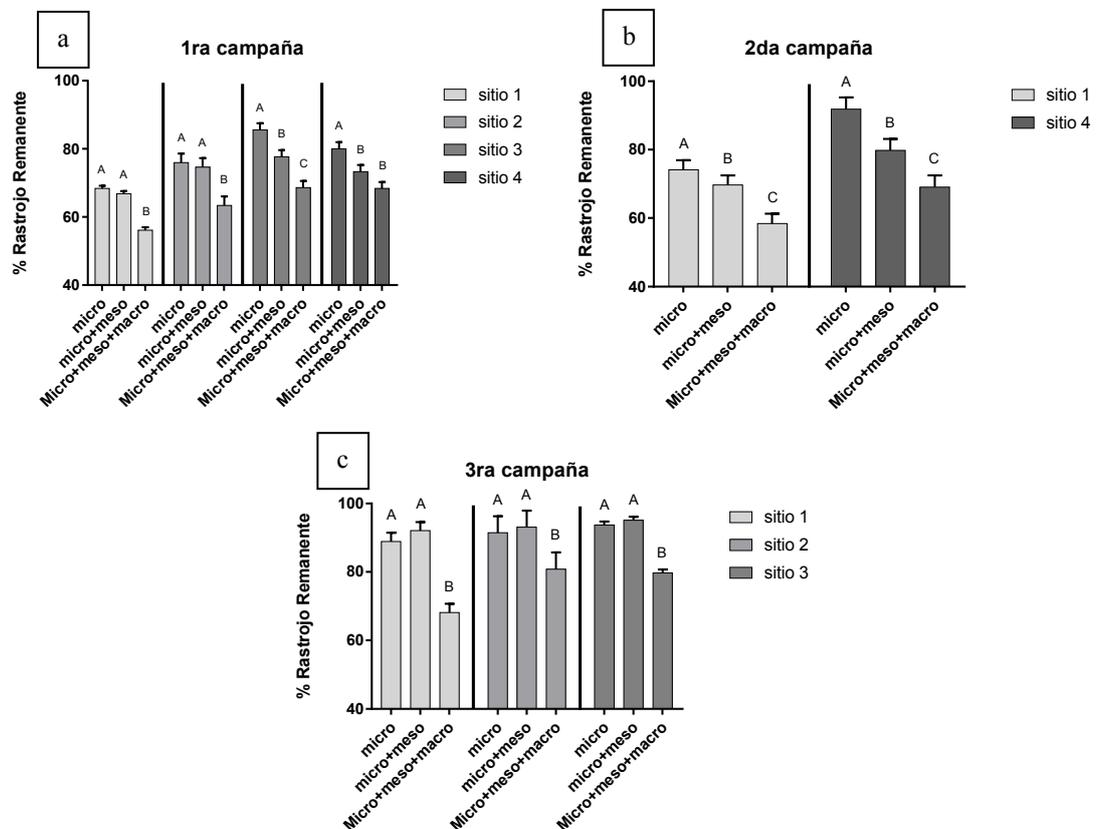


Figura 41: RR para cada tamaño de fauna edáfica dentro de cada sitio para cada campaña a campo. (a) 1ra campaña (b) 2da campaña (c) 3ra campaña. Las letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

En la figura 42 a, se observa en la primera campaña (VOI 2017) el análisis de RR en relación a la micro+mesofauna para cada sitio. En dicha figura se identificó que el menor RR lo obtuvo el sitio 1 difiriendo estadísticamente del resto. Respecto a los valores de los sitios 2, 3 y 4, no se diferenciaron significativamente entre ellos, los cuales poseyeron valores superiores al sitio 1.

En la segunda campaña (VOI 2018) se observaron valores inferiores de RR en el sitio 1, clausura, respecto al sitio 4. Además se encontraron diferencias significativas entre ellos (figura 42 b).

En la tercera campaña (IP 2018) los menores valores de RR, los presentó el sitio 1, le siguió el sitio 2 y el sitio 3, sitios con grado de artificialización creciente. En esta campaña el sitio 1 se diferenció significativamente del sitio 3 pero no del sitio 2. Siendo el sitio 2 el que obtuvo valores intermedios entre el sitio 1 y 3, y no difirió significativamente con ninguno de los dos (figura 42 c).

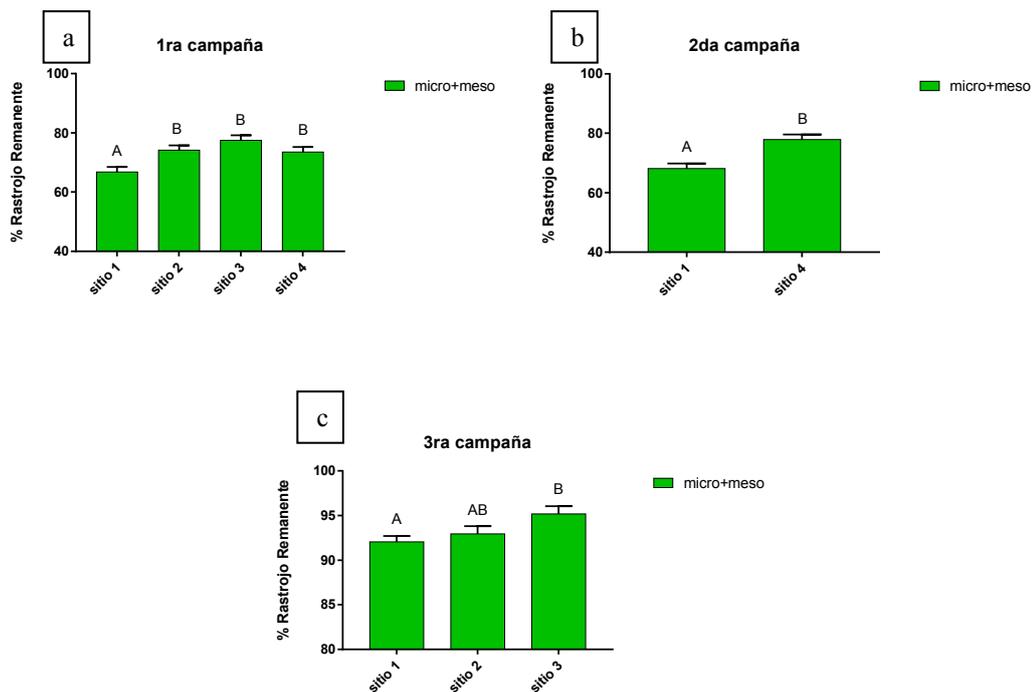


Figura 42: RR para micro+mesofauna en cada sitio para las tres campañas a campo. a: 1ra campaña b: 2da campaña c: 3ra campaña. Las letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

III.4.1.3. En laboratorio

III.4.1.3.2. Tasas de descomposición

Al analizar las tasas de descomposición de rastrojos (desde mayo del 2017 a mayo del 2018) en microcosmos, se observaron diferencias significativas para la interacción sitio*tamaño.

En la tabla 12 se presentan los resultados de las pruebas a posteriori de la variable tasa de descomposición de rastros. La mayor tasa de descomposición se encontró para la microfauna del sitio 4, la cual difirió de manera significativa del resto de los sitios y tamaños. La menor tasa de descomposición se encontró para la microfauna del sitio 3, este sitio, a su vez, no difirió estadísticamente de la tasa de descomposición por la microfauna del sitio 2. La tasa de descomposición de la microfauna en el sitio 1 (clausura) fue menor a la del sitio 4 pero mayor que la del sitio 2 y 3. También, la tasa de descomposición por la micro+mesofauna del sitio 4 fue la que obtuvo la mayor tasa, de los cuatro sitios, sin embargo, no difirió estadísticamente de la del sitio 1 y 3, y si de las del sitio 2. Del mismo modo, la mayor tasa de descomposición de rastros por la micro+meso+macrofauna fue la del sitio 4, sin embargo, no difirió estadísticamente del sitio 1, 2 y 3.

Tabla 12: Resultado de las pruebas a posteriori de la variable tasa de descomposición de rastros ($g \cdot año^{-1}$). Las letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$). $g \cdot año^{-1}$

Sitio	Tamaño	Medias	Dif. significativa
4	micro	-0,66	A
1	micro	-0,51	B
4	micro+meso	-0,51	B
4	micro+meso+macro	-0,46	BC
1	micro+meso	-0,43	BC
3	micro+meso	-0,42	BC
3	micro+meso+macro	-0,4	CD
2	micro+meso+macro	-0,38	CD
2	micro	-0,38	CD
1	micro+meso+macro	-0,37	CD
2	micro+meso	-0,37	CD
3	micro	-0,32	D

III.4.1.3.1. Porcentaje de rastrojo remante (RR)

Cuando se analizaron los RR para cada sitio, independientemente del tamaño, se observó que la mayor disminución del RR y diferente estadísticamente al el resto de los sitios. Los RR para los sitios 1, 2 y 3 fueron similares y no presentaron diferencias significativas entre ellos (figura 44-a).

Al analizar el RR por tamaño de criptofauna para cada sitio, se obtuvo los siguientes resultados: en el sitio 1 (clausura) la microfauna es la que presentó el menor RR difiriendo significativamente de la micro+meso+macrofauna que presentó los mayores valores. La micro+mesofauna no difirió significativamente de ninguna de las anteriores, presentando valores intermedios (figura 44-b).

En la figura 44-b, se observó que la microfauna y la micro+mesofauna presentaron los mayores valores de RR en el sitio 2, no difiriendo significativamente entre ellas. En dicho sitio, la micro+meso+macrofauna presentó valores menores, difiriendo significativamente del resto. En el sitio 3, la micro+mesofauna y la

micro+meso+macrofauna presentaron los menores valores de RR, a su vez no difirieron significativamente entre ellas en el sitio 3. A su vez, en dicho sitio, la microfauna presentó valores mayores y se diferenció significativamente del resto. En el sitio 4, la microfauna presentó los menores valores de RR, la micro+mesofauna presentó valores intermedios y la micro+meso+macrofauna presentó los mayores valores de RR. Además, todos los tamaños de fauna difirieron estadísticamente entre ellos.

En la figura 44-c, al evaluar el resultado del RR por la micro+mesofauna para los sitios bajo estudio, se observó que todos presentaron valores estadísticamente diferentes. El sitio 4 es el que presentó el menor valor, seguido por el sitio 1 y los sitios 3 y 2 respectivamente.

