



*Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco  
Facultad de Ciencias Naturales y Ciencias de la Salud  
Departamento de Biología y Ambiente*

# **Microartrópodos edáficos de la estepa patagónica bajo diferentes condiciones ambientales y usos de suelo**

- ♣ ***Doctorando:*** Lic. Rosa María Manzó. CONICET-LIEB-FCNyCs-Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco.
- ♣ ***Director:*** Dr. Pablo Antonio Martínez. Departamento de Biología-FCEyN-Universidad Nacional de Mar del Plata.
- ♣ ***Directora:*** Dra. Susana Rizzuto. LIEB-FCNyCS- Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco.

**Tesis para optar el grado de Doctor en Ciencias Biológicas**

**Año 2021**

## ÍNDICE

---

<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	10
<b>RESUMEN</b> .....	12
<b>ABSTRACT</b> .....	15
<b>I. CAPITULO 1 “Microartrópodos edáficos de la estepa patagónica bajo diferentes condiciones ambientales”</b> .....	18
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	19
<b>1.1. HIPOTESIS GENERAL</b> .....	24
<b>1.2 OBJETIVOS</b> .....	24
<b>1.2.1 OBJETIVO GENERAL</b> .....	24
<b>1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b> .....	25
<b>2 MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	25
2.1 <i>Área de estudio</i> .....	25
2.2 <i>Diseño de muestreo</i> .....	29
2.3 <i>Caracterización ambiental</i> .....	29
2.4 <i>Caracterización del suelo</i> .....	30
2.5 <i>Extracción e identificación de la mesofauna</i> .....	30
2.6 <i>Selección de métricas</i> .....	31
2.7 <i>Análisis estadísticos</i> .....	32
<b>3 RESULTADOS</b> .....	33
3.1 <i>Variables ambientales y propiedades físicas y químicas del suelo</i> .....	33
3.2 <i>Mesofauna: composición, densidad y diversidad</i> .....	39
3.2.1 <i>Ácaros oribátidos: composición, densidad y diversidad</i> .....	43
3.3 <i>Distribución de los ácaros oribátidos en relación a los sitios y las variables ambientales</i> .....	49
3.4 <i>Factores que condicionan la fauna edáfica</i> .....	53
<b>4 DISCUSIÓN</b> .....	54
4.1 <i>Diversidad y abundancia</i> .....	54
4.2 <i>Distribución en función de las variables ambientales</i> .....	56
4.3 <i>Distribución en función del criterio fisonómico y condición del suelo</i> .....	57

<b>5</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	58
<b>II.</b>	<b>CAPITULO 2: “Microartrópodos edáficos de la estepa patagónica bajo diferentes usos de suelo”</b> .....	61
<b>1.</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	62
1.1.	<b>HIPÓTESIS GENERAL</b> .....	65
1.2.	<b>OBJETIVOS</b> .....	65
1.2.1	<b>OBJETIVO GENERAL</b> .....	65
1.2.2	<b>OBJETIVOS PARTICULARES</b> .....	65
<b>2.</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	65
2.1.	<i>Diseño de muestreo</i> .....	66
2.2.	<i>Caracterización ambiental</i> .....	69
2.3.	<i>Extracción e identificación de la mesofauna</i> .....	70
2.4.	<i>Selección de métricas</i> .....	72
2.5.	<i>Análisis estadísticos</i> .....	72
<b>3.</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	72
3.1.	<i>VARIABLES AMBIENTALES Y PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO</i> .....	72
3.2.	<i>MESOFAUNA: ABUNDANCIA Y RIQUEZA</i> .....	76
3.2.1.	<i>Distribución de acuerdo a los usos de suelo y la estacionalidad</i> .....	77
3.3.	<i>ÁCAROS ORIBÁTIDOS: ABUNDANCIA Y RIQUEZA</i> .....	79
3.3.1.	<i>Índices ecológicos</i> .....	82
3.3.2.	<i>Distribución de acuerdo con los usos de suelo y la estacionalidad</i> .....	83
3.3.3.	<i>Distribución de especies de oribátidos por tratamiento</i> .....	85
3.4.	<i>Distribución de acuerdo a la vegetación y la estación.</i> .....	88
3.5.	<i>Relación entre taxones y variables ambientales bajo los diferentes usos</i> .....	89
<b>4.</b>	<b>DISCUSIÓN</b> .....	93
4.1.	<i>VARIABLES AMBIENTALES Y PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO</i> .....	93
4.2.	<i>MESOFAUNA: ABUNDANCIA, RIQUEZA Y DISTRIBUCIÓN</i> .....	94
4.3.	<i>ÁCAROS ORIBÁTIDOS: ABUNDANCIA, RIQUEZA Y DISTRIBUCIÓN</i> .....	95
4.3.1.	<i>Especies de oribátidos por tratamiento</i> .....	97
4.4.	<i>Relación entre taxones y variables ambientales bajo los diferentes usos</i> .....	98
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	98

<b>III. CAPÍTULO 3: “Especies de ácaros oribátidos de la estepa de Chubut”</b> .....	101
<b>1. INTRODUCCION</b> .....	102
<b>1.1. OBJETIVO</b> .....	103
<b>2. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	103
<b>3. RESULTADOS</b> .....	103
<b>Aphelacaridae Grandjean, 1954</b> .....	103
- <i>Aphelacarus acarinus</i> (Berlese, 1910) .....	103
- <i>Adelphacarus sellnicki</i> Grandjean, 1952 .....	105
<b>Cosmochthoniidae Grandjean, 1946</b> .....	106
- <i>Cosmochthonius plumatus suramericanus</i> Hammer, 1958 .....	106
<b>Brachychthoniidae Thor, 1934</b> .....	106
- <i>Sellnickochthonius foliatus</i> (Hammer, 1958) .....	106
<b>Haplochthoniidae van der Hammen, 1959</b> .....	107
- <i>Haplochthonius clavatus</i> (Hammer, 1958).....	107
<b>Crotoniidae Thorell, 1876</b> .....	107
- <i>Camisia segnis</i> (Hermann, 1804).....	107
<b>Scutoverticidae Grandjean, 1954</b> .....	108
- <i>Hypovortex transversalis</i> (Balogh y Csiszár, 1963).....	108
<b>Pherolioididae Paschoal, 1987</b> .....	109
- <i>Pheroliodes neuquinus</i> Baranek, 1986 .....	109
- <i>Pheroliodes minutus</i> Baranek, 1984.....	110
<b>Anderemaeidae Norton &amp; Ermilov, 2019</b> .....	111
- <i>Anderemaeus magellanicus</i> Hammer, 1962.....	111
<b>Licnodamaeidae Grandjean, 1954</b> .....	111
- <i>Licnodamaeus granulatus</i> Balogh & Csiszár 1963.....	111
<b>Thyrisomidae Grandjean, 1953</b> .....	112
- <i>Banksinoma arcuatum</i> (Hammer 1958) .....	112
<b>Oxyoppiinae Subías, 1989</b> .....	113
- <i>Subiasella tenuis</i> (Hammer, 1958) .....	113
<b>Oppiidae Grandjean, 1951</b> .....	114
- <i>Oppiella nova</i> (Oudemans, 1902).....	114

- <i>Micropopia minus</i> (Paoli, 1908).....	115
- <i>Austropopia petrohuensis</i> (Hammer, 1962) .....	115
- <i>Membranoppia</i> ( <i>Membranoppia</i> ) <i>tuxeni</i> (Hammer, 1968) .....	116
- <i>Graptoppia</i> ( <i>Stenoppia</i> ) <i>multicorrugata</i> (Hammer, 1962).....	117
- <i>Lanceoppia</i> ( <i>Baioppia</i> ) <i>moritzi</i> Hammer, 1968.....	117
<b>Tectocephidae Grandjean, 1954</b> .....	118
- <i>Tectocephus velatus</i> (Michael, 1880) .....	118
<b>Protoibatidae J. y P. Balogh, 1984</b> .....	119
- <i>Totobates elegans</i> (Hammer, 1952).....	119
<b>Haplozetidae Grandjean, 1936</b> .....	120
- <i>Tuxenia complicata</i> Hammer, 1958.....	120
- <i>Gerloubia</i> ( <i>Monophauloppia</i> ) <i>bicuspidata</i> (Hammer 1958) .....	121
<b>4. DISCUSIÓN</b> .....	122
<b>5. CONCLUSIÓN</b> .....	125
<b>IV. CONCLUSIONES GENERALES</b> .....	126
4.1. <i>Distribución de los ácaros edáficos de la estepa patagónica en diferentes ambientes y usos de suelo</i> .....	127
4.2. <i>Estructura de la comunidad de ácaros oribátidos e implicancias para la conservación</i> .....	128
<b>V. BIBLIOGRAFIA</b> .....	130
<b>VI. APENDICES</b> .....	153
APENDICE 1 .....	153
APENDICE 2 .....	154
APENDICE 3 .....	156
APÉNDICE 4 .....	157
APENDICE 5. ....	160

## ÍNDICE DE FIGURAS

---

<b>Figura 1:</b> Distribución de los distritos fisonómicos. Fuente: Oyarzabal et al., 2018. ....	20
<b>Figura 2:</b> Leyenda de la Figura 1. Fuente: Oyarzabal et al., 2018. ....	21
<b>Figura 3:</b> Ácaros y colémbolos. Extraído y modificado del curso de ácaros: “Acarology summer program Ohio University 2009”. ....	22
<b>Figura 4:</b> Mapa del área de estudio. Se señalan las ciudades más cercanas a los sitios de muestreo: Esquel, Gobernador Costa y Alto Río Senguer. ....	27
<b>Figura 5:</b> Estepas arbustivas y estepas gramíneas en la provincia de Chubut, en las áreas muestreadas. ....	28
<b>Figura 6:</b> Diseño de muestreo hasta el nivel de subparcela. ....	29
<b>Figura 7:</b> Variación de la temperatura y de la humedad del suelo con respecto a la condición del suelo y al tipo de estepa. ....	38
<b>Figura 8:</b> Variación del pH y de la materia orgánica con respecto a la condición del suelo y al tipo de estepa. ....	38
<b>Figura 9:</b> Análisis de rango de Spearman sobre las variables ambientales y edáficas. ....	39
<b>Figura 10:</b> Abundancia de ácaros de acuerdo al tipo de estepa, suelo y estación del año. .	41
<b>Figura 11:</b> Abundancia de colémbolos de acuerdo al tipo de estepa, suelo y estación del año. ....	42
<b>Figura 12:</b> Diversidad de mesofauna mediante el índice de Shannon en relación a los diferentes tratamientos (arriba) y la abundancia total de mesofauna en relación a los tratamientos (abajo). ....	43
<b>Figura 13:</b> Diversidad de Oribatida de acuerdo al índice de Shannon en relación a los tratamientos (arriba) y abundancia total de Oribatida de acuerdo a los tratamientos (abajo). ....	45
<b>Figura 14:</b> Análisis de redundancia basado en la relación entre los sitios, las especies y las variables ambientales. Los códigos de las especies se indican en Apéndice 4. ....	51
<b>Figura 15:</b> Análisis de redundancia RDA basado en la relación entre los sitios, las especies y las variables ambientales. A: Criterio fisonómico, B: Condición del suelo, C: Estación. ....	52
<b>Figura 16:</b> Esquema que muestra la correspondencia entre la diversidad de la mesofauna con respecto al criterio fisonómico y a la condición del suelo y las métricas seleccionadas como indicadores de la calidad del suelo. ....	60
<b>Figura 17:</b> Mapa del área de estudio. Se amplía la imagen en las zonas de muestreo. ....	67
<b>Figura 18:</b> Sitios con uso forestal (arriba a la izquierda), uso ganadero (arriba a la derecha) y sitio control (abajo). ....	68
<b>Figura 19:</b> Calicatas realizada en el control (A2) y en el tratamiento ganadero (C1) ....	69
<b>Figura 20:</b> Extracción de muestra para mesofauna y medición de temperatura mediante un termómetro de suelo ....	70
<b>Figura 21:</b> Análisis de laboratorio. A, B y C preparación de las muestras para determinar pH y conductividad eléctrica; D, E, G y H preparación de las muestras y procedimiento para determinar materia orgánica. ....	71

<b>Figura 22:</b> Análisis de correlación de rangos de Spearman para las variables climáticas y edáficas analizadas. ....	74
<b>Figura 23:</b> Densidad de los grupos de ácaros por tratamiento y por estación. ....	76
<b>Figura 24:</b> Densidad de los grupos de colémbolos por tratamiento y por estación.....	77
<b>Figura 25:</b> Riqueza de especies y morfoespecies de mesofauna por usos del suelo, sin separar por estación del año. ....	78
<b>Figura 26:</b> Riqueza de especies y morfoespecies de mesofauna con respecto a la estación del año sin separar por usos del suelo. ....	78
<b>Figura 27:</b> Familias encontradas en cada tratamiento, las familias más abundantes están resaltadas con color (función “Glow”). ....	82
<b>Figura 28:</b> Riqueza de oribátidos con respecto a los tratamientos. ....	84
<b>Figura 29:</b> Riqueza de oribátidos con respecto a la estación.....	84
<b>Figura 30:</b> Densidades de especies compartidas entre los tres tratamientos analizados. ....	85
<b>Figura 31:</b> Densidades de especies compartidas entre dos tratamientos. ....	87
<b>Figura 32:</b> Porcentaje de taxones en el control, según cobertura y estación del año. ....	88
<b>Figura 33:</b> Porcentaje de taxones en los distintos tratamientos separado en dos estaciones de año (otoño y primavera). ....	89
<b>Figura 34:</b> Análisis de correspondencias canónicas (ACC) basado en las relaciones entre los sitios, las especies y las variables ambientales. Los códigos de los sitios están en el apéndice 5. ....	91
<b>Figura 35:</b> Análisis de correspondencias canónicas (ACC) basado en las relaciones entre los sitios, las especies y las variables ambientales. A: Tratamiento, B: Estacionalidad. ....	92
<b>Figura 36:</b> Esquema que muestra la correspondencia entre la riqueza de la mesofauna con respecto al control, el uso forestal y el uso ganadero y las especies que resultaron buenas indicadoras de suelo en los usos analizados. ....	100
<b>Figura 37:</b> <i>Aphelacarus acarinus</i> . Vista dorsal. ....	104
<b>Figura 38:</b> <i>Adelphacarus sellnicki</i> . Vista dorsal.....	105
<b>Figura 39:</b> <i>Cosmochthonius plumatus suramericanus</i> . Vista ventral (lado izquierdo, vista dorsal (lado derecho). ....	106
<b>Figura 40:</b> <i>Haplochthonius clavatus</i> . Vista dorsal. ....	107
<b>Figura 41:</b> <i>Camisia segnis</i> . Vista dorsal (Izquierda), vista del prodorso (derecha). ....	107
<b>Figura 42:</b> <i>Hypovortex transversalis</i> . Vista dorsal del prodorso.....	108
<b>Figura 43:</b> <i>Pheroliodes neuquinus</i> . Vista dorsal (izquierda), vista del prodorso (derecha) .....	109
<b>Figura 44:</b> <i>Pheroliodes minutus</i> . Vista dorsal (izquierda), vista del prodorso (derecha)..	110
<b>Figura 45:</b> <i>Licnodamaeus granulatus</i> . Vista dorsal .....	111
<b>Figura 46:</b> <i>Banksinoma arcuatum</i> . Vista dorsal (izquierda), vista ventral (derecha).....	112
<b>Figura 47:</b> <i>Subiasella tenuis</i> . Vista dorsal prodorso (izquierda), vista dorsal del cuerpo (derecha). ....	113

<b>Figura 48:</b> <i>Oppiella nova</i> . Vista dorsolateral (izquierda), vista dorsal del prodorso y costulas (derecha arriba), vista dorsal (derecha abajo).....	114
<b>Figura 49:</b> <i>Micropoppia minus</i> . Vista dorsal del cuerpo entero (izquierda), vista dorsal prodorso (derecha).....	115
<b>Figura 50:</b> <i>Membranoppia (Membranoppia) tuxeni</i> . Vista dorsal del cuerpo entero (izquierda), vista dorsal de las líneas lamellares del prodorso (derecha arriba), vista dorsal del prodorso (derecha abajo). ....	116
<b>Figura 51:</b> <i>Graptoppia (Stenoppia) multicorrugata</i> . Vista dorsal.....	117
<b>Figura 52:</b> <i>Lanceoppia (Baioppia) moritzi</i> . Vista dorsal.....	117
<b>Figura 53:</b> <i>Tectocephus velatus</i> . Vista ventral (izquierda), vista dorsal (derecha).....	118
<b>Figura 54:</b> <i>Totobates elegans</i> . Vista ventral (izquierda), vista dorsal (derecha).....	119
<b>Figura 55:</b> <i>Tuxenia complicata</i> . Vista dorsal (izquierda), vista ventral (derecha). ....	120
<b>Figura 56:</b> <i>Gerloubia (Monophauloppia) bicuspidata</i> . Vista ventral (izquierda), vista dorsal (derecha).....	121

## **AGRADECIMIENTOS**

Completamente agradecida de la vida de haber tenido la oportunidad de doctorarme y seguir aprendiendo y creciendo.

Agradecida de Asael y de Bernarda por recordarme todos los días lo más importante de la vida, el amor. Agradecida también de mi compañero Joaquín por acompañarme y ayudarme siempre que lo necesité en todo este arduo trayecto.

Agradecida de mi mamá y de mi papá y de cada uno de mis hermanos, Cris, Juan y Pedro y de mis hermanas, Luz e Iris, por acompañarme, ayudarme y levantarme. De mi cuñada Ceci, y de mi recientemente sobri Aria. De mi hermana mayor del alma Yani, que siempre está compartiendo nuestros momentos de la vida.

Agradecida de Ceci, Gabriel, Juli y Ani, que son parte de mi familia y me acompañaron en este trayecto.

Agradezco enormemente a mi directora Susana Rizzuto, por enseñarme, acompañarme, por abrirme las puertas a la acarología y porque nos hicimos buenas compañeras de trabajo y de la vida. A mi director Pablo Martínez, por enseñarme y capacitarme en la acarología ayudándome a crecer académicamente. Agradecida también de Fernanda Valenzuela por su ayuda en la parte edáfica de toda la tesis, siempre acompañándome con buena predisposición.

Agradezco a mis compañeras y compañeros, Lucia, Agus, Jime, Cami, Manu, Alex, Braian, Ines, Irene, porque cada una me ayudo de alguna u otra forma en el transcurso del doctorado y con algunos hicimos una hermosa amistad.

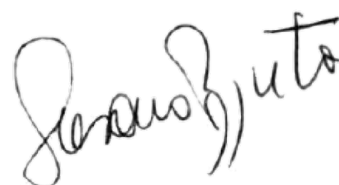
Agradezco a Pablo Bernal, que me ayudó siempre que lo requerí con la parte estadística de este proyecto, junto con Marta Grech y Luis Epele que hicieron sus aportes ayudando al desarrollo del manuscrito. Agradezco a Virginia Alonso y al laboratorio de suelos del CIEFAP por permitirme y ayudarme con los análisis de suelos, siempre con muy buena predisposición y atenta a mis consultas.

Agradezco también a Hugo Bottaro, por abrirme las puertas del INTA y brindarme información siempre que lo necesité.

Agradezco también al Sr. Luis Cavero por permitirme hacer mis muestreos en el aeropuerto de Esquel sin ningún inconveniente y al Sr. Colombo por abrir las puertas de su campo.

Agradezco también a la educación libre y gratuita de este hermoso país porque me dio la posibilidad de obtener tres títulos en la Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco de Esquel.

Agradezco también a la Dra. Adriana Kutschker, al Dr. Fernando Momo y al Dr. Camilo Bedano por ser los jurados de mi tesis doctoral, sus aportes y correcciones han mejorado sustancialmente mi trabajo.



## **RESUMEN**

Los microartrópodos edáficos son organismos de gran importancia para el mantenimiento del ecosistema suelo. Su presencia en el medio edáfico cumple un rol fundamental, llevando a cabo una gran diversidad de procesos, como la degradación de la materia orgánica, el ciclado de nutrientes, la fragmentación y la traslocación de restos vegetales, entre otros. La estepa patagónica es un ambiente con condiciones adversas, baja precipitación, gran amplitud térmica y suelos poco evolucionados, con baja capacidad de resiliencia. Sumado a esto, desde mediados del siglo XIX se incorporó la explotación ganadera, generando condiciones desfavorables para el mantenimiento de la fauna edáfica, llegando en algunos casos a superar la capacidad de resiliencia del sistema suelo, produciendo la degradación irreversible del mismo.

El objetivo principal de este trabajo fue estudiar los microartrópodos edáficos, con énfasis en los ácaros oribátidos, de la estepa patagónica en la Provincia de Chubut y comparar los atributos de la comunidad de ácaros oribátidos presente en el suelo de estepa, bajo diferentes condiciones ambientales y usos de suelo. Para alcanzar el primer objetivo, que fue estudiar los microartrópodos edáficos bajo diferentes condiciones ambientales, el diseño de muestreo fue en parcelas Sub Sub Divididas: *Split Split Plot* (SSP). El mismo fue realizado en tres bloques: "Esquel", "Gobernador Costa" y "Alto Río Senguer". Cada bloque fue dividido en dos parcelas, correspondientes a los tratamientos "estepa gramínea" y "estepa arbustiva". A cada parcela se la fraccionó en subparcelas, "suelo desnudo" y "suelo cubierto". Catorce muestras fueron colectadas a nivel de subparcela (14 en estepa arbustiva y 14 en estepa gramínea) generando un total de 28 muestras por bloque (28 x 3 bloques), totalizando 168 muestras, ya que fue realizado en dos estaciones del año, otoño y primavera.

Para alcanzar el segundo objetivo, que fue estudiar los microartrópodos edáficos bajo diferentes usos de suelo, el diseño de muestreo fue aleatorizado con dos factores, el primer factor: "Tratamiento" con tres niveles (Control/Forestal/Ganadero) y el segundo factor: "Estación" con cuatro niveles (verano/otoño/invierno/primavera). El muestreo fue realizado durante el año 2018, en los meses de enero, mayo, julio y octubre. Las áreas de muestreo fueron: el control, con la vegetación típica de estepa, el área con uso forestal con monocultivo de pino ponderosa de 30 años con podas y raleos, y el área con uso ganadero, con la presencia de ganado ovino. Se seleccionaron siete puntos en cada tratamiento, se extrajeron 14 muestras

del control (suelo desnudo y suelo cubierto), 7 muestras del uso forestal y 7 muestras del uso ganadero, luego se realizó un promedio ponderado con las muestras provenientes del control de acuerdo al porcentaje de suelo desnudo. Como se realizó un muestreo estacional, se tomaron en total 112 muestras. La selección de puntos de muestreo fue realizada al azar mediante la herramienta de selección del programa QGIS.

En ambos muestreos se realizaron mediciones de variables físico-químicas (pH, densidad relativa, porcentaje de humedad, porcentaje de agregados de fracción  $\geq 2$  mm, porcentajes de materia orgánica, arcilla, limo y arena) y ambientales (temperatura media anual y precipitación anual) a fin de encontrar relaciones entre las mismas y la distribución de la fauna edáfica. Además, se caracterizó el tipo de suelo y textura realizando calicatas (de 1 m de profundidad por 1 m<sup>2</sup> de superficie) en las áreas de muestreo. Luego de realizar las calicatas se extrajeron 3 muestras de suelo de cada horizonte (1,8–2,0 kg peso fresco). Para evaluar los efectos de los tratamientos sobre la mesofauna y separadamente sobre los oribátidos se realizó primeramente un ANOVA. Además, para explorar las relaciones entre las variables ambientales, los sitios y la fauna edáfica se realizó un análisis de correspondencia canónica para los dos muestreos. En adición, se estimaron métricas basadas en los atributos estructurales de la comunidad de mesofauna y en la taxonomía, como los índices de diversidad (Simpson, Shannon, Margalef) y de equitatividad (Pielou), riqueza y abundancia.

En el primer muestro fueron los Prostigmata el grupo más frecuente de la mesofauna, abarcando alrededor de 70 % del total de ácaros, seguido por Oribatida con 25 %. Contrariamente, Mesostigmata fue escaso, representando solo 5 % del total. Con respecto a los oribátidos se hallaron un total de 43 taxones, que fueron identificados como especies o morfoespecies, pertenecientes a 20 familias. La diversidad de Oribatida difirió de acuerdo a las condición del suelo, siendo significativamente mayor en suelo cubierto que en suelo desnudo. La familia más abundante fue Aphelacaridae, seguida por Oppidae, con valores de 8380 y 5440 ind./m<sup>2</sup> respectivamente. En cuanto al segundo muestreo el grupo más abundante también fueron los prostigmatas con 71 % del total de ácaros encontrados, seguido por Oribatida con 22,7 % y Mesostigmata con un 6,3 %. En cuanto a los ácaros oribátidos, en las 112 muestras de suelo fueron encontrados un total de 23 taxones, que fueron

identificados hasta nivel de especie o morfoespecie, distribuidas en 11 familias. En el sitio control fueron identificados un total de 19 taxones, en el uso forestal fueron identificados 10 y en el uso ganadero 7 taxones. La familia más abundante entre todos los tratamientos fue Licnodamaeidae (11870 ind./m<sup>2</sup>), seguida por Oribatulidae (3040 ind./m<sup>2</sup>). El control fue el que presentó mayor cantidad de especies (19), seguido por el uso forestal (8), y por último el uso ganadero (6). El control tuvo un total neto de 21 ejemplares, representando el 58 % del total de individuos, seguido por el uso forestal con 9, representado el 25 % y el uso ganadero con 6 ejemplares, representando el 16 %.

La estepa patagónica es un ambiente de condiciones climáticas extremas, principalmente de humedad y temperatura, por este motivo es de suma importancia tener una base taxonómica de la fauna propia de este ambiente y a partir de allí sentar líneas de base para futuros trabajos. Los parches de vegetación contribuyen significativamente a la biodiversidad regional de la estepa patagónica por albergar un alto número de especies de mesofauna, generando condiciones favorables para el desarrollo de esta fauna. Además, estos parches de vegetación son indispensables para el mantenimiento del ecosistema suelo de la estepa y para mitigar los procesos de desertificación.

Los distintos usos del suelo provocan cambios en sus propiedades físicas, químicas y biológicas, llevando en muchos casos a una degradación de la estructura, y de este modo perdiendo también la productividad del suelo como recurso. Como se puede observar, los usos del suelo alteran las comunidades de ácaros y, como consecuencia, modifican los procesos tan importantes que ellos desempeñan en el ambiente edáfico. Así, se disminuyen las poblaciones de algunas especies, pudiendo llegar a su total desaparición y/o algunas otras son reemplazadas por especies más resistentes. En este trabajo se señala a la presencia de individuos de *Tectocephus velatus* y *Oppiella nova*, especies de Oribatida, asociadas al uso ganadero y forestal respectivamente, como dos posibles indicadoras de disturbios en los suelos.

Se desprende de este trabajo la implicancia directa del uso del suelo sobre la población edáfica, siendo por ende de vital importancia la conciencia en el manejo de los distintos usos posibles del suelo, de modo tal de no superar la capacidad previamente limitada de resiliencia de los suelos de la estepa patagónica, y así evitar el inminente proceso de desertificación.

## **ABSTRACT**

Edaphic microarthropods are organisms of great importance in the maintenance of soil ecosystems. Its presence in soil has a key role in the maintenance and formation of soils, carrying out a variety of processes, such as organic matter degradation, nutrients cycling, fragmentation and translocation of vegetative remains, among others. Patagonian steppe is an adverse condition ambient, low amount of precipitations, great thermal amplitude and poorly evolved soils, with a low resilience capacity. In addition, cattle activity has been incorporated from mid XIX century, creating unfavorable conditions for the maintenance of edaphic fauna, surpassing, in some cases, the resilience border line of soil systems, resulting in an irreversible state of degradation.

The main objective was to study edaphic microarthropods, with emphasis in oribatid mites of Patagonian steppe in Chubut and to compare attributes of the oribatid mite communities in the steppe soil under different environmental conditions and soil uses. In order to reach the first aim, that was to study the edaphic microarthropods under different environmental condition, the experimental sampling was divided into three blocks: "Esquel", "Gobernador Costa" and "Alto Río Senguer" (names refer to cities and towns near each sampling area). Every block was divided into two whole plots, which corresponded to the treatments "shrubland" and "grassland". Then, each whole plot was divided into two subplots, which corresponded to the treatments "bare" and "covered" soil. In each subplot, we randomly collected seven samples of 100 cm<sup>2</sup> of soil (Figure 2). In total, 14 soil samples were collected from each whole plot, and 28 from each block (28 x 3 blocks). The study included 168 soil samples, since the experiment was carried out both in spring and in autumn (84 x 2).

In order to reach the second aim was to study edaphic microarthropods under different soil uses, the experimental sampling was randomized in two factors, the first factor: "treatment" with three levels (control/forestation/cattle) and the second factor: "station" with four levels (summer/autumn/winter/spring). The sampling was carried out during 2018, in January, May, July and October. The sampled areas were: control, with typical steppe vegetation, the forestation area with 30 years of *Pinus ponderosa* monoculture, pruned and thinned, and the cattle use area, with ovine livestock. Seven plots were selected in each

treatment, fourteen samples were taken from control (bare and covered soil), seven samples of forestation use and seven from cattle use, then a pondered average was made with the samples from control in agreement with the percentage of bare soil. As it is a stational sampling, there were 112 samples taken. The plot sample selection was made randomly with the selection program tool of QGIS.

In both samplings, physic-chemical variables (PH, relative density, soil moisture percentage, percentage of fraction adds  $\geq 2$  mm, percentages of organic matter, clay, silt and sand) and environmental variables (mid annual temperature, and mid annual precipitation) measurements were made in order to find relationships between themselves and the distribution of edaphic fauna. In addition, the kind of soil and texture was characterized by soil profiles (width 1m, length 1.0–1.5m, depth varying) in each sampling areas. After profile description, from each horizon were taken three samples (1.8–2.0kg fresh weight). In order to evaluate the effects of treatment over mesofauna and separately over oribatid mites, the first thing to realize was an ANOVA. Moreover, in order to explore the relationship between environmental variables, the plots and the edaphic fauna, a canonical correspondence analysis was made for both two samples. Furthermore, metrics were estimated based on structural attributes of the mesofauna community and taxonomy, such as diversity index (Simpson, Shannon, Margalef), evenness index (Pielou), abundance and richness indexes.

In the first sampling, Prostigmata was the most frequent group in mesofauna, reaching over 70% of total mites, followed by Oribatida with 25%. On the contrary, Mesostigmata were scarce, reaching only 5% of total mites. In relation to Oribatida, 43 taxa were found, identified as species or morphospecies, belonging to 20 families. Oribatida diversity differs in accordance with soil characteristics, being significantly higher in covered soil than in bare soil. The most abundant family was Aphelacaridae, followed by Oppidae, with values of 8380 y 5440 ind./m<sup>2</sup>, respectively. As for the second sampling, the most abundant group was also Prostigrama, reaching 71% of total mites found, followed by Oribatida with 22,7% and Mesostigmata with 6,3%. With regard to Oribatida mites, in the 112 soil samples, 23 taxa were found, identified as species or morphospecies, belonging to 11 families. In control plot 19 taxa where identified, 10 taxa in forestation and 7 taxa in cattle use plot. The most abundant family in all treatments was Licnodamaeidae (11870 ind./m<sup>2</sup>), followed by

Oribatulidae (3040 ind./m<sup>2</sup>). Control plot presented the highest number of species (19), followed by forestation (8) and cattle (6). Control plot had a net total of 21 individuals, representing 58% of total mites, followed by forestation use with 9 individuals, representing 25% of total mites and cattle use with 6 individuals, representing 16% of total mites.

Patagonian steppe is an extreme weather condition ambient, mainly in humidity and temperature, that is why it is of great importance to have a taxonomic base of its fauna, and therefore set line bases for further papers. The vegetation patches significantly contribute to the regional biodiversity of Patagonian steppe, by housing a high number of mesofauna species, creating favorable conditions for the development of this fauna. Also, these vegetation patches are necessary to the maintenance of the soil ecosystem of steppe and to alleviate the desertification processes.

Different soil uses induce changes in its physical, chemical and biological properties, resulting in many cases in structure degradation, and therefore losing productivity as a resource. As we can observe, the different uses of soil distort mite communities, and consequently, modify processes as important as those that they carry out in the edaphic environment. That is how, some species population decreases, reaching in some cases the total disappearance and/or the replacement of some more resistant species. In this thesis, the presence of *Tectocephus velatus* y *Oppiella nova*, Oribatida species, are marked, associated with cattle and forestation uses respectively, as two potentially soil disturbance indicators.

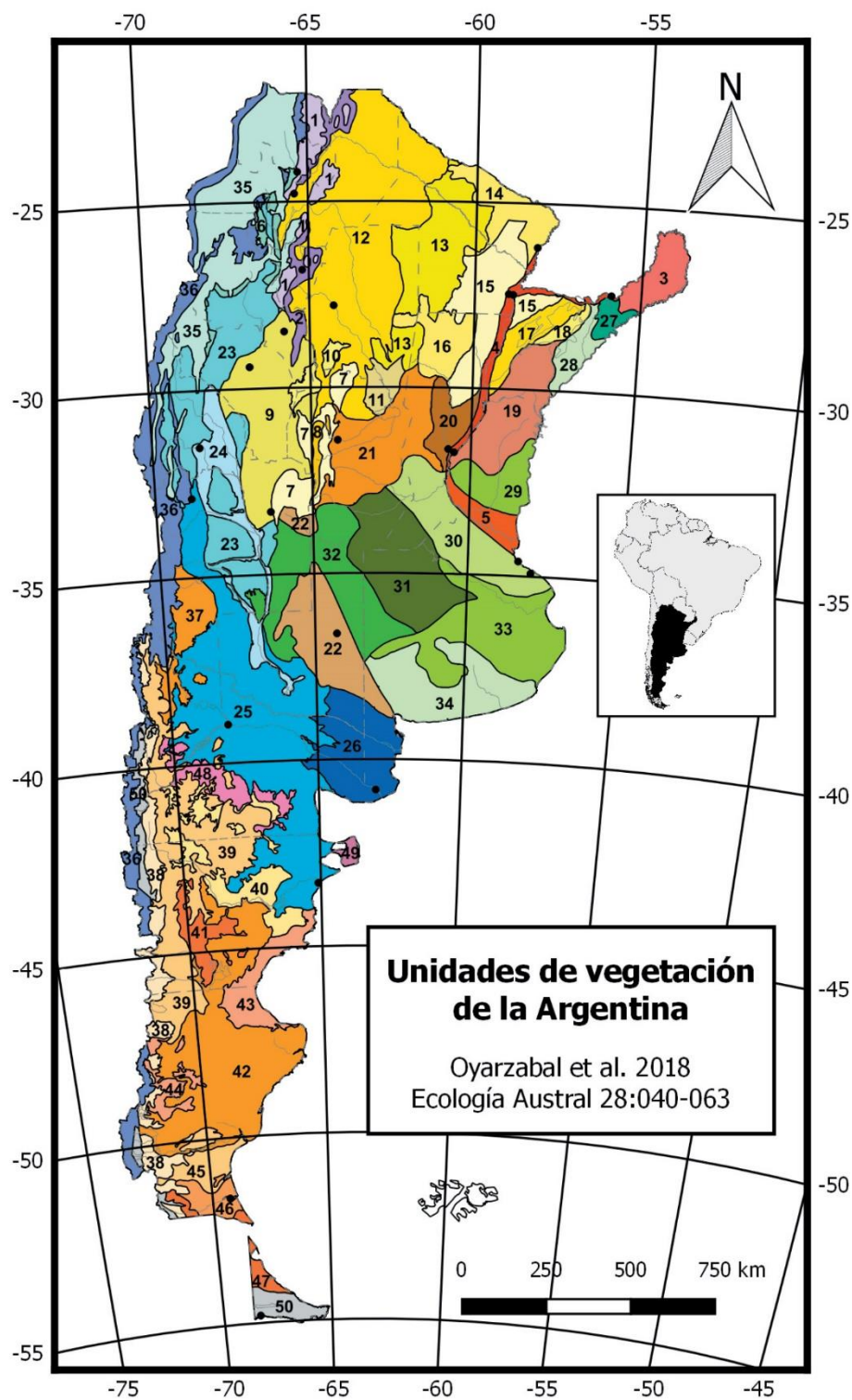
It borne out of this thesis the direct implication of soil use over the edaphic population, being of vital importance therefore, the conscious in the handle of the different possible uses of soil, so that the previously limited capacity of resilience in the Patagonian steppe soils is not overwhelmed, and so, avoid an impending desertification process.

I. CAPITULO 1 *“Microartrópodos edáficos de la estepa patagónica bajo diferentes condiciones ambientales”*



## **1. INTRODUCCIÓN**

Los ambientes áridos y semiáridos de la Argentina ocupan un 65 % del territorio continental (Fernández & Busso, 2000). Están representados principalmente en cuatro biomas: la Puna, el Espinal, el Monte y la Estepa Patagónica. Los suelos de la Patagonia árida y semiárida son en general de textura arenosa y con drenaje moderado y, a grandes rasgos, pertenecen a los órdenes: Aridisol (49,5%), Entisol (21,9%), Molisol (13,2%), Andisol (5,4%), Inceptisol (1,2%), Alfisol (0,5%), y con 0,1 para Histosol y Vertisol (del Valle, 1998). Desde el punto de vista fitogeográfico, Patagonia argentina se inscribe dentro de la Región Antártica, con el Dominio y Provincia Subantártica representados en el sector cordillerano, y de la Región Neotropical, que se extiende en la mayor parte de su territorio. En esta Región, el Dominio andino-patagónico es el más extenso, con la Provincia Altoandina localizada en las altas cumbres andinas y la Provincia Patagónica, abarcando el sector extraandino (Cabrera, 1976). En esta Provincia Patagónica la vegetación es muy heterogénea, por lo que algunos autores (Cabrera, 1947, 1976; Soriano, 1956) identificaron seis distritos sobre la base de condición fisonómico-florísticas: el Distrito Subandino, el Occidental, el Central, el del Golfo de San Jorge, el Distrito Magallánico y el Distrito de la Payunia. Luego León *et al.* (1998), en base a evidencias principalmente cartográficas, modificaron algunos de los límites de los distritos o los subdividieron de acuerdo a la heterogeneidad interna propia de cada uno, haciendo una descripción ampliada de la región y recientemente, Oyarzabal *et al.* (2018) realizaron un análisis más exhaustivo a partir de evidencias florísticas-fisonómicas (Figura 1 y 2). A grandes rasgos, el distrito Occidental presenta una estepa arbustivo-graminosa, siendo la presencia de coirón la más predominante; el Distrito Central es el más extenso, aquí se presenta una estepa arbustiva media y los eriales (arbustos enanos); el Distrito del Golfo de San Jorge con la presencia de una estepa arbustiva alta y una estepa graminoso-arbustiva; el Distrito Subandino que fisonómicamente es muy homogéneo, presenta una estepa graminosa con alta cobertura y con pocos arbustos, salvo en las áreas más deterioradas; el Distrito Magallánico también con estepa graminosa y el Distrito de la Payunia con presencia de matorrales (León *et al.*, 1998).