Las salidas del programa estadístico se encuentran en el Anexo 5.

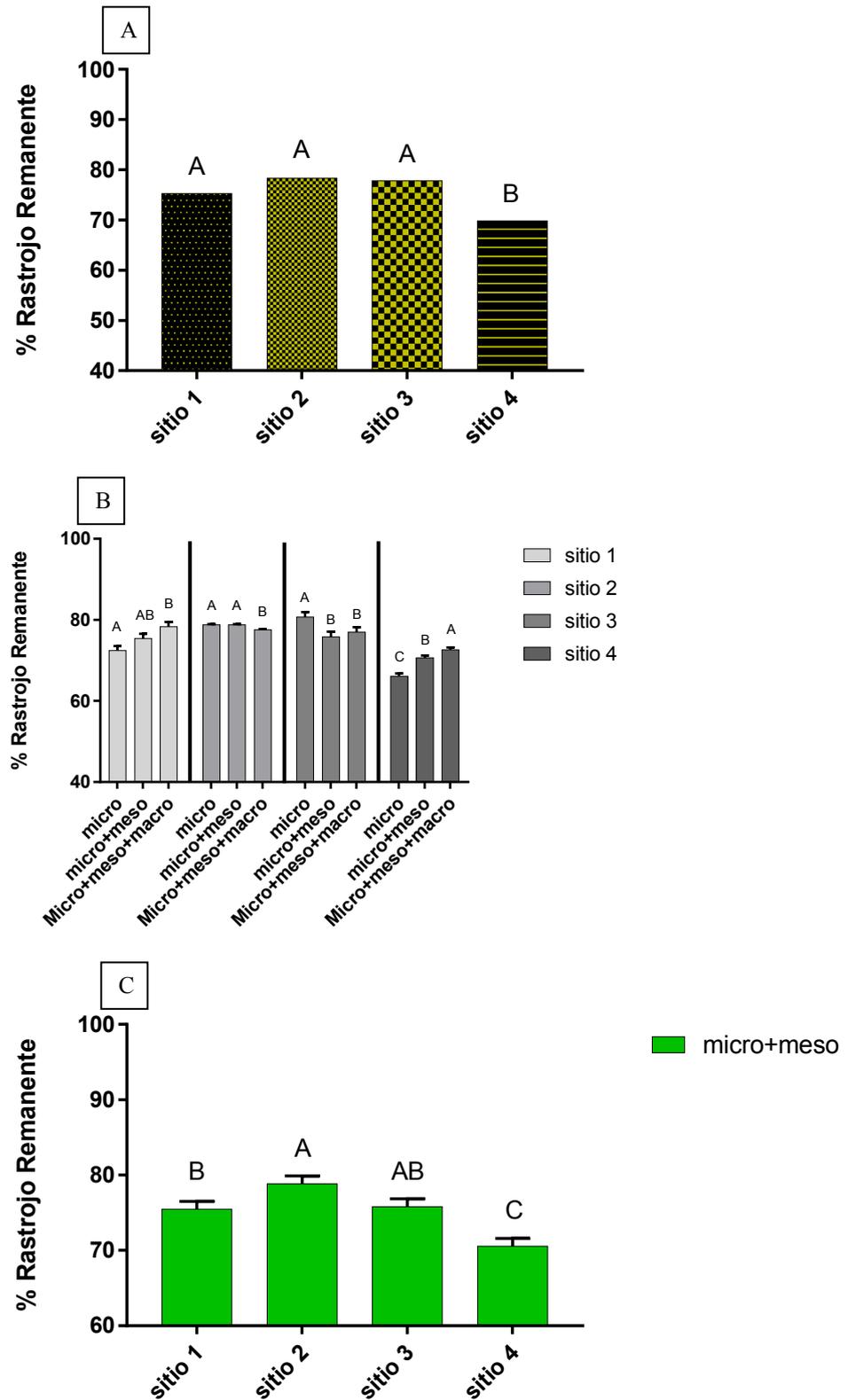


Figura 44: Resultados de RR para cada sitio (A), RR de cada tamaño de criptofauna dentro de cada sitio (B) y RR de micro+meso para cada sitio (C). Las letras distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

III.5. DISCUSIÓN

III.5.1. A campo

El estudio de descomposición de rastrojos a escalas de detalle, proporcionó una óptima perspectiva de análisis. Las diferencias en el manejo y la historia de uso de la tierra condicionaron las diferentes respuestas en la descomposición de rastrojos encontradas. Los distintos tamaños de fauna edáfica tuvieron diferentes respuestas a medida que se avanzaba a sitios con mayor grado de artificialización. En consecuencia, las diferentes tasas y RR en el sitio 1 (la clausura) siempre fueron diferentes a los restantes sitios agrícolas, manifestando valores de descomposición superiores al resto. La micro+meso+macrofauna del sitio 1 fue la que mayor descompuso de todos los sitios. Los comportamientos que encontraron Smith y Bradford (2003), trabajando en pastizales de Silwood Park, Reino Unido, fue semejante al presentado en esta tesis. Castro-Huerta et al. (2015) en experimentos en el partido de Chivilcoy, para sitios de pastizal natural en pampa ondulada, obtuvo comportamientos semejantes al analizar toda la comunidad de criptofauna. Este comportamiento es abordado por Domínguez (2012). Este autor afirma que, en los sistemas naturales, el aporte de residuos orgánicos es muy superior respecto a los sistemas agrícolas. Los residuos colocados en las bolsitas de descomposición en ningún caso constituyeron localmente hot-spots en los que podría concentrarse la actividad biológica y por tanto incrementarse el proceso de descomposición.

Visto que en los sitios agrícolas (2, 3 y 4), en la primera (VOI 2017) y segunda (VOI 2018) campaña, se detectó que el efecto de la intensidad de las labranzas y su periodicidad influenciaron en las diferentes respuestas obtenidas, se pudo identificar un gradiente de aumento del RR (disminución de la descomposición) entre sitios con mayor grado de artificialización. Kampichler y Bruckner (2009) trabajando en los mismos tipos de suelos, no encontraron diferencias significativas en el efecto de la intensidad de uso, atribuyendo las diferencias al tamaño de la fauna edáfica. Así, a medida que avanzamos hacia sitios con mayor intensidad de uso, la mesofauna comienza a tener mayor peso en la descomposición. Si bien los RR de los diferentes tamaños de fauna edáfica aumentan (menor descomposición), pareciera que la micro+mesofauna tiene un rol más activo de participación en el proceso de descomposición. Castro-huerta et al. (2015) detecto los mismos resultados, en donde a medida que se avanza hacia sitios con mayor intensidad de uso agrícola, la micro+mesofauna comienza a tener un rol más importante en la descomposición de rastrojos. Este comportamiento queda expresado al relacionar el sitio 1 (clausura) con el sitio 4 (mayor grado de artificialización). Sin embargo, en la tercera campaña (IP 2018), no se expresaron diferencias significativas en RR en relación con la micro+mesofauna como en las campañas anteriores. El semestre sin déficit hídrico amortiguó el efecto de los grados de artificialización del uso de la tierra disminuyendo el grado de perturbación en el sistema. Adicionalmente, Kampichler y Bruckner (2009), en un análisis de metadata de 101 experimentos de descomposición de rastrojo alrededor del mundo, concluyeron que la micro+mesofauna tiene un efecto moderado pero significativo en la descomposición de rastrojos, en donde si bien se encontraron diferencias significativas frente a los demás tamaños de la fauna edáfica (microfauna, micro+meso+macrofauna), estas generalmente fueron muy modestas. Por otro lado, Bradford et al. (2002) y Adejuyigbe et al. (2006) afirman que la presencia de mesofauna y macrofauna acelera la tasa de descomposición de los rastrojos. Seastedt (1984) llegó a la conclusión que la

mesofauna tiene un efecto positivo, pero variable en la descomposición de los rastrojos de aproximadamente el 20%.

En la segunda campaña (VOI 2018) se observó que la diferencia en los RR siguen la tendencia encontrada en la primera campaña (VOI 2017), donde dichos porcentajes son bastante inferiores en el sitio 1 (la clausura) respecto al sitio 4. En la tercera campaña (IP 2018), se diferenció nuevamente el sitio 1 del resto y en el sitio 2 el RR fue similar al sitio 3. Además, curiosamente, cuando se observó el historial de uso del sitio 4 con respecto al sitio 3, se tendería a pensar que los resultados para los RR obtenidos en el sitio 4 hubieran sido los más bajos, sin embargo, a pesar de que el sitio 4 presentó un historial de manejo muy heterogéneo en prácticas y en periodicidad, este obtuvo resultados de RR similares al sitio 3. Al analizar la historia de uso de estos lotes, se pone de manifiesto que para el sitio 3, que 15 años de labranzas con siembra directa no fueron suficientes para enmascarar los 10 años de labranza de reja y vertedera a favor de la pendiente en dicho sitio, en comparación con los 25 años de diferentes tipos de labranzas en el sitio 4.

Con los resultados obtenidos, se identificó que la mesofauna tiene un rol significativo en la descomposición de rastrojos cuando se encuentra bajo algún tipo de perturbación que altera la estabilidad del agroecosistema.

Finalmente, los resultados observados permitieron poner a prueba la hipótesis síntesis, donde la descomposición de los rastrojos en los distintos sitios bajo estudio está gobernada por la geósfera heredada, pero se expresa a través de los distintos grados de artificialización de uso de las tierras. La micro+meso+macrofauna siempre obtuvo los menores RR y las mayores tasas de descomposición de los rastrojos.

III.5.2. En laboratorio

En microcosmos en laboratorio, se simularon condiciones óptimas de humedad y temperatura, que fueron las mismas para todos los tratamientos. El rastrojo utilizado fue el mismo que los ensayos a campo. Este experimento tuvo una duración de 12 meses, desde mayo del 2017 hasta mayo del 2018. Las temperaturas registradas en el ensayo en laboratorio estuvieron dentro de los valores señalados como óptimos para el crecimiento y desarrollo de la fauna edáfica, según establecieron Anderson y Coleman (1982), Gongalsky et al. (2008) y Viergutz et al. (2007), como se vio en los resultados del capítulo II. La humedad siempre se mantuvo a capacidad de campo. Según Bluckner et al. (1995), los ensayos en laboratorio deben asemejarse lo más posible a la realidad a campo, dándole énfasis a su realización en microcosmos, donde la extracción de un bloque, cilindro de suelo del sitio de estudio, sin disturbar es de suma importancia e interés. De esta forma al sembrar biorreactores, intentamos representar en macetas, el comportamiento del ecosistema a campo, pero en menor escala (microcosmos). Según el análisis de metadata realizado por Kampichler y Bruckner (2009), de los 101 experimentos analizados solo el 5% fue de experimentos realizados en microcosmos. A su vez estos no relacionan con experimentos a campo, de ahí radica la importancia de ellos para el análisis y comprensión de las complejas relaciones de los agroecosistemas.

Los resultados obtenidos en el experimento señalaron que hubo diferencias entre las tasas de descomposición de la microfauna, con la micro+mesofauna y con la micro+meso+macrofauna, lo mismo para los RR. Contrariamente, D'Acunto (2015) en

experimentos en microcosmo con bolsas de descomposición de 2 mm de apertura (que se asemejarían a las mallas micro+mesofauna), con rastrojo de trigo, incubadas en suelo proveniente de diferentes tratamientos, agrícola y herbáceo, no encontró diferencias en las tasas de descomposición entre los distintos tratamientos.

En contraposición a los experimentos a campo y a lo que se esperaría, para los sitios 1 y 4, el RR de la microfauna fue menor al de la micro+mesofauna y al de la micro+meso+macrofauna. Esto pone en evidencia la complejidad de las relaciones en la descomposición de los rastrojos. Un resultado similar encontraron Setala et al. (1996) en experimentos con bolsitas de descomposición en microcosmos, donde obtuvieron RR menores en bolsitas de microfauna, seguidas por las de micro+mesofauna y de micro+meso+macrofauna. Una posible explicación según Vreeken-Buijs y Brussaard (1996), es que se debe tener en cuenta que muchas veces los huevos de los individuos de mesofauna pueden haber sido ovipuestos por organismos juveniles donde su exoesqueleto es pequeño y muy flexible, permitiéndoles el paso a través de las mallas de microfauna, y luego hayan eclosionado y hayan aumentado la descomposición dentro de ellas. Estos efectos solo pueden ocurrir en experimentos con duraciones mayores a 4 meses, por el tiempo de reproducción de los organismos de mesofauna. Según Bradford et al. (2002), en experimentos en microcosmos, se debe en cuenta a la fauna presente en el sitio de estudio, en este caso los cilindros extraídos a campo y puestos en macetas, ya que esta es muy importante porque puede modificar la actividad y la colonización de la fauna al rastrojo. Por lo tanto, podemos pensar que la métrica poblacional de individuos de mesofauna es distinta a la de campo, como bien se observó en los resultados y posterior discusión de las métricas poblacionales en laboratorio, en el capítulo II. Asimismo, Vreeken-Buijs y Brussaard (1996) afirman que la ausencia de predadores puede afectar notablemente las relaciones entre las distintas especies de microfauna, mesofauna y macrofauna, favoreciendo unas en detrimento de otras. Posiblemente, las métricas poblacionales de individuos de macrofauna fueron escasas o quizás ausentes, debido a la escala del experimento. Probablemente, los biorreactores o monolitos de 5 cm de diámetro por 7 cm de profundidad, (Setala et al. 1996; Yanoviak, 1999) no fueron lo suficiente para poder recolectar una muestra acorde al estudio de la dinámica de descomposición de rastrojo en laboratorio. Bradford et al. (2002) utilizaron microcosmos de 1 m² de superficie por 0,4 m de profundidad, reconstruyendo el perfil del suelo hasta esa profundidad, logrando capturar a una mayor población de fauna edáfica. La variabilidad espacial de los individuos de macrofauna difiere de los de microfauna y mesofauna, para los cuales es baja. Por lo tanto puede ser que los individuos de macrofauna, si se hubieren transportado, lo hicieran en pocos individuos en las muestras. Cabe aclarar que en los ensayos en macetas, no se encontraba ninguna planta cultivada en ellas, o sea hubo ausencia de raíces vivas. Según Whipps y Lynch (1983) las raíces crean un ambiente de heterogeneidad en el suelo, afectando la agregación y estructura del suelo, y la composición química de la zona aledaña a ella a través de sus exudados y secreciones ricos en nutrientes. La rizósfera afecta en gran medida la actividad de la fauna edáfica modificando la descomposición de los rastrojos (Curl Elroy y Old, 1988). Como dicen Bruckner et al. (1995), con mayor experiencia experimental, debería ser posible minimizar las perturbaciones debidas a la manipulación del experimento y construir microcosmos que se asemejen lo suficiente a la situación del campo para hacer generalizaciones adecuadas.

Finalmente, cabe resaltar que si se encontró evidencia para separar entre diferentes sitios en las condiciones óptimas de laboratorio. El sitio 4 se diferenció del resto. Por tal motivo, la micro+mesofauna sirvió para diferenciar tratamientos por sitio.

En donde el sitio 4, el que mayor heterogeneidad temporal de labranzas y uno de los que mayor artificialización por el uso de las tierras poseyó, presentó diferencias con el resto. Liirii et al. (2011) analizaron los efectos que la mayor intensidad de uso de las tierras causa a largo plazo en experimentos en microcosmos, donde compararon macetas con suelo de pasturas y con suelo proveniente de campo cultivado con trigo. Dichos investigadores identificaron variables químicas que se diferenciaban entre tratamientos, por lo que se puede sugerir que estos cambios pueden afectar en gran medida a la respuesta encontrada en las diferentes tasas de descomposición entre sitios con menor uso, respecto a los de mayor uso de las tierras. Por lo tanto, se pudo pensar en que las diferentes adaptaciones o comportamientos por parte de los individuos de criptofauna frente a los diferentes usos de la tierra (grados de artificialización) en condiciones óptimas de laboratorio, expresaron las diferencias encontradas entre los tratamientos. En este caso, en laboratorio la capacidad de descomposición de la micro+mesofauna fue expresada a través de los distintos usos de la Tierra.

III.6. CONCLUSIONES

- Las diferencias en el manejo y la historia de uso de la tierra condicionaron las diferentes respuestas en la descomposición de rastrojos encontradas.
- Los distintos tamaños de fauna edáfica tuvieron diferentes respuestas a medida que se avanzaba a sitios con mayor grado de artificialización.
- La micro+meso+macrofauna de la clausura, fue la de mayor descomposición.
- La mesofauna tiene un rol significativo en la descomposición de rastrojos cuando nos encontramos bajo algún tipo de perturbación que altera la estabilidad del agroecosistema.
- Contrariamente a los experimentos a campo, en laboratorio se pone en evidencia la complejidad de las relaciones en la descomposición de los rastrojos.
- En laboratorio la capacidad de descomposición de la micro+mesofauna fue expresada a través de los distintos usos de la Tierra.

CAPÍTULO IV CONCLUSIONES GENERALES

IV.1. SINTESIS

El objetivo general de esta tesis fue “evaluar el efecto de los factores geosféricos heredados frente a los factores crónicos de estrés por el uso de las tierras, que usualmente inciden en la métrica poblacional de las comunidades de mesofauna, el grado de estabilidad del ecosistema a través de indicadores biológicos y su consecuencia sobre la descomposición de los rastrojos”.

Se seleccionaron cuatro sitios, localizados en geoambientes de lomas Periféricas del Partido de Azul, provincia de Buenos Aires.

Se plantearon tres hipótesis de trabajo:

- H1-La capacidad de descomposición de los rastrojos de las comunidades de Mesofauna está gobernada por los distintos factores geosféricos heredados.
- H2-Alternativa: Los factores crónicos de estrés por los sistemas de uso de las tierras condicionan la capacidad de descomposición de los rastrojos de las comunidades de la Mesofauna.
- H3-Síntesis: La capacidad de descomposición de los rastrojos de las comunidades de Mesofauna está gobernada por los distintos factores geosféricos heredados, pero se expresa a través de los distintos grados de artificialización de uso de las tierras.

Estas hipótesis condujeron a concretar 5 objetivos específicos:

- 1-Seleccionar los sitios de estudio teniendo en cuenta distintos grados de artificialización por el uso de las tierras.
- 2-Cuantificar los parámetros climáticos y edáficos presentes en los sitios de estudio.
- 3-Describir y comparar la mesofauna en los sitios bajo estudio.
- 4-Estimar el grado de estabilidad del ecosistema a través de indicadores biológicos.
- 5-Calcular la tasa de descomposición de los rastrojos, el porcentaje de rastrojo remanente y analizar el efecto de la mesofauna sobre los mismos.

Para el desarrollo de los objetivos propuestos, se ejecutaron las siguientes actividades:

Se seleccionaron y caracterizaron los sitios de estudio. Se realizó el análisis climático y se identificaron, de los suelos presentes, los parámetros edáficos que se eligieron para el logro de los objetivos. Se ejecutaron experimentos a campo y en microcosmos en laboratorio.

Se describió la mesofauna y su rol en el ecosistema edáfico. Se realizó el análisis de las métricas poblacionales presentes en cada sitio (a campo y en microcosmos). Se aplicaron indicadores de estabilidad del agroecosistema.

Se realizó un análisis de la descomposición de los rastrojos a través del cálculo de la tasa de descomposición, el porcentaje de rastrojo remanente (RR%) y el efecto de la mesofauna sobre los mismos (a campo y en microcosmos).

Se pudo identificar diferencias en la capacidad y velocidad de la descomposición de los rastros por parte de las comunidades de la criptofauna para cada uno de los distintos sitios. Se demostró que las comunidades de mesofauna manifestaron sensibilidad frente a los distintos grados de artificialización del uso de las tierras, esta se manifestó al analizar la densidad de *individuos*·*m*⁻², poniendo a prueba la primera y la segunda hipótesis. Paralelamente se obtuvo valiosa evidencia que indica que a medida que avanzamos hacia sitios con mayor grado de artificialización por el uso de las tierras, la mesofauna comienza a tener un peso relativo más importante en los procesos de descomposición de los rastros, poniendo a prueba la tercera hipótesis.

Los trabajos realizados en laboratorio fueron de gran utilidad al poder controlar variables de la geósfera heredada. Se pudo demostrar el peso del grado de artificialización en el comportamiento de la mesofauna y su efecto sobre la descomposición de los rastros, poniendo a prueba la segunda hipótesis.