**Figura 1:** Distribución de los distritos fisonómicos. Fuente: Oyarzabal et al., 2018.

	Nombre fisonómico-florístico	Nombre popular
<b>Región Neotropical</b>		
<i>Dominio Amazónico</i>		
Provincia Fitogeográfica de las Yungas	1 Selva y Bosque montanos	Selva Montana y Bosque de Aliso y Pino del cerro
	2 Selva pluvial semicaducifolia pedemontana	Selva de Transición
	3 Selva pluvial semicaducifolia	Selva Misionera; Selva Paranaense
	4 Bosque ribereño subtropical	Valle del Paraná
	5 Bosque y humedal deltaicos	Delta del Paraná
<i>Dominio Chaqueño</i>		
Provincia Fitogeográfica Prepuneña	6 Estepa arbustiva con <i>Trichocereus</i> spp.	Prepuna
Provincia Fitogeográfica Chaqueña	7 Bosque de xerófitas con <i>Schinopsis marginata</i>	Chaco Serrano
	8 Pastizal de Stipeas y Festuceas	Pastizales de Altura
	9 Bosque de xerófitas con <i>Aspidosperma quebracho-blanco</i> en transición a estepa	Chaco Árido
	10 Matorral de halófitas	Salinas Grandes
	11 Pastizal y Matorral de halófitas	Bañados de Mar Chiquita; Espartillares y zampales
	12 Bosque de xerófitas con <i>Schinopsis lorentzii</i>	Chaco Semiárido
	13 Bosque de xerófitas con <i>Schinopsis balansae</i> y <i>Schinopsis lorentzii</i> , y Pastizal	Chaco Subhúmedo
	14 Sabana de <i>Copernicia alba</i> y <i>Sorghastrum setosum</i> , y Mosaico de Bosques	Chaco Húmedo con Bosques, Pajonales y Palmares de Caranday
	15 Mosaico de Bosque de xerófitas, de mesófitas, Sabana y Selva de albardón	Chaco Húmedo con Bosques y Cañadas
	16 Pastizal de <i>Spartina spartinae</i>	Bajos Submeridionales; Espartillares
	17 Sabana de <i>Andropogon lateralis</i> y <i>Paspalum notatum</i>	Pajonales y Palmares de Yatay
	18 Mosaico de comunidades higrófitas	Esteros del Iberá
	Provincia Fitogeográfica del Espinal	19 Bosque de esclerófitas con <i>Prosopis affinis</i>
20 Bosque de esclerófitas con <i>Prosopis nigra</i> y <i>Acacia caven</i>		Espinillar
21 Bosque de esclerófitas con <i>Prosopis nigra</i> y <i>Prosopis alba</i>		Algarrobal
22 Bosque de esclerófitas con <i>Prosopis caldenia</i>		Caldenal
Provincia Fitogeográfica del Monte	23 Estepa de Zigofiláceas con Cactáceas columnares	Monte de Sierras y Bolsones
	24 Estepa de Zigofiláceas y estepa de halófitas	Bolsones Endorreicos
	25 Estepa de Zigofiláceas de baja cobertura	Monte Austral o Típico
	26 Matorral de Zigofiláceas con <i>Prosopis</i> y <i>Geoffroea</i>	Monte Oriental o de Transición
Provincia Fitogeográfica Pampeana	27 Sabana de <i>Aristida jubata</i> con <i>Acacia</i> y palmeras	Campos y Urundayzales
	28 Pradera higrófitica de <i>Andropogon lateralis</i>	Malezales
	29 Pastizal megatérmico con bosque en galería	Pampa Mesopotámica
	30 Pseudoestepa mesofítica de <i>Bothriochloa lagurioides</i> y <i>Nassella</i> spp.	Pampa Ondulada
	31 Pseudoestepa de mesófitas con estepa de halófitas	Pampa Interior Plana
	32 Estepa psamofítica de <i>Sorghastrum pellitum</i> y <i>Elionurus muticus</i>	Pampa Interior Occidental
	33 Praderas de higrófitas y halófitas	Pampa Deprimida
	34 Pseudoestepa de mesófitas con matorral serrano	Pampa Austral
<i>Dominio Andino Patagónico</i>		
Provincia Fitogeográfica Puna	35 Estepa de <i>Fabiana densa</i> y <i>Baccharis boliviensis</i>	Puna
Provincia Fitogeográfica Altoandina	36 Estepa baja de <i>Senecio algens</i> y <i>Oxalis compacta</i>	Provincia Altoandina

**Figura 2:** Leyenda de la Figura 1. Fuente: Oyarzabal et al., 2018.

El suelo es un sistema complejo donde se llevan a cabo importantes procesos y donde habitan innumerables organismos. Dentro de la fauna edáfica encontramos la mesofauna del suelo (organismos comprendidos entre 0,2 y 2 mm) que está constituida principalmente por microartrópodos y, dentro de éstos, los colémbolos (Hexapoda: Collembola) y los ácaros (Arachnida: Acari) son los más abundantes. Los ácaros constituyen uno de los grupos de artrópodos más diversos y se hallan presentes en la mayoría de los ambientes de nuestro planeta (Behan-Pelletier & Bissett, 1994) (Figura 3). Los colémbolos también son un grupo de artrópodos abundantes en el suelo y la hojarasca (Hopkin, 2002), la mayoría se alimenta de hifas de hongos o de material vegetal en descomposición (Palacios Vargas, 2014) (Figura 3). De esta forma el papel de la fauna es fundamental para el desarrollo y maduración de los suelos (Iturrondobeitia *et al.*, 2004).



**Figura 3:** Ácaros y colémbolos. Extraído y modificado del curso de ácaros: “*Acarology summer program Ohio University 2009*”.

Es sabida la importancia de la fauna edáfica en los diferentes ambientes geográficos debido a su rol ecológico, en el ciclado de nutrientes y la estabilidad de los suelos. La abundancia de esta mesofauna está determinada principalmente por la calidad del recurso

(Lussenhop, 1976, 1981; Swift *et al.*, 1979) más que por la cantidad del mismo. Estos se desplazan por los poros del suelo, por tanto, suelen ser más abundantes en aquellos suelos con una alta proporción de materia orgánica, dado que presentan una estructura bien porosa (Martínez & Narciso, 2010). De este modo, los ácaros oribátidos constituyen, entre los ácaros de vida libre, los de mayor diversidad y abundancia en los ambientes terrestres ricos en materia orgánica (Wallwork, 1967; Evans, 1992).

En los ambientes áridos, los microartrópodos, están irregularmente distribuidos, variando su diversidad y densidad en función de la distribución de la hojarasca y la materia orgánica del suelo (Santos *et al.*, 1978). Además, en estos ambientes la alimentación es variada, los ácaros Prostigmata, dominantes, presentan diferentes regímenes: microfítófagos obligados, depredadores facultativos, zoófagos, necrófagos y macrófagos (Neher *et al.*, 2009). Los ácaros mesostigmata son depredadores de pequeños artrópodos y nematodos del suelo, los ácaros astigmata en el suelo pueden ser micófagos y los ácaros oribátidos, en su mayoría son de hábitos micófagos pero pueden presentar una dieta generalista (Maraun *et al.*, 2019).

Se han descrito más de 10000 especies del Suborden Oribatida, representando más de 1000 géneros y 172 familias (Norton & Behan-Pelletier, 2009; Walter & Proctor, 2013). Estas especies tienen un rol ecológico en el suelo muy importante, puesto que contribuyen activamente a la descomposición de los residuos vegetales utilizándolos como alimento, estimulan la actividad bacteriana y fúngica acelerando los procesos de mineralización y humificación, lo que genera un aumento de la fertilidad del suelo (Travé *et al.*, 1996). Dada su ubicuidad, alta diversidad y marcada dependencia de los factores ambientales, son excelentes indicadores del estado del suelo (Stork & Eggleton, 1992; Lebrun & van Straalen, 1995). En particular, los ácaros y los colémbolos han sido útiles en el entendimiento de cómo la biota responde a los impactos y la intensidad de los usos en el ecosistema (Black *et al.*, 2003; Rutgers *et al.*, 2009; Nielsen *et al.*, 2010; Arroyo *et al.*, 2013) y otros disturbios antropogénicos (Tsiafouli *et al.*, 2015; Caruso *et al.*, 2019; Murvanidze *et al.*, 2019).

La estepa patagónica ha sido sujeta a diferentes usos del suelo, como el reemplazo de vegetación nativa por plantaciones de pino (Raffaele & Schlichter, 2000) o como el pastoreo por ganado principalmente ovino (Gaitán *et al.*, 2011). Estos usos del suelo afectan las áreas más susceptibles como las desprovistas de vegetación, así la desertificación es uno de los

principales problemas ambientales afectando la región (del Valle 1998). Este fenómeno es complejo y acarrea el deterioro de distintas áreas (Paruelo *et al.*, 2005). La desertificación está definida como la degradación de áreas áridas, semiáridas y subhúmedas, como resultado de actividades antrópicas no adaptadas al uso de la tierra en esas regiones (UNEP, 1991).

El relevamiento taxonómico de los ácaros oribátidos de Argentina ha sido dispar, la región cordillerana de la Patagonia norte (Neuquén, Río Negro, norte de Chubut), en particular, fue prospectada por Hammer (1962b), Balogh & Csiszár (1963), Kun *et al.* (2010) y Ruiz *et al.* (2015, 2018). En la zona de la estepa en general, y en la provincia de Chubut en particular, se realizaron muy pocos trabajos (Martínez *et al.*, 2015; Rizzuto & Manzo, 2018; Manzo *et al.*, 2019). Por esto es que se necesita un mayor conocimiento sobre esta fauna mediante la realización de más trabajos descriptivos, para saber qué especies hay, y a partir de ahí sentar líneas de base y evaluar su importancia en el ecosistema árido, para luego profundizar su potencial como indicadores biológicos y proveer herramientas para la conservación.

## **1.1. HIPOTESIS GENERAL**

Los microartrópodos en general y los ácaros oribátidos en particular muestran variaciones en cuanto a composición, diversidad, abundancia y equitatividad en los diferentes ambientes de estepa, tanto en estepa arbustiva como en gramínea, en suelo desnudo y suelo cubierto y con respecto a la estacionalidad, respondiendo a la cantidad de materia orgánica, la humedad, la temperatura y la compactación del suelo. Serán menos abundantes y diversos en el suelo desnudo que en el suelo con cobertura vegetal y menos abundantes y diversos en la estepa arbustiva que en la estepa gramínea.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 OBJETIVO GENERAL**

Estudiar los microartrópodos edáficos, con énfasis en ácaros oribátidos, del área biogeográfica de la estepa patagónica en la Provincia de Chubut; comparar los atributos de la comunidad de ácaros oribátidos presente en el suelo de estepa, bajo diferentes condiciones ambientales.

### **1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- a) Identificar y cuantificar los microartrópodos edáficos, particularmente ácaros.
- b) Establecer la distribución de los ácaros edáficos de la estepa patagónica en función de los ambientes: estepa gramínea, estepa arbustiva, suelo desnudo, suelo bajo vegetación.

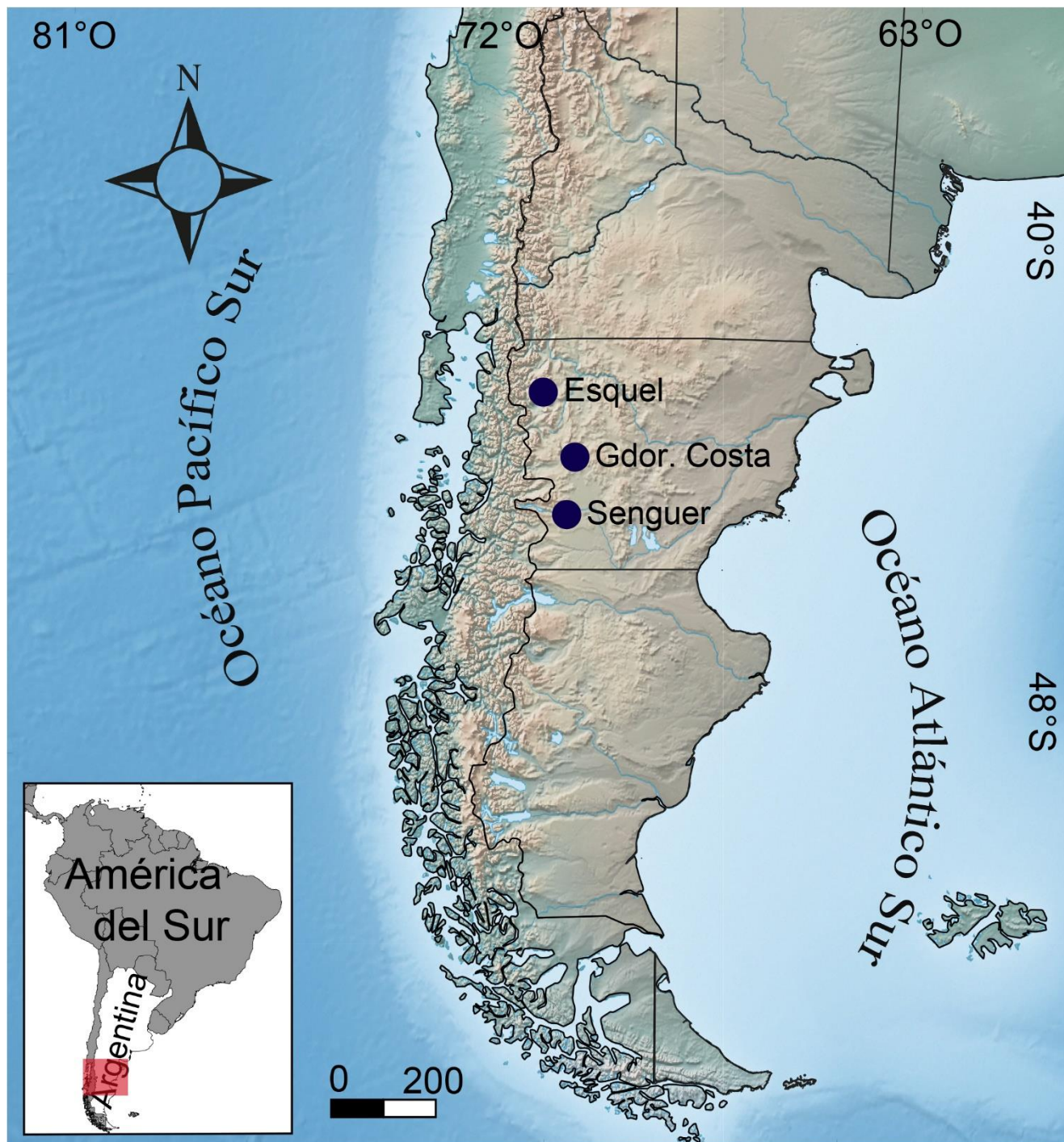
## **2 MATERIALES Y MÉTODOS**

La amplia región de la Patagonia argentina comienza al sur de Río Colorado, desde los 55°S, e incluye la cordillera de los Andes y las mesetas, planicies y serranías comprendidas entre los Andes y el océano Atlántico (León *et al.*, 1998). El clima de la región patagónica es templado frío (Paruelo *et al.*, 1998), aunque bastante heterogéneo, principalmente debido a dos grandes gradientes: uno oeste-este de precipitación decreciente, desde la cordillera a la estepa, y otro noreste-sudoeste de temperatura decreciente, fundamentalmente ligado a la latitud (Oesterheld *et al.*, 1998). Las precipitaciones estacionales están determinadas principalmente por las masas de aire que provienen del oeste, por el desplazamiento estacional de los centros de baja y alta presión sobre el Pacífico y por las corrientes oceánicas costeras con dirección ecuatorial (Paruelo *et al.*, 1998). Por la alta intensidad de la zona de baja presión polar y el desplazamiento hacia el norte del anticiclón del Pacífico, es que las precipitaciones se concentran en invierno (Paruelo *et al.*, 2005); casi la mitad de todas las precipitaciones ocurren en esta estación. Al provenir los vientos predominantes del oeste, cargados de humedad del Océano Pacífico, se enfrentan con la Cordillera de los Andes. A medida que ascienden se van enfriando y van descargando la humedad en forma de precipitaciones y, una vez que cruzaron la gran barrera, comienzan a descender por lo que el viento se calienta y se seca llegando a la estepa patagónica vientos secos y cálidos, explicando de este modo la escasa precipitación que ocurre en esa región.

### *2.1 Área de estudio*

El área de estudio está localizada alrededor del meridiano 71° O, entre 42°15' S y 45°15' S, en el oeste de la provincia de Chubut (Figura 4), donde existe un clima semiárido (Paruelo *et al.*, 2006). Desde una perspectiva fitogeográfica, el área de estudio se encuentra localizada en la Provincia Patagónica, Distrito Occidental y Subandino, caracterizados por

un ambiente de estepa (Figura 5) (Leon *et al.*, 1998). Los suelos han evolucionado de ceniza volcánica holocénica mezclada con materiales fluviales, coluviales y glacifluviales, el régimen de humedad es xérico y el régimen de temperatura es méxico (Colmet Daage *et al.*, 1993). Dos áreas fueron definidas de acuerdo con Correa (1998) a partir de los grupos dominantes de plantas: arbustos y gramíneas. El estrato arbustivo está caracterizado principalmente, por *Berberis microphylla*, *Nassauvia glomerulosa*, *N. axillaris*, *Chuquiraga avellanadae*, *Acaena splendens*, *A. pinnatifida*, *Tetraglochin caespitosa*, *Nardophyllum bryoides*, *Adesmia volckmannii* y *Senecio filaginoides*, mientras que el estrato gramíneo está caracterizado principalmente por *Festuca pallescens*, *Pappo speciosa*, *P. humilis*, *S. neaei*, *Azorella prolifera*, y *A. monantha* (León *et al.*, 1998; Roig, 1998).



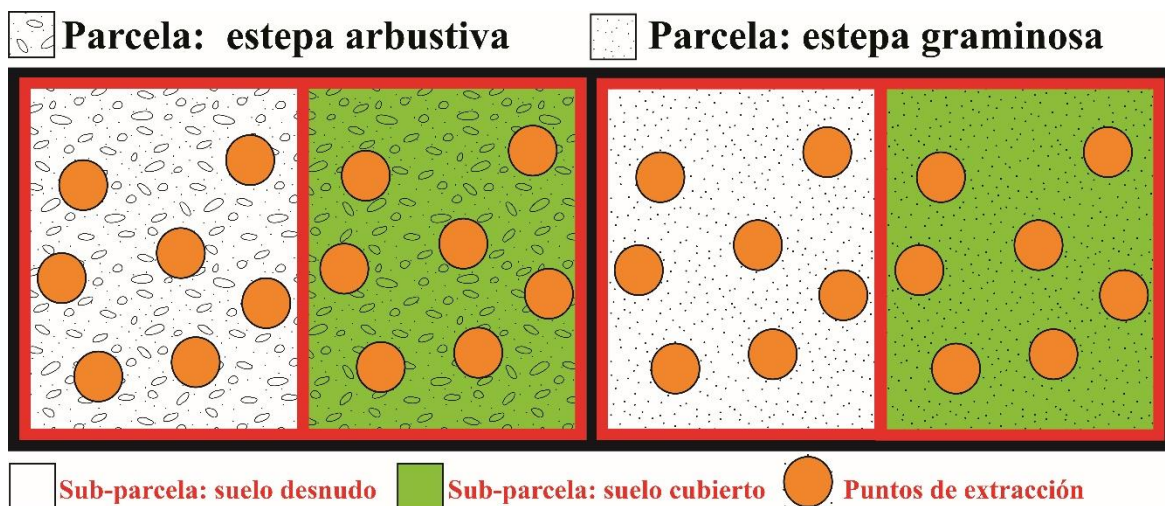
**Figura 4:** Mapa del área de estudio. Se señalan las ciudades más cercanas a los sitios de muestreo: Esquel, Gobernador Costa y Alto Río Senguer.



**Figura 5:** *Estepas arbustivas y estepas gramíneas en la provincia de Chubut, en las áreas muestreadas.*

## 2.2 Diseño de muestreo

Se realizaron dos muestreos, uno en octubre de 2016 (primavera) y otro en mayo de 2017 (otoño). El diseño de muestreo fue en parcelas Sub Sub Divididas: *Split Split Plot* (SSP). El mismo fue realizado en tres bloques: "Esquel", "Gobernador Costa" y "Alto Río Senguer" (nombres de las ciudades cercanas a cada área de muestreo). Cada bloque fue dividido en dos parcelas, correspondientes a los tratamientos "estepa gramínea" y "estepa arbustiva". Cada parcela se fraccionó en subparcelas, "suelo desnudo" y "suelo cubierto". Se recolectaron muestras de 100 cm<sup>2</sup> de suelo a nivel de subparcela, 14 de ellas se obtuvieron en estepa arbustiva y 14 en estepa gramínea (tomando siete de suelo desnudo y siete bajo suelo cubierto en cada estepa), generando un total de 28 muestras por bloque (28 x 3 bloques = 84) (Figura 6), estas muestras fueron tomadas al azar a una distancia de 1 o 2 km entre ellas, dependiendo del tamaño del área a muestrear. El estudio comprendió un total de 168 muestras, ya que fue realizado en dos estaciones del año, otoño y primavera (84 x 2).



**Figura 6:** Diseño de muestreo hasta el nivel de subparcela.

## 2.3 Caracterización ambiental

Para contar con variables ambientales se tomaron datos de temperatura media anual y precipitación anual (rango anual del año 1970 al año 2000) a nivel de bloque, a partir de mapas digitales (WorlClim data base versión 2, Hijmans *et al.*, 2017), usando el software libre QGIS 2.14 (Development Team, 2018).

## *2.4 Caracterización del suelo*

Se caracterizó el tipo de suelo y textura a través de análisis físicos y químicos (Bouyoucus, 1927). Para ello se realizaron dos calicatas (de 1 m de profundidad por 1 m<sup>2</sup> de superficie), en cada subparcela, en los dos estratos de cada bloque, totalizando 6 calicatas. Para la descripción del perfil se tomó de cada horizonte un total de 3 muestras de suelo, de 1,8 a 2 kg cada una. Los análisis que se realizaron en cada muestra fueron: pH, densidad relativa, porcentaje de humedad, porcentaje de agregados de fracción  $\geq 2$  mm, porcentajes de materia orgánica, arcilla, limo y arena y, además, se determinó el tipo de suelo mediante el uso de claves (Soil Survey Staff, 2014).

En cada sitio de muestreo se midió *in-situ* la temperatura del suelo (°C) y el porcentaje de humedad del suelo mediante el método gravitacional a 105 °C por 24 h (Allison *et al.*, 1980), en el laboratorio, para cada muestra se midió: pH (1:1) a través de un potenciómetro (Bailey, 1943), además se midió pH (FNa 2 min y FNa 60 min) (Fieldes & Perrot, 1966) para la determinación del tipo de alofanización del suelo, conductividad (dS/m), porcentaje de materia orgánica (Davies, 1974).





## *2.5 Extracción e identificación de la mesofauna*

Las muestras de suelo para coleccionar microartrópodos, de 10 cm x 10 cm x 5 cm (largo, ancho y profundidad), fueron tomadas usando una pala de jardinería y colocadas en tarros de plástico para su transporte al laboratorio. A fin de hacer los resultados comparables con otros estudios, la densidad de los microartrópodos se extrapoló a individuos por m<sup>2</sup>. En el laboratorio, los organismos fueron extraídos usando embudos Berlese-Tullgren durante 12 días, colectando los ejemplares en tarros de plástico con alcohol al 70 % (Winter & Behan-Pelletier, 2007). Luego los especímenes fueron identificados bajo lupa binocular y el uso de microscopio LEICA ICC50 HD. Los ácaros fueron identificados a nivel de orden (Mesostigmata) o suborden (Oribatida y Prostigmata). Los oribátidos fueron identificados hasta especie, siempre que fue posible, con el uso de claves regionales (Balogh & Balogh, 1988, 1990) y de descripciones originales (Hammer, 1961, 1962a, 1962b; Balogh & Csiszár, 1963). Además, los oribátidos fueron asignados a los grupos Macropylina y Brachypylyna y, dentro de este último, a Gymnonota y Poronota. Si bien los grupos mencionados no se consideran monofiléticos, excepto Brachypylyna (Balogh & Balogh, 2002; Norton & Behan-

Pelletier, 2009), esta división ha sido usada para evaluar la taxocenosis de oribátidos (Aoki, 1979; Salazar Martínez *et al.*, 2010; Shimano, 2011). Collembola fue identificado a nivel de orden (Symphypleona) o familia (Entomobryidae y Poduridae, dentro del orden Arthropleona).

## *2.6 Selección de métricas*

Se seleccionaron métricas basadas en los atributos estructurales de la comunidad, como medidas taxonómicas de riqueza, diversidad (a nivel de taxón para mesofauna y de especie para Oribatida), abundancia, proporción de taxones (Moreno, 2001) y proporción de grupos de oribátidos (Macropylina, Gymnonota y Poronota) con los que se calculó el índice MGP de Aoki (Aoki, 1979; Shimano, 2011) que clasifica los ambientes como:

-  **M:** cuando el 50% o más de las especies (MGP I) o de los individuos (MGP II) pertenece a Macropylina.
-  **G:** cuando el 50% o más de las especies (MGP I) o de los individuos (MGP II) pertenece a Gymnonota.
-  **P:** cuando el 50% o más de las especies (MGP I) o de los individuos (MGP II) pertenece a Poronota.
-  **O:** cuando las especies (MGP I) o los especímenes (MGP II) de cada uno de los tres grupos se encuentra entre 20% y 50%.

A partir de ahí, se seleccionó un total de 19 métricas (Apéndice 1) con el fin de analizar y comparar la estructura de la comunidad de la mesofauna en relación con los criterios ambientales (físicos y químicos), fisonómicos (estepa arbustiva y estepa gramínea), la condición del suelo (suelo desnudo y suelo cubierto) y la estación del año (otoño y primavera). El set de métricas fue testeado para determinar su concordancia con el siguiente criterio: 1) no ser redundantes, 2) mostrar respuestas predecibles de las variables del suelo, 3) ser de aplicación sencilla, para su posible uso en monitoreos. Se omitieron las métricas basadas en taxones poco frecuentes y aquellas que no mostraron una respuesta a los tratamientos.

Para una mejor comprensión de los resultados, se realizarán los gráficos con diferentes colores de acuerdo al tratamiento, para las características fisonómicas se utilizará color verde para identificar la estepa gramínea y color naranja para identificar la estepa

arbustiva, para la condición del suelo se utilizará color amarillo para identificar el suelo desnudo y color violeta para la identificación del suelo cubierto, mientras que para la estacionalidad se utilizará color azul para representar el otoño y color rosa para representar la primavera.

### *2.7 Análisis estadísticos*

Primeramente, se realizó un test de ANOVA mediante el programa estadístico InfoStat versión 2011 (Di Rienzo *et al.*, 2011) para evaluar el efecto de los tratamientos sobre la mesofauna y, separadamente, sobre los oribátidos. Además, se obtuvieron las medias para evaluar los rangos de variación de las variables ambientales, de acuerdo con los principales factores (fisonómico, condición del suelo y estación). Se realizó un test de correlación simple no paramétrico (Spearman) para explorar las relaciones entre las variables ambientales, usando el paquete *corrplot* (Wei & Simko, 2016) en el software R versión 3.2.3 (R Development Core Team, 2016). Para todos los tests realizados se usó un nivel de significancia de 0,05.

Para los datos de mesofauna se aplicó un DCA (por sus siglas en inglés: *Detrended Correspondence Analysis*) usando el programa del R versión 3.2.3 (R Development Core Team, 2016) para determinar la respuesta del modelo apropiado: lineal (RDA) o unimodal (CCA). Se realizó un RDA para medir las relaciones entre la fauna edáfica y las variables ambientales. Este análisis permite determinar las combinaciones lineales de variables ambientales que mejor explican los patrones de abundancia de especies en la dimensión temporal. Para el RDA, todas las variables (excepto el pH) fueron transformadas ( $\log(x + 1)$ ) para normalizar las variables (TerBraak & Smilauer, 1998). Variables que fueron altamente correlacionadas con otras en el análisis inicial fueron excluidas. Luego se realizó un análisis con las variables restantes y se eliminaron aquellas que no resultaran significativas en el ordenamiento ( $p > 0,05$ ; Test de permutación de Monte Carlo, 9999 iteraciones). El RDA final fue corrido usando un set de variables ambientales independientes y significantes (CANOCO package, TerBraak & Smilauer, 1999). La matriz de abundancia fue construida a partir de valores medios de los puntos de las subparcelas. Para verificar la significancia de todos los modelos se usó el test de permutación de Monte Carlo (TerBraak & Smilauer, 1998).

Además, se identificaron los mejores predictores ambientales de las métricas usando modelos generalizados lineales mixtos (GLMM, por sus siglas en inglés). Variables de riqueza fueron modeladas usando una distribución Poisson y como función log, mientras que variables de abundancia fueron modeladas con la familia binomial negativa y como función log. El índice de Shannon fue modelado con la familia gaussiana e igualdad como función.

El criterio fisonómico (estepa arbustiva y gramínea), la condición del suelo (suelo desnudo y suelo cubierto), la estacionalidad (otoño y primavera) y las variables ambientales (altitud, humedad del suelo, pH, temperatura del suelo, conductividad y materia orgánica) fueron analizados como efectos fijos. Para considerar la estructura espacial y temporal fueron incluidos como efectos aleatorios el bloque, las parcelas (criterio fisonómico) dentro del bloque y las subparcelas (condición del suelo) dentro de cada parcela. Los modelos fueron evaluados con un procedimiento gradual automático. Los análisis estadísticos fueron realizados mediante el software InfoStat, versión 2011 (Di Rienzo *et al.*, 2011).

### **3 RESULTADOS**

#### *3.1 Variables ambientales y propiedades físicas y químicas del suelo*

La precipitación media anual varió entre 194-395 mm y 325-466 mm en la estepa arbustiva y la estepa gramínea respectivamente. La temperatura media anual fue similar en ambas (media 8 °C) (Tabla 1). La temperatura del suelo mostró una amplia variación dentro de la estepa arbustiva (otoño min.: 11 °C, máx.: 15 °C; primavera min.: 11 °C, máx.: 14 °C) y dentro de la estepa gramínea (otoño min.: 9,4 °C, máx.: 19 °C; primavera min.: 7 °C, máx.: 15,6 °C) (Figura 7; Tabla 1). El pH fue generalmente cercano a neutro, siendo en la estepa arbustiva levemente menos ácido (media suelo desnudo: 6,53, media suelo cubierto: 7,3), respecto a la estepa gramínea (media del suelo desnudo: 6,27, media suelo cubierto: 6,62) sin importar la estación (Figura 8; Tabla 1). Esta variable se asoció negativamente con la longitud (Figura 9). El pH (FNa) 2' y 60' fue similar en ambas estepas (>7). La materia orgánica fue generalmente escasa, pero levemente más elevada en la estepa gramínea (media suelo desnudo: 5,09 %, media suelo cubierto: 4,15 %). Además, esta variable fue asociada positivamente con la longitud y la humedad del suelo, y negativamente asociada con la latitud

y el pH (Figura 9; Tabla 1). La conductividad media fue de 59,5 y 97,45 dS/m en la estepa arbustiva y en la estepa gramínea, respectivamente.

El tipo y la textura del suelo fueron muy similares en ambas estepas (arbustiva y gramínea). Las secuencias de los horizontes del suelo fueron A – C con una longitud de 30 cm. El horizonte A fue de alrededor 10 a 15 cm con abundantes raíces que decrecían hacia la profundidad. La estructura fue de bloques subangulares. No se observaron rasgos redoximórficos, lo que indica un buen drenaje y una buena relación agua-aire en ambos tipos de estepa. La textura fue de franco arenosa a arenosa con fragmentos que variaron entre el 13 al 32 % en el horizonte superficial del suelo (A) (Tabla 2). Los valores de pH (FNa) fueron inferiores a 9,2 indicando la presencia de Halosita (arcilla cristalina) en el suelo, y por estos datos los suelos fueron clasificados como Molisoles, y dentro de estos como Haploxeroles (Soil Survey Staff, 2014).

**Tabla 1:** Variables ambientales de acuerdo con la estacionalidad (otoño y primavera), el criterio fisonómico (estepa arbustiva y estepa gramínea) y la condición del suelo (suelo desnudo y suelo cubierto). La media, el desvío estándar y los valores máximos y mínimos son consignados por cada tratamiento.

<i>OTOÑO</i>												
<i>Variables</i>	<i>Estepa arbustiva</i>						<i>Estepa gramínea</i>					
	<i>Suelo desnudo</i>			<i>Suelo cubierto</i>			<i>Suelo desnudo</i>			<i>Suelo cubierto</i>		
	<i>Media±DS</i>	<i>Mín</i>	<i>Máx</i>	<i>Media±DS</i>	<i>Mín</i>	<i>Máx</i>	<i>Media±DS</i>	<i>Mín</i>	<i>Máx</i>	<i>Media±DS</i>	<i>Mín</i>	<i>Máx</i>
<b>pH</b>	6,5±0,1	6,4	6,7	7,3±0,2	7,1	7,5	6,3±0,6	5,7	6,9	6,62±0,4	6,1	7
<b>Conductividad (dS/m)</b>	0,08±0,05	0,03	0,1	0,09±0,01	0,07	0,1	0,2±0,1	0,07	0,3	0,07±0,01	0,06	0,08
<b>Materia orgánica (%)</b>	1,7±1,01	1,1	2,9	1,9±0,6	1,4	2,5	5,1±2,1	3,4	7,5	4,1±2,1	2,5	6,4
<b>Temperatura suelo (°C)</b>	13,6±1,2	12,4	14,9	12,8±1,9	11,2	14,9	13,1±5,2	9,6	19	13,8±4,7	9,4	18,2
<b>Humedad suelo (%)</b>	12,8±1,2	12,4	14,9	18,6±10,9	6,6	27,9	25,1±16,8	9,6	19,5	27,5±4,7	9,4	18,2
<b>TMA (°C)</b>	8,7±0,71	8,1	9,5	8,8±0,8	8,1	9,6	7,6±0,7	6,7	8,2	7,7±0,7	6,7	8,2
<b>PMA (ml)</b>	31±106,9	194,2	395	315,9±106,9	194,2	395	394,6±70,6	325,6	466,8	394,7±70,6	325,6	466,7
<b>Altitud (msnm)</b>	734,8±78,7	621	846	734,8±78,7	621	846	937,6±97,3	690	1064	937,6±97,3	690	1064

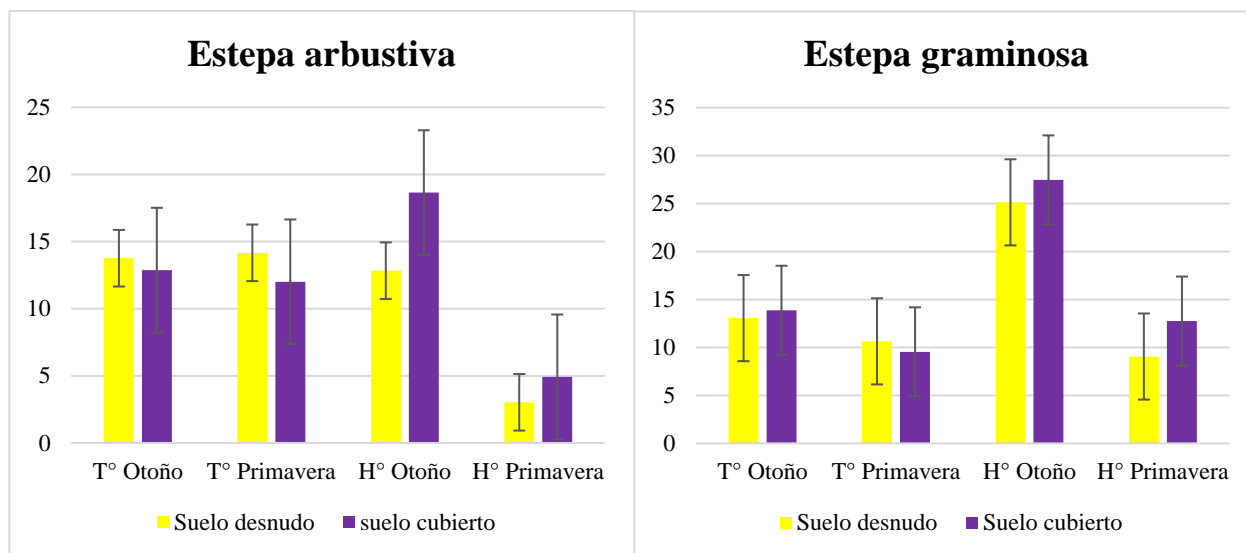
**Tabla 1. Continuación**

<i>Variables</i>	<i>PRIMAVERA</i>											
	<i>Estepa arbustiva</i>						<i>Estepa gramínea</i>					
	<i>Suelo desnudo</i>			<i>Suelo cubierto</i>			<i>Suelo desnudo</i>			<i>Suelo cubierto</i>		
	<i>Media±DS</i>	<i>Mín</i>	<i>Máx</i>	<i>Media±DS</i>	<i>Mín</i>	<i>Máx</i>	<i>Media±DS</i>	<i>Mín</i>	<i>Máx</i>	<i>Media±DS</i>	<i>Mín</i>	<i>Máx</i>
<b>pH</b>	6,5±0,1	6,4	6,7	7,3±0,2	7,1	7,5	6,3±0,6	5,7	6,9	6,6±0,4	6,1	7,02
<b>Conductividad (dS/m)</b>	0,1±0,05	0,03	0,1	0,1±0,01	0,07	0,10	0,2±0,1	0,07	0,3	0,07±0,01	0,06	0,08
<b>Materia orgánica (%)</b>	1,7±1,01	1,1	2,9	1,9±0,6	1,4	2,5	5,1±2,1	3,7	7,5	4,1±2,1	2,5	6,5
<b>Temperatura suelo (°C)</b>	14,2±0,2	14	14,4	12±0,8	11,1	12,5	10,6±4,3	7,5	15,6	9,5±3,2	6,5	12,5
<b>Humedad suelo (%)</b>	3,03±0,2	1,8	5,3	4,9±2,4	3,5	7,7	9,06±7,3	7,5	15,6	12,7±7,7	3,3	18,9
<b>TMA (°C)</b>	8,7±0,7	8,1	9,5	8,8±0,8	8,1	9,6	7,7±0,7	6,8	8,2	7,7±0,7	6,7	8,2
<b>PMA (ml)</b>	315±106,9	194,2	395	315±107	194,2	395	394,6±70,6	325,6	466,8	394,7±70,6	325,6	466,7
<b>Altitud (msnm)</b>	734,8±78,7	621	846	734,8±78,7	621	846	937,6±97,3	690	1064	937,6±97,3	690	1064

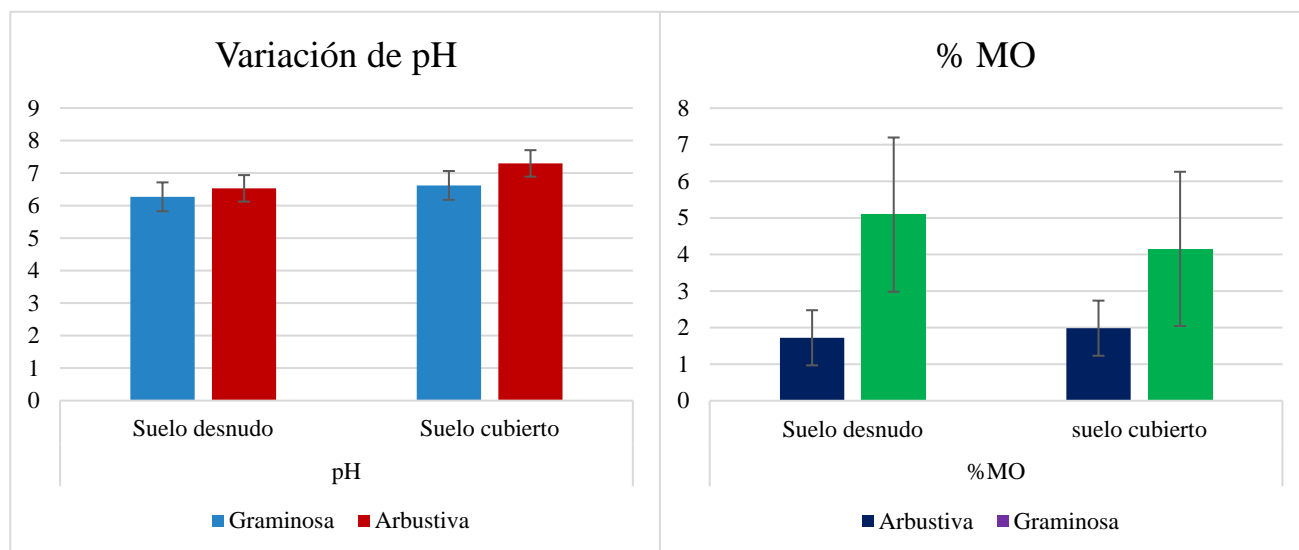
TMA, Temperatura media anual; PMA, Precipitación media anual

**Tabla 2:** Caracterización del perfil del suelo (horizonte A), de la estepa arbustiva y la estepa gramínea. Se muestran los valores de la media, del desvío estándar y los valores máximos y mínimos.

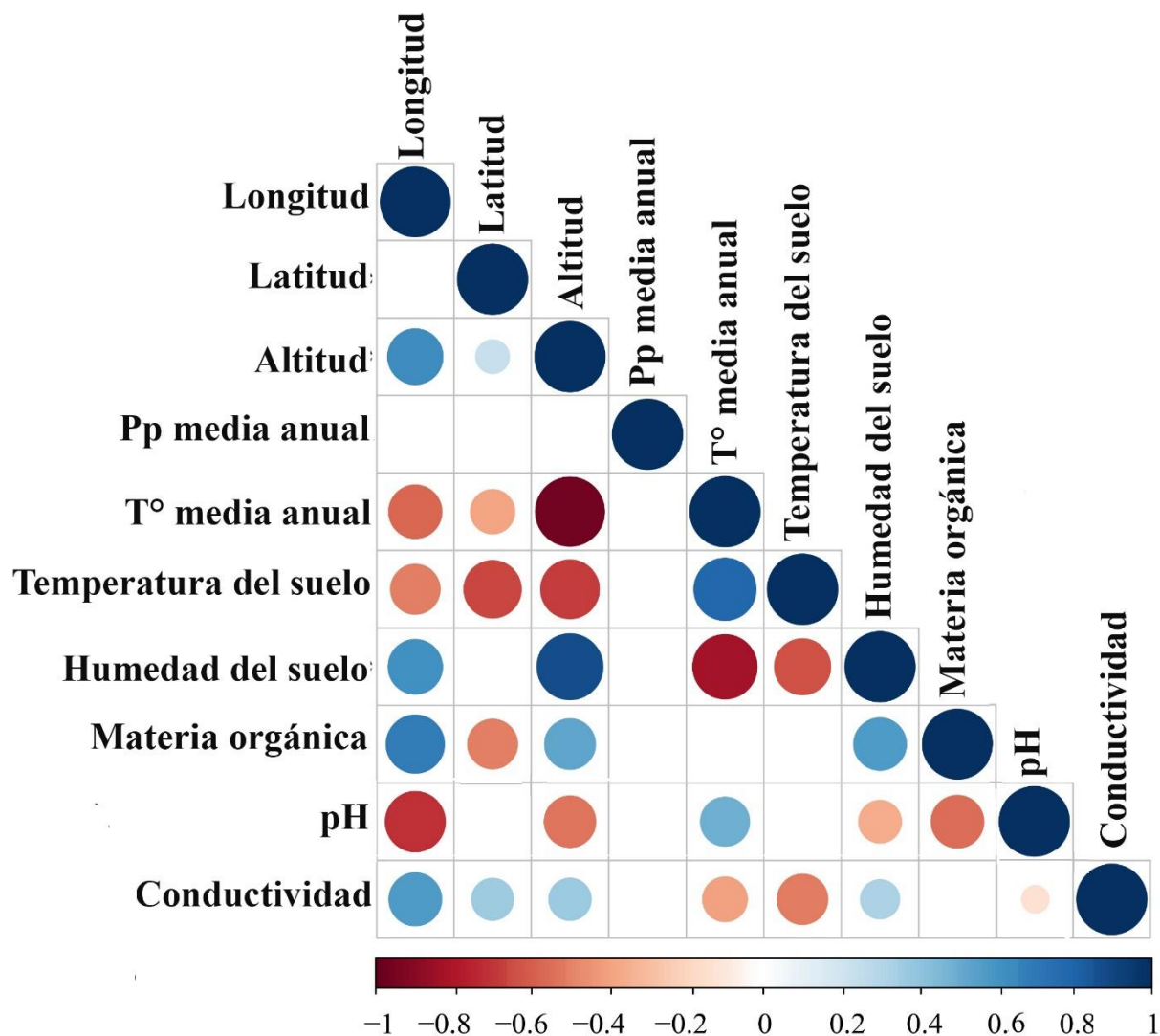
Condición del suelo	Estepa arbustiva			Estepa gramínea		
	Media±DE	Mín	Máx	Media±DE	Mín	Máx
<b>pH</b>	7,3±0,5	6,9	7,7	7,4±1,4	6,5	8,4
<b>pH (FNa) 2 min</b>	8,03±0,06	7,9	8,1	7,6±0,01	7,6	7,6
<b>pH (FNa) 60 min</b>	8,7±0,1	8,6	8,9	7,9±0,01	7,9	7,9
<b>Materia orgánica (%)</b>	1,6±0,03	1,5	1,6	3,8±0,7	3,4	4,3
<b>Fragment. ≥ 2mm (%)</b>	15,5±3,3	13,2	17,8	18,5±19,9	4,4	32,7
<b>Humedad suelo (%)</b>	5,9±4,3	2,9	8,9	15,05±1,9	13,6	16,4
<b>Densidad relativa</b>	1,7±0,01	1,7	1,7	1,2±0,01	1,2	1,2
<b>Conductividad (dS/m)</b>	59,5±34,6	35	84	97,4±62,1	53,5	141,4
<b>Arcilla (%)</b>	2,1±1,7	0,9	3,3	4,4±1,6	3,3	5,5
<b>Limo (%)</b>	2,7±1,7	1,5	3,9	21,5±4,3	18,5	24,5
<b>Arena (%)</b>	95±0	95	95	73,9±2,6	72,1	75,8
<b>Tipo de textura</b>	Arenosa			Franca arenosa		



**Figura 7:** Variación de la temperatura y de la humedad del suelo con respecto a la condición del suelo y al tipo de estepa.



**Figura 8:** Variación del pH y de la materia orgánica con respecto a la condición del suelo y al tipo de estepa.



**Figura 9:** Análisis de rango de Spearman sobre las variables ambientales y edáficas.

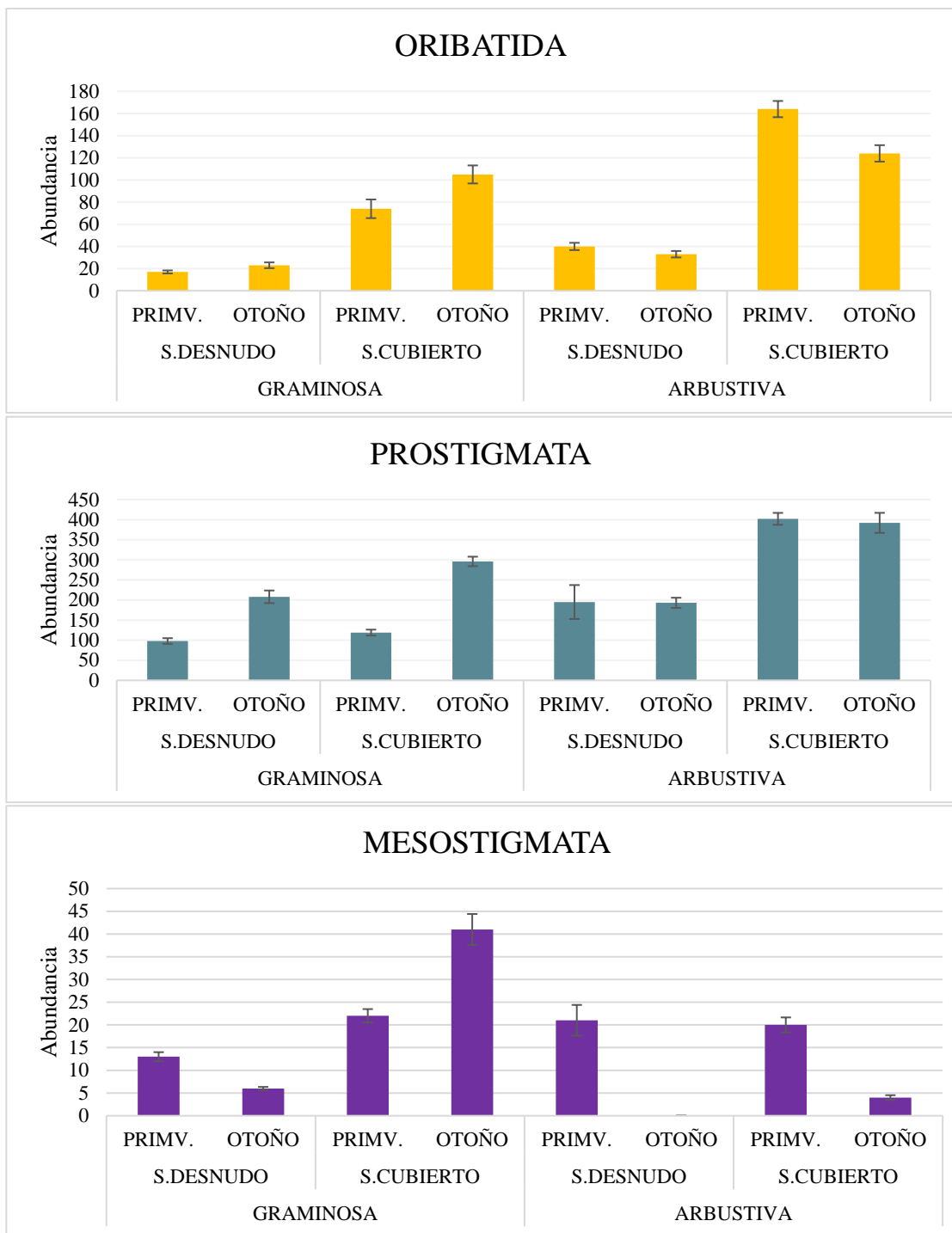
### 3.2 Mesofauna: composición, densidad y diversidad

Prostigmata fue el grupo más frecuente de mesofauna, abarcando alrededor del 70 % del total de ácaros, seguido por Oribatida con 25 %. Contrariamente, Mesostigmata fue escaso, representando solo el 5 % del total. Además, tanto en primavera como en otoño, los prostigmatas se distribuyeron mayoritariamente en la estepa arbustiva bajo cobertura vegetal, mientras que los mesostigmatas cambiaron su distribución de acuerdo a la estación del año:

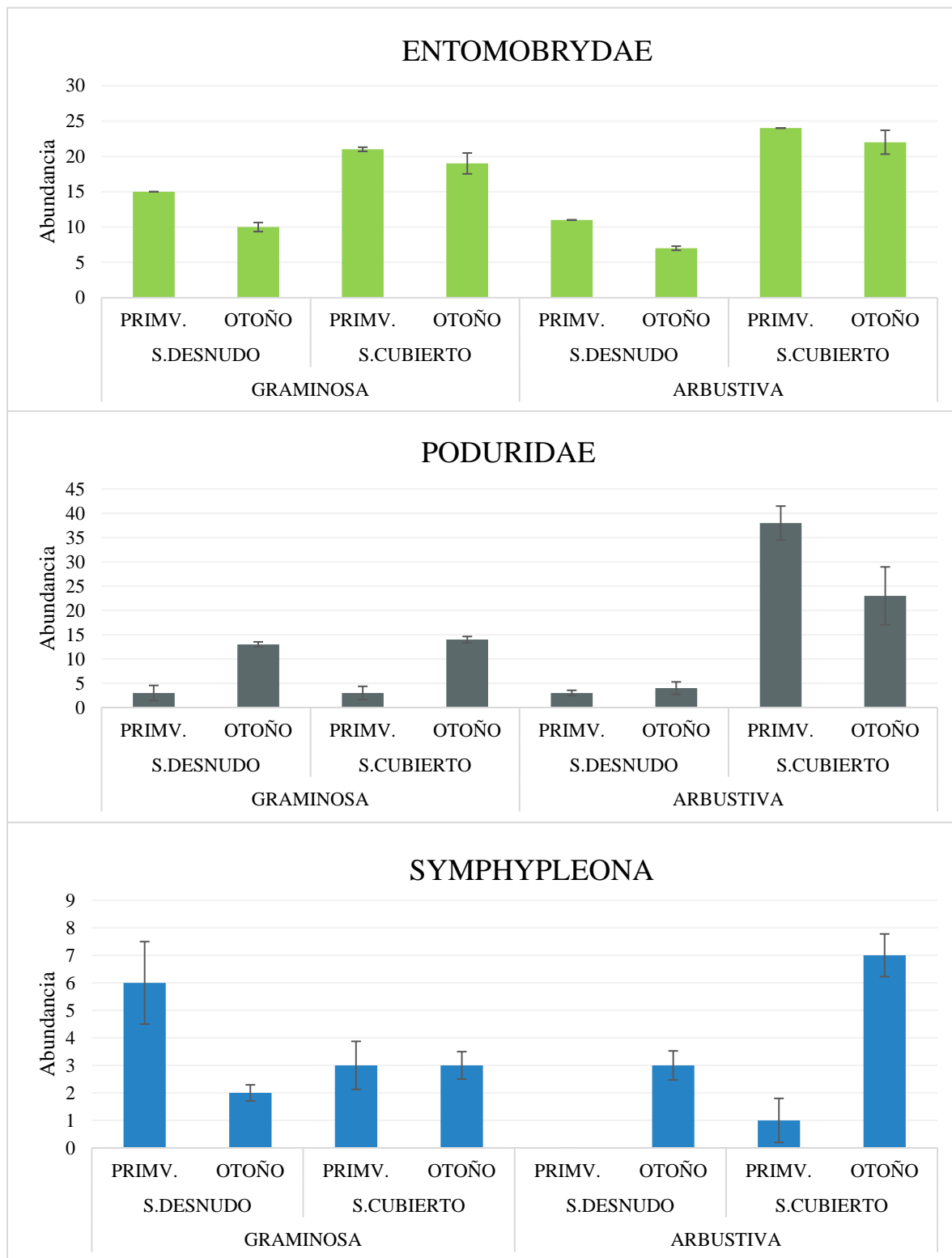
concentrándose en otoño en la estepa gramínea y suelo con cobertura vegetal, mientras que en primavera se concentraron en estepa arbustiva y suelo desnudo. Para el caso de los oribátidos, la distribución no varió de acuerdo a la estación (Figura 10). Con respecto a Collembola, Entomobryidae representó 50 % del total de colémbolos, mientras que Poduridae y Symphypleona representaron alrededor del 40 % y 10 %, respectivamente.

En cuanto a su distribución, se encontró que la familia Entomobryidae, tanto en otoño como en primavera, tuvo abundancias similares en todas las condiciones, encontrándose 7 individuos netos en la estepa arbustiva bajo suelo desnudo y en la estación otoño, mientras que tres veces más (24 ejemplares) en la estepa arbustiva, bajo suelo cubierto y en la estación primavera. En el caso de la familia Poduridae, se encontró 38 individuos en la estepa arbustiva, en suelo cubierto y en la estación otoño. Symphypleona fue el grupo que tuvo cero individuos en la estepa arbustiva, en suelo desnudo y en la primavera, pero se encontraron 7 ejemplares en la estepa arbustiva, en el suelo cubierto y en el otoño (Figura 11).

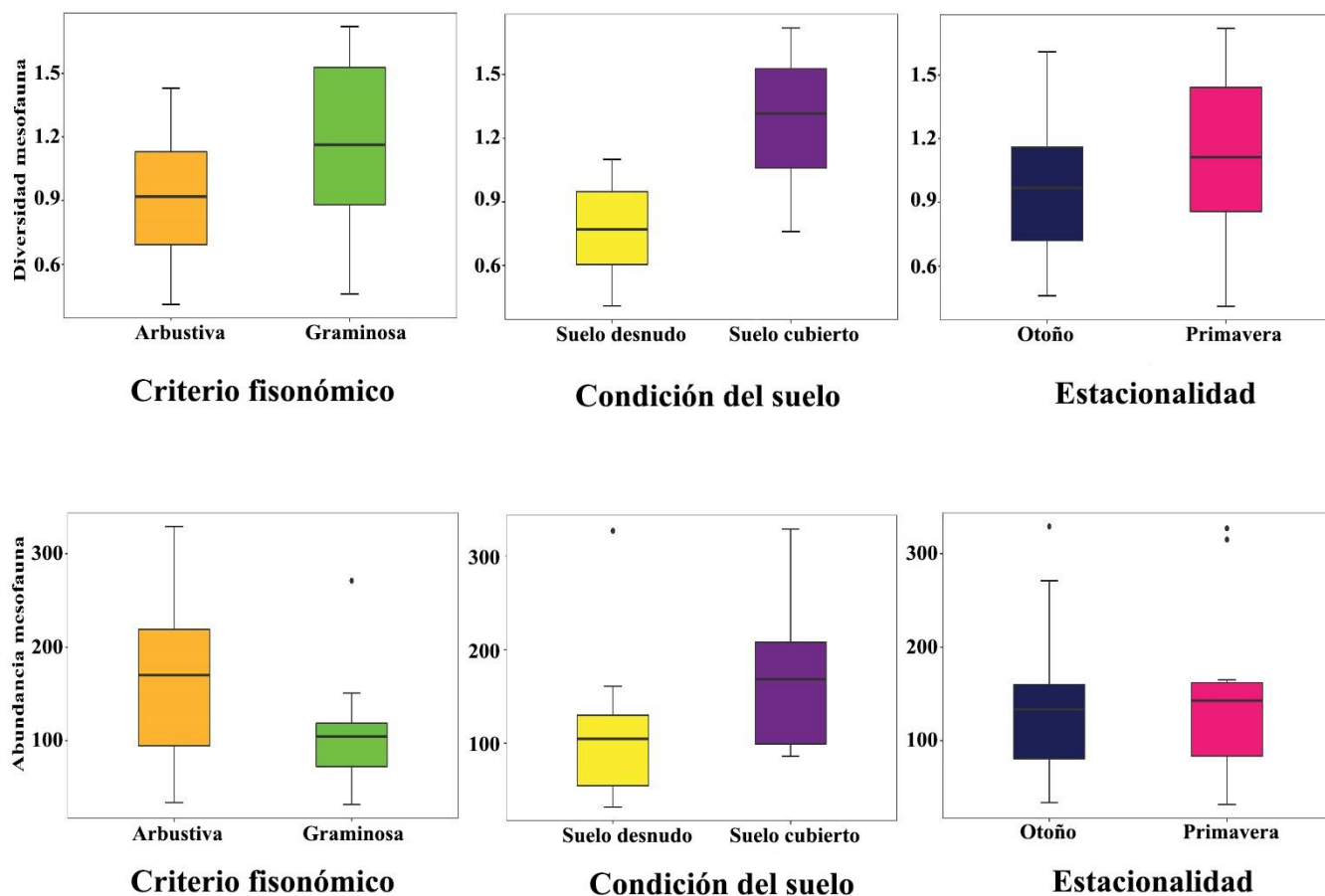
En cuanto a los tratamientos, la estepa arbustiva fue dominada por Prostigmata (79 %), seguido por Oribatida y Symphypleona con 15 % y 3 %, respectivamente, mientras que la estepa gramínea fue también dominada por Prostigmata (68 %), seguido por Oribatida (21 %) y Mesostigmata (6 %) (Figura 11). De acuerdo a la condición del suelo, el suelo desnudo tuvo las más bajas densidades (*p*-valor: 0,031). Oribatida, Mesostigmata, Entomobryidae y Poduridae fueron considerablemente más abundantes en suelo cubierto que en suelo desnudo. La diversidad, estimada mediante el índice de Margalef, difirió significativamente entre la estepa arbustiva y la estepa gramínea (*p*-valor: 0,0258), mientras que la estimada mediante el índice de Shannon difirió significativamente entre suelo desnudo y suelo cubierto (*p*-valor: 0,0295) y con respecto a la estacionalidad (*p*-valor: 0,033) (Figura 12).



**Figura 10:** Abundancia de ácaros de acuerdo al tipo de estepa, suelo y estación del año.



**Figura 11:** Abundancia de colémbolos de acuerdo al tipo de estepa, suelo y estación del año.



**Figura 12:** Diversidad de mesofauna mediante el índice de Shannon en relación a los diferentes tratamientos (arriba) y la abundancia total de mesofauna en relación a los tratamientos (abajo).

### 3.2.1 Ácaros oribátidos: composición, densidad y diversidad

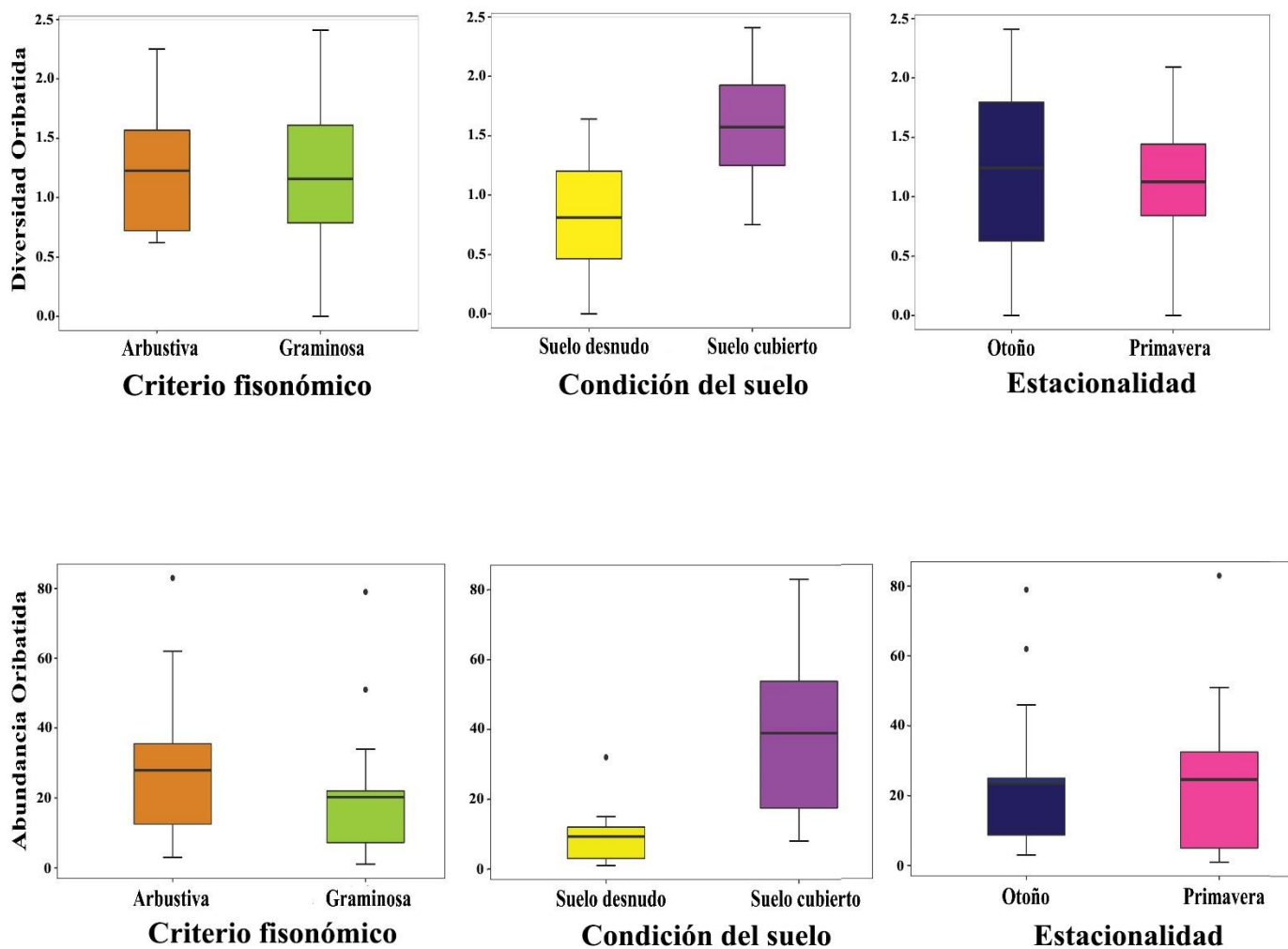
Se halló un total de 43 taxones que fueron identificados como especies o morfoespecies, pertenecientes a 20 familias (Tabla 3). La diversidad de Oribatida (Índice de Shannon) difirió de acuerdo a la condición del suelo, siendo mayor en suelo cubierto que en suelo desnudo ( $p$ -valor: 0,005) (Figura 13), pero no se hallaron diferencias de acuerdo al criterio fisonómico o la estación del año en las métricas seleccionadas. Las mayores diferencias se observaron en abundancia ( $p$ -valor: 0,029) riqueza ( $p$ -valor: 0,0016) y número de familias de ácaros oribátidos ( $p$ -valor: 0,0008).

En términos de riqueza, esta difirió significativamente entre suelo desnudo y suelo cubierto ( $p$ -valor: 0,0016); en cuanto a la composición a nivel de familias, los ensambles

fueron dominados por Oppidae (10 especies/morfoespecies), seguidos por Crotoniidae, Scutoverticidae, Pheroliodidae y Oribatulidae, con 3 especies cada una. La densidad de cada taxón varió considerablemente entre sitios (de 50 a 3050 ind./m<sup>2</sup>), siendo Aphelacaridae la familia más abundante, seguida por Oppidae, con valores de 8380 y 5440 ind./m<sup>2</sup> respectivamente. Dentro de estas familias las especies más abundantes, en orden decreciente fueron: *Aphelacarus acarinus* (8380 ind./m<sup>2</sup>, *Gerloubia (Monophauloppia) bicuspidata* (4080 ind./m<sup>2</sup>) y *Microppia minus* (2670 ind./m<sup>2</sup>) (Tabla 3). Al igual que la riqueza, la densidad de los individuos difirió significativamente entre el suelo desnudo y el suelo cubierto (*p*-valor: 0,0016), aunque los dos ambientes fueron dominados por *Aphelacarus acarinus* (19 % y 23 % respectivamente) y *Gerloubia (Monophauloppia) bicuspidata* (11 % y 18 % respectivamente).

*Aphelacarus acarinus* fue la especie más abundante independientemente de la estación (29 % en otoño y 33 % en primavera), seguida por *Microppia minus* en primavera (19 %) y *Gerloubia (Monophauloppia) bicuspidata* en otoño (12 %). Además, *Scutovertex transversalis* y *Oxyoppinae* sp. fueron encontradas solamente en suelo desnudo mientras que *Tectocephus velatus*, *Tuxenia complicata* y *Licnodamaeolus* sp. solo fueron encontradas en suelo cubierto.

Con respecto al Índice de Aoki, aplicando el índice MGP I (riqueza de especies), la estepa arbustiva quedó clasificada como O (todos los grupos con alrededor del 30 %), y la estepa gramínea como GP (49 % y 36 % respectivamente), mientras que para el análisis MGP II (abundancia de individuos), la estepa arbustiva quedó clasificada como M, con un porcentaje de abundancia del 52 % de Macropylina, mientras que la estepa gramínea quedó nuevamente clasificada como GP, ya que el porcentaje de G fue 40,5 %, el de P 40 %, mientras que el de M fue solo 19,5 %.



**Figura 13:** Diversidad de Oribatida de acuerdo al índice de Shannon en relación a los tratamientos (arriba) y abundancia total de Oribatida de acuerdo a los tratamientos (abajo).

**Tabla 3:** Densidad media (individuos/m<sup>2</sup>) de las 168 muestras de mesofauna del área de estudio, de acuerdo a criterio fisonómico (arbustiva y gramínea), condición del suelo (desnudo y cubierto), y estacionalidad (otoño y primavera). Densidades medias y diversidad son colocadas al final de la tabla.

<i>Ácaros Oribatida</i>	Código	Otoño				Primavera			
		Estepa arbustiva		Estepa gramínea		Estepa arbustiva		Estepa gramínea	
		Suelo desnudo	Suelo cubierto	Suelo desnudo	Suelo cubierto	Suelo desnudo	Suelo cubierto	Suelo desnudo	Suelo cubierto
Immaduros		230	1910	90	2210	1140	2430	380	1090
<b>MACROPYLINA</b>									
Aphelacaridae									
<i>Aphelacarus acarinus</i>	Apa	990	2630	50	280	330	3050		1050
Cosmochthoniidae									
<i>Cosmochthonius plumatus suramericanus</i>	Ccp		330			50	140		
Brachychthoniidae									
<i>Sellnickochthonius foliates</i>	Sell						50		
<i>Liochthonius aff. saltaensis</i>	Las				190				
<i>Brachychthonius aff. berlesei</i>	Bra						5		
Haplochthoniidae									
<i>Haplochthonius (Haplochthonius) clavatus</i>	Hac		90						
Crotoniidae									
<i>Camisia segnis</i>	Cams	190	90						
<i>Camisia aff. Hamulifera</i>	Camh								140
<i>Camisia sp.</i>	Cama		90						
Phthiracaridae									
<i>Hoplophorella aff. singularis</i>	Hsi		90						
<b>GYMNONOTA</b>									
Neoliodidae									
<i>Neoliodes sp.</i>	Nsp		50						

Tabla 3. Continuación

Ácaros Oribatida	Código	Otoño				Primavera			
		Estepa arbustiva		Estepa gramínea		Estepa arbustiva		Estepa gramínea	
		Suelo desnudo	Suelo cubierto	Suelo desnudo	Suelo cubierto	Suelo desnudo	Suelo cubierto	Suelo desnudo	Suelo cubierto
Pherolioididae									
<i>Pheroliodes neuquinus</i>	Phn		50						
<i>Pheroliodes</i> sp.	Phs				470				
<i>Pheroliodes</i> aff. <i>minutus</i>	Phm				470	50		50	190
Scutoverticidae									
<i>Scutovertex transversalis</i>	Sct			140					
<i>Scutovertex</i> sp2	Sc2		50						
<i>Scutovertex</i> sp1	Sc1				140		50		
Caleremaeidae									
<i>Anderemaeus magellanicus</i>	And				90				
Licnodamaeidae									
<i>Licnodamaeus granulatus</i>	Licg	50	90						
<i>Licnodamaeolus</i> sp.	Lic1		280		9		50		100
Passalozetidae									
<i>Passalozetes</i> ( <i>Passalozetes</i> ) sp.	Ppa								50
Thyrisomidae									
<i>Banksinoma arcuatum</i>	Ban		50	50	140		140		100
Oppiidae									
<i>Oxyoppiinae</i> sp.	Oxi						100	100	
<i>Discoppia</i> ( <i>Cylindroppia</i> ) <i>tenuis</i>	Dic		190						
<i>Graptoppia</i> ( <i>Graptoppia</i> ) sp.	Grs				50				
<i>Graptoppia</i> ( <i>Stenoppia</i> ) aff. <i>multicorrugata</i>	Grm				90		290	50	430
<i>Brachioppiella</i> sp1.	Br1						570		
<i>Oppiella</i> ( <i>Opiella</i> ) <i>nova</i>	Ono		90			100			
<i>Karenella</i> ( <i>Karenella</i> ) sp.	Kks		90				190	5	

**Tabla 3.** Continuación

Ácaros Oribatida	Código	Otoño				Primavera			
		Estepa arbustiva		Estepa gramínea		Estepa arbustiva		Estepa gramínea	
		Suelo desnudo	Suelo cubierto	Suelo desnudo	Suelo cubierto	Suelo desnudo	Suelo cubierto	Suelo desnudo	Suelo cubierto
<i>Microppia minus</i>	Min			5		190	670	19	1570
<i>Austroppia petrohuensis</i>	Aup						50		50
<i>Lanceoppia (Baioppia) moritzi</i>	Lan		280						
<b><u>PORONOTA</u></b>									
Tectocepheidae									
<i>Tectocephus velatus</i>	Tev		140		280		140		
Protoribatidae									
<i>Tuxenia complicata</i>	Tux		50		230				140
<i>Totobates elegans</i>	Tot				330				
Liebstadiidae									
<i>Reductobates</i> sp1.	Red	140	140		140	140	50		240
Oribatulidae									
<i>Gerloubia (Monophauloppia) bicuspidata</i>	Geb	50	850		750	1050	950	190	240
<i>Jornadia</i> sp.	Jop	140		50	90		90		50
<i>Gerloubia (Monophauloppia) sp.2.</i>	Ges			501	510				430
<i>Oribatula</i> sp1.	Ori1		50						
<i>Paraphauloppia aff. australis</i>	Oria		50						
Oribatellidae									
<i>Oribatella aff. illuminata</i>	Orii			50					
Scheloribatidae									
<i>Scheloribates cf. laticlava</i>	Sch				90				

### *3.3 Distribución de los ácaros oribátidos en relación a los sitios y las variables ambientales*

El análisis de redundancia (RDA) basado en los sitios, las especies y las variables ambientales explicó, en los primeros dos ejes, el 22 % de la varianza para las especies y el 76 % de la varianza de los datos especies-variables ambientales (Figura 14, Tabla 4). El primer eje fue significativo (*p*-valor: 0,02) y refleja la distribución de las especies y los sitios a lo largo de un gradiente definido principalmente por el pH, seguido por la materia orgánica y la humedad del suelo, mientras que el segundo estuvo principalmente correlacionado con la temperatura del suelo (Tabla 4). Variables como materia orgánica y humedad del suelo se incrementaron negativamente hacia el final del RDA1 (correlación: 0,54 y 0,40, respectivamente), mientras que el pH aumentó positivamente hacia el extremo del mismo eje (correlación: 0,86). La temperatura del suelo se incrementó positivamente hacia el extremo del RDA2 (correlación: 0,68).

Con respecto a los tratamientos, el análisis RDA separó los sitios de acuerdo a las condiciones impuestas por la vegetación: los sitios ubicados en la estepa arbustiva fueron posicionados del lado derecho del gráfico y se asociaron principalmente con *Aphelacarus acarinus*, *Gerloubia (Monophauloppia) bicuspidata*, *Licnodamaeolus* sp. y *Oxyoppiinae* sp. (Figura 14), mientras que los sitios ubicados en la estepa gramínea fueron principalmente posicionados del lado izquierdo del gráfico y se asociaron con *Micropopia minus*, *Graptoppia (Graptoppia) sp.*, *Graptoppia (Stenoppia) aff. multicorrugata* y *Totobates elegans* (Figura 14). Asimismo, la estepa arbustiva se asoció con mayores valores de temperatura del suelo y pH, y la estepa gramínea con mayores valores de materia orgánica y humedad (Figura 15 A). Finalmente, los sitios localizados en el suelo desnudo estuvieron asociados con mayor pH, menor humedad del suelo y menor porcentaje de materia orgánica (Figura 15 B), mientras que el análisis no reflejó un patrón claro los sitios en función de la estacionalidad (Figura 15 C).

**Tabla 4:** Análisis de Redundancia (RDA) resultado de las 168 muestras de suelo del área de estudio. Se muestran los porcentajes acumulados de la varianza de los primeros dos ejes del RDA. El F estadístico y el p valor derivan del test de permutación del primer eje y de todos los ejes combinados.

<b>Variables ambientales</b>	<b>Ejes</b>	
	<b>RDA1</b>	<b>RDA2</b>
pH	<b>0,86</b>	-0,2
Materia Orgánica	<b>-0,54</b>	0,25
Humedad del suelo	<b>-0,40</b>	0,36
Temperatura del suelo	0,34	<b>0,68</b>
Autovalores	0,16	0,06
Porcentaje de varianza acumulado		
De especies	0,16	0,22
De relación especies-ambientales	54,9	<b>76,1</b>
<b>Test de Permutación de Monte Carlo</b>		
Primer eje canónico-----	F=4,43, p<0,02	
Todos los ejes canónicos-----	F=2,01, p<0,002	



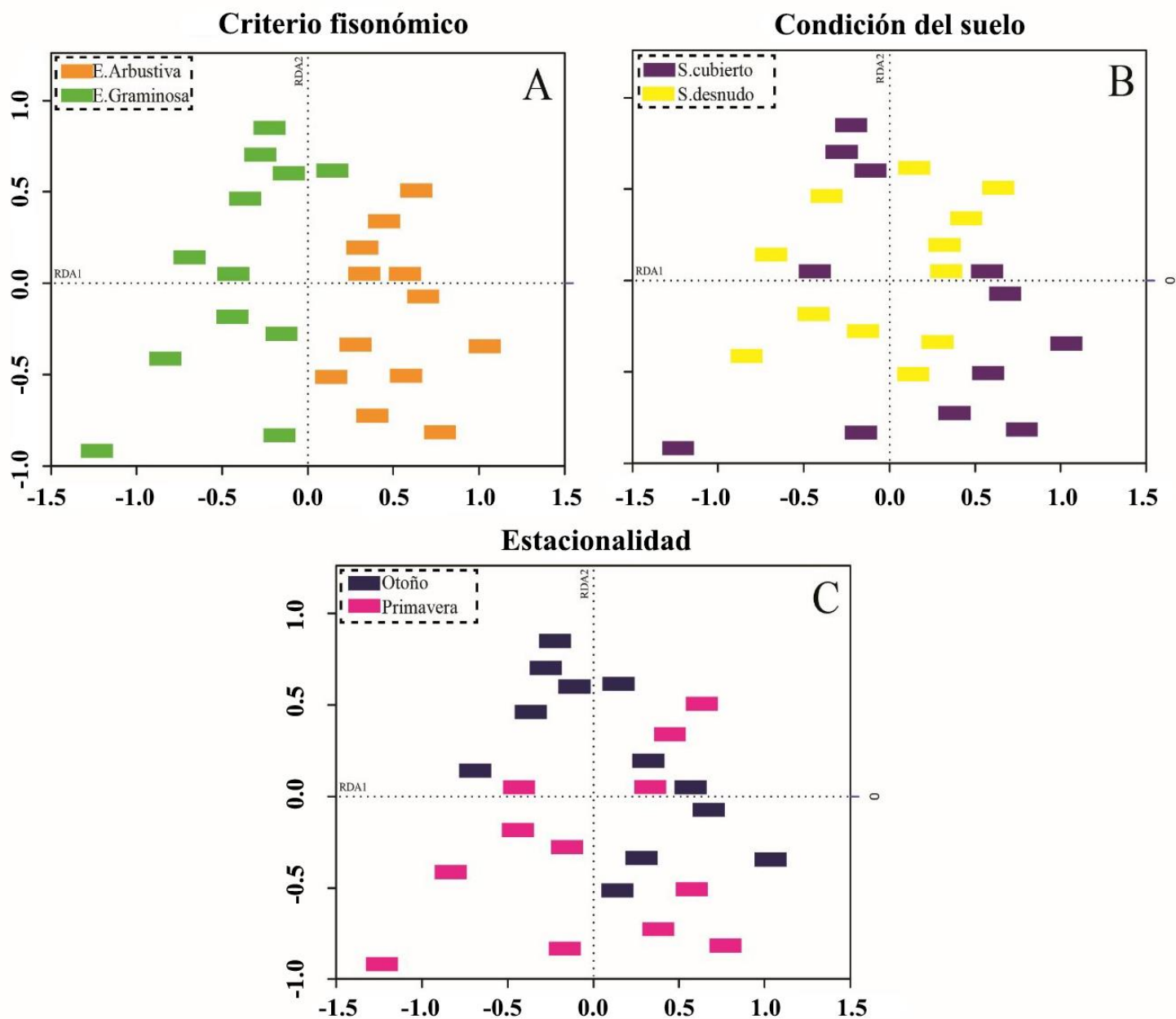


Figura 15: Análisis de redundancia RDA basado en la relación entre los sitios, las especies y las variables ambientales. A: Criterio fisonómico, B: Condición del suelo, C: Estación.

### 3.4 Factores que condicionan la fauna edáfica

Del total de métricas (Apéndice 1), se usaron doce modelos mixtos generalizados lineales, que incluyeron medidas de riqueza, diversidad y densidad (Tabla 5). De acuerdo al criterio fisonómico, los parámetros de los modelos estimados indicaron que la estepa gramínea tiene un efecto significativo de disminución sobre la abundancia de la mesofauna y sobre la abundancia y riqueza del grupo Macropylina. Asimismo, considerando la cobertura del suelo, casi todos los modelos estimados, menos la abundancia de mesofauna, mostraron un efecto significativo del suelo cubierto, con un aumento de las métricas estimadas, diferenciado significativamente del suelo desnudo. En cuanto a la estacionalidad, el otoño y la primavera no quedaron retenidos en ningún modelo (Tabla 5). Entre las variables ambientales, la humedad del suelo se asoció negativamente con la diversidad y abundancia de los oribátidos y la abundancia del grupo Macropylina. Además, la temperatura del suelo tuvo un efecto negativo sobre la abundancia de los oribátidos, y la materia orgánica tuvo un efecto positivo sobre la abundancia de la mesofauna, mientras que el pH quedó retenido en la abundancia de oribátidos y la abundancia de mesofauna, mostrando un efecto positivo en estas métricas (Tabla 5).

**Tabla 5:** Resultado de los modelos mixtos lineales generalizados (GLMM, por sus siglas en inglés) para el efecto de los tratamientos sobre la fauna edáfica.