Al utilizar los indicadores de estabilidad propuestos se obtuvo una discretización de los valores obtenidos entre sitios. A campo, el sitio 1 manifestó el mayor grado de estabilidad mientras que en los sitios 2, 3 y 4 la estabilidad fue menor.

Este trabajo puso de manifiesto que la inestabilidad de un agroecosistema se observa a distintos niveles jerárquicos de perturbación, a escala de campo o laboratorio. Los sistemas inestables están gobernados por distintos grados de artificialización por el uso de las tierras. Los sistemas estables, solamente encontrados a campo, expresan la geósfera heredada. Estas respuestas ponen de manifiesto la primera y segunda hipótesis.

La tercera hipótesis, la hipótesis de síntesis, puso de manifiesto la necesidad de abordar la problemática planteada a través del concepto de sistemas complejos. La receptividad ecosistémica está condicionada por la geósfera heredada y se expresa con el mayor o menor grado de artificialización del uso de las tierras. Estudiar la descomposición de los rastros en estos sistemas complejos nos permite acercarnos a la comprensión de su comportamiento.

Durante el desarrollo de la tesis se pudieron cumplir con el objetivo principal y los objetivos específicos propuestos que pusieron a prueba las tres hipótesis planteadas, las cuales fueron aceptadas.

Trabajar con componentes del paisaje en el laboratorio, me permitió profundizar la comprensión de la conducta de las propiedades emergentes claves en el comportamiento del mismo como resultado de los procesos de interface que allí se producen, esto me permitió comprender y demostrar el comportamiento de la comunidad ante distintos grados de perturbación. Este comportamiento pone de manifiesto que es necesario seguir investigando en el desarrollo de indicadores más sensibles cuando se trabaja en microcosmos en laboratorio, ya que esta metodología dio información valiosa que complementó los trabajos de campo.

Es necesario seguir trabajando para determinar hasta qué punto se puede artificializar un agroecosistema sin sacarlo de dinámica de cambio automantenido, sin superar su resiliencia ecológica manteniendo su receptividad ecosistémica y su capacidad de descomponer rastrojo.

IV.2. CONCLUSIONES

- Las variables edáficas analizadas (POM, OC y LOI) permitieron indicar con precisión diferencias entre sitios, confirmando un gradiente de artificialización por el uso de las tierras.
- La métrica poblacional, $\text{individuos} \cdot \text{m}^{-2}$, puso de manifiesto las diferencias en los grados de artificialización por el uso de las tierras en los sitios bajo estudio.
- Un mayor disturbio genera un menor número de especies en general, pero aumentan las oportunistas, como se comprobó en el experimento en microcosmos.
- En los experimentos a campo, para ambos indicadores biológicos aplicados, la clausura fue considerada estable.
- En los experimentos en microcosmos, los diferentes indicadores aplicados dieron efectos disímiles a los observados a campo, y variaron de un indicador a otro.
- Las diferencias en el manejo y la historia de uso de la tierra condicionaron las diferentes respuestas en la descomposición de rastrojos encontradas. La clausura siempre manifestó valores de descomposición superiores al resto.
- Con claridad se identificó un gradiente de aumento del RR en sitios con grado de artificialización creciente.

- Los RR de los diferentes tamaños de fauna edáfica disminuyeron con el tamaño de la criptofauna. La micro+mesofauna tiene un rol más activo de participación en el proceso de descomposición.
- La mesofauna tiene un rol significativo en la descomposición de rastrojos cuando nos encontramos bajo algún tipo de perturbación que altera la estabilidad del agroecosistema.
- En laboratorio la capacidad de descomposición de la micro+mesofauna fue expresada a través de los distintos usos.

BIBLIOGRAFÍA

- Adejuyigbe, CO; Tian G. & Adeoye GO. 2006. Microcosmic study of soil microarthropod and earthworm interaction in litter decomposition and nutrient turnover. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* (2006) 75:47–55 DOI 10.1007/s10705-006-9010-5
- Alexandersson, H & Moberg A. 1997. Homogenization of Swedish temperature data. Part I: homogeneity test for linear trends. *Int J Climatol* 17:25–34.
- Anderson, JM. 1973. The breakdown and decomposition of sweet chestnut (*Castanea sativa* Mill.) and beech (*Fagus sylvatica* L.) leaf litter in two deciduous woodland soils. - *Oecologia* 12: 251-274.
- Anderson, RD & Coleman DC. 1982. Nematode temperature response: a niche dimension in populations of bacterail-feeding nematodes. *Journal of nematology* 14 (1): 69-76.
- Andrés, P. 1990. Descomposición de la materia orgánica en dos ecosistemas forestales del macizo del Montseny (Barcelona): papel de los ácaros oribátidos (Acarina, Oribatei). Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Barcelona. 237 p.
- Bedano, JC; Cantú, M & Doucet, M. 2005. Abundance of Soil Mites (Arachnida: Acari) in a Natural Soil of Central Argentina. *Zoological Studies* 44(4): 505-512 (2005).
- Bedano, JC; Cantú, M & Doucet, M. 2006a. Soil springtails (Hexapoda: Collembola), symphylans and pauropods (Arthropoda: Myriapoda) under different management systems in agroecosystems of the subhumid Pampa (Argentina). *Eur. J. Soil Biol.* 42, 107–119.
- Bedano, JC; Cantú, M & Doucet, M. 2006b. Influence of three different land management practices on soil mite (Arachnida: Acari) densities in relation to a natural soil. *Appl. Soil Ecol.* 32, 293– 304.
- Bedano, JC; Cantú, MP & Doucet, ME. 2001. La utilización de ácaros edáficos como indicadores de calidad de suelos en agroecosistemas del centro de Argentina. *Memorias. XV Congreso Latinoamericano de las Ciencias del Suelo.* [CDROM]. Varadero, Cuba.
- Bedano, JC; Domínguez A & Arolfo R. 2011. Assessment of soil biological degradation using mesofauna. *Soil & Tillage Research* 117 (2011) 55–60.
- Behan-Pelletier, VM. 1999. Oribatid mites biodiversity in agroecosystems: role for bioindication. *Agric. Ecosyst. and Environ.* 74:411.
- Berlese, A. (1888). *Acari Austro-americi quos collegit Aloysius Balzan. Manipulus primus. Species novas circiter quinquaginta complectens.* En: *Bolletino della societa Entomol Italiana*, n° 20: págs. 171-222.
- Bluckner, A; Wright, J; Kampichler, C; Bauer, R & Kandeler E. 1995. A method of preparing mesocosm for assesing complex biotic processes in soils. *Biol. Fertil. Soils.* (1995) 19:257-262

- Bradford, MA; Tordoff, GM; Eggers, T; Jones, TH & Newington, JE. 2002. Microbiota, fauna, and mesh size interactions in litter decomposition. *Oikos* 99: 317–323.
- Brussaard, L; Behan-Pellietier, MV; Bignell, DE; Brown, VK; Didden, W; Folgarait, P; Fragoso, C; Freckman, DW; Gupta, V; Hattori, T; Hawksworth, C; Klopatek, P; Lavelle, DW; Mallioch, J; Rusek, B; Söderström, JM; Tiedje & Virginia RA. (1997). Biodiversity and Ecosystem Functioning in Soil. *Ambio* 26.
- Bug guide net copyright © 2003-2018 Iowa State University. Extraído de www.bugguide.net
- Burg, JP. 1975 Maximum entropy spectral analysis. Stanford University. California. 123 pp.
- Cassani, MT; Sabatté, ML & Massobrio MJ. 2016. Distribución espacial de la materia orgánica, el pH y la mesofauna en siembra directa. Trabajo n°227. Libro de Resúmenes del XXV Congreso Argentino de las Ciencias del Suelo, 27 de junio al 1 de julio del 2016. Rio Cuarto, CBA. Pág. 308. ISBN: 978-987-688-173-9
- Castro-Huerta, RA; Falco, LB; Sandler RV & Coviella, CE. 2015. Differential contribution of soil biota groups to plant litter decomposition as mediated by soil use. *PeerJ* 3:e826; DOI 10.7717/peerj.826
- Christiansen, K. 1964. *Annu. Rev. Entomol.* 1964.9:147-178. Downloaded from www.annualreviews.org by Queens University - Kingston (Canada) on 09/17/13.
- Coleman, DC & Whitman WB. 2005. Linking species richness, biodiversity and ecosystem function *Agriculture, Ecosystems & Environment* 114: 323-334.
- Coleman, DC; Callahan MA Jr. & Crossley, DA Jr. 2018. *Fundamentals of Soil Ecology* (Third Edition). Pages 77-171. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805251-8.00004-1>
- Cortet, J; Ronce, D; Poinso-Balaguer, N; Beaufreton, C; Chabert, A; Viaux, P; & Cancela de Fonseca, JP. 2002. Impacts of different agricultural practices on the biodiversity of microarthropod communities in arable crop systems. *Eur. J. Soil Biol.* 38, 239–244.
- Curl Elroy, A; & Old, KM. 1988. The role of soil microfauna in plant-disease suppression, *Critical Reviews in Plant Sciences*, 7:3, 175-196, DOI: 10.1080/07352688809382263
- D'Acunto, L. 2015. Efectos de la heterogeneidad del paisaje agrícola pampeano sobre el carbono, la biota edáfica y la descomposición de la hojarasca. Tesis para obtener el grado de Doctor de la Universidad de Buenos Aires en el área de Ciencias Agropecuarias otorgado por Universidad de Buenos Aires. Facultad de Agronomía. Escuela para Graduados. <http://ri.agro.uba.ar/files/download/tesis/doctorado/2015dacuntoluciana.pdf>
- Deleporte, S. & Tillier P. 1999. Long-term effects of mineral amendments on soil fauna and humus in an acid beech forest floor. *Forest Ecology & Management* 118:245-252.
- Di Rienzo, JA; Casanoves, F; Balzarini, MG; Gonzalez, L; Tablada, M & Robledo CW. InfoStat versión 2018. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Dindal, D (Ed). 1990. *Soil Biology Guide*. Wiley, New York.
- Domínguez, A. 2012. La macrofauna edáfica y el proceso de descomposición de residuos vegetales como indicadores de sustentabilidad de los manejos agrícolas de la Pampa