<b>Variables dependientes</b>	<b>Fuente de variación</b>	<b>Coefficiente</b>	<b>ES</b>	<b>z</b>	<b>P</b>
<b>Riqueza de Oribatida</b>	(Intercepción)	1,09	0,20	5,61	<1e <sup>-04</sup>
	Suelo cubierto	0,99	0,19	5,19	<1e <sup>-04</sup>
<b>Diversidad de Oribatida (Shannon)</b>	(Intercepción)	-0,76	0,24	-3,15	<b>0,002</b>
	Suelo cubierto	1,2	0,4	2,99	<b>0,01</b>
	Humedad del suelo	-0,03	0,01	-2,18	<b>0,02</b>
<b>Abundancia de Oribatida</b>	(Intercepción)	-35,59	1,01	-35,13	<1e <sup>-04</sup>
	Suelo cubierto	0,89	0,64	-2,33	<b>0,02</b>
	pH	0,47	0,20	2,33	<b>0,02</b>
	Temperatura suelo	-0,16	0,06	-2,87	<b>0,004</b>
	Humedad del suelo	-0,06	0,01	-4,74	<1e <sup>-04</sup>
<b>Número de familias de Oribatida</b>	(Intercepción)	0,98	0,18	5,36	<1e <sup>-04</sup>
	Suelo cubierto	0,90	0,21	4,31	<1e <sup>-04</sup>
<b>Riqueza de Gymnonota</b>	(Intercepción)	-0,59	0,48	-1,24	0,21
	Suelo cubierto	2,52	0,87	2,91	<b>0,003</b>
	Humedad del suelo	0,22	0,09	2,49	<b>0,01</b>

<b>Riqueza de Macropylina</b>	(Intercepción)	-0,14	0,39	-0,37	0,71
	E. graminosa	-1,06	0,41	-2,57	<b>0,01</b>
	Suelo cubierto	1,23	0,43	2,87	<b>0,004</b>
<b>Riqueza de Poronota</b>	(Intercepción)	0,14	0,28	0,48	0,63
	Suelo cubierto	1,00	0,31	3,20	<b>0,001</b>
<b>Abundancia de Gymnonota</b>	(Intercepción)	0,56	0,38	1,49	0,13
	Suelo cubierto	1,87	0,46	4,09	$<1e^{-04}$
<b>Abundancia de Macropylina</b>	(Intercepción)	2,72	0,65	4,20	$<1e^{-04}$
	E. graminosa	-1,78	0,70	-2,52	<b>0,02</b>
	Suelo cubierto	1,77	0,50	3,53	$4e^{-04}$
	Humedad del suelo	-0,08	0,03	-3,12	<b>0,002</b>
<b>Riqueza de mesofauna</b>	(Intercepción)	2,06	0,11	18,88	$<1e^{-04}$
	Suelo cubierto	0,54	0,13	4,15	$<1e^{-04}$
<b>Diversidad de mesofauna (Shannon)</b>	(Intercepción)	-20,68	0,74	-27,77	$<1e^{-04}$
	Suelo cubierto	0,53	0,10	5,49	<b>0,002</b>
<b>Abundancia de mesofauna</b>	(Intercepción)	-0,58	1,85	-0,31	0,75
	E. graminosa	-0,79	0,32	-2,45	<b>0,01</b>
	pH	0,75	0,26	2,88	<b>0,004</b>
	Materia Orgánica	0,23	0,08	3,07	<b>0,002</b>
<b>Mesofauna dominancia (Indice de Simpson)</b>	(Intercept)	-0,36	0,45	-0,8	0,43
	Suelo cubierto	-0,29	0,07	-4,37	$<1e^{-04}$
	pH	0,17	0,07	2,36	<b>0,028</b>
<b>Diversidad de mesofauna (Margalef)</b>	(Intercept)	1,74	0,22	7,98	$<1e^{-04}$
	Suelo cubierto	0,99	0,23	4,36	$<5e^{-04}$

## 4 DISCUSIÓN

### 4.1 Diversidad y abundancia

A diferencia de lo que ocurre en suelos de ambientes húmedos, en condiciones desérticas, los ácaros Prostigmata son dominantes frente a Oribatida y Mesostigmata (Wallwork, 1988). En este estudio, los ácaros Prostigmata fueron los más abundantes, coincidiendo con lo hallado por otros autores en zonas comparables (Neher *et al.*, 2009; Cepeda-Pizarro & Whitford, 1990; Steinberg 1990, Steinberg & Whitford, 1985). Además, los prostigmatas habitantes de estas zonas, tienen una dieta variada, incluyendo depredación y micofagia (Neher *et al.*, 2009), lo que les permite una gran adaptación a los recursos de los suelos desérticos (Santos & Whitford, 1983), explicando su dominancia sobre oribátidos y

mesostigmatas. En particular, la ausencia o escasez de Mesostigmata en todo el muestreo puede deberse a que el nicho depredador está siendo dominado por los Prostigmata (Wood, 1971), que serían mejores competidores.

Según el índice de Aoki, la estepa arbustiva fue del tipo O, concordando con lo expuesto por Aoki (1978) los pastizales o estepas son en general del grupo O. No obstante, la estepa gramínea fue del tipo GP (MGP1 y MGP2), no correspondiendo a lo indicado por Shimano (2011) con una plantación urbana. Si bien Aoki (1978) no expuso razones biológicas para la interpretación de su índice, sí establece que la perturbación humana es uno de los principales factores que impulsa la estructura del ensamblaje de oribátidos (Shimano, 2011). En este sentido, no se puede establecer una relación clara entre el índice de Aoki y el suelo.

Dentro de Oribatida, *Aphelacaurus acarinus* fue la especie más abundante, independientemente de los tratamientos. Esta es una especie antigua (Norton & Behan-Pelletier, 2009), y ha sido reportada en áreas de desiertos con similares valores de abundancia (Kinneer, 1991; Steinberg 1990; Steinberg & Whitford, 1985; Martínez *et al.*, 2015), indicando que es una especie característica de ambientes áridos. *Gerloubia (Monophauloppia) bicuspidata* fue otra especie presente en todos los tratamientos y con una abundancia importante; esta especie fue descrita originalmente en una estepa árida en la provincia de Mendoza (Hammer, 1958), aunque luego fue encontrada en la Provincia de Río Negro en suelo de bosque de *Austrocedrus chilensis* (Kun *et al.*, 2010); se puede considerar que es una especie acotada a una región geográfica, pero que ocupa distintos ambientes dentro de ella. En cuanto a las especies de distribución cosmopolita: *Oppiella nova*, *Microppia minus* y *Tectocephus velatus*, han sido encontradas en todo tipo de suelos y climas, y son resistentes a condiciones de sequía (Lindberg & Bengtsson, 2005), pesticidas (Prinzing *et al.*, 2002) e incendios (Webb, 1994), entre otras. Su éxito adaptativo es atribuido, principalmente, a su dieta generalista y a la reproducción partenogénica (Norton & Palmer, 1991; Siepel, 1994). En este estudio, *M. minus* fue encontrada en todas las condiciones ambientales, mientras que a *O. nova* se la halló únicamente en la estepa arbustiva y en baja abundancia y a *T. velatus* se la encontró solo bajo suelo cubierto, evidenciando distintas preferencias de hábitat dentro del mismo ambiente árido.

#### 4.2 Distribución en función de las variables ambientales

Muchos autores han establecido que el factor más importante, en los ambientes áridos, responsable del desarrollo de una comunidad de ácaros oribátidos diversa, es el alto contenido de agua (Scheu *et al.*, 1996; Whitford, 2002; Wasserstrom *et al.*, 2016); además en otras áreas como las zonas boscosas cordilleranas, Kun (2012) encontró una relación positiva entre la humedad del suelo y la densidad de ácaros. En este estudio, la humedad del suelo fue un fuerte predictor de la comunidad de ácaros oribátidos (diversidad y abundancia de oribátidos, y abundancia de Macropylina) limitando su distribución hacia condiciones con bajo contenido de humedad, lo que podría reflejar una adaptación a las condiciones extremas que son impuestas por un clima seco, también podría estar afectando los ciclos reproductivos de los ácaros oribátidos, ya que la reproducción de los ácaros puede estar ocurriendo en una sola estación, la primavera (Kun, 2010), aumentando de este modo la abundancia de los mismos en esta estación, y por ende, aumentando los valores de las métricas estructurales de la comunidad de oribátidos estimadas.

El pH del suelo es considerado otro de los principales factores que influyen la distribución de la biota edáfica (Van Straalen *et al.*, 1988; Cepeda & Whitford, 1989; Lebrun & Van Straalen, 1995) quedando seleccionado para el análisis multivariado, por mostrar un alto efecto en la distribución de la fauna. De acuerdo con Luxton (1967), quien observó que la acidificación del suelo reduce la abundancia de algunos grupos de la mesofauna, en el presente estudio el aumento del pH del suelo mostró una relación positiva con la abundancia de la mesofauna y de los oribátidos. Las especies que se asociaron positivamente con el aumento del pH, observándose en el gráfico del RDA, fueron principalmente *Aphelacarus acarinus* y *Gerloubia (M.) bicuspidata*, que además presentaron una mayor abundancia en la estepa arbustiva, siendo esta estepa la que presentó los valores levemente más altos (neutrales a alcalinos) de pH. Asimismo, esta variable se vincula con la fecundidad, la longevidad y el desarrollo de varias especies de microartrópodos (Hagvar & Amundsen, 1981). Finalmente, la temperatura es otra variable que parece actuar como un buen predictor de la comunidad de la fauna del suelo (Mackay *et al.*, 1987; Steinberger & Wallwork, 1985; Whitford *et al.*, 1981). En este trabajo la temperatura se halló asociada negativamente con la abundancia de

los oribátidos, encontrándose una temperatura más alta en la estepa arbustiva respecto a la estepa gramínea.

La materia orgánica es otra de las variables fundamentales para el desarrollo de la fauna. En este estudio se pudo observar que el aumento de esta variable favorece el desarrollo de la mesofauna. La relación entre los ácaros y la materia orgánica es bien conocida (Bardgett & Cook, 1998; Coleman *et al.*, 2002; Bedano *et al.*, 2006) y en estos ambientes que son pobres en materia orgánica, los ácaros eligen, a nivel de microescala, los espacios donde la misma es más abundante, como por ejemplo debajo de las plantas.

#### *4.3 Distribución en función del criterio fisonómico y condición del suelo*

Los resultados de los GLMM muestran que la comunidad de la fauna edáfica está condicionada por la estructura de la vegetación, ya que métricas como la abundancia y riqueza de Macropylina y abundancia de mesofauna, decrecieron significativamente en la estepa gramínea respecto a la arbustiva. En este sentido, Correa (1988) describe a la estepa arbustiva con una mayor complejidad estructural vegetal que la estepa gramínea, lo que implica una mayor heterogeneidad de hábitats y, por lo tanto, un mayor potencial en el número de especies o individuos de ciertas especies. Además, la ausencia o escasez de mesofauna en un suelo determinado, es de gran importancia, ya que, esta escasez, puede reducir la velocidad de descomposición de la materia orgánica, y, como consecuencia, inducir una pérdida de nutrientes por lixiviación, ya que dicha fauna actúa como almacén de los nutrientes (Jordana, 1996).

Asimismo, de acuerdo a la cobertura del suelo, la riqueza de mesofauna y de oribátidos, el número de familias de oribátidos, y las métricas de diversidad de ácaros oribátidos fueron significativamente más altos en los parches de vegetación. El pastoreo excesivo incrementa considerablemente el suelo desnudo y consecuentemente la desertificación (Gaitan *et al.*, 2009), en este sentido, en suelos impactados por esta práctica, organismos adaptados a altos niveles de disturbios se vuelven dominantes dentro de las comunidades, entonces la diversidad del suelo decrece. Así, especies como *Tectocephus velatus*, *Tuxenia complicata* y *Licnodamaeolus* sp. solo fueron encontradas en suelo cubierto, pudiendo indicar que son especies sensibles a los cambios de cobertura vegetal, tornándose potencialmente como indicadores biológicos (Iturrondobeitia *et al.*, 2004) de la

desertificación. Además, el número de familia de Oribatida, parece ser una métrica prometedora como bioindicadora del estado de desertificación del suelo de la estepa, ya que decreció significativamente en suelo cubierto. Los GLMM seleccionaron el suelo cubierto en la mayoría de las métricas por sobre el criterio fisonómico, en este sentido, los parches de vegetación, en comparación con el tipo de estepa, resultaron ser más importantes para la comunidad de la mesofauna. Por tales motivos, estos hallazgos soportan la premisa que los parches de vegetación contribuyen significativamente a la biodiversidad regional (Noy Meier, 1973, 1981; Sala *et al.*, 1996) de la estepa patagónica.

## **5 CONCLUSIONES**

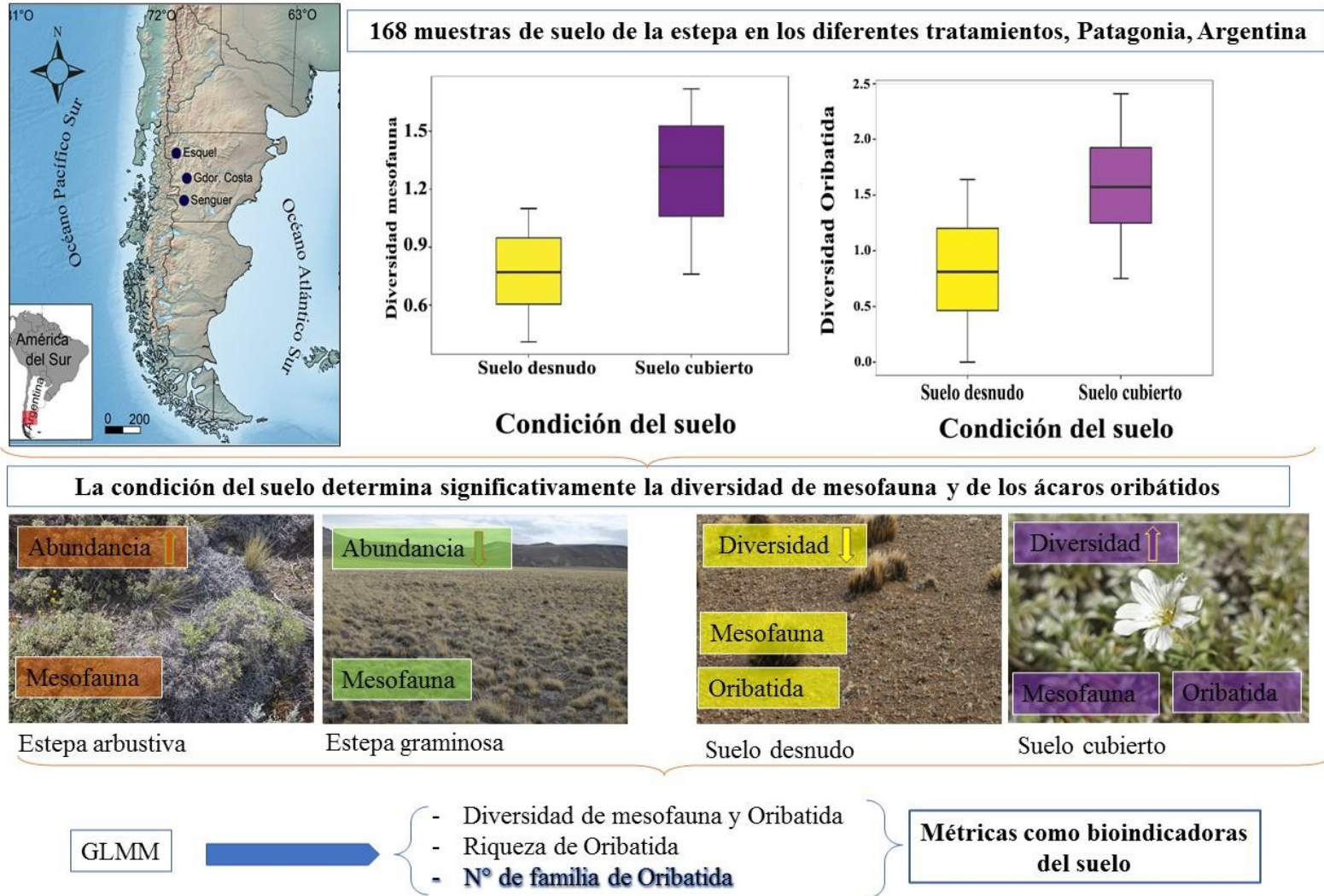
Los resultados hallados en este capítulo soportan la premisa que los parches de vegetación contribuyen significativamente a la biodiversidad regional de la estepa patagónica por albergar un alto número de especies de mesofauna, corroborando, de este modo, parte de la hipótesis general relacionada con los parches de vegetación (Figura 16). El ganado doméstico tiende a concentrarse en las áreas con vegetación, lo que genera un incremento en el suelo desnudo y consecuentemente en la desertificación. Por tales motivos, la conservación de estos parches vegetados se vuelve particularmente significativa en estos ambientes. Esta conclusión se basa principalmente en la respuesta de los atributos estructurales de la comunidad de la mesofauna, cuya riqueza y diversidad decrecieron fuerte y significativamente en el suelo desnudo (como se puede observar en los resultados de los GLMM). Así, el avance del proceso de desertificación afecta la dinámica de los parches de vegetación y del ecosistema suelo asociado, y todo el sistema se vuelve susceptible. En este sentido, encontramos que la riqueza y la diversidad de la mesofauna, la riqueza de los oribátidos, y el número de familias de oribátidos, fueron las métricas más consistentes, vinculadas a los cambios en la cobertura del suelo, lo que las hace aptas como indicadores biológicos de la calidad del suelo.

La estepa arbustiva fue la que presentó significativamente mayor abundancia de mesofauna (GLMM), por lo que se rechaza parte de la hipótesis general, con respecto al tipo de estepa. En adición, se encontró en la estepa arbustiva una menor humedad del suelo, que, a macro escala, parece condicionar la fauna del suelo en estos ambientes (GLMM). Asimismo, es una variable a la que hay que prestarle especial atención, ya que contradice lo

que indican muchos autores, y a pesar de ser solo un resultado estadístico que se puede observar en los modelos, las variables relacionadas con los oribátidos como Abundancia y Diversidad de Oribatida y Abundancia de Macropylina, se vieron afectadas significativamente por la humedad, esto abre nuevos interrogantes relacionados a la ecología de esta fauna oribatológica y su relación con la variable humedad del suelo en ambientes áridos de la estepa patagónica a micro y a microescala.

Los suelos de la estepa patagónica son poco evolucionados, principalmente debido al clima, que los hace poco resilientes a los disturbios. En este sentido, el avance de la desertificación puede generar cambios irreversibles en el sistema árido, por lo que lo antes posible deben ser implementadas medidas para controlar este proceso. El número de familias de ácaros oribátidos halladas se posicionó como un potencial indicador de este disturbio, pero se requieren más análisis para poner esto a prueba y obtener resultados con mayor certeza en estudios futuros.

En resumen, los resultados muestran que esta fauna se encuentra adaptada a vivir en condiciones extremas, donde el clima y la vegetación limitan su distribución primeramente a suelos con cobertura vegetal, más que a un tipo de estrato gramíneo o arbustivo. Además, este capítulo aporta información valiosa sobre la presencia y distribución de especies de ácaros oribátidos en la estepa de Chubut, sentando líneas de base y mostrando el rol importante en el ecosistema árido, proponiendo el uso potencial de algunas métricas relevantes como indicadores biológicos del estado de degradación de estos suelos.



**Figura 16:** Esquema que muestra la correspondencia entre la diversidad de la mesofauna con respecto al criterio fisonómico y a la condición del suelo y las métricas seleccionadas como indicadores de la calidad del suelo.

II. CAPITULO 2: *“Microartrópodos edáficos de la estepa patagónica bajo diferentes usos de suelo”*



## **1. INTRODUCCIÓN**

El suelo es la capa superficial que recubre nuestro planeta y donde se llevan a cabo importantes procesos biológicos. Estos procesos se modulan tanto por la cantidad como por la calidad de la materia orgánica que entra en los suelos a partir de la producción primaria neta (Wardle, 2002). El suelo es sensible a la actividad humana, pudiendo generar hasta la destrucción o pérdida de hábitats de organismos edáficos y esto puede alterar los mecanismos homeostáticos naturales y la capacidad del ecosistema para su autorregulación (Altieri, 1991). Las actividades generan, entonces, cambios en la calidad del suelo que son reflejados en la fauna edáfica. Los invertebrados del suelo son responsables de numerosas funciones, tales como la descomposición, el ciclado de nutrientes, la aireación, fertilización y formación de los suelos (Höfer *et al.*, 2001; Iturrondobeitia *et al.*, 2004; Luz *et al.*, 2013).

Históricamente, la cultura económica de la estepa patagónica ha estado basada en la ganadería y la forestación de coníferas exóticas, en algunos casos con actividades de manejo del bosque (poda y raleo). Los ecosistemas patagónicos han sido usados para áreas de ganado desde el siglo XIX, cuando las ovejas fueron introducidas (Soriano, 1956). La ganadería ovina fue mal conducida por décadas (Mazzoni & Vázquez, 2010) y, se desarrolló principalmente, en un ambiente muy frágil compuesto casi exclusivamente por parches de vegetación rodeados por suelo desnudo (Gaitán, 2009). En la provincia de Chubut, tanto la ganadería como la forestación son actividades importantes que se desarrollan a gran escala. La actividad agropecuaria predominante en la provincia es la ganadería ovina, le siguen en importancia la ganadería bovina y la caprina. En la década de 1970 existían alrededor de 6 millones de cabezas mientras que en 1996 las existencias apenas alcanzaban a 3,2 millones (Escobar, 1997), y según el CNA 2002, la existencia de ovinos era de 3,9 millones de cabezas. Actualmente se estima que la población ovina alcanza a 4 millones de cabezas (Salomone *et al.*, 2013). En cuanto a las plantaciones forestales, recientes informes calculan alrededor de 21.000 ha (MAGyP, 2014).

En relación a la explotación ganadera, el pastoreo es una de las actividades económicas que ocasiona desertificación, uno de los principales procesos que ocurren en estas zonas. Este fenómeno es complejo y acarrea el deterioro de distintas áreas (Pruel *et al.*, 2005). Esta degradación trae consigo la extinción de especies endémicas, la erosión del

suelo, la modificación de la estructura de la vegetación y la disminución de la productividad biológica del ecosistema (Paruelo *et al.*, 2005). Todos estos efectos de la desertificación han sido extensamente estudiados y documentados para Patagonia (Soriano & Movia, 1986; del Valle, 1998; Bertiller & Bisigato, 1998; Paruelo *et al.*, 1998).

La introducción en la estepa patagónica de ganado ovino y vacuno ha generado cambios como el incremento de especies no palatables y por lo tanto poco pastoreadas y el aumento de indicios de erosión eólica e hídrica, como la formación de cárcavas o médanos, que han causado un proceso progresivo de desertificación (Soriano & Movia, 1986; Ares *et al.*, 1990). El ganado modifica tanto la vegetación, por el pastoreo selectivo de vegetales, como el suelo, a través del movimiento y el pisoteo, generando cambios físicos en las propiedades del suelo, como la porosidad, densidad, e infiltración (Gitford & Dadkhah 1980; Siepel 1996; Di *et al.*, 2001) y provocando cambios significativos en la biomasa de las raíces de las plantas. Así, esta actividad genera un mayor porcentaje de suelo desnudo y aumenta de este modo, la probabilidad de la erosión eólica y/o hídrica (Paruelo *et al.*, 2005). Por tales motivos, muchos autores han sugerido que el impacto del uso ganadero sobre los ácaros es negativo (Bedano *et al.*, 2006). Los suelos de pastizales bajo fuerte influencia humana, como la cría de ganado, son usualmente más pobres en especies de ácaros que el ambiente natural (Bardgett & Cook, 1988; Behan- Pelletier, 1999; Chachaj *et al.*, 2005). Además del pisoteo, el pastoreo de animales también afecta a la fauna edáfica debido a sus excrementos (Chachaj & Seniczak, 2005). Generalmente, el pastoreo intensivo favorece a las bacterias del suelo, acelerando la descomposición de la materia orgánica y disminuyendo la heterogeneidad y estabilidad del ecosistema (Bardgett & Cook, 1988). La distribución y el tamaño de los poros del suelo también afecta la abundancia y composición de especies de microartrópodos. Estos, principalmente ácaros y colémbolos, tienen una función activa en los procesos de descomposición y mineralización en el suelo durante los periodos secos en la estepa, dado que por su tamaño tienen acceso a los poros más pequeños y son activos aún en condiciones de baja humedad (Whitford, 1996).

Otra de las actividades económicas que generan cambios a nivel ecológico son las forestaciones de pinos, en general de pino ponderosa (*Pinus ponderosa* (D. Don) Pic. Serm. & Bizzarri). Alrededor del 85 % de las forestaciones, en la región patagónica, son de esta especie (Loguercio *et al.*, 2008). Las forestaciones son utilizadas como recurso maderero

desde hace más de 50 años (Defossé *et al.*, 2011). Las razones de usar coníferas para esta zona son: el bajo costo de las plantas y la alta disponibilidad de áreas deterioradas (Gonda, 1998). De acuerdo con los datos del último inventario nacional, el área de esta producción es de alrededor de 97400 ha (MAGyP, 2014). Las forestaciones se establecieron en diversos ambientes naturales: bosques de *Nothofagus spp.*, bosques de *Austrocedrus chilensis* (D. Don) Pic-Serm. & Bizzarri (ciprés de la cordillera), matorrales mixtos, áreas de ecotono y principalmente en ambientes de estepa. Habitualmente los manejos forestales en los bosques implican podas y raleos, llegando en algunos casos a la tala rasa en el momento de la explotación. El grado de abertura del dosel tiene un impacto sobre la macrofauna, la mesofauna del suelo y la vegetación del sotobosque. La forestación cambia la estructura de plantas nativas por un monocultivo, generando cambios también en la estructura del suelo. Cuando la vegetación es cambiada de una estepa a una plantación de pinos, la cantidad de materia orgánica se incrementa en la superficie del suelo (Buduba, 2006). Además, el pino ponderosa en la Patagonia promueve cambios en el complejo húmico-arcilloso. Condiciones de alta humedad promueven la existencia de sustancias alófanas, que en condiciones secas se transforman en minerales cristalinos (Besoain, 1985). El suelo bajo forestación es más ácido que en la zona de estepa adyacente, y la materia orgánica es menor que en la zona de estepa en los primeros años de implantada la forestación (Buduba, 2006). En adición, las plantaciones están asociadas con una densa capa de acículas de pino que exudan diferentes tipos de ácidos orgánicos, taninos y compuestos fenólicos que cambian las condiciones químicas del suelo (Kanerva & Smolander, 2007; Kanerva *et al.*, 2008).

En relación con la fauna edáfica, las plantaciones de pinos, como ya se mencionó, pueden modificar condición del suelo, como el pH, y procesos y funciones del ecosistema, incluyendo la dinámica de nutrientes (Brand *et al.*, 1986; Binkley *et al.*, 1989; Berthrong *et al.*, 2009). A tener en cuenta, la acumulación de acículas en las plantaciones de pino puede brindar condiciones favorables para el desarrollo de microorganismos degradadores de lignina como los hongos de pudrición blanca (Ponge, 1991; Humphrey *et al.*, 2000) y proveer refugio y comida para los organismos descomponedores como los colémbolos y los ácaros (Ponge, 1991; Sayer, 2006).

## **1.1. HIPÓTESIS GENERAL**

La mesofauna en general y de oribátidos en particular es menos abundante y diversa en los ambientes con uso ganadero o forestal que en los ambientes sin estos usos. Asimismo, será más abundante y diversa en el suelo con uso forestal que en el suelo con uso ganadero, debido principalmente a la densidad aparente causada por el pisoteo de animales (Chachaj & Seniczak, 2005; Manzo *et al.*, 2015).

## **1.2. OBJETIVOS**

### **1.2.1 OBJETIVO GENERAL**

Estudiar los microartrópodos edáficos, con énfasis en ácaros oribátidos de la estepa patagónica en la provincia de Chubut y comparar los atributos de la comunidad de ácaros oribátidos presentes en el suelo de estepa bajo diferentes usos de suelo.

### **1.2.2 OBJETIVOS PARTICULARES**

- d) Analizar las variaciones en la distribución de las comunidades de mesofauna en general y de oribátidos en particular asociadas a dos usos de suelo: ganadería y forestación.
- e) Relacionar la estructura de la comunidad de ácaros oribátidos con la vegetación, las condiciones físicas y químicas del horizonte superior del suelo y los usos analizados a fin de proveer herramientas para la conservación.

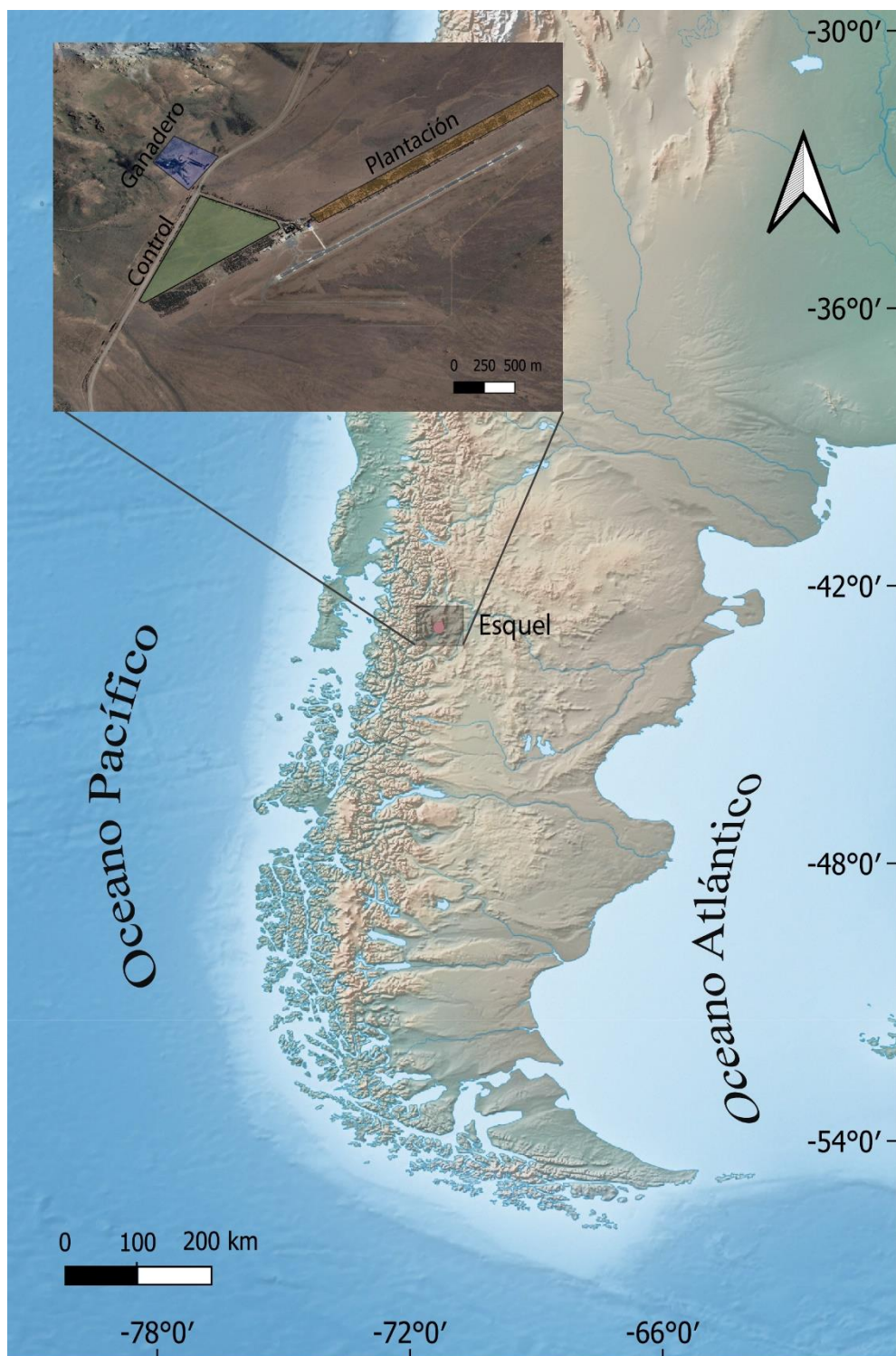
## **2. MATERIALES Y MÉTODOS**

El área de estudio se encuentra ubicada en el noroeste de la provincia de Chubut localizada en la estepa patagónica (Figura 17). Los suelos han evolucionado de ceniza volcánica holocénica mezclada con materiales fluviales, coluviales y glacifluviales, el régimen de humedad es xérico y el régimen de temperatura es méxico (Colmet Daage *et al.*, 1993). Los sitios de muestreo se encuentran en una estepa gramínea (Correa, 1998), a grandes rasgos la vegetación es típica de estepa, encontrándose parches de vegetación rodeados de suelo desnudo (Noy Meier 1973, 1981; Sala *et al.*, 1996). La vegetación está representada

principalmente por *Festuca pallescens*, *Pappo speciosa*, *Senecio neaei* y *Azorella prolifera* (León *et al.*, 1998; Roig, 1998).

### 2.1. Diseño de muestreo

El muestreo se realizó durante el año 2018 durante todas las estaciones del año, en los meses de enero, mayo, julio y octubre. Se seleccionó un área a modo de control: un área de exclusión de ganado de más de 40 años, sin uso, perteneciente a un productor privado, con la vegetación típica de estepa; un área con uso forestal: un monocultivo de pino ponderosa (*Pinus ponderosa* Dougl. ex. Laws.) de 30 años en los que se efectuaban podas y raleos; y un área con uso ganadero: con la presencia de ganado ovino (Figura 18). Se utilizó un diseño aleatorizado con dos factores, el primer factor: “Tratamiento” con tres niveles (Control/Forestal/Ganadero) y el segundo factor: “Estación” con cuatro niveles (verano/otoño/invierno/primavera). Se seleccionaron siete puntos en cada tratamiento, extrayéndose las muestras mediante un barreno y colocándolas en tarros de plásticos rotulados. En el caso del control se extrajeron muestras de suelo bajo planta y suelo desnudo, ya que en trabajos anteriores se ha demostrado que la distribución de la fauna en la estepa está determinada principalmente por los parches de vegetación (Manzo *et al.*, 2019), por lo que se extrajeron un total de 14 muestras del control, mientras que en los tratamientos ganadero y forestal solo se extrajeron siete muestras. Para salvar este último punto, y contar con 7 puntos en cada tratamiento, las muestras provenientes del control fueron promediadas con un promedio ponderado de acuerdo al porcentaje de suelo desnudo presente en el sitio. La selección de puntos de muestreo fue realizada al azar mediante la herramienta del QGIS. El total de muestras extraídas fue de 112  $((14 + 7 + 7) \times 4)$ .



**Figura 17:** Mapa del área de estudio. Se amplía la imagen en las zonas de muestreo.



**Figura 18:** *Sitios con uso forestal (arriba a la izquierda), uso ganadero (arriba a la derecha) y sitio control (abajo).*

## *2.2. Caracterización ambiental*

Para analizar la variación de los organismos en base a las variables ambientales y las del suelo, se obtuvieron datos mensuales y anuales de temperatura media y precipitación del Servicio Meteorológico Nacional, que cuenta con una caseta meteorológica en el sitio de muestro (Aeropuerto de Esquel). Además, se caracterizó el tipo de suelo y la textura a través de análisis físicos y químicos (Bouyoucus, 1927). Para ello se realizaron dos calicatas (de 1 m de profundidad por 1 m<sup>2</sup> de superficie), una en el tratamiento ganadero y una común a los tratamientos forestal y control, ya que pertenecían a la misma planicie fluvial (Figura 19)



**Figura 19:** Calicatas realizada en el control (A2) y en el tratamiento ganadero (C1)

Para la descripción del perfil se tomó de cada horizonte un total de 3 muestras de suelo (de 1,8 Kg a 2 kg cada una) para medir: pH, densidad relativa, porcentaje de humedad (%), porcentaje de fracción  $\geq 2$  mm, porcentaje de materia orgánica, de arcilla, de limo y de arena y, además, se determinó el tipo de suelo mediante el uso de claves (Soil Survey Staff, 2014).

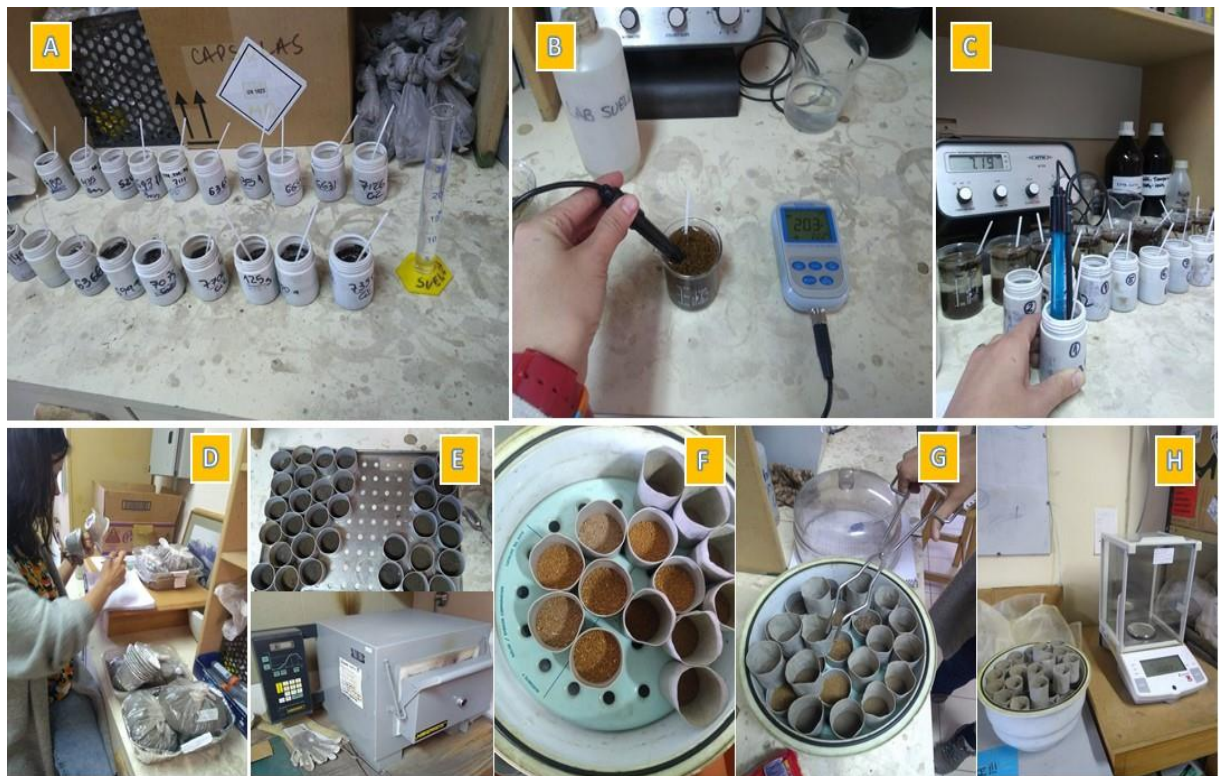
Para contar con variables físicas y químicas de cada punto de muestro, se extrajeron por única vez, muestras para medir: pH, conductividad eléctrica, densidad relativa y materia orgánica. En adición, se realizaron mediciones de humedad y temperatura en cada punto, durante las cuatro estaciones.

### *2.3. Extracción e identificación de la mesofauna*

Las muestras de suelo para coleccionar microartrópodos fueron tomadas usando una pala de jardinería, extrayéndose muestras de 10 cm x 10 cm; las mismas se colocaron en tarros de plástico rotulados para su transporte al laboratorio (Figura 20; Figura 21). A partir de la superficie de las muestras (100 cm<sup>2</sup>), la densidad de los microartrópodos se extrapoló a individuos por m<sup>2</sup>, para hacerlo comparable con otros trabajos.



**Figura 20:** *Extracción de muestra para mesofauna y medición de temperatura mediante un termómetro de suelo*



**Figura 21:** Análisis de laboratorio. A, B y C preparación de las muestras para determinar pH y conductividad eléctrica; D, E, G y H preparación de las muestras y procedimiento para determinar materia orgánica.

En el laboratorio, los organismos fueron extraídos usando embudos Berlese-Tullgren durante 12 días, colectando los ejemplares en tarros de plástico con alcohol al 70 % (Winter & Behan-Pelletier, 2007). Luego los especímenes fueron identificados bajo lupa binocular y microscopio óptico LEICA ICC50 HD. Los ácaros fueron identificados a nivel de orden (Mesostigmata) o suborden (Oribatida y Prostigmata). Los oribátidos fueron identificados hasta especie, siempre que fue posible, con el uso de claves regionales (Balogh & Balogh, 1988, 1990) y de descripciones originales (Hammer, 1961, 1962a, 1962b; Balogh & Csiszár, 1963). Además, los oribátidos fueron asignados a los grupos Macropylina y Brachypyulina y, dentro de este último, a Gymnonota y Poronota. Si bien estos grupos no se consideran monofiléticos, excepto Brachypyulina (Norton & Behan-Pelletier, 2009, Balogh & Balogh 2002), esta división ha sido usada para evaluar la taxocenosis de oribátidos (Aoki, 1979;

Salazar Martínez *et al.*, 2010; Shimano, 2011). Collembola fue identificado a nivel de orden (Symphypleona) o superfamilia (Entomobryoidea o Poduridae).