- Húmeda. UNRC, Facultad de Ciencias Exactas Físico-químicas y Naturales. Río Cuarto, Córdoba, Argentina.
- Doran, JW; & Parking, TB. 1996. Quantitative indicators of soil quality: A minimum data set. pp 25-37. En: JW. Doran and AJ. Jones (ed). *Methods for Assessing Soil Quality*. SSSA Spec. Publ. N° 49. SSSA, Madison, WI.
- Duval, ME; Galantini, JA; Martínez, JM & Iglesias JO. Comparación de índices de calidad de suelos agrícolas y naturales basados en el carbono orgánico. *Revista Ciencia del suelo (argentina)* 34(2): 197-209, 2016.
- Eiza, MJ; Fioriti, N; Studdert, GA & Echeverría, HE. 2005. Fracciones de carbono orgánico en la capa arable: efecto de los sistemas de cultivo y de la fertilización nitrogenada. *Ciencia del Suelo* 23: 59-68.
- Eyherabide, M; Saínez Rozas, H; Barbieri, P & Echeverría, HE. Comparación de métodos para determinar carbono orgánico en suelo. *Revista Ciencia del suelo (argentina)* 32(1): 13-19, 2014.
- Fredes, NA & Sotes, J. 2009. Prostigamata. En: F. Momo y L. Falco (Eds.). *Biología y Ecología de la Fauna del Suelo*. Imago Mundi. ISBN: 978-950-793-094-2
- Gangi, D. 2014. "Deposición de cenizas de erupción volcánica en un sistema natural y otro forestado de la Patagonia, Argentina: efectos sobre los artrópodos epígeos, e importancia de los organismos del suelo en el proceso de descomposición de la broza". Trabajo de Intensificación para obtener el grado de Licenciado en Ciencias Ambientales otorgado por Universidad de Buenos Aires. Facultad de Agronomía.
- García, R. 2007 *Sistemas Complejos*. Páginas: 288. I.S.B N: 9788497841641. Editorial GEDISA. Barcelona. 16/04/2007.
- Gholz, HL; Wedin, DA; Smitherman, SM; Harmon, ME & Parton, WJ. 2000. Long-term dynamics of pine and hardwood litter in contrasting environments: toward a global model of decomposition. *Global Change Biology* 6: 751–765.
- Gongalsky, KB; Persson, T & Pokarzhevskii, AD. 2008. Effects of soil temperature and moisture on the feeding activity of soil animals as determined by the bait-lamina test. *Applied soil ecology* 39. pp 84–90.
- Gonzalez, G & Seastedt, TR. 2001. Soil fauna and plant litter decomposition in tropical and subalpine forests. *Ecology* 82: 955-964.
- GraphPad Prism®. 1992-2016 GraphPad Software, Inc©.
- Gray, JS. 1989. Effects of environmental stress on species rich assemblages. *Biological Journal of the Linnean Society*, 37(1-2), 19–32. doi:10.1111/j.1095-8312.1989.tb02003.x
- Gupta, V. 1994. The impact of soil and crop management practices on the dynamics of soil microfauna and mesofauna. In: Pankhurst, C.; Doube, B.; Gupta, V. and Grace, P. (Editors). *Soil Biota: Management in Sustainable Farming Systems*. East Melbourne. CSIRO. pp. 107 - 124.
- Helsel, DR; Hirsch, RM. 1992 *Statistical Methods in Water Resources*, Elsevier, Amsterdam. 510 pp.

- Hubert, P; Carbonnel, P; Chaouche, A. 1989. Segmentation des séries hydrométriques. Application à des séries de précipitations et de débits de l'Afrique de l'ouest. *J. Hydrol.* 110, 349-367
- Ibañez, M; Pozo, OJ; Sancho, JV; López, FJ & Hernández F. 2005. Residue determination of glyphosate, glufosinate and aminomethylphosphonic acid in water and soil samples by liquid chromatography coupled to electrospray tandem mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*, 1081, 145–155.
- INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria). 1970. Carta de Suelos de la República Argentina Hoja 3760-22-2 Pablo Acosta. ISSN 0327-781X.
- IRD. 2002. KhronoStat version 1.1. Logiciel, IRD, Montpellier. URL : <http://www.hydrosociences.org/spip.php?article239>
- Irigoin, J. 2011. Sistemas de evaluación de tierras y elaboración de modelos de aptitud de uso agrícola, para distintos escenarios climáticos, en un sector de la subregión pampa arenosa (Provincia de Buenos Aires, Argentina). Tesis de maestría, Universidad de Buenos Aires. Facultad de Agronomía. <http://ri.agro.uba.ar/files/download/tesis/maestria/2011irigoinjulieta.pdf>
- Kampichler, C & Bruckner, A. 2009. The role of microarthropods in terrestrial decomposition: a meta analysis of 40 years of litterbags studies. *Biological Reviews* 84:375–389 DOI 10.1111/j.1469-185X.2009.00078.x.
- Kautz, T; Lopez-Fando, C & Ellmer F. 2006. Abundance and biodiversity of soil microarthropods as influenced by different types of organic manure in a long-term field experiment in Central Spain. *Applied Soil Ecology* 33:278–285 DOI 10.1016/j.apsoil.2005.10.003.
- Klute, A, Editor. 1986. Method of soil analysis. Part 1: Physical and mineralogical methods. Madison, Wisconsin.
- Krantz, GW & Lindquist, EE. 1979. Evolution of phytophagous mites (acari). *Annu. Rev. Entomol.* 1979.24:121-158. Downloaded from www.annualreviews.org by University of Missouri - Columbia on 05/19/13.
- Lavelle, P & Spain, AV. 2001. *Soil Ecology*. Kluwer Academics Publishers, Dordrecht, Netherlands, 654 pp.
- Lavelle, P; Blanchart, E; Martin, A; Martin, S; Spain, A; Toutain, F; Barois, I & Schaafer, R. 1993. A hierarchical model for decomposition in terrestrial ecosystems: application to soils in the humid tropics. *BTROA* 25(2): 130-150.
- Lavelle, PT; Decaëns, M; Aubert, S; Barot, M; Blouin, F; Bureau, P; Margerie, P; Mora, J & Rossi, P. Soil invertebrates and ecosystem services. *European Journal of Soil Biology* 42 (2006) S3–S15. doi:10.1016/j.ejsobi.2006.10.002
- Liiri, M; Häsä, M; Haimi, J & Setälä, H. 2012. History of land-use intensity can modify the relationship between functional complexity of the soil fauna and soil ecosystem services – A microcosm study. *Applied Soil Ecology* 55. pp 53–61.
- Luxton, M. 1972. Studies on the oribatid mites of a Danish beach wood soil. I Nutritional biology. *Pedobiologia* 12: 434-63

- Maggi, MD; Porrini, DP; Porrini, MP & Bedano, JC. 2009. Ácaros Mesostigmata. En: F. Momo y L. Falco (Eds.). *Biología y Ecología de la Fauna del Suelo*. Imago Mundi. ISBN: 978-950-793-094-2
- Manly, BFJ. 2001. *Statistics for Environmental Science and Management*, Wyoming (USA).
- Martelli, P. 2010. Caracterización de la materia orgánica y la criptofauna presente en un Argiudol típico: generación de patrones espaciales. Trabajo de Intensificación para obtener el grado de Ingeniero Agrónomo otorgado por Universidad de Buenos Aires. Facultad de Agronomía. <http://ri.agro.uba.ar/cgi-bin/library.cgi?a=d&c=ti&d=2010martellipatricio>
- Martínez, PA. & Narciso, E. 2009. Mesofauna. En: F. Momo y L. Falco (Eds.). *Biología y Ecología de la Fauna del Suelo*. Imago Mundi. ISBN: 978-950-793-094-2
- Martínez, PA. 2009. Introducción a los ácaros. En: F. Momo y L. Falco (Eds.). *Biología y Ecología de la Fauna del Suelo*. Imago Mundi. ISBN: 978-950-793-094-2
- Martínez, PA. 2009. Oribátida. En: F. Momo y L. Falco (Eds.). *Biología y Ecología de la Fauna del Suelo*. Imago Mundi. ISBN: 978-950-793-094-2
- Martínez, PA. 2018. Guías de estudio del Curso de posgrado: Taxonomía, biología e identificación de ácaros de suelo. Dep. Biología, Fac. Exactas y Naturales, Universidad Nacional de Mar del Plata.
- Massobrio, JM; Giberti, V. 2013. La ecología del paisaje aplicada a la evaluación ambiental. En agroecosistemas: impacto ambiental y sustentabilidad. Editora Lidia Giuffré. Editorial Facultad de Agronomía. Pp 509-520. ISBN 978-950-29-1061-1.
- Massobrio, M. 2004. Agroecosistemas, el paisaje y las tecnologías. En: *Ecología y Ambiente*. Capítulo IX. Malacalza L. (Ed). Pp 174-177. 2004. Instituto de Ecología de Luján. ISBN 987-21270-0-X.
- Massobrio, M. 2003. Comportamiento de un paisaje fluvial: Análisis de la dinámica del agua en el suelo de una microcuenca del norte de la Provincia de Buenos Aires (Argentina). Biblioteca de la Facultad de Ciencias. Universidad de Vigo. España. Febrero 2003. pp 210. anexos 332 pág. en CD. febrero 2003. buv central. ar. t444. clasif. 631.4-2003.
- Massobrio, M; Sabatté, L; Giberti, V; Sfeir, A. & Momo, F. 2012. La distribución espacial de la criptofauna: efecto de la materia orgánica y el ph en un agroecosistema. Actas de la RAE 2012: Conservación y Manejo 323. Reunión Argentina de Ecología. Lujan. Argentina. 24 – 28 Septiembre 2012.
- Massobrio, MJ; Maggi, A & Santanatoglia O. 1993. Análisis de los grados de riesgo de degradación física y biológica en la región Oriental de la Pcia. de La Pampa, aplicando la metodología de FAO". Actas del XIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Mendoza.
- Mateos, E. 1992. Colémbolos (Collembola:Insecta) edáficos de encinares de la Serra de l'Ova y de la Serra de Prades (Sierra prelitoral catalana). Efecto de los incendios forestales sobre estos artrópodos (inédito). Tesis doctoral. Universidad de Barcelona, Facultad de Biología, Dpto. de Biología Animal.
- Microsoft® Office Proofing Tools©. 2012 Microsoft Corporation. All rights reserved.