#### 2.4. Selección de métricas

Ver [Capítulo 1](#). Página 31.

#### 2.5. Análisis estadísticos

Ver [Capítulo 1](#). Página 32.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Variables ambientales y propiedades físicas y químicas del suelo

Los suelos del área de estudio se desarrollan sobre ceniza volcánica mezclada con materiales fluviales, coluviales y glacifluviales. Los perfiles de suelos, tienen secuencias de horizontes A – C con un espesor de 50 cm. Los horizontes A, de 10-15 cm, presentan raíces abundantes, las cuales disminuyen en profundidad y los fragmentos gruesos varían entre 13 y 32 %. Todos los horizontes tienen una estructura en bloques subangulares medios y moderados. No se observan rasgos redoximorficos ni concentraciones en el perfil, lo que estaría indicando que el suelo está bien drenado, existiendo una buena relación de agua- aire en los poros del suelo.

Las texturas en general son gruesas (franca arenosa–arena franca). El contenido de materia orgánica es pobremente provisto. Los suelos son no salinos y los pH varían entre muy levemente ácidos a moderadamente alcalinos. Los valores de pH en FNa 2' y 60' con valores inferiores a 9,2 indican la presencia de arcilla haloisita (Tabla 6, Figura 22). Los suelos fueron clasificados como Haploxeroles.

**Tabla 6:** Variables físicas y químicas del suelo en los diferentes tratamientos.

<i>Perfiles del suelo</i>	<i>Hz</i>	<i>pH agua 1:1</i>	<i>pH FNa 2'</i>	<i>pH FNa 60'</i>	<i>M.O (%)</i>	<i>Conductividad (dS/m)</i>	<i>Textura</i>
<b>CONTROL</b>	A	6,64	7,63	7,97	1,46	0,05	Franca arenosa
	AC	6,89	7,59	7,85	1,37	0,06	Franca arenosa
	C	6,82	7,65	8,1	5,32	0,08	Areno franca
<b>USO GANADERO</b>	A	6,55	7,65	8,24	2,26	0,06	Franca arenosa
	AC	6,7	7,63	7,95	2,14	0,06	Franca arenosa
	C	6,82	7,58	7,77	1,87	0,047	Areno franca
<b>USO FORESTAL</b>	A	6,64	7,63	7,97	1,46	0,05	Franca arenosa
	AC	6,89	7,59	7,85	1,7	0,06	Franca arenosa
	C	6,82	7,6	8,1	5,3	0,08	Areno franca

Con respecto a las variables ambientales, la precipitación en los meses muestreados varió desde los 21,06 mm hasta los 129 mm, esta variable está inversamente asociada con la temperatura mínima del día y la temperatura del suelo (Figura 22). La temperatura media por estación, varió entre los 3,3 °C y los 14 °C y está asociada a la temperatura del suelo e inversamente a la humedad del mismo (Figura 22; Tabla 7). Con respecto a la temperatura, el suelo mostró una amplia variación entre estaciones, con los valores más bajos en invierno (1,12 °C) y los más altos en verano (37,1 °C). Con respecto a la humedad del suelo, se encontró en invierno un porcentaje mayor, variando entre 7 % y 96 %, mientras que el menor fue en verano, con valores entre 1 % y 5 %; además, esta variable estuvo asociada inversamente con todas las variables de temperatura y positivamente con la precipitación (Figura 22). El pH fue generalmente cercano a neutro, siendo levemente más ácido en el uso ganadero y levemente alcalino en el uso forestal y el control; además, estuvo inversamente relacionado con la conductividad eléctrica y la materia orgánica. En cuanto a estas últimas variables, los valores más altos del porcentaje de materia orgánica se hallaron en el uso ganadero (7,1), seguido por el control (4,75) y por último el forestal (4,1). Además, esta variable estuvo fuertemente asociada con la conductividad eléctrica (Figura 22; Tabla 7).

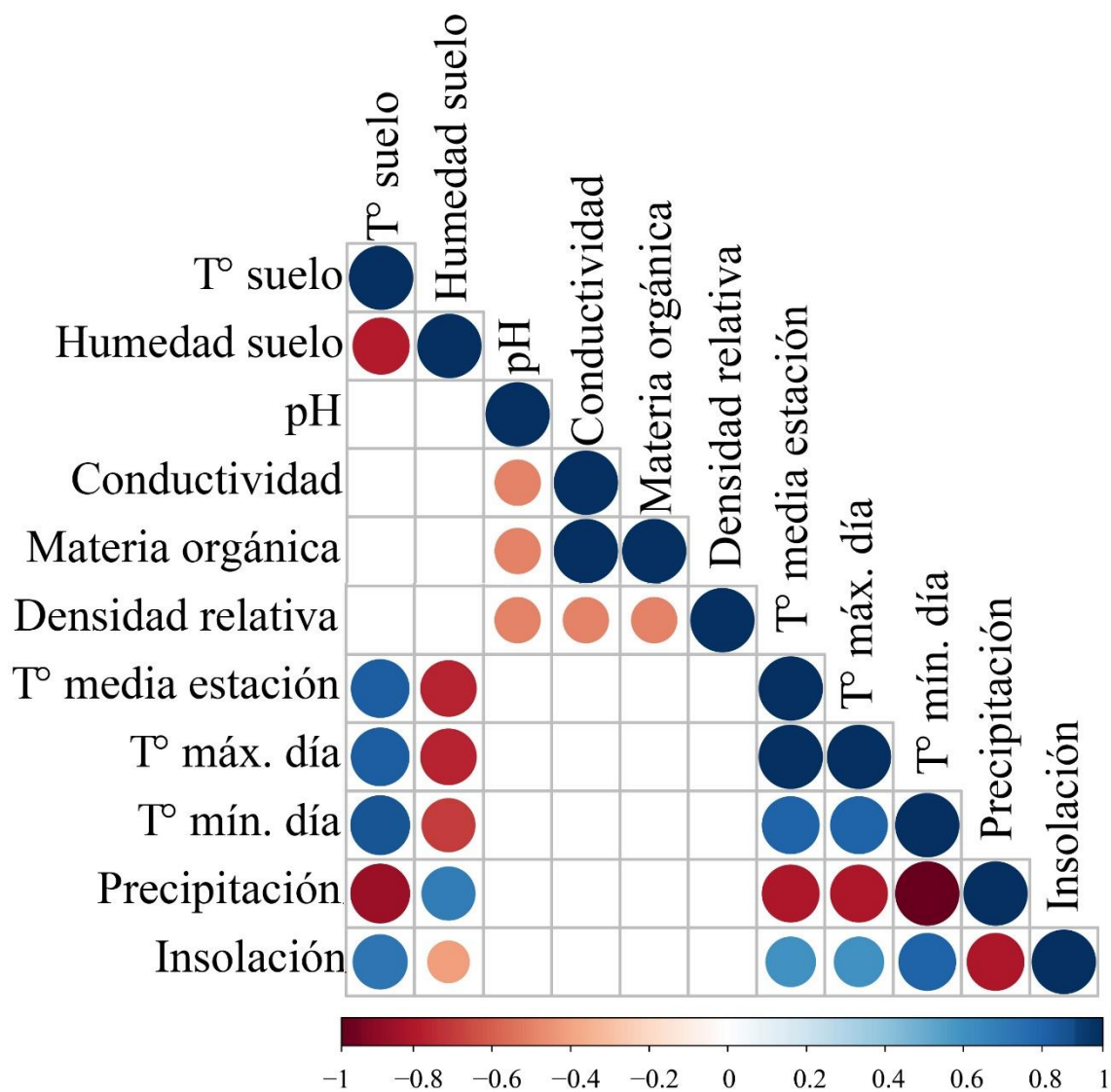


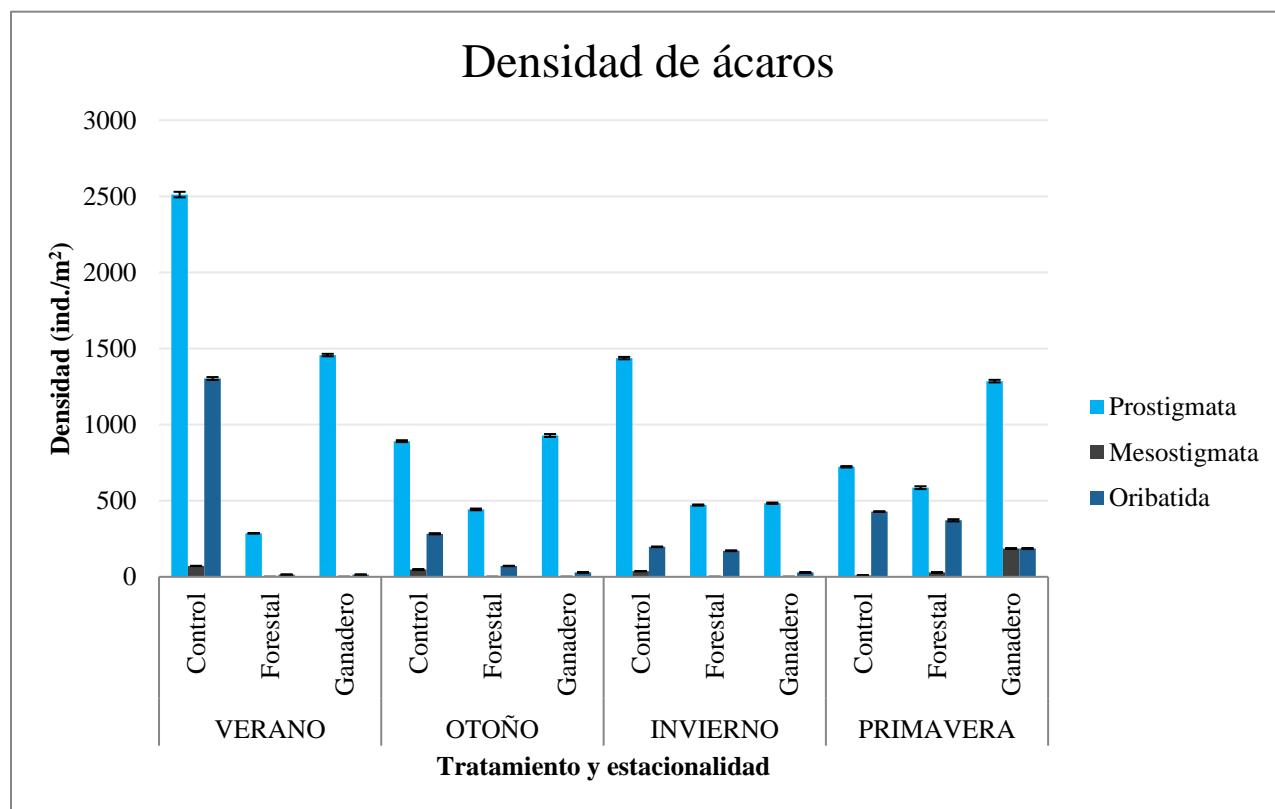
Figura 22: Análisis de correlación de rangos de Spearman para las variables climáticas y edáficas analizadas.

**Tabla 7:** Variables ambientales en los distintos tratamientos (control, forestal y ganadero). La media, el desvío estándar y los valores máximos y mínimos son consignados para cada tratamiento.

	<i>Control</i>			<i>Forestal</i>			<i>Ganadero</i>		
	<b>Media±DS</b>	<b>Mín.</b>	<b>Máx.</b>	<b>Media±DS</b>	<b>Mín.</b>	<b>Máx.</b>	<b>Media±DS</b>	<b>Mín.</b>	<b>Máx.</b>
<b>pH</b>	6,58±0,31	5,9	6,8	6,57±0,1	6,45	6,93	6,38±0,44	5,76	7,11
<b>Conductividad</b>	48,8±4,7	41,6	55,3	39,3±13,1	18,23	59,5	66,15±27,7	27,3	97,1
<b>MO (%)</b>	4,75±0,3	3,57	4,79	4,1±1,5	2,76	7,39	7,1±2,7	5,2	13,55
<b>Densidad aparente (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	1,01±0,1	0,78	1,21	1,23±0,1	1,0	1,3	1,1±0,2	0,89	1,46
<b>T° suelo (C°)</b>	11,76±10,7	1,45	14,7	13,1±11,9	1,3	20,1	15,4±13,9	0,1	35
<b>H° suelo (%)</b>	12,39±6,7	9,97	32,5	7,63±4,2	3,14	14,25	17,5±19,9	3,53	96

### 3.2. Mesofauna: abundancia y riqueza

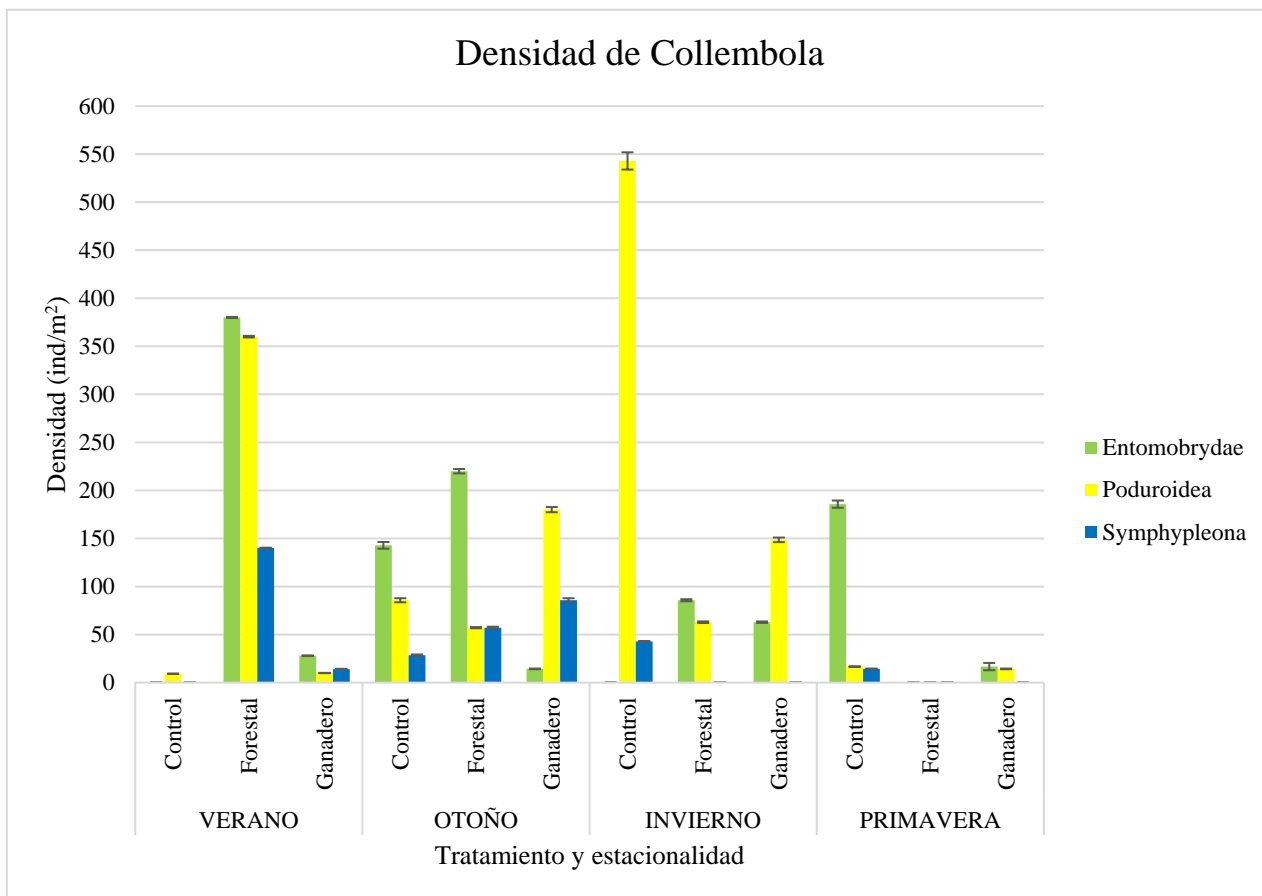
El grupo más representado de mesofauna fue Prostigmata con 71 % del total de ácaros encontrados, seguido por Oribatida con 22,7 % y Mesostigmata con un 6,3 %. Además, los prostigmatas presentaron 2500 ind./m<sup>2</sup> en el suelo control verano, mientras que los oribátidos presentaron en el suelo control en la misma estación 1300 ind./m<sup>2</sup>, en el caso de los mesostigmatas, presentaron 185 ind./m<sup>2</sup> en el suelo con uso ganadero y en la estación primavera (Figura 23).



**Figura 23:** Densidad de los grupos de ácaros por tratamiento y por estación.

Dentro de los colémbolos, Poduridae fue el grupo más representado, con 49,5 %, seguido por Entomobryidae con 37,8 % y Symphypleona con 12,7 %. Con respecto a la abundancia, se encontraron valores de 542 ind./m<sup>2</sup> para Poduridae en la estación invierno, mientras que para Entomobryidae los valores fueron de y 360 ind./m<sup>2</sup> en otoño, ambos en el

tratamiento con uso ganadero. Mientras que los Symphypleona fueron más escasos, presentando valores más altos de abundancia en el control, en invierno, con valores de 140 ind./m<sup>2</sup> (Figura 24).

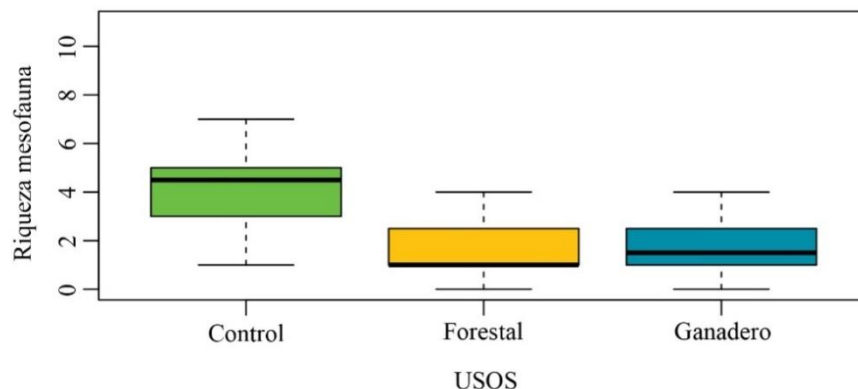


**Figura 24:** Densidad de los grupos de colémbolos por tratamiento y por estación.

### 3.2.1. Distribución de acuerdo a los usos de suelo y la estacionalidad

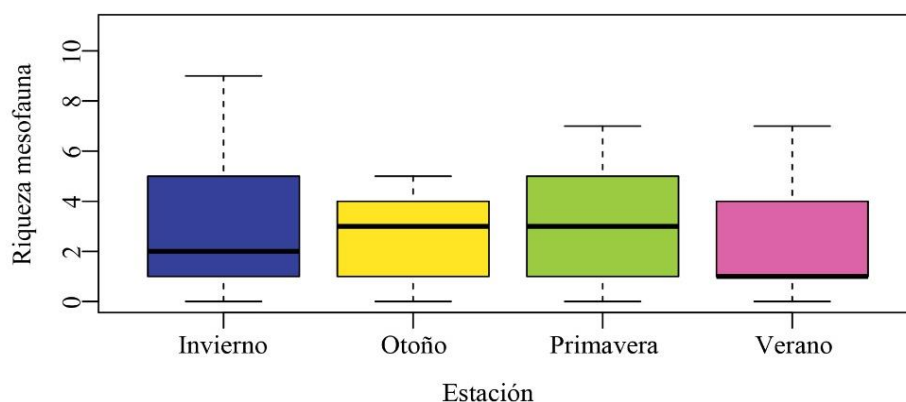
Para el caso de los tratamientos, considerando el total de ejemplares netos de mesofauna, el control presentó 95 ejemplares, el uso ganadero presentó 62 ejemplares, mientras que el uso forestal presentó 30 ejemplares. El control fue dominado por Prostigmata con 61 %, seguido por Oribatida con 26 % y Poduridae (Collembola) con 4,5 %. El uso forestal fue dominado también por Prostigmata con 59 %, seguido por Oribatida con 29 % y

Poduridae con 6 %. Mientras que el uso ganadero fue dominado por Prostigmata con 66,7 %, seguido por Poduridae y Entomobryidae con 9 % y 7 % respectivamente. En cuanto a la riqueza de taxones, en todas las estaciones juntas, el control presentó 19 especies, el uso forestal 9 especies, mientras que el uso ganadero presentó 6 (Figura 25).



**Figura 25:** Riqueza de especies y morfoespecies de mesofauna por usos del suelo, sin separar por estación del año.

Con respecto a la estacionalidad sin extrapolar a metro cuadrado, se registró un total de 60 ejemplares netos en verano, en primavera 46 ejemplares, y en invierno y en otoño se contabilizaron un total de 44 y 37 ejemplares respectivamente. No hubo diferencias significativas en la riqueza taxonómica (todas las especies de oribátidos más las morfoespecies de los demás grupos de mesofauna) (Figura 26).



**Figura 26:** Riqueza de especies y morfoespecies de mesofauna con respecto a la estación del año sin separar por usos del suelo.

### 3.3. Ácaros oribátidos: Abundancia y riqueza

Con respecto a la abundancia, se encontró un total de 190 individuos. La especie más abundante, sin discriminar por tratamiento, fue *Licnodamaeus granulatus* con 84 ejemplares, seguida por *Gerloubia (Monophauloppia) bicuspidata* con 22 ejemplares. Con respecto a cada tratamiento, el control fue dominado por *Licnodamaeus granulatus* con 83 ejemplares, representando el 69 % para ese tratamiento, el suelo con uso forestal fue dominado por *Oppiella nova* con 18 ejemplares representando el 47 % para ese tratamiento y en el caso del suelo con uso ganadero la especie dominante fue *Tectocephus velatus* con 11 ejemplares representando el 61,1 % de individuos para ese tratamiento (Tabla 8).

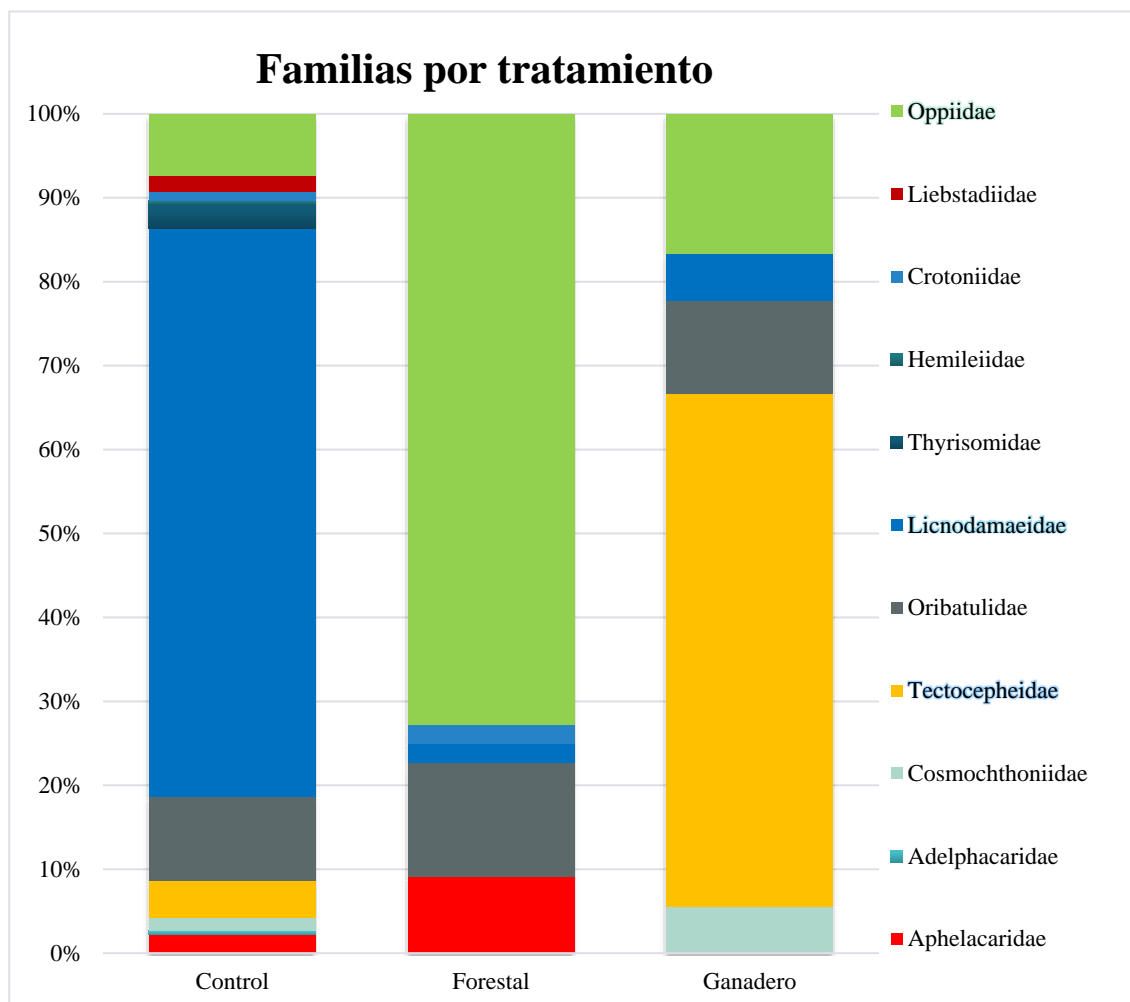
En cuanto a la riqueza de especies, se registraron un total de 23 taxones en 112 muestras de suelo, que fueron identificados hasta nivel de especie o morfoespecie, distribuidas en 11 familias. El N° de familias fue significativamente más alto en el sitio control (*p*-valor: 0,030). Las familias más representadas (en cuanto a número de ejemplares) fueron resaltadas en el gráfico, las mismas fueron Oppiidae, Licnodamaeidae y Tectocephidae (Figura 27). En el sitio control fueron identificados un total de 19 taxones, en el suelo forestal fueron identificados 10 y con uso ganadero 7 taxones. En términos de riqueza, la familia más abundante fue Oppidae con 8 taxones, seguida por Oribatulidae con tres y Cosmochthoniidae con dos (Tabla 8).

**Tabla 8:** Densidad de los taxones de Oribatida (individuos/m<sup>2</sup>) en las 112 muestras del área de estudio (Chubut, Patagonia Argentina), de acuerdo a los distintos tratamientos (control, forestal y ganadero).

Comunidad de Oribatida	Verano			Otoño			Invierno			Primavera		
	Control	Forestal	Ganadero	Control	Forestal	Ganadero	Control	Forestal	Ganadero	Control	Forestal	Ganadero
<b><u>MACROPYLINA</u></b>												
<b>Aphelacaridae</b>												
<i>Aphelacarus acarinus</i>				170			200	570				
<b>Adelphacaridae</b>												
<i>Adhelphacarus sellnicki</i>							80					
<b>Cosmochthoniidae</b>												
<i>Cosmochthonius plumatus</i>	250											
<i>suramericanus</i>												
<i>Phyllozetes aff. emmae</i>												140
<b>Crotoniidae</b>												
<i>Crotonia aff. flagellata</i>	50											
<i>Camisia (Camisia) segnis</i>	170							140				
<i>Tectocepheus velatus</i>	770		140			140			280			1000
<i>Jornadia sp.</i>	80					140		140			140	
<i>Licnodamaeus granulatus</i>	10630			250	140		600			110		140
<i>Banksinoma arcuatum</i>	80			400								
<i>Urubambates sp.</i>				80								

**Tabla 8.** Continuación.

Comunidad de Oribatida	Verano			Otoño			Invierno			Primavera		
	Control	Forestal	Ganadero	Control	Forestal	Ganadero	Control	Forestal	Ganadero	Control	Forestal	Ganadero
<i>Reductobates</i> sp.	340											
<i>Membranoppia tuxeni</i>				50								
<i>Gerloubia (Monophauloppia)</i> sp.	340			50								
<i>Gerloubia (Monophauloppia) bicuspidata</i>	250			1280	570		570			230		140
<i>Graptoppia (Stenoppia) aff. Multicorrugata</i>	80						340					
<i>Graptoppia (Stenoppia)</i> sp1				80			170				140	
<i>Graptoppia (Graptoppia)</i> sp1				170								
<i>Graptoppia (Graptoppia)</i> sp2				170								470
<i>Oppiella (Opiella) nova</i>		140		80				850			1710	
<i>Karenella (Karenella) sp</i>										80	140	
<i>Microppia minus</i>											1570	



**Figura 27:** Familias encontradas en cada tratamiento, las familias más abundantes están resaltadas con color (función "Glow").

### 3.3.1. Índices ecológicos

Con respecto a los índices ecológicos, los valores de diversidad de Margalef fueron significativamente más altos en el sitio control con un valor de 0,74 mientras que el valor más bajo se encontró en el suelo con uso forestal con un valor de 0,29 ( $p$ -valor: 0,025). Para el caso del índice de diversidad de Shannon no se observaron diferencias significativas, los valores para el suelo control fue de 1,9 y para el suelo con uso forestal fue de 0,98. En cuanto a los índices de dominancia, tampoco dieron diferencias significativas, siendo los valores del índice de Simpson para suelo con uso ganadero de 0,71 para el suelo con uso forestal fue de

0,61, mientras que el valor de equitatividad de Pielou fue de 0,73 para el suelo control y el valor para el suelo con uso ganadero fue de 0,44 (Tabla 9).

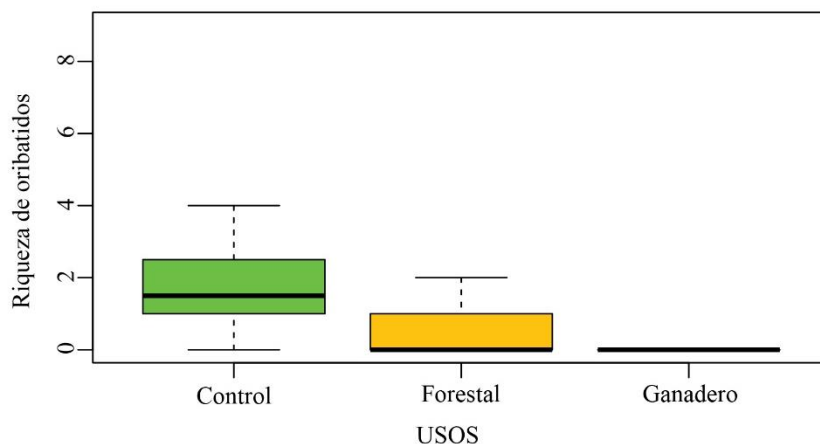
**Tabla 9:** Métricas de los distintos tratamientos de los ácaros oribátidos. Se marcaron las métricas significativas (p-valor: 0,05 \*\*\*).

	Control	Forestal	Ganadero
<i>Densidad (ind./m<sup>2</sup>)</i>	2525	698	207
<i>Riqueza</i>	19	8	6
<i>N° familia***</i>	11	5	5
<i>Índice de Margalef***</i>	0,74	0,29	0,4
<i>Índice de Shannon</i>	1,9	0,98	0,7
<i>Índice de Pielou</i>	0,73	0,55	0,44
<i>Índice de Simpson</i>	0,38	0,61	0,71

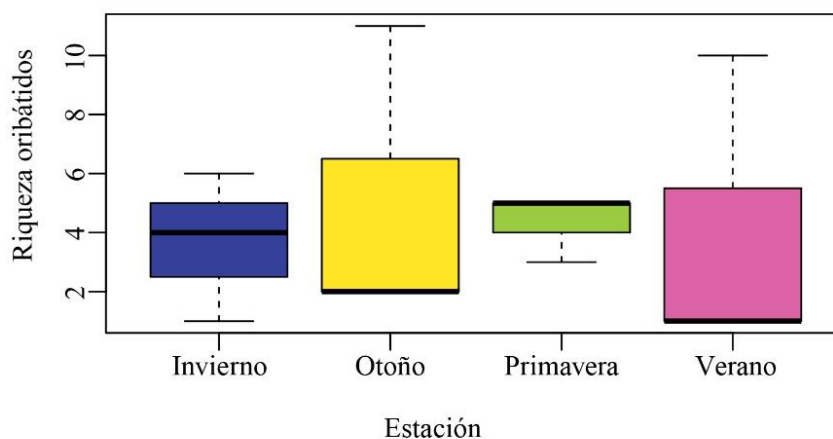
### 3.3.2. Distribución de acuerdo con los usos de suelo y la estacionalidad

En cuanto a la riqueza total de oribátidos de acuerdo a los usos, la cual no tiene diferencias significativas, el control presentó un total de 19 especies, seguido por el suelo con uso forestal con 8 especies, y por último el suelo con uso ganadero con 6 especies (Figura 28). El control representó un total neto de 21 ejemplares, representando el 58 % del total de individuos, seguido por el uso forestal con 9, representado el 25 % y el uso ganadero con 6 ejemplares, representando el 16 %.

En cuanto a la riqueza de oribátidos con respecto a las estaciones del año, estadísticamente no se observaron diferencias significativas. Encontrándose 11 especies en la estación otoño, mientras que una sola especie tanto en verano como en invierno (Figura 29).



**Figura 28:** Riqueza de oribátidos con respecto a los tratamientos.



**Figura 29:** Riqueza de oribátidos con respecto a la estación.

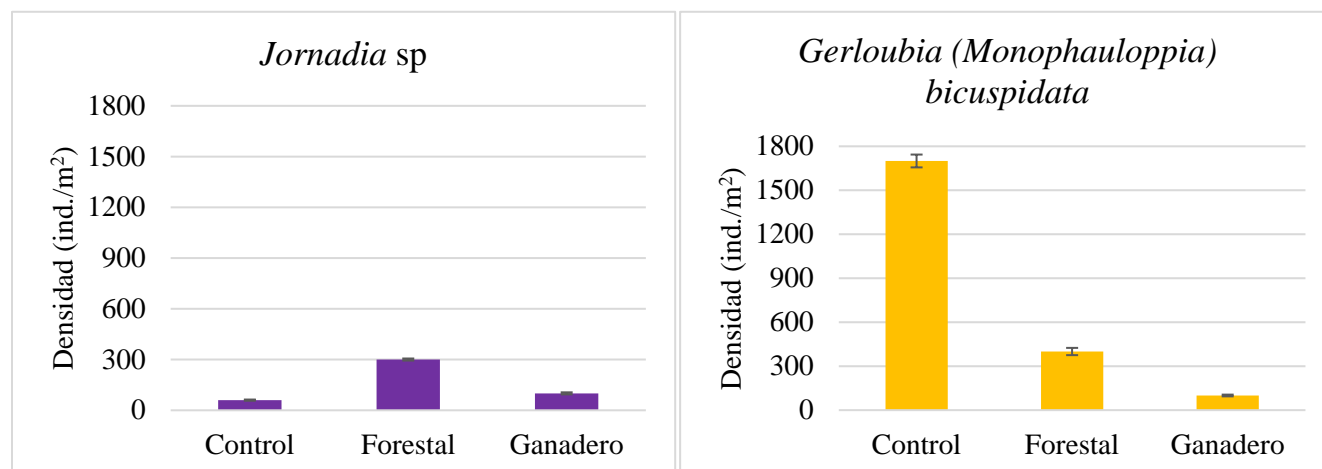
Según el índice de Aoki MGP I (riqueza) el control es del tipo G al igual que el uso forestal, mientras que el uso ganadero resultó del tipo O. Según el índice MPG II (porcentaje de abundancia), todos los tratamientos, incluso el control, dieron como resultado el tipo G (Tabla 10).

**Tabla 10:** Riqueza neta de los grupos y porcentaje de abundancia.

<i>Grupos de Oribatida</i>	<i>Control</i>	<i>Forestal</i>	<i>Ganadero</i>
Riqueza Macropylina	4	0	2
Riqueza Gymnonota	9	5	2
Riqueza Poronota	6	3	3
Abundancia Macropylina (%)	1	0	3
Abundancia Gymnonota (%)	84	96	97
Abundancia Poronota (%)	15	4	1

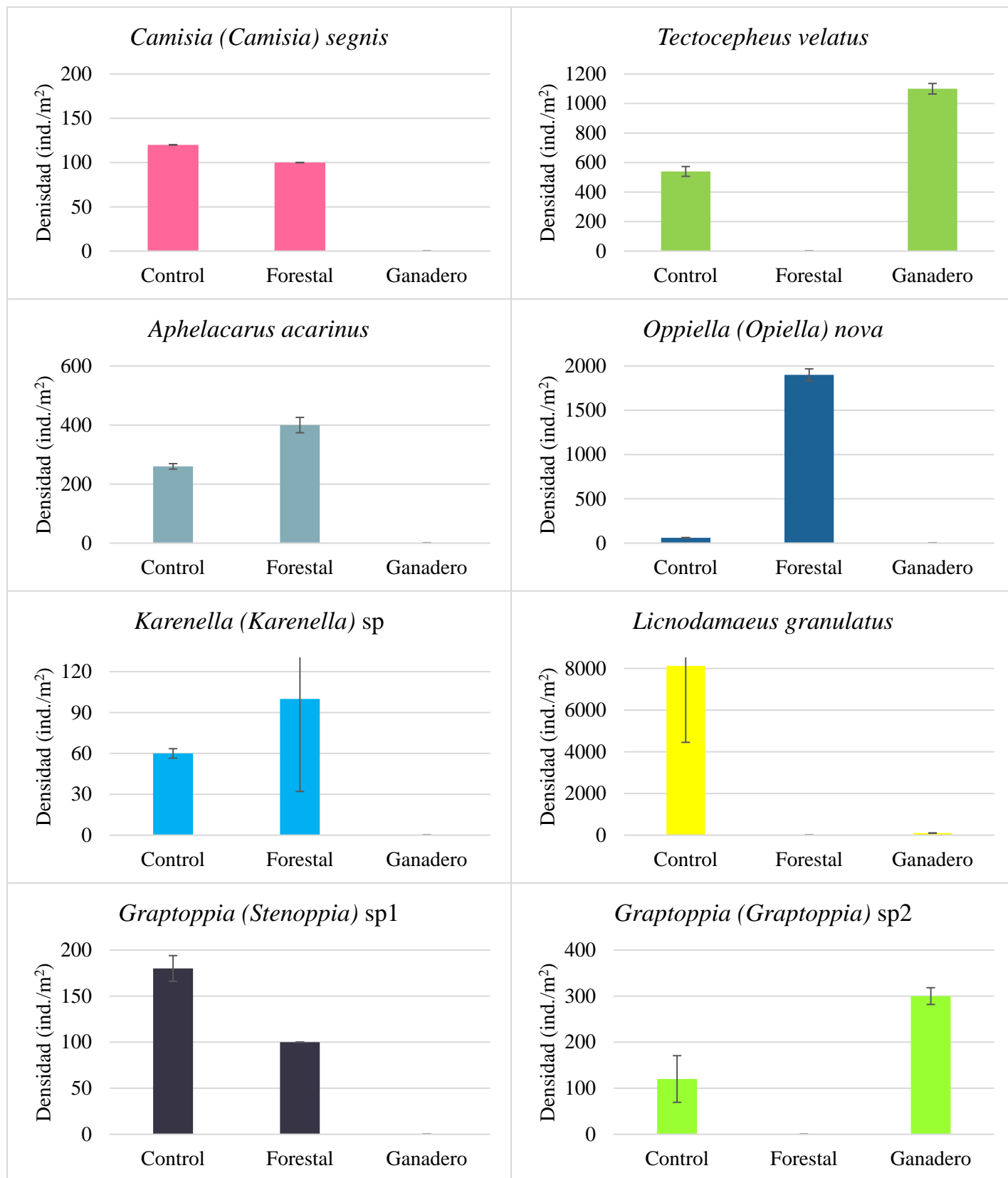
### 3.3.3. Distribución de especies de oribátidos por tratamiento

Solo dos especies, *Gerloubia (Monophauloppia) bicuspidata* y *Jornadia sp.*, estuvieron presentes en los tres tratamientos (Figura 30). *Phyllozetes aff. emmae* se halló solo en el uso ganadero, mientras que *Microppia minus* se recolectó solo en el forestal. En el control se encontraron como especies propias a *Membranoppia tuxeni*, *Graptoppia (Stenoppia) multicorrugata*, *Graptoppia (Graptoppia) sp1.*, *Banksinoma arcuatum*, *Gerloubia (Monophauloppia) sp1.*, *Reductobates sp.*, *Urubambates sp.*, *Adhelphacarus sellnicki* y *Cosmochthonius plumatus suramericanus*.