- Moore, JC; Grinsted, A & Jevrejeva, S. 2005 Tools for Analyzing Time Series Relationships and Trends. *Eos*, Vol. 86, No. 24, 14 June 2005.
- Nakamura, Y. 1989. Oribatids and enchytraeids in ecofarmed and conventionally farmed dryland grainfiels of central Japan. *Pedobiologia* 33:389-398.
- Nelson, DW & Sommers, LE. 1996. Total carbon, organic carbon and organic matter. In= D.L.Sparks et al., editors, *Methods of soil analysis. Part 3. SSSA and ASA*, Madison, WI, p 961-1010.
- Neumann, J. von. 1941. Distribution of the ratio of the mean square successive difference to the variance. *Annals of Mathematical Statistics*. **12** (4): 367–395.
- NOAA. 2019. National oceanic and atmospheric Administration. Extraído de www.noaa.gov
- Olson, J. 1963. Energy stores and the balance of producers and decomposers in ecological systems. *Ecology* 44: 322-331.
- Page, AL. (ed.) 1982. *Method of soil analysis. Part 2: Agronomy Series Monograph No 9*. ASA, Soil Sci. Soc. Am., Inc. Madison, Wisconsin, USA.
- Pankhurst, C; Double, BM & Gupta, VVSR. (Eds.) 1997. *Biological Indicators of soil health*. CAB International, Wallingford.
- Pérez, SP; Blasón, AD; Baiocchi, A & Britez I. 2013. Análisis temporal y espectral de la precipitación de Castelar (Argentina). *Revista de la Facultad de Agronomía y Ciencias Agroalimentarias*. Universidad de Morón. Vol. IV, N° 7, p. 53-66.
- Pérez, SP; Cassani, MT; Sabatté, L & Massobrio, MJ. 2019a. Variabilidad de la precipitación anual en la Sub Región Pampa Deprimida, Argentina. II Jornadas Internacionales de Ambiente y IV Jornadas Nacionales de Ambiente 2018, 17 al 19 de octubre de 2018, FCH-UNICEM Campus Universitario, Tandil, Buenos Aires: Libro de resúmenes extendidos / coordinación general de Ana Ulberich y M. Carolina Miranda del Fresno. - 1a ed. - Tandil: Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. 121-124, 680 pp. ISBN. 978-950-658-473-3.
- Pérez, SP; Irigoien, J; Cassani, T & Massobrio M. 2019b. The importance of climate scenarios in setting the productivity indexes in the Pampa Arenosa sub-region of the province of Buenos Aires, Argentina. 2018. *Revista Ambiente & Água*. Vol 14, No 2. ISSN:1980-993X, DOI:10.4136/1980-993X
- Perry, DA. 1995. Self-organizing systems across scales, *Trends Res. Ecol. Evol.* 10. pp 241–245.
- Petersen, H & Luxton, M. 1982. A comparative analysis of soil fauna populations and their role in decomposition processes. - *Oikos* 39: 287-388.
- Pettitt, AN. 1979. A non-parametric approach to the change-point problem. *Appl Stat* 28(2):126–135
- Piscitelli, M & Sfeir A. 2004. Fisiografía detallada del partido de azul, para el desarrollo de un planteo conservacionista de manejo de suelos. (Buenos Aires, República Argentina). Segundo Congreso de la Ciencia Cartográfica y IX Semana Nacional de Cartografía. Del 22 y 25 de junio de 2004. Buenos Aires.

- Powers, JS; Montgomery, RA; Adair, EC; Brearley, FQ; DeWalt, SJ; Castanho, CT; Chave, J; Deinert, E; Ganzhorn, JU & Gilbert, ME. 2009. Decomposition in tropical forests: a pan-tropical study of the effects of litter type, litter placement and mesofaunal exclusion across a precipitation gradient. *Journal of Ecology* 97: 801–811.
- Ross, C.H. 1975 Maximum entropy analysis. Meteorological Office. Bracknell 47 pp.
- Sabatté, L. 2011. Ecología de las comunidades criptozoicas en suelos de la Pampa húmeda y sus cambios a partir de la forestación con *eucaliptus*. Doctorado en Ciencias. UNGS, Instituto de Ciencias. Buenos Aires, Argentina.
- Sabatté, L; Martelli, P; Giberti, V, Piscitelli, M; Sfeir, A; Momo, F. & Massobrio M. 2011. Efecto de un sistema de labranza sobre la distribución espacial de la materia orgánica y la criptofauna en un agroecosistema. Segundo Congreso Nacional de Ecología y Biología de Suelos. Trabajo completo publicado en las Actas CD de dicho congreso. (ISBN: 978-987-544-384-6. Mar del Plata. (Bs As, Argentina) Argentina. 18 al 20 de abril de 2011.
- Sabatté, ML; Piscitelli, M; Sfeir, A; Momo, FR & Massobrio, MJ. 2009. Efecto de la energía potencial sobre la abundancia de la criptofauna en un paisaje serrano del sudoeste de la provincia de Buenos Aires. Primer Congreso Nacional de Ecología y Biología de Suelos. Actas de trabajos completos Los Polvorines. Argentina.
- Salminen, J & Haimi, J. 1996. Effects of pentachlorophenol in forest soil: a microcosm experiment for testing ecosystem responses to anthropogenic stress. *Biology and Fertility of Soils*, 23(2), 182–188. doi:10.1007/bf00336061
- Seastedt, TR. 1984. The role of microarthropods in decomposition and mineralization processes. *Annual Review of Entomology* 29, 25–46.
- Setälä, H; Marshall, VG & Trofymow JA. 1996. Influence of body size of soil fauna on litter decomposition and N uptake by poplar in a pot trial. *Soil Biol. Biochem.* Vol. 28, No. 12, pp. 1661-1675, 1996 © 1997 Elsevier Science Ltd.
- Smith, VC & Bradford, MA. 2003. Litter quality impacts on grassland litter decomposition are differently dependent on soil fauna across time. *Applied Soil Ecology*, 24(2), 197–203. doi:10.1016/s0929-1393(03)00094-5
- SMN. 2018. Datos pedidos al Servicio Meteorológico Nacional a través de <https://www.smn.gov.ar>
- Socarrás Rivero, A e Izquierdo Brito, I. 2016. Variación de los componentes de la mesofauna edáfica en una finca con manejo agroecológico. *Pastos y forrajes*, Vol. 39, N°1, enero-marzo, 41-48.
- Socarrás, A & Izquierdo, I. 2014. Evaluación de sistemas agroecológicos mediante indicadores biológicos de la calidad del suelo: mesofauna edáfica. *Pastos y Forrajes*, Vol. 37, No. 1, enero-marzo, 47-54.
- Socarrás, A & Rodríguez, M. 2005. Utilización de la mesofauna como indicador biológico en áreas recultivadas con *pinus cubensis* en la zona minera de Moa, Holguín, Cuba. Cuba. ISBN 952-250-156-4. Disponible en www.dama.gov.co
- Socarrás, A. 1998. Mesofauna del suelo en pastizales antropizados. Tesis de Maestría en Ecología y Sistemática Aplicada. La Habana. p. 50

- Socarrás, A. 2013. Mesofauna edáfica: indicador biológico de la calidad del suelo. Pastos y forrajes, Vol. 36, N°1, enero-marzo, 5-13, 2013.
- Socarrás, AA & Robaina, N. 2011. Caracterización de la mesofauna edáfica bajo diferentes usos de la tierra en suelo Ferralítico Rojo de Mayabeque y Artemisa Pastos y Forrajes, vol. 34, núm. 2, abril-junio. pp. 185-197 ISSN: 0864-0394
- Soil Taxonomy. Tenth edition, 2006. United States Department of Agriculture.
- Sousa, JP; da Gama, MM; Pinto, C; Keating, A; Calhoa, F; Lemos, M; Castro, C; Luz, T; Leitao, P & Dias, S. Effects of land-use on Collembola diversity patterns in a Mediterranean landscape. 2004. doi: 10.1016/j.pedobi.2004.06.004
- Straalen, NM van. 1998. Evaluation of bioindicator system derived from soil arthropod communities. *Appl. Soil Ecol.* 9:429
- Swift, M; Heal, O & Anderson, J. 1979. Decomposition in Terrestrial Ecosystems. *Studies in Ecology*, vol. 5. University of California Press, Berkeley, CA. 372 p.
- Ulrich, TJ & Bishop, TN. 1975 Maximum entropy spectral analysis and autoregressive decomposition. *Rev. Geophys. Space. Phys* 33: 183-200.
- Vázquez, P; Zulaica, L & Requesens, E. Análisis ambiental de los cambios en el uso de las tierras en el partido de Azul (Buenos Aires, Argentina). *Agriscientia* vol.33 no.1 Córdoba jun. 2016.
- Viergutz, C; Kathol, M; Norf, H; Arndt, H & Weitere, M. 2007. Control of microbial communities by the macrofauna: a sensitive interaction in the context of extreme summer temperatures. *Oecologia* 151:115–124 DOI 10.1007/s00442-006-0544-7
- Vreeken-Buijs, MJ & Brussaard, L. 1996. Soil Mesofauna dynamics, wheat residue decomposition and nitrogen mineralization in buried litterbags. *Biol Fertl soils* 23:374-381
- Wall, DH; Bradford, MA; St John, MG; Trofymow, JA; Behan-Pelletier, V; Bignell, DE; Dangerfield, JM; Parton, WJ; Rusek, J & Voigt, W. 2008. Global decomposition experiment shows soil animal impacts on decomposition are climate-dependent. *Global Change Biology* 14: 2661–2677.
- Walter, DE & Proctor, HC. 2013. Mites: Ecology, Evolution & Behaviour. Life at a Microscale. Second Edition. Springer Dordrecht Heidelberg New York London. ISBN 978-94-007-7163-5. ISBN 978-94-007-7164-2 (eBook). DOI 10.1007/978-94-007-7164-2
- Whipps, JM. & Lynch, JM. (1983). Substrate flow and utilization in the rhizosphere of cereals. *New Phytologist* 95, 605-623.
- Wilkinson, DM. 1998. Fragments of an entangled bank: do ecologists study most of ecology. *Oikos* 82, 393e394.
- WMO 1985. The global climate system a critical review of the climate system during 1982-1984.
- Yanoviak, SP. Effects of *Mecistogaster* spp. (Odonata: Pseudostigmatidae) and *Culex mollis* (Diptera: Culicidae) on Litter Decomposition in Neotropical Treehole Microcosms. *The Florida Entomologist*, Vol. 82, No. 3 (Sep., 1999), pp. 462-468

Zerbino, S; Altier, N; Morón, A & Rodríguez, C. 2008. Evaluación de la macrofauna del suelo en sistemas de producción en siembra directa y con pastoreo. *Agrociencia* Vol XII N° 1 pág. 44 – 55

ANEXOS

ANEXO 1 DATOS DE LA SERIE MAR DEL PLATA

SERIE MAR DEL PLATA (MP)

Es un suelo oscuro, profundo, con fuerte desarrollo, se encuentra en un área de paisaje serrano en posición de loma y pendiente dentro de la Subregión Pampa Austral Interserrana, desarrollado sobre sedimentos loésicos franco limosos, en pendientes de 1 a 3 %.