**Figura 30:** Densidades de especies compartidas entre los tres tratamientos analizados.

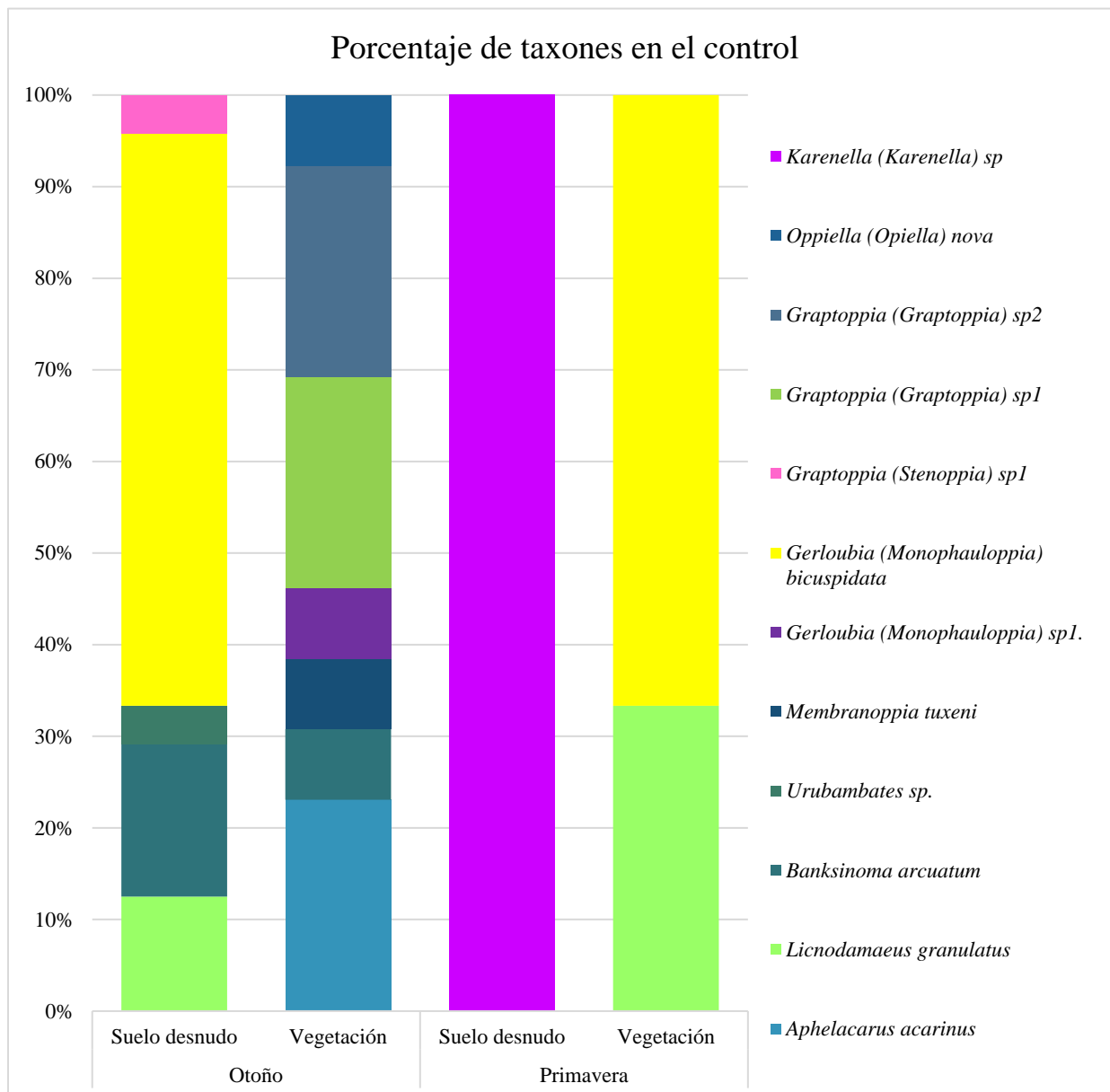
En cuanto a las especies compartidas entre dos tratamientos, encontramos que *Camisia (C.) segnis*, *Aphelacarus acarinus*, *Oppiella nova*, *Karenella (Karenella) sp.* y *Graptoppia Stenoppia sp1.* se hallaron tanto en el sitio control como en sitio con uso forestal, mientras que *Tectocephus velatus*, *Licnodamaeus granulatus* y *Graptoppia Stenoppia sp.2* se hallaron en el sitio control y en el sitio con uso ganadero (Figura 31), no se encontraron especies compartidas entre el suelo con uso forestal y suelo con el ganadero.



**Figura 31:** Densidades de especies compartidas entre dos tratamientos.

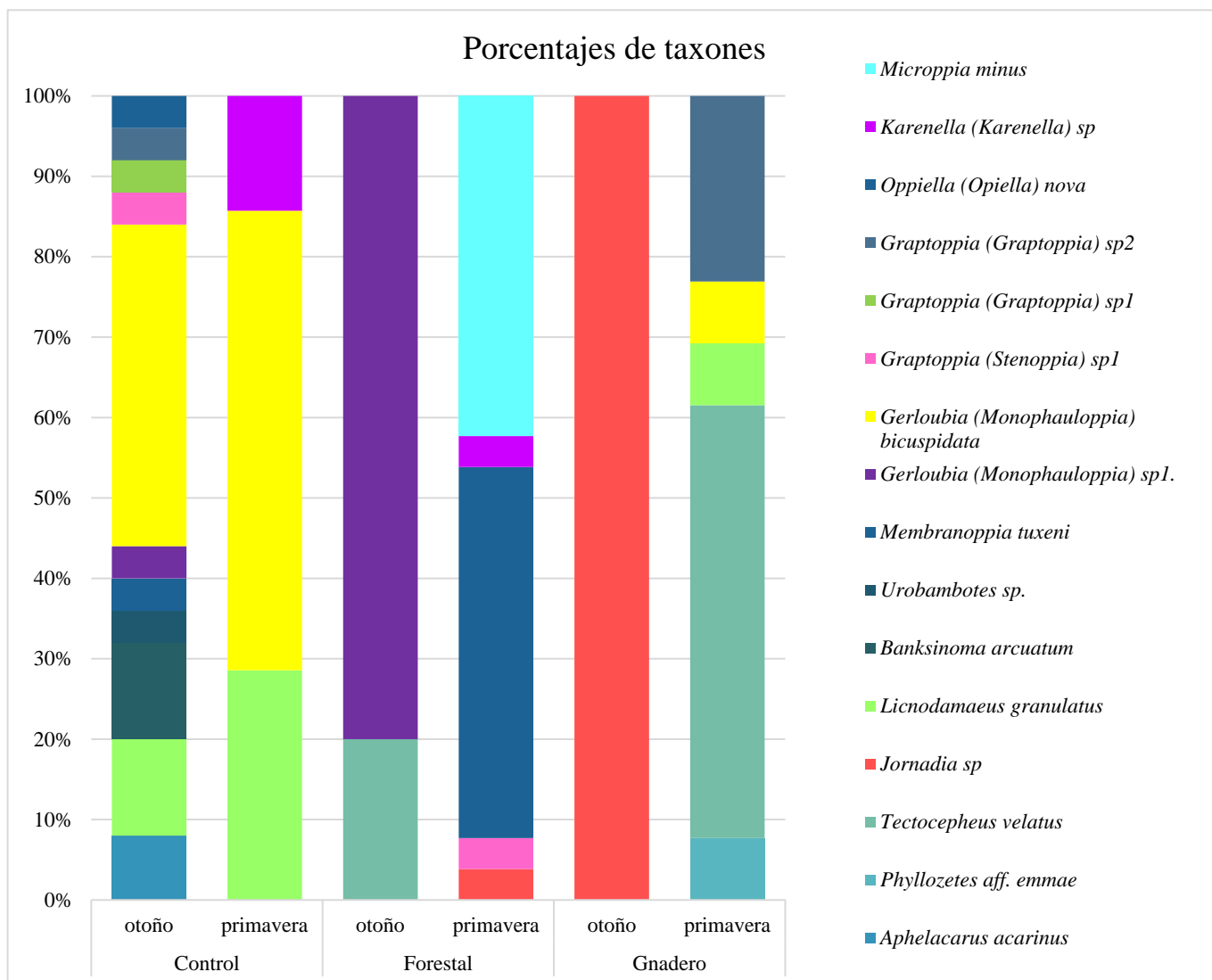
### 3.4. Distribución de acuerdo a la vegetación y la estación.

Con respecto a la vegetación, se puede observar un mayor número de especies de ácaros bajo vegetación y solo comparando el otoño y la primavera, se puede observar que hay un mayor número de especies en la estación otoño, tanto bajo suelo con vegetación como bajo suelo desnudo (Figura 32).



**Figura 32:** Porcentaje de taxones en el control, según cobertura y estación del año.

En cuanto a la distribución de acuerdo a los usos de suelo, en el control se observó mayor cantidad de especies en el otoño, mientras que en el suelo con uso forestal y suelo con uso ganadero se registró mayor cantidad de especies en la primavera (Figura 33).

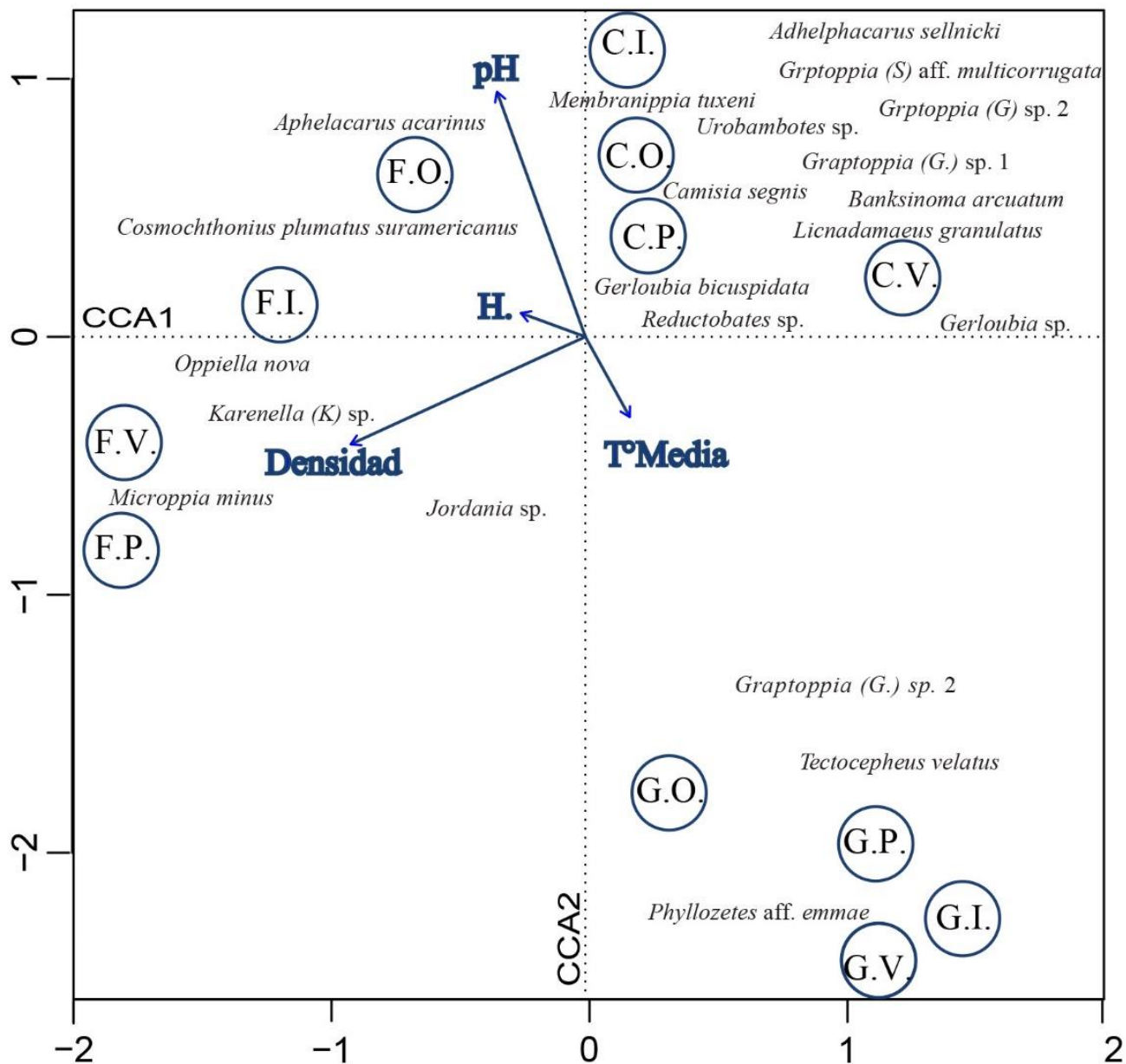


**Figura 33:** Porcentaje de taxones en los distintos tratamientos separado en dos estaciones de año (otoño y primavera).

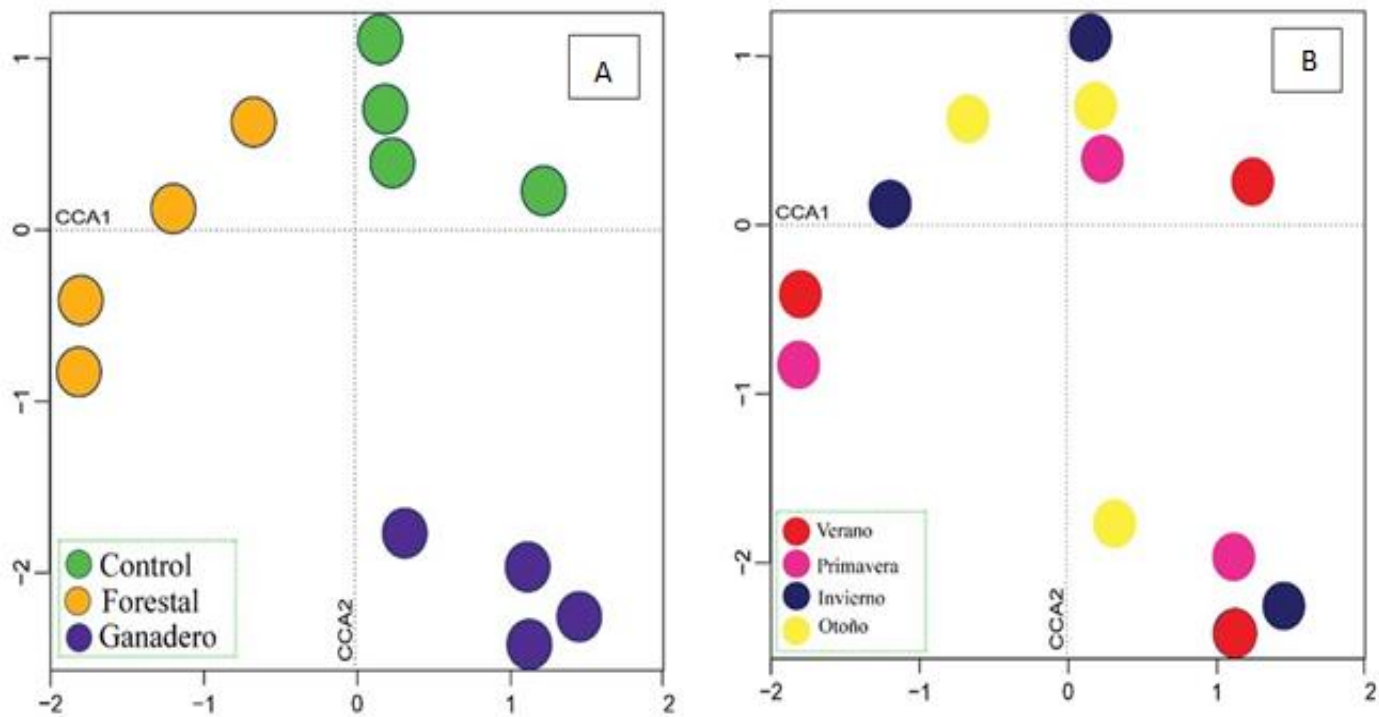
### 3.5. Relación entre taxones y variables ambientales bajo los diferentes usos

El análisis de correspondencias canónicas (ACC) basado en los sitios, las especies y las variables ambientales explicó, en los primeros dos ejes, 44 % de la varianza para las

especies y 70 % de la varianza en la relación especies-ambiente (Figura 34; Tabla 11). El primer eje fue significativo (p-valor 0,001) y refleja la distribución de las especies y los sitios a lo largo de un gradiente definido principalmente por la densidad aparente y la humedad del suelo, mientras que el segundo estuvo principalmente correlacionado con el pH y la temperatura ambiental (Tabla 11). La densidad aparente se incrementó negativamente hacia el final del ACC1 (correlación: -0,87), mientras que el pH se incrementó positivamente hacia el extremo final del eje del ACC2 (correlación: 0,9). Con respecto a los tratamientos, el análisis ACC separó claramente los sitios de acuerdo a las condiciones impuestas por los tratamientos: los sitios ubicados en el control fueron posicionados en el cuadrante derecho superior del gráfico y estuvieron asociados principalmente con *Aphelacarus sellnicki*, *Gerloubia (Monophauloppia) bicuspidata*, *Licnodamaeolus granulatus* y *Camisia segnis* (Figura 34), mientras que los sitios ubicados en el tratamiento forestal fueron principalmente posicionados del lado izquierdo del gráfico y estuvieron principalmente asociados con el ensamble de *Aphelacarus acarinus*, *Cosmochthonius plumatus suramericanus*, *Microppia minus*, *Oppiella nova*, *Karenella (K.) sp.*, y *Jordania sp.* (Figura 34). Asimismo, los sitios en el tratamiento ganadero se ubicaron en el cuadrante derecho inferior del gráfico y estuvieron principalmente asociados con *Graptoppia (G.) sp2*, *Tectocephus velatus* y *Phyllozetes aff. emmae*. El análisis ordenó los sitios sobre la base de las especies de oribátidos y las variables ambientales con respecto a los tratamientos (Figura 35 A), pero no se observó una asociación con las estaciones del año (Figura 35 B).



**Figura 34:** Análisis de correspondencias canónicas (ACC) basado en las relaciones entre los sitios, las especies y las variables ambientales. Los códigos de los sitios están en el apéndice 5.



**Figura 35:** Análisis de correspondencias canónicas (ACC) basado en las relaciones entre los sitios, las especies y las variables ambientales. A: Tratamiento, B: Estacionalidad.

**Tabla 11:** Análisis de correspondencias canónicas (ACC) resultado de 112 muestras de suelo del área de estudio (Provincia de Chubut, Argentina). Se muestran los eigenvalues y porcentajes acumulados de la varianza de los primeros dos ejes del ACC. El F estadístico y el p valor derivan del test de permutación del primer eje y de todos los ejes combinados.

Variables ambientales	Ejes	
	CCA1	CCA2
pH	-0,32	<b>0,9</b>
Densidad aparente		-0,39
Humedad del suelo	<b>-0,24</b>	0,1
Temperatura media ambiental	0,16	<b>-0,29</b>
<i>Eigenvalues</i>	0,26	0,18
Porcentaje de varianza acumulado		
Datos de especies	26	<b>44</b>
Datos de relación especies-ambientales	41	<b>70</b>
Suma del total de <i>eigenvalues</i>		1,00
Suma de todos los canónicos <i>eigenvalues</i>		0,63
<b>Test de Permutación de Monte Carlo</b>		
Primer eje canónico-----	F=7,85, p<0,001	
Todos los ejes canónicos-----	F=3,02, p<0,001	

## 4. DISCUSIÓN

### 4.1. Variables ambientales y propiedades físicas y químicas del suelo

Los distintos usos de suelo provocan cambios físicos y químicos, pudiendo llevar a la degradación total de la estructura del suelo y, en consecuencia, impactar sobre la fauna edáfica asociada. En los suelos destinados a la ganadería se ven afectadas las propiedades físicas, así como el crecimiento de las plantas, lo que afecta a su vez las condiciones de habitabilidad para la mesofauna (Chachaj & Seniczak, 2005). Así, por ejemplo, en el horizonte superficial del suelo la materia orgánica media (Tabla 7) fue mayor en el uso ganadero que en el control, como lo han reportado algunos autores (Altesor *et al.*, 2006). Si consideramos que la diversidad (Margalef) fue menor en este uso en comparación con el control, podría interpretarse, que la mesofauna no está relacionada con la cantidad de recurso

sino más bien por la calidad del mismos (Lussenhop, 1976, 1981; Swift *et al.*, 1979). Otra posible explicación, es que la materia orgánica, como porcentaje sin tener en cuenta las fracciones vegetales, no sea una métrica correcta para la interpretación de los microartrópodos, ya que quizás, la misma no esté disponible para el consumo por parte de la mesofauna.

El pH es una de las variables más relevantes del suelo, ya que controla la movilidad de iones, la precipitación y disolución de minerales, las reacciones redox, el intercambio iónico, la actividad microbiana y la disponibilidad de nutrientes (Rozas *et al.*, 2011). A pesar de que las mediciones rondaron siempre los valores medios de pH como los reportados para suelos desarrollados sobre ceniza volcánica (Buamscha *et al.*, 1998; Valenzuela *et al.*, 2002), un leve aumento del pH podría estar relacionado con los aumentos de mesofauna (abundancia y diversidad), como es citado por varios autores para otras zonas (Van Straalen *et al.*, 1988; Cepeda & Whitford, 1989; Lebrun & Van Straalen, 1995).

#### *4.2. Mesofauna: abundancia, riqueza y distribución*

El grupo que representó el 70 % de los ácaros fue Prostigmata. Este grupo, sin contemplar las estaciones (donde las diferencias fueron cambiando a lo largo de las mismas) representó más del doble de individuos en el suelo control (50 %) en comparación con el suelo con uso forestal (18 %). Dado que el suelo control y el forestal presentaron el mismo tipo de suelo, la diferencia en la abundancia de este grupo podría estar relacionada al uso o a la heterogeneidad de hábitat. Según Maraun & Scheu (2000) establecen que la heterogeneidad vegetal, parece condicionar la abundancia y la riqueza de la fauna más que muchos otros parámetros ecológicos. Además, se sabe que las plantaciones de pino están asociadas a densas capas de acículas sobre el suelo, que exudan diferentes tipos de ácidos orgánicos, compuestos fenólicos y taninos que cambian la química del suelo (Kanerva & Smolander, 2007; Kanerva *et al.*, 2008) y los prostigmatas parecen ser sensibles a estos cambios.

Con respecto a los colémbolos, se encontró que la relación observada en el capítulo anterior (Entomobryidae>Poduridae>Symphypleona) se modificó con respecto a los usos del suelo (Poduridae>Entomobryidae>Symphypleona). Con respecto al uso forestal, Poduridae

fue dos veces más abundante que en el control, y cinco veces más abundante que en el uso ganadero. Como ya se mencionó, los colémbolos se alimentan de hifas de hongos y material vegetal en descomposición (Palacios-Vargas, 2014), y la capa de acículas en el suelo provoca una gran proliferación de hongos descomponedores proveyéndole refugio y alimento a muchos organismos micófagos, aumentando de este modo ciertos grupos de colémbolos (Ponge, 1991; Sayer, 2006).

#### *4.3. Ácaros oribátidos: abundancia, riqueza y distribución*

Los ácaros oribátidos son importantes consumidores de la materia orgánica que se encuentra en el suelo y son particularmente sensibles a los disturbios (Lindberg, 2003). En los resultados se puede observar que el control cuadruplicó en abundancia al uso forestal y fue 9 veces más que el suelo con uso ganadero y con respecto a la riqueza, el control duplicó al uso forestal y triplicó al suelo con uso ganadero. La complejidad de hábitat y la diversificación de recursos en general, dan como resultado una alta abundancia y riqueza de especies debido a la partición de nichos (Schneider *et al.*, 2004, Zaitsev *et al.*, 2012) y esto se ve reflejado ya que en el control existe una mayor complejidad de especies vegetales en relación con los demás usos de suelo. En adición, los patrones de riqueza de especies a pequeña escala dependen de la heterogeneidad espacial (y la concomitante variación de las condiciones físicas y químicas del suelo), el estado de nutrientes y la contaminación (Khalil *et al.*, 2009; Krab *et al.*, 2010; Berg 2012, Zaitsev *et al.*, 2012).

En el caso del uso ganadero, el pastoreo afecta la productividad primaria e impacta indirectamente en la fenología aérea y subterránea de la vegetación al modificar la diversidad de especies vegetales (de Bruyn, 1997). Esto trae consigo la modificación de la fauna edáfica, viéndose reflejada en la disminución o el incremento de las especies de ácaros oribátidos. El sobrepastoreo en la región patagónica tiene como resultado final cambios en los componentes del suelo (Ares *et al.*, 1990) y en consecuencia cambios en la fauna asociada y el rol que cumple. La ganadería es una de las actividades económicas más importantes en los valles cordilleranos y precordilleranos de la provincia de Chubut, siendo la principal zona de cría bovina en Patagonia (Guitart, 2004). Esto tiene importantes efectos sobre el suelo, reduciendo el aporte de hojarasca y la porosidad, disminuyendo los espacios disponibles para el crecimiento de raíces y organismos del suelo (Belsky & Blumenthal, 1997; Peri *et al.*, 2004;

Mekuria *et al.*, 2007) y se ve claramente la disminución de la fauna oribatológica asociada. Este resultado es consistente con muchos otros autores (Bardgett & Cook, 1988; Behan-Pelletier, 1999; Hubert, 2000).

En el suelo con uso forestal, también se ve una disminución del número de familias de oribátidos en comparación con el control, quizás pueda deberse a que los oribátidos tienen una asociación con las plantas (Covarrubias, 2009) y/o con la cobertura vegetal (Manzo *et al.*, 2019). Además, el grado de abertura del dosel tiene un impacto sobre la macrofauna, la mesofauna del suelo y la vegetación del sotobosque (Manzo *et al.*, 2016). La forestación cambia la estructura de plantas nativas por un monocultivo, generando cambios también en la estructura del suelo, de esta forma, las plantaciones de pinos traen consigo un incremento de las abundancias de algunas especies de ácaros oribátidos y la disminución de otras, ya que los ácaros pertenecientes al suborden Oribatida son susceptibles a las prácticas de manejo de suelos (Behan-Pelletier, 1999), produciéndose el reemplazo de una especie por otra (Bedano *et al.*, 2004), disminuyendo así la diversidad de los organismos edáficos asociados a las plantaciones forestales (Manzo *et al.*, 2015). Además, el pino ponderosa es una especie no nativa de rápido crecimiento, que presenta efectos negativos. Principalmente, genera el empobrecimiento del suelo por extracción de nutrientes y en algunos casos, por acidificación a largo plazo (Schlichter & Laclau, 1998), afectando de este modo, la fauna de ácaros oribátidos más sensibles que habitan los suelos, con la disminución de algunas especies y la dominancia de otras.

Según Aoki & Harada, (1985), durante los primeros cinco años de una forestación el suelo es de tipo P, pasado este período de tiempo, la plantación madura y el suelo es de tipo G. En concordancia, el índice de Aoki para el suelo sometido a uso forestal fue de tipo G (MPG 1 y MGP 2). Lo sorprendente fue encontrar el mismo resultado para el suelo control, ya que, según Shimano (2011) lo esperable sería encontrar un suelo de tipo O, donde ninguno de los grupos MGP es dominante y el suelo es de pastizal y estepa. Una probable explicación es que tanto el suelo de uso forestal como el del control tienen el mismo material originario y pertenecen a la misma planicie fluvial. Entonces, podría interpretarse que este índice es un indicador del tipo de suelo más que del uso del mismo. Otros trabajos sobre taxocenosis de oribátidos realizados no concuerdan con lo hallado en este trabajo. Por ejemplo, el suelo en

bosques usados para recreación fue caracterizado como O o P (Salazar Martínez *et al.*, 2010), y el suelo en bosques naturales como del tipo MG y G (Lee *et al.*, 2000, Kun, 2012).

#### 4.3.1. Especies de oribátidos por tratamiento

Fueron dos las especies compartidas entre los tres tratamientos, pero la única que se pudo identificar hasta nivel específico fue *Gerloubia (Monophauloppia) bicuspidata*, esta especie fue encontrada en todos los tratamientos y presentó mayores abundancias en el suelo control. Esta especie es típica de la zona de estepa (Manzo *et al.*, 2019) y sería una especie generalista que cumple un rol importante en el suelo de estas zonas por su gran abundancia y presencia en todas las condiciones analizadas.

La especie más abundante del suelo control fue *Licnodamaeus granulatus*, la misma tiene una distribución Neotropical austral (Subías 2004, actualización en línea 2018). En Argentina solo fue encontrada en Rio Negro y Chubut, en bosques de *Libocedrus* y *Lomatia* sp. (Balogh & Csiszár, 1963) y de *Nothofagus* (Kun *et al.*, 2010; Ruiz, 2017). En el presente trabajo fue hallada en la estepa, tanto en el suelo control como en el suelo con uso ganadero. Es una especie posiblemente fitófaga (Woas, 2002) que ocupa una diversidad de hábitats importante en la provincia, ya que se la ha encontrado en varios ambientes diferentes.

La especie más abundante en el suelo con uso ganadero fue *Tectocephus velatus*, esta especie también fue encontrada en el control, pero en baja abundancia. Es una especie indicadora de altos niveles de disturbio ambiental antrópico (Behan-Pelletier, 1999; Rusek & Marshall, 2000). Algunos autores establecen a este género como indicador de condiciones de pastoreo (Altesor *et al.*, 2006). Además, muchos autores han reportado que las especies de oribátidos son sensibles al pastoreo por animales domésticos en ambientes esteparios, resultando suelos con bajo número de especies en comparación con los suelos naturales adyacentes (Chachaj & Seniczak, 2006; Corral-Hernandez & Iturrondobeitia, 2012).

La especie más abundante en el suelo con uso forestal fue *Oppiella (Oppiella) nova*. Según registros bibliográficos, altas densidades poblacionales de esta especie se encuentran en suelos forestados con una alta relación carbono/nitrógeno (McLean & Parkinson, 2000). Esta especie tiene la capacidad de reproducirse por partenogénesis (Marshall *et al.*, 1987; Kaneko, 1988), lo que podría explicar el gran número de individuos cuando encuentran las

condiciones propicias para desarrollarse. En suelos perturbados puede generarse el reemplazo de especies que requieren un ambiente estable, por otras con características *r*-estratega, que pueden alcanzar elevadas densidades en ambientes perturbados (Bedano *et al.*, 2004). La alta abundancia de esta especie ya fue registrada en otros trabajos sobre plantaciones en la estepa (Manzo *et al.*, 2015), lo que la señala como una especie indicadora propia de este tipo de disturbio en el ambiente estepario.

En resumen, se pueden establecer dos especies como posibles indicadoras de disturbio del suelo. Estas dos especies tienen caracteres morfológicos específicos que permiten una identificación relativamente fácil: *Oppilla nova* se la reconoce por la presencia de cristas en el margen anterior del notogaster y costulas en el prodorso, mientras que a *Tectocephus velatus* se la reconoce por el tegumento esculpido con areolas, lamellas anchas, casi paralelas y próximas al margen del prodorso.

#### *4.4. Relación entre taxones y variables ambientales bajo los diferentes usos*

El análisis de correlación revela que las variables ambientales y las especies separan claramente los usos del suelo, no así las estaciones. Las variables que quedaron seleccionadas por el CCA, son variables que se conocen como influyentes en la fauna del suelo. En adición, el aumento del pH y de la humedad del suelo, tienen una influencia significativa sobre el total de ácaros oribátidos en el sitio control y en el suelo con uso forestal, así como el aumento de la densidad aparente y de la temperatura media ambiental estuvieron asociadas al suelo con uso ganadero. La densidad aparente es una propiedad del suelo que está asociada a la porosidad del mismo, un aumento de la densidad es una disminución de la porosidad del suelo y esto está relacionada con el pisoteo de animales en el uso ganadero. Así, los oribátidos son menos abundantes en sitios disturbados comparados con los sitios naturales de estepa (Corral-Hernández & Iturrondobeitia, 2012).

## **5. CONCLUSIONES**

Este capítulo aporta información relevante sobre las especies de ácaros oribátidos asociadas a los distintos usos de suelo en la estepa de Chubut. Si bien es un estudio de caso y no se puede extrapolar a la región, es un estudio base para tener en consideración para futuros trabajos que se lleven a cabo en la provincia. Asimismo, se observaron diferencias

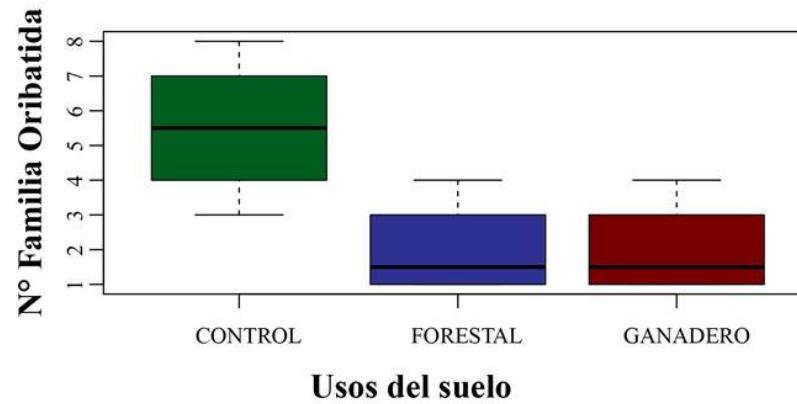
significativas entre los usos analizados y algunas métricas estimadas. Los distintos usos del suelo provocan cambios en sus propiedades físicas, químicas y biológicas, pudiendo llevar a una modificación y/o degradación de la estructura, y pudiendo a su vez perder, en el tiempo, la productividad del suelo como recurso. En este estudio se señalan dos posibles especies indicadoras de estos disturbios: *Tectocephus velatus* y *Oppiella (O.) nova*, asociadas a suelos con uso ganadero y forestal, respectivamente (Figura 36).

El impacto de la pérdida del hábitat y/o la degradación sobre los invertebrados es particularmente importante ya que estos constituyen, en general, la mayor parte de la biodiversidad del ecosistema suelo, además de jugar un rol protagónico en muchos procesos del ecosistema y como se pudo observar, los usos del suelo alteraron las comunidades de ácaros y, como consecuencia, esto puede modificar los procesos y roles que ellos desempeñan en el ambiente. Es de suma importancia la conservación, el cuidado y el manejo sustentable del suelo como recurso, y más en ambientes extremos como la estepa patagónica, donde constituyen el principal recurso renovable.

Actualmente es muy difícil encontrar sitios no perturbados en la estepa, por eso es de suma importancia hacer este tipo de estudios, para sentar líneas de base, evaluar, monitorear y buscar herramientas para la conservación de este ambiente históricamente usado y sobreexplotado. Asimismo, es importante resaltar que hacen falta más estudios para establecer indicadores biológicos fácilmente detectables en el suelo, para poder así, usar este recurso en el tiempo, de manera sustentable.



112 muestras de suelo de la estepa en diferentes usos de suelo, Patagonia, Argentina



Los usos del suelo condicionan significativamente el número de familia de oribátidos y la diversidad de Margalef



Control



Forestal



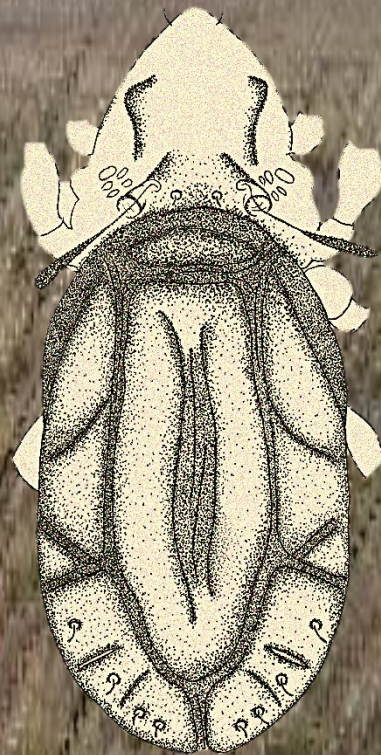
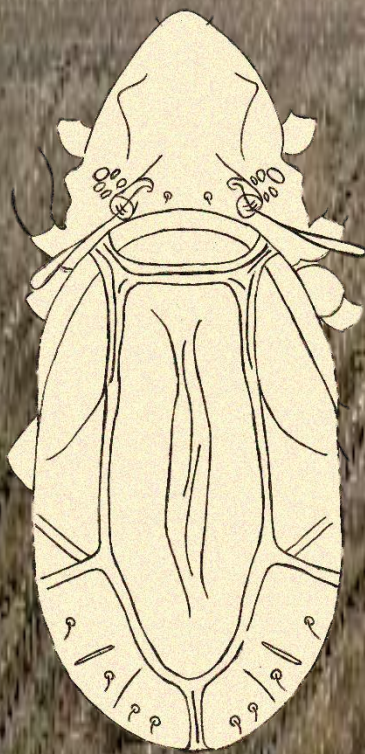
Ganadero

Especies bioindicadoras del uso del suelo

- *Oppiella nova*
- *Tectocephus velatus*

Figura 36: Esquema que muestra la correspondencia entre la riqueza de la mesofauna con respecto al control, el uso forestal y el uso ganadero y las especies que resultaron buenas indicadores de suelo en los usos analizados.

III. CAPÍTULO 3: *“Especies de ácaros oribátidos de la estepa de Chubut”*



## 1. INTRODUCCION

La exploración de la mesofauna edáfica en los ambientes áridos de la estepa patagónica comienza con Marie Hammer, quien publicó sus experiencias en el año 1962. En su publicación expresa su frustrada expectativa al encontrar relativamente pobres las muestras colectadas en estos sitios y atribuye estos resultados a la vegetación existente, espinosa y relativamente pobre, explicando de este modo que l

Los oribátidos son organismos sensibles a las sequías y que por tal motivo algunas de sus muestras no presentaron ni un solo ejemplar. Luego de la exploración de Marie Hammer, los estudios en la estepa patagónica fueron retomados aproximadamente 50 años más tarde, no así los estudios en las zonas boscosas cordilleranas que registran una mayor continuidad (Balogh & Csiszár, 1963; Kun *et al.*, 2010; Ruiz *et al.*, 2015; 2018). Recién en el año 2014 un grupo de investigadores de la Universidad Nacional de Mar del Plata y nuestro equipo de trabajo comenzamos con el relevamiento de la mesofauna edáfica de la estepa de la provincia de Chubut, haciendo hincapié principalmente en los ácaros oribátidos (Martínez *et al.*, 2015; Rizzuto & Manzo, 2018; Manzo *et al.*, 2019). En contraste con los resultados expresados por Marie Hammer, 50 años más tarde se encontraron una gran diversidad de taxones de ácaros oribátidos, asociados a diferentes condiciones ambientales y a diferentes especies de plantas vasculares. Además, en la actualidad, están siendo considerados importantes como indicadores biológicos del estado de salubridad del suelo, en estos ambientes con condiciones ambientales extremas.

Los estudios de la fauna oribatológica en la Argentina es limitada comparada con otras partes del mundo (Kun *et al.*, 2010). La región montañosa ha sido previamente prospectada por Hammer (1962b) quien colectó material en Llao-Llao, Bariloche (Rio Negro), por Balogh y Csiszár (1963) quienes analizaron muestras de El Hoyo (Chubut), El Bolsón y Ñorquinco (Rio Negro). Entre estos tres autores se llega a un total de alrededor de 60 especies. Recientemente Kun *et al.* (2010) citaron aproximadamente de 55 especies en el este de Rio Negro, mientras que Ruiz *et al.* (2015, 2018) citaron alrededor de 28 especies para Chubut y Tierra del Fuego. En la mayoría de los casos mencionados se analizaron muestras de la región Andina, no de la estepa patagónica. Es por ello que este capítulo resulta de gran importancia, ya que contribuye al conocimiento de base de las especies de Oribatida presentes en la estepa de Chubut.

## **1.1. OBJETIVO**

El objetivo del presente capítulo es proveer información taxonómica de las especies de ácaros oribátidos presentes en la estepa patagónica del oeste de la provincia de Chubut, Argentina.

## **2. MATERIALES Y MÉTODOS**

El área de estudio está localizada en el oeste de la Provincia de Chubut. Las muestras fueron recolectadas de una estepa gramínea y una estepa arbustiva (Ver metodología de muestreo en Capítulo 1) y en suelo bajo explotación ganadera, bajo uso forestal y un sitio control (Ver metodología de muestreo en CAPITULO 2: ). Los ejemplares fueron montados en ácido láctico para su identificación taxonómica. Además, se tomaron fotos a partir del microscopio LEICA ICC50 HD.