Ap	0-15 cm; pardo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo; franco; bloques subangulares medios moderados que rompe a granular y migajosa fina, fuerte; muy friable; raíces abundantes; límite inferior abrupto suave.
A	15-29 cm; negro (10YR 2/1) en húmedo; franco; bloques subangulares finos, fuertes; friable; raíces abundantes; límite inferior claro y suave.
AB	29-39 cm; pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo; franco; bloques subangulares medios moderados que rompe a granular medios, fuertes; friable; ligeramente plástico, ligeramente adhesivo; raíces abundantes; límite inferior claro y suave.
Bt1	39-58 cm; pardo a pardo oscuro (7,5YR 4/2) en húmedo; franco arcilloso; prismas compuestos irregulares, gruesos, fuertes, que rompe a bloques subangulares medios, fuertes y a prismas menores finos; ligeramente firme; plástico, adhesivo; barnices húmico-arcillosos comunes; raíces comunes; límite inferior claro y suave.
Bt2	58-76 cm; pardo a pardo oscuro (7,5YR 4/4) en húmedo; franco arcilloso; prismas irregulares gruesos que rompe en prismas moderados y prismas menores; ligeramente firme; plástico, adhesivo; barnices húmico-arcillosos escasos; raíces escasas; límite inferior claro y suave.

BC	76-110 cm; pardo a pardo oscuro (7,5YR 4/4) en húmedo; pardo claro (7,5YR 6/4) en seco; franco; prismas compuestos irregulares medios, débiles que rompe a bloques subangulares; firme; ligeramente plástico, no adhesivo; barnices húmico-arcillosos escasos; raíces escasas; límite gradual y suave.
C	110-160 cm a +; pardo (7,5YR 5/4) en húmedo; pardo claro (7,5YR 6/4) en seco; franco arenoso; masivo; muy firme; raíces escasas.

Datos Analíticos:

Horizontes	Ap	A	AB	Bt1	Bt2	BC	C
Profundidad (cm)	3-9	22-28	29-31	45-50	65-70	85-91	128-150
Mat. orgánica (%)	6,94	5,27	2,99	2,34	0,99	0,49	0,26
Carbono total (%)	4,03	3,06	1,74	1,36	0,58	0,29	0,04
Nitrógeno (%)	0,342	0,249	0,151	0,119	0,068	NA	NA
Relación C/N	12	12	11	11	9	NA	NA
Arcilla < 2 μ (%)	23,1	22,4	23,6	33,3	31,4	19,6	13,7
Limo 2-20 μ (%)	13,4	12,7	13,5	14,1	16,9	11,2	7,8
Limo 2-50 μ (%)	35,8	33,6	36,3	29,2	34,4	31,3	33,4
AMF 50-75 μ (%)	0	0	0	0	0	0	0
AMF 75-100 μ (%)	0	0	0	0	0	0	0
AMF 50-100 μ (%)	39,4	42,5	38,8	35,7	37,5	46,0	50,4
AF 100-250 μ (%)	1,7	1,5	1,3	1,8	1,7	3,1	2,2
AM 250-500 μ (%)	0	0	0	0	0	0	0
AG 500-1000 μ (%)	0	0	0	0	0	0	0
AMG 1-2 mm (%)	0	0	0	0	0	0	0
Calcáreo (%)	0	0	0	0	0	0	0
Eq.humedad (%)	30,1	28,8	39,8	37,8	37,5	23,6	15,8
Re. pasta Ohms	2958	3654	3480	2784	2610	4045	6090
Cond. mmhos/cm	NA						
pH en pasta	5,2	5,4	5,8	6,1	6,3	6,5	7,0
pH H ₂ O 1:2,5	5,9	6,1	6,3	6,7	7,0	7,2	7,6
pH KCL 1:2,5	4,8	5,0	5,5	5,5	5,7	5,6	5,9
CATIONES DE CAMBIO							
Ca ⁺⁺ m.eq./100gr	11,6	11,9	14,6	17,8	15,5	11,3	9,3
Mg ⁺⁺ m.eq./100gr	1,9	3,3	3,6	5,8	7,3	5,2	4,7
Na ⁺ m.eq./100gr	0,3	0,4	0,4	0,6	0,7	0,5	0,6
K m.eq./100gr	2,7	1,9	1,2	1,4	1,3	1,1	1,0
H m.eq./100gr	11,5	9,2	6,3	6,5	5,1	3,3	1,8
Na (% de T)	1,26	1,78	1,74	1,98	2,82	2,74	3,97

Suma de Bases	16,5	17,5	19,8	25,6	24,8	18,1	15,6
CIC m.eq./100gr	23,7	22,4	22,9	30,3	27,1	18,2	15,1
Sat. con bases (%)	70	78	87	85	91	99	100
NA: No analizado							

ANEXO 2 ANÁLISIS DE SUELO

Resultados para el modelo: `mlm.modelo.016_MoP_REML`

Variable dependiente: `MoP`

Medidas de ajuste del modelo

n	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2	0
20	48,46	53,10	-18,23	0,87	0,37	

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	10,17	0,0057
Gradiente.degradacion	3	7,18	0,0029

MoP - Medias ajustadas y errores estándares para Gradiente.degradacion

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Gradiente.degradacion	Medias	E.E.	
1	2,10	0,46	A
2	1,69	0,47	A
3	0,92	0,47	B
4	0,41	0,46	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Figura 45: Resultado del análisis de modelo mixto para la variable POM.

Resultados para el modelo: `mlm.modelo.017_CoT_REML`

Variable dependiente: `CoT`

Medidas de ajuste del modelo

n	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2	0
20	24,45	29,09	-6,23	6781,45	0,85	

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	3,1E-07	0,9996
Gradiente.degradacion	3	64,11	<0,0001

CoT - Medias ajustadas y errores estándares para Gradiente.degradacion

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Gradiente.degradacion	Medias	E.E.	
1	4,93	6781,45	A
2	3,71	6781,45	B
3	3,34	6781,45	C
4	2,64	6781,45	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Figura 46: Resultado del análisis de modelo mixto para la variable OC.

Resultados para el modelo: mlm.modelo.018_MoC_REML

Variable dependiente: MoC

Medidas de ajuste del modelo

n	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2	0
28	73,19	80,26	-30,60	0,91	0,69	

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	878,97	<0,0001
Gradiente.degradacion	3	23,34	<0,0001

MoC - Medias ajustadas y errores estándares para Gradiente.degradacion

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Gradiente.degradacion	Medias	E.E.	
1	10,92	0,39	A
2	9,25	0,40	B
3	8,39	0,40	C
4	7,63	0,39	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Figura 47: Resultado del análisis de modelo mixto para la variable LOI.

ANEXO 3 BIOLOGÍA

Los colémbolos son hexápodos, varían de 180 μm a 10000 μm (0,25 mm a 10 mm). La cabeza tiene un par de antenas con cuatro artejos, el tórax posee tres segmentos, cada uno con un par de patas. El abdomen consta de seis segmentos: en el primero presentan el tubo ventral cuya función es mantener el equilibrio hídrico y electrolítico del organismo, en el tercero se encuentra el tenáculo y en el cuarto poseen una fúrcula, que les sirve para saltar cuando son molestados. La forma del cuerpo y la pigmentación varían en los diferentes grupos y también pueden variar dependiendo del ambiente en que se encuentren (Martínez, 2018). Habitan en el suelo bajo la hojarasca y rastros. Su dieta es fungívora o detritívora. Son unos de los microartrópodos más abundantes que habitan el suelo, superficial y subsuperficialmente (Christiansen, 1964).

Los ácaros, poseen una falta de segmentación y tagmatización. Su cuerpo es una unidad, idiosoma, con la cual se articula un gnatosoma formado a partir de los segmentos de los quelíceros y los palpos y que porta estos apéndices, por lo que su función es trófica y sensorial. La pigmentación o la esclerotización le da color a los ácaros, que van del rojo, naranja, verde o violeta, en cambio color ámbar hasta el marrón o negro si es por endurecimiento de la cutícula. Dentro de los diferentes subórdenes. Los Mesostigmata poseen pigmentación en sus placas esclerotizadas, lo mismo ocurre en Oribátida. Los Astigmata poseen muy poca o nula esclerotización, por lo que su color es blanquecino. Los Prostigmata son un suborden muy diverso, en cuanto a pigmentación y esclerotización (Martínez, 2009; Walter y Proctor, 2013).

Los ácaros Mesostigmata, son un orden extenso, que ocupan una gran variedad de hábitats. Los Mesostigmata del suelo son depredadores. Poseen placas esclerotizadas tanto en el lado dorsal como ventral. Su tamaño va desde los 200 μm hasta más de 2000 μm (Maggi et al, 2009; Walter y Proctor, 2013).

Los ácaros Prostigmata, son el suborden más diverso de todos los ácaros. Los hay depredadores de vida libre, fungívoros/algívoros, parásitos obligados de plantas y parásitos de vertebrados o invertebrados. Poseen menor esclerotización respecto a Mesostigmata y Oribátida. (Fredes y Sotes, 2009; Walter y Proctor, 2013).

Los individuos del suborden Oribátida, cumplen un rol muy importante en los ecosistemas, fragmentan el material vegetal de pequeñas porciones, aumentando la superficie para que sean más accesible para los hongos y bacterias. Sus heces, son pequeñas bolas difíciles de descomponer, llamadas pellets, que contribuyen a la estabilidad del suelo y al ciclo de la materia orgánica. Sin embargo su rol más importante es la dispersión de esporas, y el control de hongos y bacterias mediante su alimentación (Martínez, 2009; Walter y Proctor, 2013).

Los Astigmata son un suborden dentro del suborden Oribátida. Son micófagos, saprófagos, fitófagos y parásitos. También son importantes en la dispersión de esporas (Martínez, 2018).

ANEXO 4 ANÁLISIS DE LA MESOFAUNA

Prueba de Kruskal Wallis

Variable	Gradiente degradacion	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
colémbolos 1		8	1751,63	1555,41	1146,50	8,96	0,0284
colémbolos 2		8	461,75	384,92	509,50		
colémbolos 3		8	366,13	516,24	127,00		
colémbolos 4		8	605,13	686,98	446,00		

Trat.	Ranks
3	11,69 A
2	14,50 A
4	15,00 A
1	24,81 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Figura 48: Análisis de Kruskal Wallis para la variable Colémbolos en ensayos a campo.

Prueba de Kruskal Wallis

Variable	Gradiente degradacion	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Poduromorfa 1		8	875,88	949,59	573,50	5,98	0,0919
Poduromorfa 2		8	206,88	263,09	127,00		
Poduromorfa 3		8	95,50	223,27	0,00		
Poduromorfa 4		8	446,00	624,15	255,00		

Variable	Gradiente degradacion	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Entonomorfa 1		8	445,88	366,73	318,50	4,25	0,2133
Entonomorfa 2		8	191,13	215,56	127,00		
Entonomorfa 3		8	206,88	340,04	127,00		
Entonomorfa 4		8	143,25	143,46	127,00		

Variable	Gradiente degradacion	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Symphyleona 1		8	429,75	694,17	127,00	5,94	0,0468
Symphyleona 2		8	63,63	96,29	0,00		
Symphyleona 3		8	63,63	136,10	0,00		
Symphyleona 4		8	15,88	44,90	0,00		

Trat.	Ranks
4	12,19 A
3	14,63 A B
2	16,13 A B
1	23,06 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Figura 49: Análisis de Kruskal Wallis para las variables poduromorfa, entonomorfa y symphypleona en ensayos a campo.

VARIABLES DE CLASIFICACIÓN

Gradiente degradacion

Prueba de Homogeneidad de Matrices de Covarianzas

Grupos	N	Estadístico	gl	p-valor
4	32	319,7356	84	<0,0001

Autovalores de Inv(E)H

Autovalores	%	% acumulado
1,8810	77,3828	77,3828
0,5290	21,7605	99,1434
0,0208	0,8566	100,0000

Funciones discriminantes canónicas

	1	2
Constante	-1,1361	1,1009
Poduromorfa	0,0001	-0,0016
Entonomorfa	0,0022	-0,0024
Symphyleona	0,0011	0,0088
Oribatida	0,0018	-0,0023
Astigmata	0,0004	-0,0037
Mesostigmata	0,0015	0,0105
Prostigmata	-0,0006	-0,0007

Funciones discriminantes - datos estandarizados con las varianzas comunes

	1	2
Poduromorfa	0,0342	-0,9657
Entonomorfa	0,6186	-0,6774
Symphyleona	0,3764	3,1633
Oribatida	0,9196	-1,1670
Astigmata	0,2684	-2,5606
Mesostigmata	0,2582	1,8138
Prostigmata	-0,6775	-0,7951

Figura 50: resultado del análisis discriminante para el muestreo a campo.

VARIABLES DE CLASIFICACIÓN

Gradiente degradacion

Alguna matriz de covarianzas dentro es singular

Grupo	n	Rango	ln(Det)
1	5	6	
2	5	7	-23,58
3	5	7	-21,21
4	5	6	

Autovalores de Inv(E)H

Autovalores	%	% acumulado
1,51	67,65	67,65
0,64	28,62	96,27
0,08	3,73	100,00

Funciones discriminantes canónicas

	1	2
Constante	-3,45	-0,99
Poduromorfa	9,6E-04	-1,2E-03
Entonomorfa	7,3E-04	9,8E-04
Symphyleona	-1,4E-03	1,1E-03
Oribatida	3,7E-03	-1,9E-03
Astigmata	1,9E-04	1,1E-04
Mesostigmata	0,01	0,01
Prostigmata	2,8E-03	4,7E-04

Funciones discriminantes - datos estandarizados con las varianzas comunes

	1	2
Poduromorfa	0,45	-0,57
Entonomorfa	0,19	0,25
Symphyleona	-0,59	0,45
Oribatida	0,52	-0,27
Astigmata	0,33	0,19
Mesostigmata	1,00	0,79
Prostigmata	1,41	0,24

Figura 51: resultado del análisis discriminante para el muestreo en macetas.

Prueba de Kruskal Wallis

Variable	Fecha	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
aca+cole	dic-18	8	1417,13	721,93	1019,00	8,18	0,0420
aca+cole	ene-18	8	1735,75	1306,10	1465,00		
aca+cole	mar-18	8	4363,00	2261,34	4395,00		
aca+cole	sep-18	8	2961,88	3510,29	1783,50		

Trat. Ranks

dic-18 12,63 A

ene-18 13,63 A

sep-18 15,19 A

mar-18 24,56 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Figura 52: Análisis de Kruskal Wallis para la variable ácaros+colémbolos en ensayos a campo.

Prueba de Kruskal Wallis

Variable	Gradiente degradacion	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Oribatida	1	5	203,80	231,56	127,00	1,88	0,5137
Oribatida	2	5	89,00	85,34	127,00		
Oribatida	3	5	51,00	114,04	0,00		
Oribatida	4	5	50,80	69,56	0,00		

Variable	Gradiente degradacion	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Astigmata	1	5	1452,20	2839,47	0,00	4,17	0,2150
Astigmata	2	5	611,20	386,33	637,00		
Astigmata	3	5	942,60	1759,42	255,00		
Astigmata	4	5	76,40	113,98	0,00		

Variable	Gradiente degradacion	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Mesostigmata	1	5	152,80	106,73	127,00	3,96	0,2238
Mesostigmata	2	5	89,20	106,61	64,00		
Mesostigmata	3	5	178,40	114,10	255,00		
Mesostigmata	4	5	50,80	69,56	0,00		

Variable	Gradiente degradacion	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Prostigmata	1	5	726,20	750,37	510,00	0,85	0,8352
Prostigmata	2	5	522,20	460,00	382,00		
Prostigmata	3	5	458,60	332,02	510,00		
Prostigmata	4	5	356,60	386,61	127,00		

Figura 53: Análisis de Kruskal Wallis para la variable oribátido, astigmata, mesostigmata y prostigmata en ensayos a campo.

Prueba de Kruskal Wallis

Variable	Gradiente degradacion	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
acaros	1	5	2535,00	2685,85	1656,00	7,82	0,0494
acaros	2	5	1312,00	411,85	1465,00		
acaros	3	5	1630,60	1537,48	1146,00		
acaros	4	5	534,80	353,55	382,00		

Trat. Ranks

4	4,40	A
3	11,00	A B
2	12,40	B
1	14,20	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Variable	Gradiente degradacion	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
colembolos	1	5	853,40	633,04	764,00	0,27	0,9662
colembolos	2	5	917,00	723,06	1401,00		
colembolos	3	5	777,00	949,31	510,00		
colembolos	4	5	700,60	566,06	446,00		

Figura 54: Análisis de Kruskal Wallis para la variable ácaros y colémbolos en ensayos en macetas.

Prueba de Kruskal Wallis

Variable	Gradiente degradacion	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
aca+col	1	5	3388,40	2529,40	2930,00	3,79	0,2832
aca+col	2	5	2229,20	868,41	2420,00		
aca+col	3	5	2407,60	1802,88	1783,00		
aca+col	4	5	1235,60	543,25	1210,00		

Figura 55: Análisis de Kruskal Wallis para la variable ácaros+colémbolos en ensayos en macetas.

Prueba de Kruskal Wallis

Variable	Gradiente degradacion	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Poduromorfa 1		5	649,60	494,19	382,00	3,75	0,2662
Poduromorfa 2		5	407,60	416,71	382,00		
Poduromorfa 3		5	127,40	180,14	0,00		
Poduromorfa 4		5	433,20	647,26	127,00		

Variable	Gradiente degradacion	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Entonomorfa 1		5	165,60	236,70	0,00	1,47	0,6764
Entonomorfa 2		5	369,20	393,70	318,00		
Entonomorfa 3		5	203,80	193,46	127,00		
Entonomorfa 4		5	254,60	127,50	255,00		

Variable	Gradiente degradacion	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Symphypleona 1		5	38,20	56,85	0,00	4,52	0,1560
Symphypleona 2		5	140,00	158,54	127,00		
Symphypleona 3		5	445,80	820,76	127,00		
Symphypleona 4		5	12,80	28,62	0,00		

Figura 56: Análisis de Kruskal Wallis para la variable poduromorfa, entonomorfa y symphypleona en ensayos en macetas.

ANEXO 5 DESCOMPOSICIÓN DE RASTROJOS

Tabla 13: Resultado ANOVA, tasas de descomposición para la primera campaña a campo.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	3,09	11	0,28	15,62	<0,0001
Sitio	1,00	3	0,33	18,52	<0,0001
Tamaño	1,84	2	0,92	51,20	<0,0001
Sitio*Tamaño	0,25	6	0,04	2,31	0,0671
Error	0,43	24	0,02		
Total	3,52	35			

Tabla 14: Resultado ANOVA, tasas de descomposición para la segunda campaña a campo.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	2,65	5	0,53	58,51	<0,0001
Sitio	1,00	1	1,00	110,89	<0,0001
Tamaño	1,54	2	0,77	85,13	<0,0001
Sitio*Tamaño	0,10	2	0,05	5,70	0,0182
Error	0,11	12	0,01		
Total	2,76	17			

Tabla 15: Resultado ANOVA, tasas de descomposición para la tercera campaña a campo.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	4,6E-05	8	5,7E-06	28,0543	<0,0001
Sitio	2,3E-06	2	1,2E-06	5,7292	0,0073
tamaño	3,8E-05	2	1,9E-05	93,7718	<0,0001
Sitio*tamaño	1,4E-06	4	3,5E-07	1,7293	0,1671
Error	6,7E-06	33	2,0E-07		
Total	0,0001	41			

Tabla 16: Resultado ANOVA, tasas de descomposición para el ensayo en laboratorio.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,27	11	0,02	8,52	<0,0001
Sitio	0,16	3	0,05	18,66	<0,0001
Tamaño	0,02	2	0,01	4,02	0,0312
Sitio*Tamaño	0,09	6	0,01	4,95	0,0020
Error	0,07	24	2,9E-03		
Total	0,34	35			