## **3. RESULTADOS**

Un total de 23 especies fueron encontradas en todos los muestreos realizados tanto en el muestreo de estepa gramínea y estepa arbustiva (Ver capítulo 1) como en el de usos de suelo (ver capítulo 2), resultado de un total de 280 muestras. A continuación, se detallan las especies de ácaros oribátidos encontradas, se agrega información sobre el número de individuos (entre paréntesis), otros registros para Argentina (tomado de Fredes, 2018), distribución (tomados de Subías 2004, actualización en línea 2019) y comentarios sobre si se trata de un primer registro para la provincia o el país resaltadas en negrita, así como imágenes de cada taxón.

### ***Aphelacaridae* Grandjean, 1954**

#### ***Aphelacarus* Grandjean, 1932**

- *Aphelacarus acarinus* (Berlese, 1910)

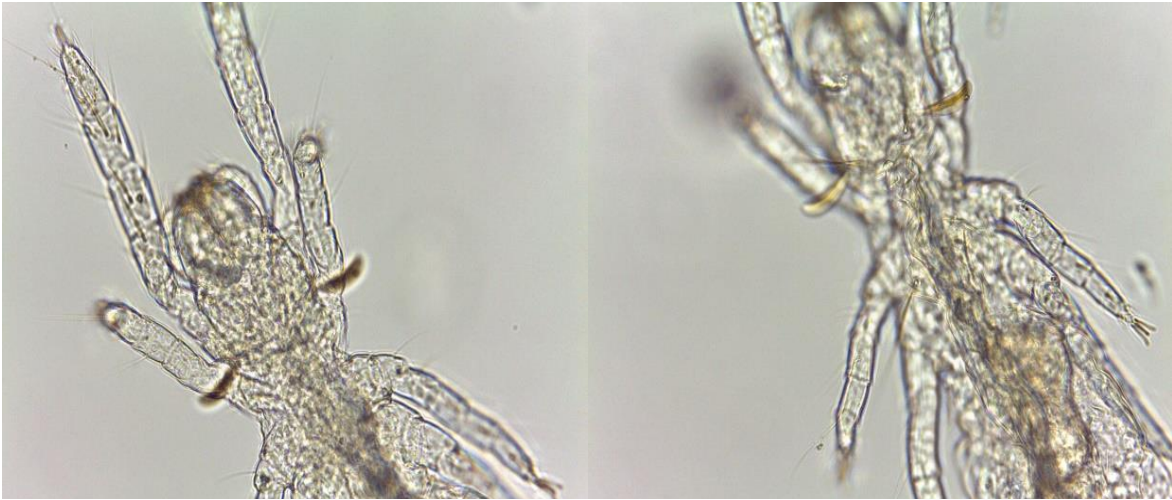
Material estudiado: Esquel: suelo desnudo (8), *Adesmia campestris* (3), *Pappo* sp. (3), *Mulinum spinosum* (17), *Nassauvia* sp. (3), *Senecio filaginoides* (1); Gobernador Costa: suelo desnudo (8), *Junellia patagonica* (22), *Mulinum spinosum* (15), *Pappo* sp. (11); Alto Rio

Senguer: suelo desnudo (12), *Senecio filaginosa* (18), *Mulinum spinosum* (22), *Pappo* sp. (1), *Junellia patagonica* (6), *Berberis heterophylla* (6). La especie se encontró en estepa gramínea y arbustiva. En cuanto a los usos de suelo: se encontró en el suelo control (estepa gramínea) (6) y suelo con uso forestal (4).

Registros en Argentina: Buenos Aires.

Distribución: semi-cosmopolita (Holártica: menos frecuente en el Norte, Etiópica y Neotropical).

Comentarios: **Primer registro para la provincia de Chubut** (Figura 37).



**Figura 37:** *Aphelacarus acarinus*. Vista dorsal.

**Adelphacaridae Grandjean, 1954**

***Adelphacarus* Grandjean, 1952**

- ***Adelphacarus sellnicki* Grandjean, 1952**

Material estudiado: la especie se la encontró únicamente en el suelo control (correspondiendo a una estepa gramínea) (1).

Registros en Argentina: Buenos Aires.

Distribución: Paleártica y Neotropical.

Comentarios: **Primer registro para la provincia de Chubut** (Figura 38).



**Figura 38:** *Adelphacarus sellnicki*. Vista dorsal.

### **Cosmochthoniidae Grandjean, 1946**

#### ***Cosmochthonius* Berlese, 1910**

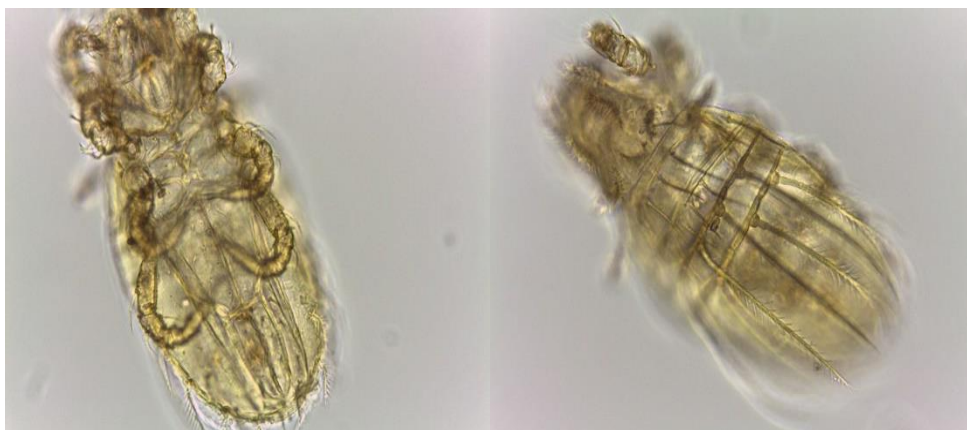
- *Cosmochthonius plumatus suramericanus* **Hammer, 1958**

Material estudiado: Esquel: *Mulinum spinosum* (4), *Adesmia campestris* (5); Gobernador Costa: *Mulinum spinosum* (1); Alto Rio Senguer: suelo desnudo (1). Solo se encontró la especie en una estepa arbustiva. En cuanto a los usos de suelo: se encontró en el suelo control (estepa gramínea) (3).

Registros en Argentina: Salta.

Distribución: Neotropical, U.S.A. (Nuevo Méjico), e India (Tripura).

Comentarios: **Primer registro para la Provincia de Chubut** (Figura 39).



**Figura 39:** *Cosmochthonius plumatus suramericanus*. Vista ventral (lado izquierdo, vista dorsal (lado derecho).

### **Brachychthoniidae Thor, 1934**

#### ***Sellnickochthonius* Krivolutsky, 1964**

- *Sellnickochthonius foliatus* (**Hammer, 1958**)

Material estudiado: Alto Rio Senguer: *Senecio filaginoides* (1). Solo se la encontró en una estepa arbustiva.

Registros en Argentina: Córdoba, Rio Negro, Santa Cruz.

Distribución: Neotropical y en Nueva Zelanda.

Comentarios: **Primer registro para la Provincia de Chubut.**

**Haplochthoniidae van der Hammen, 1959**

***Haplochthonius (Haplochthonius) Willmann, 1930***

- *Haplochthonius clavatus* (Hammer, 1958)

Material estudiado: Esquel: *Adesmia campestris* (2). La especie fue encontrada solo en estepa gramínea.

Registros en Argentina: Buenos Aires, Salta.

Distribución: Neotropical, India y España.

Comentarios: **Primer registro para la Provincia de Chubut** (Figura 40)



**Figura 40:** *Haplochthonius clavatus*. Vista dorsal.

**Crotoniidae Thorell, 1876**

***Camisia* Heyden, 1826**

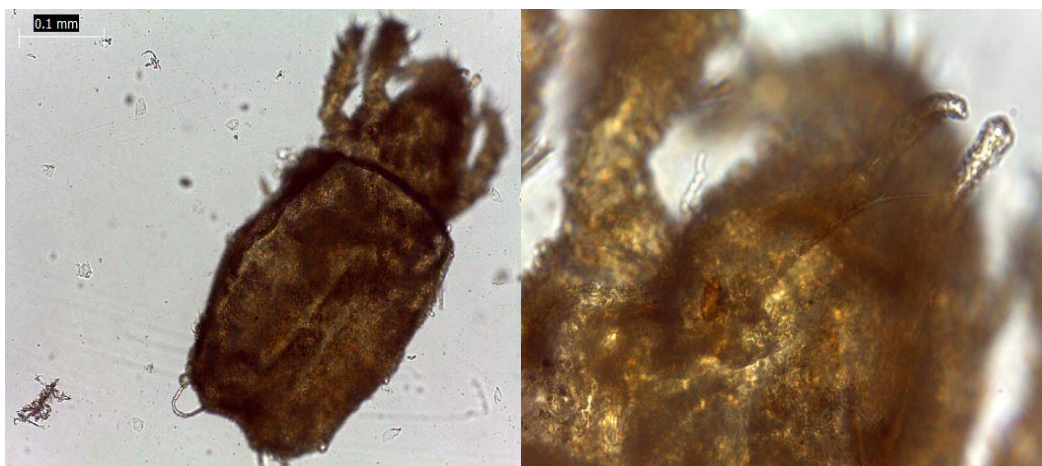
- *Camisia segnis* (Hermann, 1804)

Material estudiado: Esquel: suelo desnudo (4); Gobernador Costa: *Senecio filaginoides* (1); Alto Rio Senguer: *Pappo* sp. (1). La especie se la encontró solo en estepa arustiva. En cuanto a los usos de suelo, se encontró en el suelo control (estepa gramínea) (2) y en el suelo con uso forestal (1).

Registros en Argentina: Mendoza y Rio Negro.

Distribución: Semicosmopolita.

Comentarios: **Primer registro para la Provincia de Chubut** (Figura 41)



**Figura 41:** *Camisia segnis*. Vista dorsal (Izquierda), vista del prodorso (derecha).

**Scutoverticidae Grandjean, 1954**

***Hypovortex* Krivolutsky, 1969**

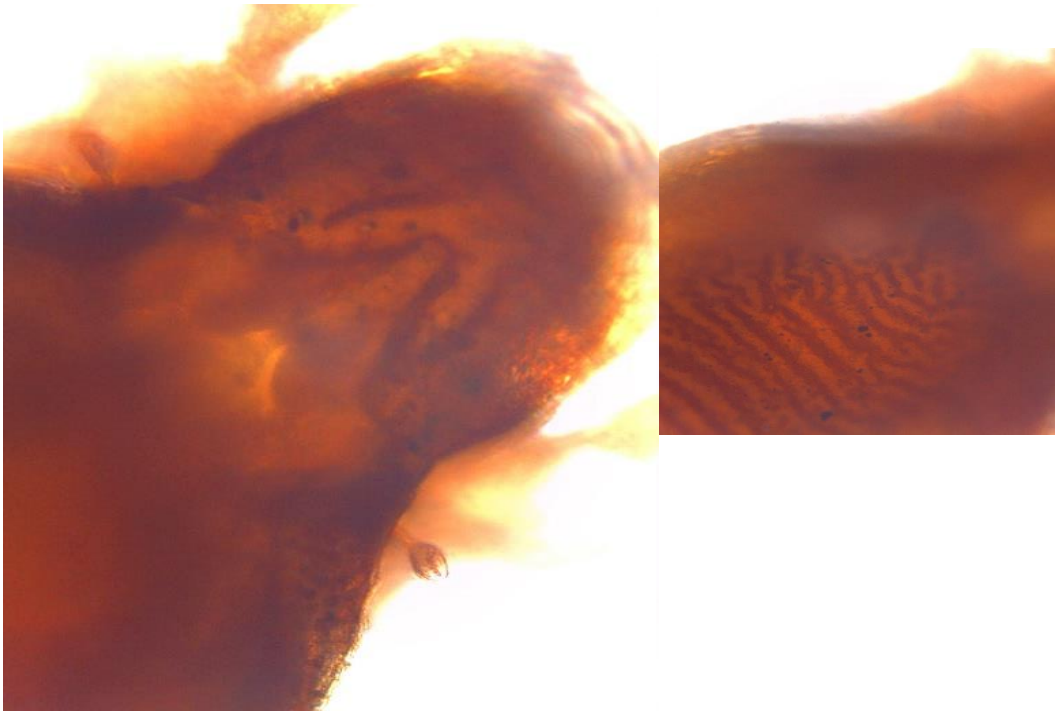
- *Hypovortex transversalis* (Balogh y Csiszár, 1963)

Material estudiado: Alto Rio Senguer: suelo desnudo (3). Solo se encontró la especie en una estepa gramínea.

Registro en Argentina: Rio Negro.

Distribución: Neotropical (Argentina) y Oriental (India: Bengala Occidental).

Comentarios: **Primer registro para la Provincia de Chubut** (Figura 42).



**Figura 42:** *Hypovortex transversalis*. Vista dorsal del prodorso

**Pherolioidae Paschoal, 1987**

***Pheroliodes* Grandjean, 1931**

- *Pheroliodes neuquinus* **Baranek, 1986**

Material estudiado: Gobernador Costa: *Senecio filaginoides* (1). La especie fue encontrada en estepa arbustiva.

Registro en Argentina: Neuquén y Río Negro.

Distribución: Argentina.

Comentarios: **Primer registro para la Provincia de Chubut** (Figura 43).



**Figura 43:** *Pheroliodes neuquinus*. Vista dorsal (izquierda), vista del prodorso (derecha)

- *Pheroliodes minutus* Baranek, 1984

Material estudiado: Esquel: *Pappo* sp. (18). La especie fue encontrada en estepa gramínea.

Registro en Argentina: Buenos Aires.

Distribución Neotropical (Argentina y México).

Comentarios: **Primer registro para la Provincia de Chubut** (Figura 44).



**Figura 44:** *Pheroliodes minutus*. Vista dorsal (izquierda), vista del prodorso (derecha).

**Anderemaeidae Norton & Ermilov, 2019**

***Anderemaeus* Hammer, 1958**

- *Anderemaeus magellanicus* **Hammer, 1962**

Material estudiado: Esquel: *Pappo* sp. (1); Gobernador Costa: *Acaena splendens* (1). La especie fue encontrada en estepa gramínea.

Registro en Argentina: Río Negro y Tierra del Fuego.

Distribución: Neotropical austral.

Comentarios: **Primer registro para la Provincia de Chubut.**

**Licnodamaeidae Grandjean, 1954**

***Licnodamaeus* Grandjean, 1931**

- *Licnodamaeus granulatus* **Balogh & Csiszár 1963**

Material estudiado: Esquel: suelo desnudo (1); Gobernador Costa: *Mulinum spinosum* (2). La especie se la encontró solo en estepa arbustiva. En cuanto a los usos de suelo, se la encontró en el suelo control (estepa gramínea) (137) y en el suelo con uso ganadero (1).

Registro en Argentina: Río Negro.

Distribución: Neotropical austral e Irán.

Comentarios: **Primer registro para la Provincia de Chubut** (Figura 45).



**Figura 45:** *Licnodamaeus granulatus*. Vista dorsal

**Thyrisomidae Grandjean, 1953**

***Banksinoma* Oudemans, 1930**

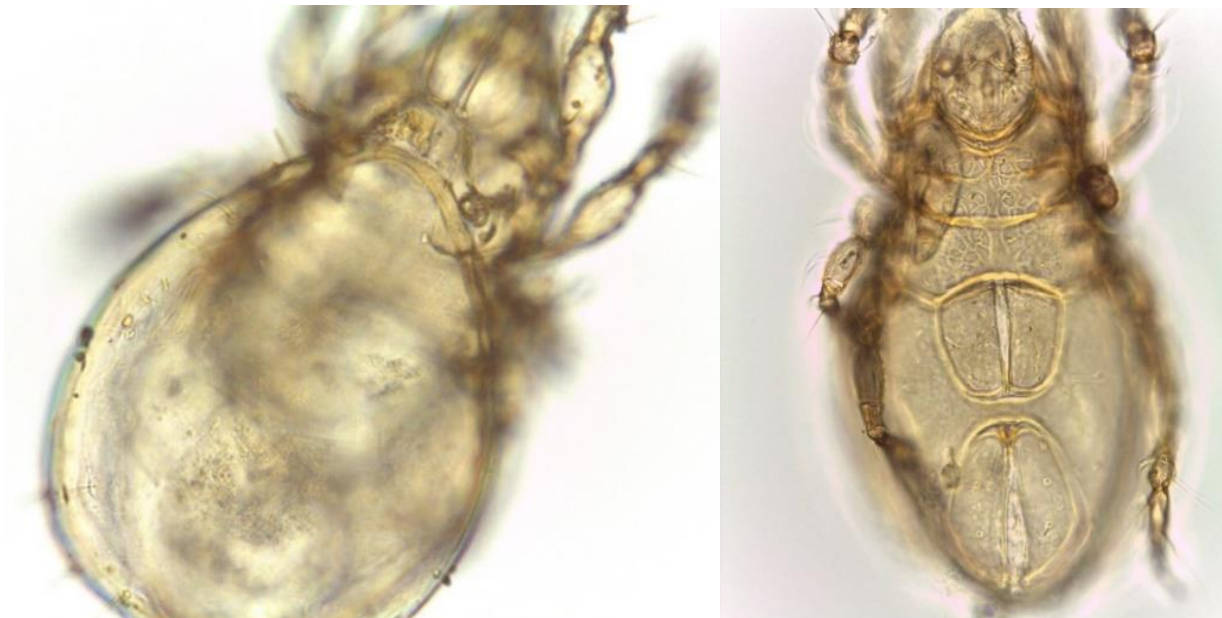
- *Banksinoma arcuatum* (Hammer 1958)

Material estudiado: Esquel: suelo desnudo (1), *Pappo* sp. (1), *Acaena splendens* (3); Alto Rio Senguer: *Senecio filaginoides* (4). La especie fue encontrada tanto en estepa gramínea como en estepa arbustiva.

Registro en Argentina: Mendoza y Río Negro.

Distribución: Argentina.

Comentarios: **Primer registro para la Provincia de Chubut** (Figura 46).



**Figura 46:** *Banksinoma arcuatum*. Vista dorsal (izquierda), vista ventral (derecha)

**Oxyoppiinae Subías, 1989**

***Subiasella* Balogh, 1983**

- *Subiasella tenuis* (Hammer, 1958)

Material estudiado: Esquel: *Azorella monantha* (4). La especie fue encontrada en estepa arbustiva.

Registro en Argentina: Mendoza, Río Negro y Salta.

Distribución: Argentina.

Comentarios: **Primer registro para la Provincia de Chubut** (Figura 47).



**Figura 47:** *Subiasella tenuis*. Vista dorsal prodorso (izquierda), vista dorsal del cuerpo (derecha).

**Oppiidae Grandjean, 1951**

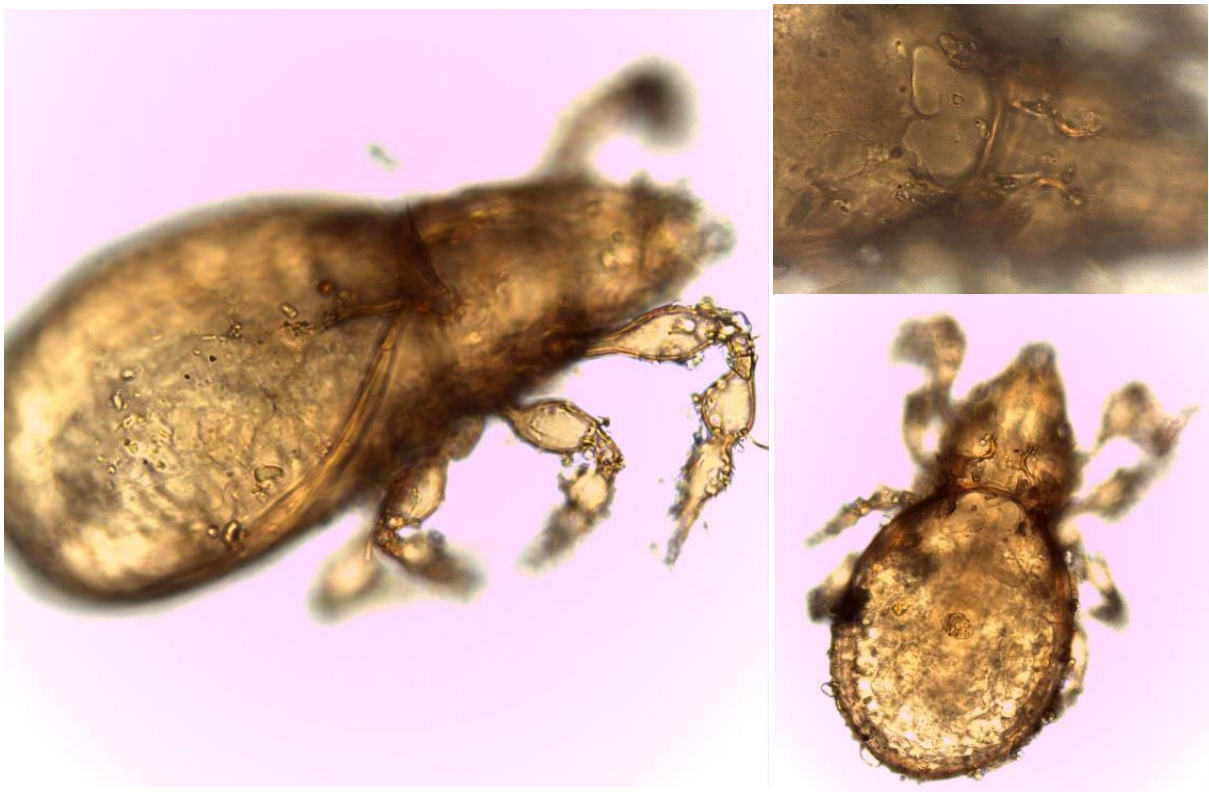
***Oppiella* Jacot, 1937**

- *Oppiella nova* (Oudemans, 1902)

Material estudiado: Gobernador Costa: suelo desnudo (2), *Junellia patagonica* (1); Alto Rio Senguer: *Pappo* sp. (1). La especie fue encontrada en estepa arbustiva. En cuanto a los usos de suelo, se la encontró en el suelo control (estepa gramínea) (1) y en suelo con uso forestal (19).

Registro en Argentina: Buenos Aires, Chubut y Río Negro.

Distribución: Cosmopolita (Figura 48).



**Figura 48:** *Oppiella nova*. Vista dorsolateral (izquierda), vista dorsal del prodorso y costulas (derecha arriba), vista dorsal (derecha abajo).

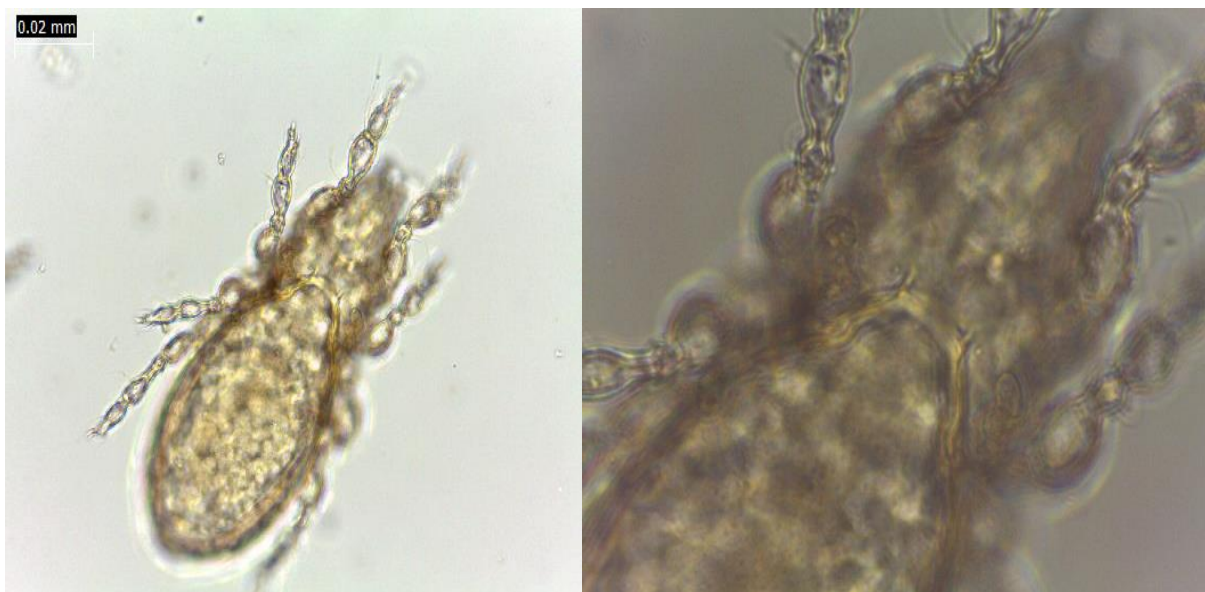
### ***Microppia* Balogh, 1983**

#### **- *Microppia minus* (Paoli, 1908)**

Material estudiado: Esquel: suelo desnudo (3), *Pappo* sp. (31); Gobernador Costa: suelo desnudo (1), *Pappo* sp. (1); Alto Rio Senguer: suelo desnudo (5), *Senecio filaginoides* (12), *Berberis heterophylla* (1), *Pappo* sp. (1). La especie fue encontrada en estepa arbustiva y gramínea. En cuanto a los usos de suelo, se la encontró únicamente en el suelo con uso forestal (11).

Registro en Argentina: Buenos Aires, Chubut, Misiones y Río Negro.

Distribución: Cosmopolita (Figura 49).



**Figura 49:** *Microppia minus*. Vista dorsal del cuerpo entero (izquierda), vista dorsal prodorso (derecha).

### ***Austroppia* Balogh, 1983**

#### **- *Austroppia petrohuensis* (Hammer, 1962)**

Material estudiado: Gobernador Costa: *Pappo* sp., (2); Alto Rio Senguer: *Junellia patagonica* (1). La especie fue encontrada tanto en estepa gramínea como en arbustiva.

Registros en Argentina: Río Negro.

Distribución: Neotropical.

Comentarios: **Primer registro para la Provincia de Chubut.**

***Membranoppia (Membranoppia) Hammer, 1968***

- *Membranoppia (Membranoppia) tuxeni* (Hammer, 1968)

Material estudiado: suelo control (estepa gramínea) (1).

Registro en Argentina: Chubut, Tierra del Fuego (Ruiz *et al.*, 2018).

Distribución: Australiana, Oriental y Neotropical (Argentina) (Figura 50).



**Figura 50:** *Membranoppia (Membranoppia) tuxeni*. Vista dorsal del cuerpo entero (izquierda), vista dorsal de las líneas lamelares del prodorso (derecha arriba), vista dorsal del prodorso (derecha abajo).

***Graptoppia* Balogh, 1983**

- *Graptoppia (Stenoppia) multicorrugata* (Hammer, 1962)

Material estudiado: la especie fue encontrada en el suelo control (estepa gramínea) (7).

Registro en Argentina: Chubut (Ruiz *et al.*, 2018)

Distribución: Neotropical (Argentina, Chile) (Figura 51)



**Figura 51:** *Graptoppia (Stenoppia) multicorrugata*. Vista dorsal.

***Lanceoppia (Baioppia) Luxton, 1985***

- *Lanceoppia (Baioppia) moritzi* Hammer, 1968

Material estudiado: Alto Rio Senguer: *Mulinum spinosum* (6). La especie fue encontrada en estepa arbustiva.

Registro en Argentina: primer registro de la especie para Argentina (Chubut).

Distribución: Nueva Zelanda

Comentarios: **primer registro de la especie para Argentina y Chubut** (Figura 52).



**Figura 52:** *Lanceoppia (Baioppia) moritzi*. Vista dorsal

**Tectocepheidae Grandjean, 1954**

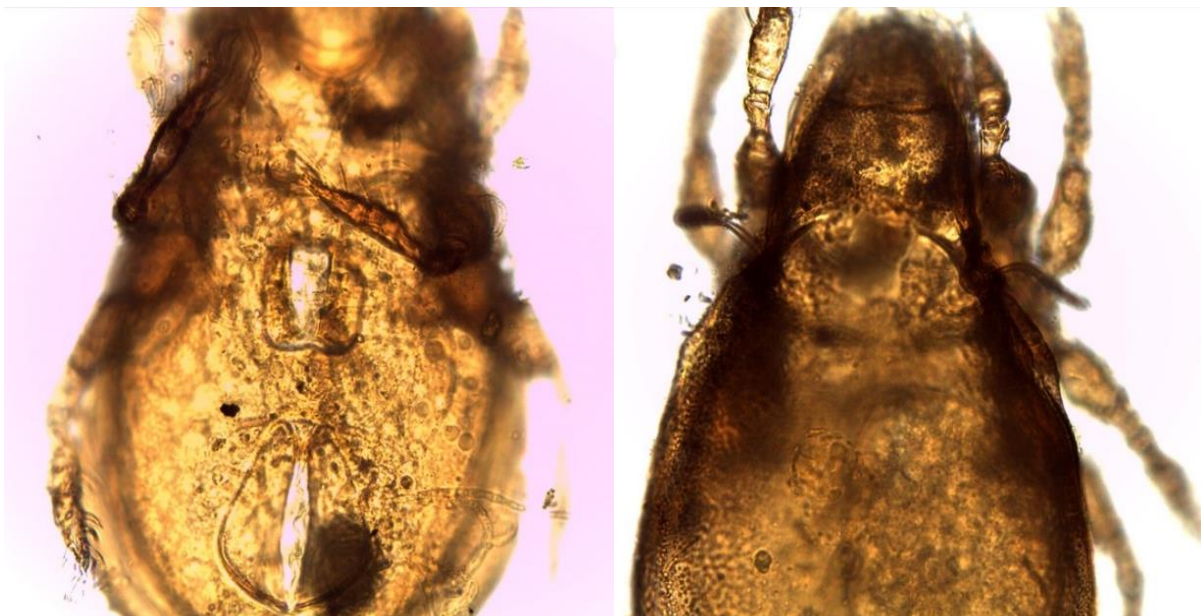
***Tectocepheus* Berlese, 1896**

- *Tectocepheus velatus* (Michael, 1880)

Material estudiado: Esquel: *Chuquiraga aurea* (1), *Pappo* sp. (1); Gobernador Costa: *Pappo* sp. (1), *Acaena splendens* (1), *Azorella monantha* (2); Alto Rio Senguer: *Senecio filaginoides* (4), *Azorella prolifera* (1), *Pappo* sp. (1). La especie fue encontrada tanto en estepa gramínea como en estepa arbustiva. En cuanto a los usos de suelo, se la encontró en el suelo control (estepa gramínea) (9) y en el suelo con uso ganadero (11).

Registro en Argentina: Buenos Aires, Chubut, Entre Ríos, Misiones, Río Negro, región subantártica.

Distribución: Cosmopolita (Figura 53).



**Figura 53:** *Tectocepheus velatus*. Vista ventral (izquierda), vista dorsal (derecha).

**Protoribatidae J. y P. Balogh, 1984**

***Totobates* Hammer, 1961**

- *Totobates elegans* (Hammer, 1952)

Material estudiado: Esquel: *Pappo* sp. (3), *Azorella monantha* (4).

Registros en Argentina: Mendoza, Rio Negro.

Distribución: Austral (Argentina y Antártida).

Comentarios: **Primer registro para la Provincia de Chubut** (Figura 54).



**Figura 54:** *Totobates elegans*. Vista ventral (izquierda), vista dorsal (derecha).

**Haplozetidae Grandjean, 1936**

***Tuxenia* Hammer, 1958**

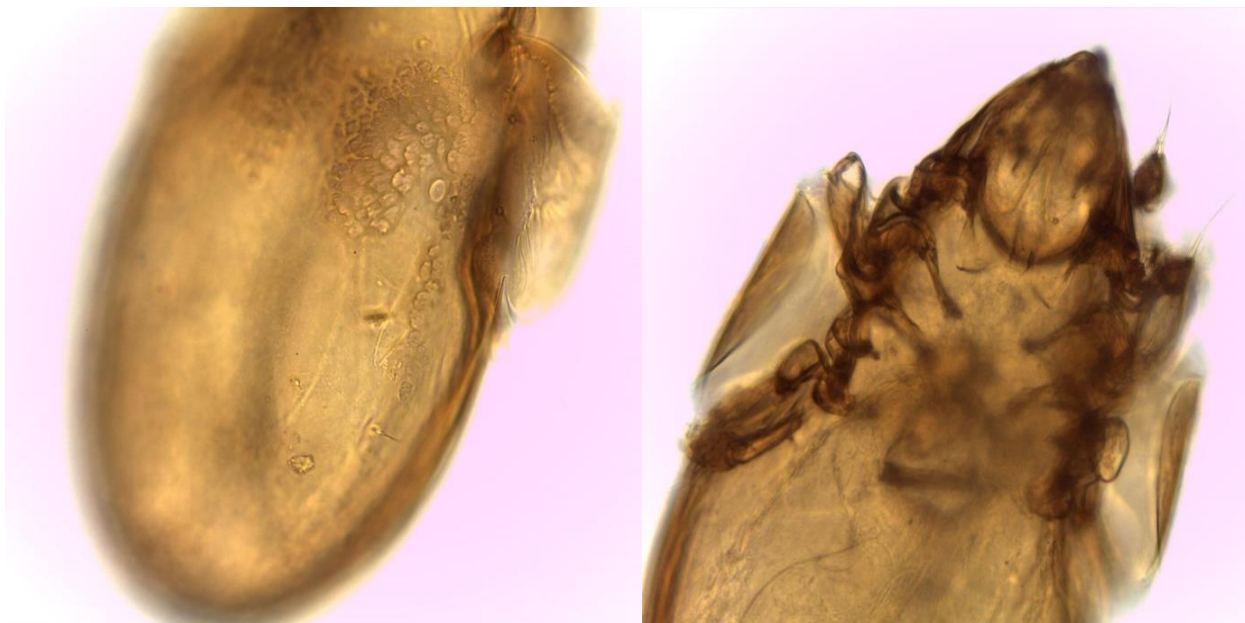
- *Tuxenia complicata* **Hammer, 1958**

Material estudiado: Esquel: *Pappo* sp. (6); Alto Rio Senguer: 3 *Pappo* sp. (3). La especie fue encontrada tanto en estepa gramínea como estepa arbustiva.

Registro en Argentina: Tierra del Fuego.

Distribución: Neotropical austral y subantártica.

Comentarios: **Primer registro para la Provincia de Chubut** (Figura 55).



**Figura 55:** *Tuxenia complicata*. Vista dorsal (izquierda), vista ventral (derecha).

**Gerloubia Coetzer, 1968**

***Gerloubia (Monophauloppia) P. Balogh, 1988***

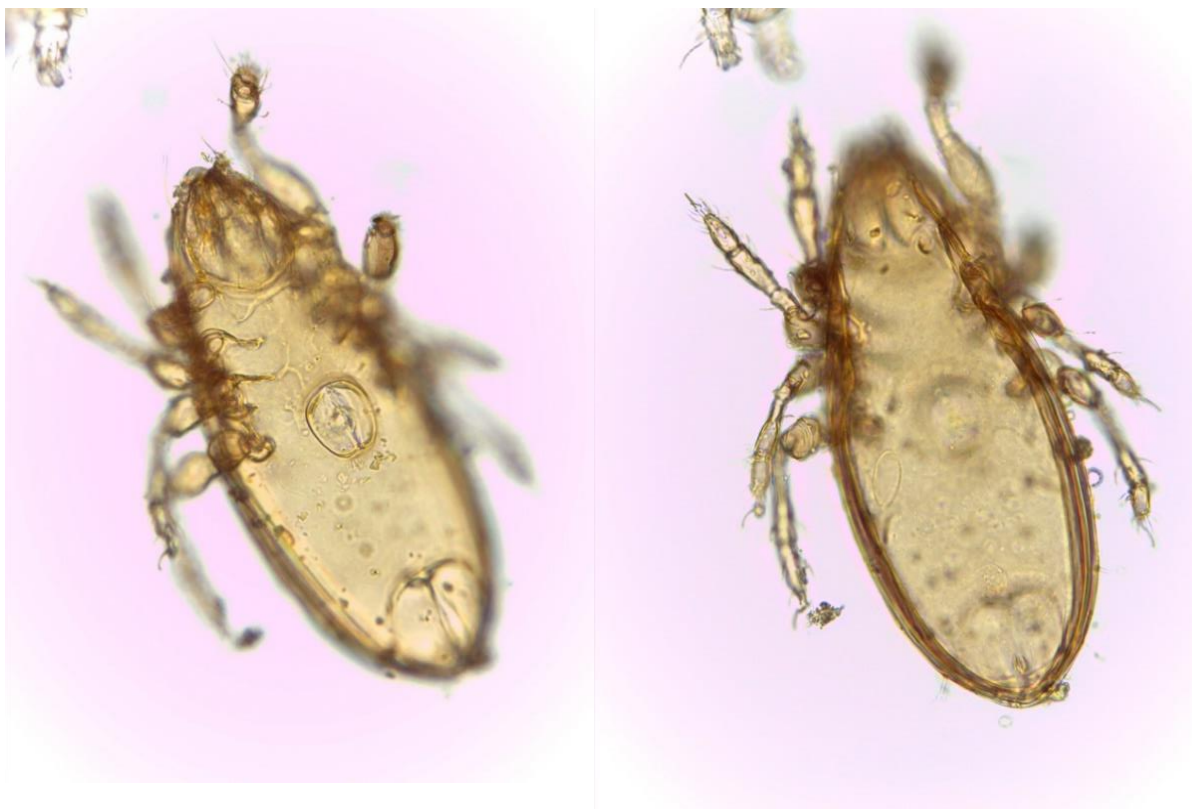
- *Gerloubia (Monophauloppia) bicuspidata* (Hammer 1958)

Material estudiado: Esquel: suelo desnudo (4); Gobernador Costa: Suelo desnudo (3), *Pappo* sp. (8); Alto Rio Sneguer: Suelo denudo (19), *Berberis microrophylla* (11), *Pappo* sp. (3), *Senecio filaginoides* (1), *Acaena splendens* (1). La especie se la encontró en estepa arbustiva y gramínea. En cuanto a los usos de suelo, se la encontró en el suelo control (estepa gramínea) (29), en el suelo con uso forestal (4) y en el suelo con uso ganadero (1).

Registros en Argentina: Mendoza, Río Negro.

Distribución en Argentina y U.S.A. (California).

Comentarios: **Primer registro para la Provincia de Chubut** (Figura 56).



**Figura 56:** *Gerloubia (Monophauloppia) bicuspidata*. Vista ventral (izquierda), vista dorsal (derecha).

#### 4. DISCUSIÓN

De las especies identificadas, tres son endémicas de Argentina: *Banksinoma arcuatum*, *Subiasella tenuis* y *Pheroliodes neuquinus*. La especie *B. arcuatum* fue encontrada primeramente por Hammer (1958) en el Río Atuel, Mendoza y también por Fredes *et al.* (2009) en ambientes áridos bajo especies gramíneas y asociadas a la vegetación en Miramar, Buenos Aires, mientras que en este trabajo se la encontró en la estepa gramínea y en la arbustiva, y en el suelo control que es una estepa gramínea también. La especie *S. tenuis*, fue encontrada también por Hammer (1958) en el Río Atuel bajo briofitas y en San Antonio de los Cobres en Salta, Mahunka (1980) la encontró en el bosque de *Nothofagus pumilio* en el Monte Susana, Tierra del Fuego y fue encontrada por Kun *et al.*, (2010) en bosque de *Austrocedrus chilensis* en Bariloche, Río Negro, mientras que en este estudio se la encontró distribuida solo en la estepa arbustiva bajo *Azorella monantha*. La especie *P. neuquinus* fue descrita por Baranek (1986) en Chapelco en el Parque Nacional Lanín, Neuquén, y también en muestras de corteza de *Nothofagus pumilio* y *Myrceugenia exucca*. Kun *et al.*, (2010) también la encontraron bajo suelo de bosque de *Nothofagus dombeyi* en Bariloche, Río Negro, y en este trabajo se la encontró solo bajo *Senecio filaginoides* en la estepa arbustiva. Las dos últimas especies (*S. tenuis* y *P. neuquinus*) ocupan una mayor diversidad de hábitat dentro del territorio argentino, ya que fueron encontradas, no solamente en suelos de estepa, sino también de bosques nativos y en corteza de árboles, mientras que *B. arcuatum* tiene una distribución solo limitada a ambientes áridos de la Argentina.

Estas tres especies representan el 14 % del total de especies identificadas, mientras que en ambientes de bosques de la zona cordillerana el grado de endemismo es de alrededor del 25 % (Kun, 2010), esto es un resultado relevante a la hora de resaltar el grado de endemismo del área biogeográfica de la Provincia Patagónica, representada fundamentalmente por el ambiente de estepa, considerando que es un ambiente sometido a explotación ganadera desde mediados del siglo XIX (Soriano, 1956).

En cuanto a las especies cosmopolitas o semic cosmopolitas (Subías 2004, actualización en línea 2018) se encontraron 5 especies, representando el 23 % del total de especies identificadas, las especies fueron las siguientes: *Aphelacarus acarinus*, *Camisia segnis*, *Oppiella nova*, *Micropoppia minus* y *Tectocephus velatus*. La especie más abundante

fue *A. acarinus*, esta especie ha sido encontrada en otros ambientes áridos como el desierto de Chihuahua (Kamill *et al.*, 1986), el Parque Nacional Joshua Tree en el sur de California (Wallwork, 1972) y en la Cordillera de los Andes y la costa de Chile (Covarrubias, 2010). Esta especie fue encontrada en todas las condiciones analizadas en este estudio, fue la más abundante, corroborando que es una especie característica de ambientes de estepa o de zonas de desierto (Kinnear, 1991; Steinberg, 1990; Steinberg & Whitford, 1985). En adición, Grandjean (1950), la considera como una especie doméstica, ya que la encontró en el interior de las casas, en los Pirineos franceses. *Camisia segnis* es una especie típicamente arborícola (Grandjean, 1950), muy común en la región Holártica, encontrándose en el suelo de manera accidental (André *et al.*, 1984). Asimismo, Hammer (1958) la encontró en gran número en suelos en ambientes húmedos de Bolivia y Beck (1962) en un ambiente árido, pero asociada a musgos y rocas en el lago Titicaca, Perú. En Europa, *C. segnis* está asociada con líquenes de corteza en donde permanece con baja actividad en los periodos secos y se reactiva en periodos húmedos (Grandjean, 1950), indicando su resistencia a condiciones de sequía. Las especies *O. nova*, *M. minus* y *T. velatus* son encontradas en todo tipo de suelos y climas, siendo resistentes a diversas condiciones (Lindberg & Bengtsson, 2005; Prinzing *et al.*, 2002; Webb 1994). Su adaptación a dichas condiciones está atribuida, entre otras cosas, a su reproducción partenogenética y a su dieta generalista (Norton & Palmer, 1991; Siepel, 1994) considerándolas como especies oportunistas (Kun, 2012). A pesar de su gran adaptación a diferentes condiciones, *M. minus* fue encontrada en casi todas las condiciones ambientales de la estepa, tanto en suelo desnudo como en suelo cubierto, pero en bajas abundancias y con respecto a los usos, solo fue encontrada en el suelo bajo uso forestal y también con bajas abundancias; *O. nova* fue solo encontrada en el suelo de estepa arbustiva y bajo cobertura vegetal, mientras que con respecto a los usos de suelo, fue hallada en el suelo control pero dominando el uso forestal, esto concuerda con otros hallazgos en suelo forestados de la estepa patagónica (Manzo *et al.*, 2015); en el caso de *T. velatus*, fue solo encontrada en el suelo bajo cobertura vegetal, y con respecto a los usos del suelo, fue hallada en el suelo control pero dominando el suelo con uso ganadero.

De las especies identificadas, 45,5 % presentan una distribución americana, 23 % cosmopolita o semicospopolita, y 31,5 % presentan otras distribuciones. Este alto nivel de endemismo de la región americana concuerda con el conocimiento actual de la tendencia de

la distribución mundial de ácaros oribátidos en la cual la vasta mayoría de las especies (alrededor de 90 %) está restringida a una región zoogeográfica (Schatz, 2004).

*Gerloubia (Monophauloppia) bicuspidata* fue la segunda especie abundante y se encontró distribuida en todos los ambientes analizados, en los dos tipos de estepa, en suelo desnudo como en suelo cubierto, como así también en el suelo control y el suelo con uso forestal y ganadero. Esta especie fue colectada originalmente en un ambiente de estepa por Hammer (1958) en el Río Atuel, Mendoza, bajo una planta muy seca en forma de cojín. Luego fue encontrada también por Kun *et al.* (2010) en bosque de *Austrocedrus chilensis* en la provincia de Río Negro. Además, en el presente trabajo fue encontrada bajo varias especies vegetales, tales como *S. filaginoides*, *Pappo* sp., *A. splendens*, y *B. microrophylla*. Esta especie también fue citada para California, USA, aunque algunos autores dudan de esta información (Subías, 2011; Kun, 2012). Asimismo, se podría decir que tiene una distribución amplia, pero es una especie típica de estepa, por lo menos en nuestro continente y particularmente en nuestra provincia.

Las familias y géneros mejor representados asociados a los ambientes áridos y semiáridos de la provincia de Chubut, fueron: las familias Brachychthoniidae, Licnodamaeidae, y Passalozetidae, y los géneros *Brachychthonius*, *Licnodamaeus*, y *Passalozetes*. Asimismo, las especies colectadas también pueden ser agrupadas, en *sentido amplio*, como “*especies generalistas cosmopolitas*” particularmente no asociadas únicamente a un ambiente árido como lo fueron *O. nova*, *M. minus* y *T. velatus*; “*especies con una distribución geográfica más limitada*”, es decir especies presentes tanto en ambientes áridos como húmedos, como *P. neuquinus* y *G. (M.) bicuspidata*, y “*especies características de ambientes áridos*” como lo fueron Brachychthoniidae spp., Licnodamaeidae spp., *Aphelacarus acarinus*, *Banksinoma arcuatum*, *Passalozetes* sp. y *Scutovertex* spp. siendo estos últimos taxones de gran importancia para ampliar el conocimiento de la distribución de aquellos ácaros oribátidos que presentan una distribución limitada a un ambiente, en este caso a un ambiente árido.

El conocimiento de los oribátidos del suelo en Argentina es limitado si se compara con otras partes del mundo, por ejemplo, en España hay descritas 994 especies, más del doble de especies de oribátidos que en la Argentina y el territorio es la tercera parte de nuestro

país (Subías, 2018). Si bien el conocimiento de la fauna de oribátidos de España es una de las más ricas del mundo, se siguen encontrando nuevos y más hallazgos (Subías, 2018). Este es un punto a tener de referencia para seguir profundizando en la investigación de esta fauna oribatológica en nuestro país.

## **5. CONCLUSIÓN**

Este capítulo aporta datos taxonómicos sobre las especies encontradas en los ambientes áridos de Chubut. De los 48 taxones hallados, 23 fueron identificadas hasta especie, 24 hasta nivel de género y uno fue a nivel de familia. Esta limitación a la hora de la identificación se debió, en general, 1) a la existencia de algunas claves con descripciones incompletas de especies, en las cuales, solo se presenta información sobre la vista dorsal de las mismas y no de la vista ventral, patas, etc., 2) a contar con pocos ejemplares de algunas especies, como el caso de *Neoliodes* sp., *Crotonia* sp., de las que se colectó solo un individuo y a pesar de que son especies de gran tamaño, son muy esclerotizadas y es difícil la identificación a partir de un solo ejemplar y, 3) por tratarse de posibles nuevas especies para la ciencia. Por estos motivos es de suma importancia realizar trabajos descriptivos y seguir relevando la fauna presente en nuestros suelos, para poder contar con nuevas claves y listados taxonómicos de nuestra región, esto permitirá sentar una base taxonómica de la fauna propia de esta región biogeográfica, para a partir de allí sentar líneas de base para futuros trabajos de investigación.

Además, como son suelos poco investigados y únicos por sus condiciones, es muy probable que muchas especies que se encuentren en estas zonas sean especies nuevas para la ciencia, lo que implica un incremento del conocimiento de las especies endémicas de nuestra región. Un conocimiento adecuado de las especies que viven en los suelos de la estepa resulta fundamental para poder monitorear la degradación de este ambiente y planificar medidas apropiadas para su conservación y/o uso consciente del suelo como recurso económico.

## **IV. CONCLUSIONES GENERALES**



El suelo de la estepa patagónica se caracteriza por presentar textura arenosa, escasa materia orgánica y parches de vegetación rodeados de suelo desnudo. Todas estas características de la estepa, sumado a las condiciones climáticas extremas, bajas precipitaciones y altas temperaturas, hacen que este suelo sea poco resiliente a los disturbios. En este contexto, para un mejor aprovechamiento de este recurso y de los servicios que provee, resulta de suma importancia contribuir al conocimiento del ecosistema suelo y desarrollar herramientas que den cuenta del estado actual del mismo y permitan su conservación. Así, se resaltó la importancia de llevar a cabo investigaciones descriptivas de la fauna edáfica para aumentar los conocimientos taxonómicos y biocenóticos en este ambiente.

#### *4.1. Distribución de los ácaros edáficos de la estepa patagónica en diferentes ambientes y usos de suelo*

En la estepa patagónica se encontró un importante número de microartrópodos edáficos, destacando la importancia de estos organismos en el ambiente. La estepa es un ambiente escasamente explorado en términos de mesofauna edáfica, en consecuencia, la bibliografía disponible es escasa y poco actualizada, lo que ha significado en un mayor esfuerzo para la identificación de algunos ejemplares. No obstante, algunos de los taxones hallados resultaron nuevos registros o nuevas especies para la ciencia y, por lo tanto, se han realizado trabajos de descripción, contribuyendo al conocimiento de la fauna edáfica en los ambientes de estepa de la provincia.

Los taxones de ácaros oribátidos recolectados pudieron ser agrupados en *especies generalistas cosmopolitas* particularmente no asociadas a un ambiente árido, tales como *O. nova*, *M. minus* y *T. velatus*; especies con una distribución geográfica más acotada pero presentes tanto en ambientes áridos como húmedos, como *P. neuquinus* y *G. (M.) bicuspidata*; y *especies características de los ambientes áridos*, tales como *Brachychthoniidae* spp., *Licnodamaeidae* spp., *Aphelacarus acarinus*, *Banksinoma arcuatum*, *Passalozetes* sp. y *Scutovertex* spp. Además, se propusieron las familias *Brachychthoniidae*, *Licnodamaeidae* y *Passalozetidae*, y los géneros *Brachychthonius*, *Licnodamaeus* y *Passalozetes* como taxones característicos de la estepa patagónica y de la provincia de Chubut.

Con respecto a la condición del suelo de la estepa patagónica, la hipótesis general concuerda con que la distribución de la fauna edáfica en la estepa patagónica estuvo relacionada principalmente con la presencia de cobertura vegetal. La abundancia y la diversidad estuvieron limitadas por la condición del suelo más que por el tipo de vegetación presente (arbustiva o graminosa) o la estacionalidad. Además, la abundancia y la diversidad de estos organismos estuvo principalmente ligada a la cobertura vegetal más que al suelo desnudo. Así, los parches de vegetación contribuyen significativamente a la biodiversidad regional de la estepa patagónica por albergar un alto número de especies de mesofauna, generando condiciones favorables para el desarrollo de esta fauna. Además, estos parches de vegetación son indispensables para el mantenimiento del ecosistema suelo de la estepa y para mitigar los procesos de desertificación. Este es un hallazgo sin precedentes en la zona y, por lo tanto, sienta líneas de base para investigaciones futuras en el área.

En cambio, con respecto a la distribución de acuerdo al criterio fisonómico de la estepa, se rechaza la hipótesis general parcialmente, ya que la estepa arbustiva presentó mayor abundancia de mesofauna que la estepa graminosa. Esto puede ser debido a la mayor complejidad vegetal que presenta la estepa arbustiva, que se traduce en una mayor disponibilidad de nichos que la estepa graminosa.

#### *4.2. Estructura de la comunidad de ácaros oribátidos e implicancias para la conservación*

Existe un importante déficit en el estudio de los ácaros oribátidos desde el punto de vista de la taxonomía, lo que resulta en una dificultad temporal a la hora de plantear especies como posibles indicadoras de disturbio. En este trabajo, la especie *Oppiella nova* fue dominante en el suelo sometido a uso forestal, mientras que la especie *Tectocepheus velatus* dominó cuando el uso del suelo fue el ganadero. El comportamiento de estas especies (distribución cosmopolita, ciclo de vida largo, etc) las perfilaría como posibles indicadoras de disturbio. No obstante, dado que este hallazgo deriva de un estudio de caso, hacen falta más estudios que lo sustenten. Alentamos a que en futuras investigaciones se tengan particularmente en cuenta estas especies.

Esta tesis permitió detectar una métrica como posible indicadora biológica del estado del suelo. El “Numero de familia de Oribatida” mostró una respuesta consistente a la desertificación y a los usos del suelo analizados. Esta métrica disminuyó significativamente tanto en suelo desnudo como en el suelo con uso ganadero. Revelándose como una medida potencialmente indicadora de desertificación producto del sobrepastoreo. La expansión de las prácticas de uso del suelo, principalmente la ganadería podría generar un impacto irreversible en el suelo patagónico si no se implementan medidas de acción en un futuro cercano.

Tanto las especies *Opiella nova* y *T. velatus* como el número de familias de oribátidos, se perfilan como interesantes indicadores de disturbios y, por lo tanto, se pueden implementar como herramientas en planes de manejo y conservación. Si bien es cierto que hacen falta más estudios para corroborar su utilización, las mismas resultan ser prometedoras por su fácil determinación taxonómica y por su comportamiento a lo largo de todo este estudio.

Se desprende de este trabajo la implicancia directa del uso del suelo sobre la población edáfica, siendo por ende de vital importancia la conciencia en el manejo de los distintos usos posibles del suelo, de modo tal de no superar la capacidad previamente limitada de resiliencia de los suelos de la estepa patagónica, y así evitar el inminente proceso de desertificación.

Las plantaciones y la ganadería son recursos económicos muy importantes en la zona, por lo que se recomienda realizar más controles en cuanto al manejo de las mismas para proteger el valor intrínseco que existe en las zonas áridas. La estepa en una zona olvidada por los conservacionistas, se ha cambiado la meta de proteger la naturaleza por su valor intrínseco, en favor de proteger el ambiente por sus beneficios para el hombre. Por otro lado, y aún desde una mirada humano-centrista, si no protegemos el suelo como un ecosistema, y le damos la importancia que tiene como tal, en un futuro no habrá sustrato para realizar estas prácticas de interés económico y social en la región.

## **V. BIBLIOGRAFIA**



- Allison L.E. (1980) Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos de América. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América. Editorial Limusa. México, 172 p.
- Altesor A., Piñeiro G., Lezama F., Jackson R.B., Sarasola M. & Paruelo J.M (2006) Ecosystem changes associated with grazing in subhumid South American grasslands. *Journal of Vegetation Science* 17: 323-332.
- Altieri M.A. (1991) How best can we use biodiversity in agro-ecosystems?. *Outlook on Agriculture*, **20** (1), 15–21.
- André H.M., Lebrun P. & Leroy S. (1984) The systematic status and geographical distribution of *Camisia segnis* (Acari: Oribatida). *International Journal of Acarology*, **10**, 153–158. <https://doi.org/10.1080/01647958408683369>.
- Aoki J. (1978) *Oribatid fauna of Aokigahara on the northwestern slope of Mt. Fuji* investigated by the two different sampling methods, coring and gleaning. Bulletin, Institute of Environmental Science and Technology, Yokohama National University, **4**, 149–154 [in Japanese, with English summary]
- Aoki J. (1979) Difference in sensitivities of oribatid families to environmental change by human impacts. *Revue d'Écologie et de Biologie du Sol*, **16**, 415–422.
- Aoki J. & Harada H. (1985) *Formation of environmental protection forests and change in soil fauna, especially oribatid mites*. Bulletin, Institute of Environmental Science and Technology, Yokohama National University, **12**, 125–135 [in Japanese, with English summary].
- Ares J., Beeskow A.M., Bertiller M., Rostagno M., Irisarri M., Anchorena J., ... & Merino, C. (1990) Structural and dynamic characteristics of overgrazed lands of northern Patagonia, Argentina. *Ecosystems of the World*, **17**, 149–175.

- Arroyo J., Keith A.M., Schmidt O. & Bolger T. (2013) Mite abundance and richness in an Irish survey of soil biodiversity with comments on some newly recorded species. *The Irish Naturalists' Journal*, **33**, 19–27.
- Bailey E.H. (1943) The importance of agitation of the soil suspension with the glass electrode. *Soil Science*, **55** (2), 143–146.
- Balogh J. & Balogh P. (2002) *Identification Keys to the Oribatid mites of the Extra-Holarctic Regions*. Well-Press Publishing Limited, Budapest, 957 p.
- Balogh J. & Csiszár J. (1963) The zoological results of Gy. Topal's Collecting in South Argentina. 5. Oribatei (Acarina). *Annales historico-naturales Musei nationalis Hungarici*, **55**, 463–485.
- Balogh P. & Balogh J. (1988) *The Soil Mites of the World. Vol. 2. Oribatid Mites of the Neotropical Region I*. Hungarian Magnolia Press Natural History Museum, Budapest, 334 p.
- Balogh P. & Balogh J. (1990) *The Soil Mites of the World. Vol. 3. Oribatid Mites of the Neotropical Region II*. Hungarian Magnolia Press Natural History Museum, Budapest, 334 p.
- Bardgett R.D. & Chan K.F. (1999) Experimental evidence that soil fauna enhances nutrient mineralization and plant nutrient uptake in montane grassland ecosystems. *Soil Biology and Biochemistry* **31**, 1007–1014.
- Bardgett R.D. & Cook R. (1998) Functional aspects of soil animal diversity in the agricultural grasslands. *Applied Soil Ecology*, **10**, 263–276.
- Barrios E. (2007) Soil biota, ecosystem services and land productivity. *Ecological Economics*, **64**, 269–285. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.03.004>
- Beck L. (1962) Beiträge zur Kenntnis der neotropischen Oribatidenfauna 2. Nothridae, Camisiidae, Heterobelbidae (Arach., Acari). *Senckenbergiana Biologica*, **43**, 385–407.

- Bedano J.C., Cantu M.P. & Doucet M.E. (2004) Influencia de distintos sistemas de manejo de suelos en la densidad de ácaros (Arachnida: Acari) edáficos en agroecosistemas de Córdoba, Argentina. *Ciencia del suelo*, **22** (2), 107–113.
- Bedano J.C., Cantú M. P. & Doucet M.E. (2006) Influence of three different land management practices on soil mite (Arachnida: Acari) densities in relation to a natural soil. *Applied Soil Ecology*, **32** (3), 293–304. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2005.07.009>
- Behan-Pelletier V. & Bissett B. (1994) Oribatida of Canadian peatlands. *Memoirs of the Entomological Society of Canada*, **169**, 73–88.
- Behan-Pelletier V. (1999) Oribatid mite biodiversity in agroecosystems: role for bioindication. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **74**, 411–423.
- Belsky A.J. & Blumenthal D.M. (1997) Effects of livestock grazing on stand dynamics and soils in upland forests of the Interior West. *Conservation Biology*, **11** (2), 315–327.
- Berg M.P. (2012) Patterns of Biodiversity at Fine and Small Spatial Scales, in: Wall, D.H., Bardgett, R.D., Behan-Pelletier, V., Herrick, E.J., Jones, T.H., Ritz, K., Six, J., Strong, D.R., Van der Putten, W.H. (Eds.), *Soil Ecology and Ecosystem Services*. Oxford University Press, Oxford, pp. 136–152.
- Berthrong S.T., Jobbágy E.G. & Jackson R.B. (2009) A global meta-analysis of soil exchangeable cations, pH, carbon, and nitrogen with afforestation. *Ecological Applications*, **19** (8), 2228–2241.
- Bertiller M.B. & Bisigato A. (1998) Vegetation dynamics under grazing disturbance. The state and transition model for the Patagonian steppes. *Ecologia Austral*, **8**, 191–199.
- Besoain E. (1985) Los suelos. In: *Suelos Volcánicos de Chile*. Tosso, J. (Ed.). Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Chile, pp. 215–256.
- Binkley D., Valentine D., Wells C. & Valentine U. (1989) An empirical analysis of the factors contributing to 20-year decrease in soil pH in an old-field plantation of loblolly pine. *Biogeochemistry*, **8** (1), 39–54.

- Black H.I.J., Parekh N.R., Chaplow J.S., Monson F., Watkins J., Creamer R., Potter E.D., Poskitt J.M., Rowland P., Ainsworth G. & Hornung M. (2003) Assessing soil biodiversity across Great Britain: national trends in the occurrence of heterotrophic bacteria and invertebrates in soil. *Journal Environmental Management*, **67**, 255–266. [https://doi.org/10.1016/S0301-4797\(02\)00178-0](https://doi.org/10.1016/S0301-4797(02)00178-0)
- Bokhorst S., Berg M.P. & Wardle D.A. (2017) Micro-arthropod community responses to ecosystem retrogression in boreal forest. *Soil Biology and Biochemistry*, **110**, 79–86. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2017.03.009>
- Brand D.G., Kehoe P. & Connors M. (1986) Coniferous afforestation leads to soil acidification in central Ontario. *Canadian Journal of Forest Research*, **16**(6), 1389–1391.
- Brussaard L., Behan-Pelletier V.M., Bignell D.E., Brown V.K., Didden W., Folgarait P., Fragoso C., Freckman D.W., Gupta V.V.S.R., Hattori T., Hawksworth D.L., Klopatek, C., Lavelle P., Malloch D.W., Rusek J., Soderstrom B., Tiedje J.M. & Virginia R.A. (1997) Biodiversity and ecosystem functioning in soil. *Ambio*, **26** (8), 563–570.
- Buamscha G., Gobbi M., Mazzarino M.J. & Laos F. (1998) Indicators of nitrogen conservation in *Austrocedrus chilensis* forests along a moisture gradient in Argentina. *Forest Ecology and Management*, **112**, 253–261.
- Buduba C.G. (2006) Modificaciones en el pH y contenido de materia orgánica en suelos del ecotono estepa/bosque andino patagónico por implantación de pino ponderosa. Tesis Doctoral, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires.
- Cabrera A.L. (1947) La estepa patagónica. En: *Geografía de la República Argentina*. Tomo VIII. Sociedad Argentina de Estudios Geográficos, GAEA. Coni Editorial, Bs.As. 346 p.
- Cabrera A.L. (1976) Regiones fitogeográficas argentinas. En: *Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería*. W.F. Kugler (ed.). Tomo 2. 2da edición. Acme, Buenos Aires, Argentina. Fascículo 1.

- Caruso T., Schaefer I., Monson F. & Keith A.M. (2019) Oribatid mites show how climate and latitudinal gradients in organic matter can drive large-scale biodiversity patterns of soil communities. *Journal of Biogeography*, **46** (3), 611–620.
- Cepeda-Pizarro J.G. & Whitford W.G. (1989) Spatial and temporal variability of higher microarthropod taxa along a transect in a northern Chihuahuan desert watershed. *Pedobiologia*, **33**, 101–111.
- Cepeda-Pizarro J. & Whitford W.G. (1990) Microartrópodos edáficos del desierto chihuahuense, al norte de México. *Folia Entomológica Mexicana*, **78**, 257–272.
- Chachaj B. & Seniczak S. (2005) The Influence of Sheep, Cattle and Horse Grazing on Soil Mites (Acari) of Lowland Meadows. *Folia biologica (Krakow)*, **53**, 127–132.
- Chachaj B. & Seniczak S. (2006) Seasonal dynamics of density of Oribatida (Acari) in a lowland meadow and pastures. *Biology Letters*, **43** (2):153–156.
- Chneider K., Migge S., Norton R.A., Scheu S., Langel R., Reineking A. & Maraun M. (2004) Trophic niche differentiation in soil microarthropods (Oribatida, Acari): Evidence from stable isotope ratios ( $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ ). *Soil Biology and Biochemistry* **36**, 1769–1774.
- Clapperton M.J., Kanashiro D.A. & Behan-Pelletier V.M., (2002) Changes in abundance and diversity of microarthropods associated with Fescue Prairie grazing regimes. *Pedobiologia*, **46**, 496–511.
- Coleman D., Fu S., Hendrix P. & Crossley Jr., D. (2002) Soil foodwebs in agroecosystems: impacts of herbivory and tillage management. *European Journal Soil Biology* **38**, 21–28.
- Coleman D.C., Crossley D.A. & Hendrix P.F. (2004) *Fundamentals of Soil Ecology*, 2ed. Elsevier Academic Press, Amsterdam.

- ColmetDaage F., Mazzarino M.J. & Lanciotti M.L. (1993) Características de los suelos volcánicos en el S.O. del Chubut. *Actas XIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Mendoza*, pp. 417–418.
- Coronato F. (1993) Wind chill factor applied to Patagonian climatology. *International Journal of Biometeorology*, **37** (1), 1–6.
- Corral-Hernández E. & Iturrondobeitia J.C. (2012) Effects of cattle and industries on oribatid mite communities of grassland soil in the Basque Country (Spain), *International Journal of Acarology*, **38** (3), 217–229.  
<http://dx.doi.org/10.1080/01647954.2011.632382>.
- Correa M.N. (1998) Flora patagónica, parte I. *Colección Científica del INTA, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria*, Buenos Aires.
- Correia M.E.F. & Oliveira L.C.M. (2005) Importância da fauna de solo para a ciclagem de nutrientes. Processos biológicos no sistema solo-planta: ferramentas para uma agricultura sustentável. *Brasília: Embrapa Informação Tecnológica* pp. 77–99.
- Covarrubias R. (2010) Comparación de ácaros oribátidos (Acarina: Oribatida) bajo las mismas especies de plantas de altura, en las cordilleras de los Andes y de la costa, Chile central. *Revista Chilena de Entomología*, **35**, 71–82.
- Covarrubias R. (2009) Microartrópodos de la estepa Altoandina altiplánica, con detalle de especies de oribátidos (Oribatida: Acarina). *Neotropical Entomology*, **38** (4), 482–490.  
<https://doi.org/10.1590/S1519-566X2009000400007>
- Davies B.E. (1974) Loss on ignition as an estimate of soil organic matter 1. *Soil Science Society of America Journal*, **38** (1), 150–151.
- de Bruyn L.A.L. (1997) The status of soil macrofauna as indicators of soil health to monitor the sustainability of Australian agricultural soils. *Ecological economics*, **23** (2), 167–178.

- Decaëns T., Jiménez J.J., Gioia C., Measey G.J. & Lavelle P. (2006) The values of soil animals for conservation biology. *European Journal of Soil Biology*, **42**, 23–38
- Defossé G.E., Loguercio G.A., Oddi F.J., Molina J.C. & Kraus P.D. (2011) Potential CO<sub>2</sub> emissions mitigation through forest prescribed burning: a case study in Patagonia, Argentina. *Forest Ecology and Management* **261**, 2243–2254.
- del Valle H.F. (1998) Patagonian soils: A regional synthesis. *Ecología Austral*, **8** (2), 103–23.
- Di H.J., Cameron K.C., Milne J., Drewry J.J., Smith N.P., Hendry T., Moore S. & Reinen B. (2001) A mechanical hoof for simulating animal treading under controlled conditions. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, **44** (1), 111–116.
- Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., González L., Tablada M. & Robledo Y.C. (2011) InfoStat versión 2011. Grupo InfoStat, FCA, *Universidad Nacional de Córdoba, Argentina*. <http://www.infostat.com.ar>.
- Escobar J.M. (1997) Desertificación en Chubut. INTA Prodesar. E.E.A Chubut. 29 p.
- Evans G.O. (1992) *Principles of Acarology*. C.A.B. International. University Press. Cambridge, 563 p.
- Fieldes M. & Perrot K.W. (1966) The nature of allophane in soils. I. Significance of randomness in pedogenesis. *New Zealand Journal of Science*, **9**, 622–632.
- Filser J. (1995) The effect of green manure on the distribution of Collembola in a permanent row crop. *Biology and Fertility of Soils*, **19**, 303–308.
- Fredes N.A., Martínez P.A., Bernava Laborde V. & Osterrieth M.L. (2009) Microartrópodos como indicadores de disturbio antrópico en entisoles del área recreativa de Miramar, Argentina. *Ciencia del suelo*, **27**, 89–101.
- Fredes N.A. (2018) Catalogue of oribatid mites (Acari: Oribatida) from Argentina. *Zootaxa*, **4406**, 1–190. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4406.1.1>.

- Gaitán J.J., López C.R. & Bran D.E. (2009) Efectos del pastoreo sobre el suelo y la vegetación de la estepa Patagónica. *Ciencia del suelo*, **2** (27), 261–70.
- Gaitán J.J., López C.R. & Bran D. (2011) Vegetation composition and its relationship with the environment in mallines of north Patagonia, Argentina. *Wetlands Ecology and Management*, **19**, 121–130.
- George P.B.L., Keith A.M., Creer S., Barrett G.L., Lebron I., Emmett B.A., Robinson D.A. & Jones D.L. (2017) Evaluation of mesofauna communities as soil quality indicators in a national-level monitoring programme. *Soil Biology and Biochemistry*, **115**, 537–546. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2017.09.022>.
- Gergócs Y., Hufnagel L. (2009) Application of oribatid mites as indicators (review). *Applied Ecology and Environmental Research*, **7** (1), 79–98.
- Gerlach J., Samways M. & Pryke J. (2013) Terrestrial invertebrates as bioindicators: an overview of available taxonomic groups. *Journal of Insect Conservation*, **17**, 831–850.
- Gitford G.R. & Dadkhah M. (1980) Trampling effects on rangeland. *Utah Science*, **41** (3): 71–73.
- Grandjean F. (1950) Observations ethologiques sur *Camisia segnis* (Herm.) et *Platynothrus peltifer* (Koch) (Acariens). *Bulletin du Muséum national d'Histoire naturelle, 2e Série*, **22**, 224–231.
- Greene R.S., Valentin C., & Esteves M. (2001). Runoff and erosion processes. In *Banded Vegetation Patterning in Arid and Semiarid Environments*. Springer, New York, NY. Pp. 149, 52–76.
- Groombridge B. & Jenkins M.D. (2000) Global biodiversity: Earth's living resources in the 21st century. 1st edition. Cambridge: World Conservation Press.
- Guitart E. (2004) *Diagnóstico productivo orientado a establecer la capacidad del sector ganadero del NO del Chubut para involucrarse y sostener un proyecto de diferenciación por calidad del producto carne vacuna. Esquel, Argentina*. INTA. 48 p.

- Gulvik M.E. (2007) Mites (Acari) as indicators of soil biodiversity and land use monitoring: a review. *Polish Journal of Ecology*, **55**, 415–440.
- Hagvar S. & Amundsen T. (1981) Effects of liming and artificial acid rain on the mite (Acari) fauna in coniferous forest. *Oikos*, 7–20.
- Hammer M. (1958) Investigations on the Oribatid Fauna of the Andes Mountains I. *The Argentine and Bolivia. Biologiske Skrifterudgivet af Det Kongelige Danske Videnskabernes Selskab*, **10**, 1–262.
- Hammer M. (1961) Investigations on the Oribatid Fauna of the Andes Mountains II, Peru. *Biologiske Skrifterudgivet af Det Kongelige Danske Videnskabernes Selskab*, **13**, 1–200.
- Hammer M. (1962a) Investigations on the oribatid fauna of the Andes Mountains III, Chile. *Biologiske Skrifterudgivet af Det Kongelige Danske Videnskabernes Selskab*, **13**, 1–96.
- Hammer M. (1962b) Investigations on the oribatid fauna of the Andes Mountains, IV, Patagonia. *Biologiske Skrifterudgivet af Det Kongelige Danske Videnskabernes Selskab*, **13**, 1–35.
- Heneghan L. & Bolger T., (1998) Soil microarthropod contribution to forest ecosystem processes: the importance of observational scale. *Plant and Soil*, **205**, 113–124.
- Heneghan L., Coleman D.C., Zou X., Crossley D.A. & Haines B.L. (1999) Soil microarthropod contribution to decomposition dynamics: tropical-temperate comparisons of a single substrate. *Ecology*, **80**, 873–882.
- Hijmans R.J., Phillips S., Leathwick J., Elith J. & Hijmans M.R.J. (2017) Package ‘dismo’. *Circles*, **9** (1), 1–68.
- Höfer H., Hanagart W., Garcia M., Martius C., Franklin E., Römbke J. & Beck L. (2001) Structure and function of soil fauna communities in Amazonian anthropogenic and natural ecosystems. *European Journal of Soil Biology*, **37**, 229–235.  
<https://doi.org/10.11158/saa.20.2.3>

- Hopkin, S. P. 2002. Collembola. In *Encyclopaedia of Soil Science*, M. R. Lal (ed.). Dekker, New York. p. 207-210
- Hubert J. (2000) The oribatid community (Acari: Oribatida) on a dry cow pasture. *Ecologia (Bratislava)*, **19**, 354–364.
- Humphrey J.W., Newton A.C., Peace A.J. & Holden E. (2000) The importance of conifer plantations in northern Britain as a habitat for native fungi. *Biological conservation*, **96** (2), 241–252.
- Iturrondobeitia J., Caballero A. & Arroyo J. (2004) Avances en la utilización de los ácaros Oribátidos como indicadores de las condiciones edáficas. *Munibe*, **21**, 70–91.
- Janoušková M., Kohout P., Moradi J., Doubková P., Frouz J., Vosolsobě S. & Rydlová J. (2018) Microarthropods influence the composition of rhizospheric fungal communities by stimulating specific taxa. *Soil Biology and Biochemistry*, **122**, 120–130.
- Jimeno-Calle E. (2016) *El uso de ácaros (Arachnida: Acari) como bioindicadores: 8 excusas para utilizarlos*. Congreso Latinoamericano de Acarología.
- Kamill B.W., Steinberger Y. & Whitford W.G. (1985) Soil microarthropods from the Chihuahuan Desert of New Mexico. *The Zoological Society of London* **205**, 273–286.
- Kaneko N. (1988) Life history of *Oppiella nova* (Oudemans) (Oribatei) in cool temperate forest soils in Japan. *Acarologia*, **29**, 215–221.
- Kanerva S. & Smolander A. (2007) Microbial activities in forest floor layers under silver birch, Norway spruce and Scots pine. *Soil Biology and Biochemistry*, **39** (7), 1459–1467.
- Kanerva S., Kitunen V., Loponen J. & Smolander A. (2008) Phenolic compounds and terpenes in soil organic horizon layers under silver birch, Norway spruce and Scots pine. *Biology and Fertility of Soils*, **44** (4), 547–556.

- Khalil M.A., Janssens T.K.S., Berg M.P. & van Straalen N.M. (2009) Identification of metal-responsive oribatid mites in a comparative survey of polluted soils. *Pedobiologia*, **52**, 207–221.
- Kinnear A. (1991) Acarine communities of semi-arid soils from the Eastern Goldfields region of Western Australia. *Pedobiologia*, **35**, 273–283.
- Krab E.J., Orsprong H., Berg M.P. & Cornelissen J.H.C. (2010) Turning northern peatlands upside down: disentangling microclimate and substrate quality effects on vertical distribution of Collembola. *Functional Ecology* **24**, 1362–1369.
- Krantz G.W. & Walter D.E. (2009) *A Manual of Acarology*. Third edition. Texas Tech University Press, Lubbock, USA.
- Kun M.E., Martínez P.A. & González A. (2010) Oribatid mites (Acari: Oribatida) from *Austrocedrus chilensis* and *Nothofagus* forests of Northwestern Patagonia (Argentina). *Zootaxa*, **2548**, 22–42.
- Kun M.E. (2012) *Taxonomía y diversidad de Ácaros Oribátidos en bosques de Ciprés, Coihue y Ñire y su efecto en el crecimiento micelial*. Universidad Nacional del Comahue. CRUB. Bariloche 242 p.
- Kun M.E. (2015) Do oribatid mites enhance fungal growth in *Austrocedrus chilensis* leaf litter? *Systematic and Applied Acarology*, **20** (2) 171–176.
- Lavelle P. & Spain A.V. (2001) *Soil Ecology*. Kluwer Academic Publishers, Netherlands.
- Lavelle P., Decaëns T., Aubert M., Barot S., Blouin M., Bureau F., Margerie P., Mora P. & Rossi J.P. (2006) Soil invertebrates and ecosystem services. *European Journal of Soil Biology*, **42**, S3–S15. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2006.10.002>.
- Lebrun P. & Van Straalen N.M. (1995) Oribatid mites: prospects of their use in ecotoxicology. *Experimental and Applied Acarology*, **19** (7), 361–380.

- León R.J., Bran D., Collantes M., Paruelo J.M. & Soriano A. (1998) Grandes unidades de vegetación de la Patagonia extra andina. *Ecología Austral*, **8** (2), 125–144.
- Lindberg N. & Bengtsson J. (2005) Population responses of oribatid mites and collembolans after drought. *Applied Soil Ecology*, **28**, 163–174. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2004.07.003>
- Lindberg N. (2003) Soil fauna and global change. Responses to experimental drought, irrigation, fertilisation and soil warming. Doctoral Thesis. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, 37 p.
- Loguercio G.A., Jovanovski A., Molina J.C. & Pantaenius P. (2008) Residuos de biomasa de forestaciones y aserraderos de la región Andina de las Provincias de Chubut y Neuquén. Evaluación preliminar de oferta. Publicación técnica. CIEFAP - No. 34. CIEFAP – JICA, Esquel, Argentina, 69 p.
- Luxton M. (1967) The ecology of saltmarsh Acarina. *The Journal of Animal Ecology*, 257–277.
- Luz R.A., Fontes L.S., Cardoso S.R.S. & Lima E.F.B. (2013) Diversity of the Arthropod edaphic fauna in preserved and managed with pasture areas in Teresina-Piauí-Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, **73**, 483–489. <https://doi.org/10.1590/S1519-69842013000300004>
- Mackay W., Silva S., Lightfoot D., Pagani M.I. & Whitford W.G. (1986) Effect of increased soil moisture and reduced soil temperatures on a desert soil arthropod community. *American Midland Naturalist*, **116**, 45–56.
- MAGyP. 2014. Inventario Forestal. Disponible en: <http://www.minagri.gob.ar/new/0-0/forestacion/inventario/mapa%20de%20planta.html>
- Mahunka, S. 1980. Neue und interessante Milben aus dem Genfer Museum XXXVIII. Oribatids (Acari) from Monte Susana (Tierra del Fuego, Argentina). *Suisse de Zoologie* 87(1): 155–181 p.

- Manzo R., Ruiz E.V, Rizzuto S., Rios Campano F., Bava J. & Orellana I. (2004) Estudio preliminar acerca del uso potencial de ácaros Oribátidos como indicadores de suelo en plantaciones forestales de Patagonia Andina. *Conebios* 4.
- Manzo R.M., Rizzuto S., Ruiz E.V. & Martínez P.A. (2019) Oribatid mites (Acari: Oribatida) from the Patagonian steppe, Argentina. *Zootaxa*, **4686** (2), 241–252. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4686.2.4>
- Maraun M., Erdmann B.M., Fischer B.M., Pollierer M.M., Norton R.A., Schenieder K. & Scheu S. (2011) Stable isotopes revisited: Their use and limits for oribatid mite trophic ecology. *Soil Biology and Biochemistry* **43** (5), 877–882.
- Maraun M., Caruso T., Hense J., Lehmitz R., Mumladze L., Murvanidze M., Nae I., Schulz J., Seniczak A. & Scheu S. (2019) Parthenogenetic vs. sexual reproduction in oribatid mite communities. *Ecology and evolution* **9** (12), 7324–7332.
- Maraun M. & Scheu S. (2000) The structure of oribatid mite communities (Acari, Oribatida): patterns, mechanisms and implications for future research. *Ecography* **23** (3), 374–382.
- Marshall V.G., Reeves R.M. & Norton R.A. (1987) Catalogue of the Oribatida (Acari) of continental United States and Canada. *Memoirs of the Entomological Society of Canada*, 139, 1–418. <https://doi.org/10.4039/entm119139f>
- Martínez P.A. (2008) *Oribatida*. *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina*, pp. 129–149.
- Martinez P.A., Bernava L.V., Valenzuela F., Ruiz E.V. & Rizzuto S. (2015) Microartrópodos edáficos de la estepa patagónica. *Actas de CONEBIOS* 4, 21–22.
- Maser C. & Trappe J.M. (1984) The seen and unseen world of the fallen tree. U.S.D.A. For. Serv., Gen. Tech. Rep. PNW-154: 1–56.

- Mazzoni E. & Vázquez M. (2010) Desertification in Patagonia. *Developments in Earth Surface Processes*, **13** (C), 351–377. [https://doi.org/10.1016/S0928-2025\(08\)10017-7](https://doi.org/10.1016/S0928-2025(08)10017-7).
- McLean M.A. & Parkinson D. (2000) Introduction of the epigeic earthworm *Dendrobaena octaedra* changes the oribatid community and microarthropod abundances in a pine forest. *Soil Biology and Biochemistry*, **32**, 1671–1681.
- Mekuria W., Veldkamp E., Haile M., Nyssen J., Muys B. & Gebrehiwot K. (2007) Effectiveness of exclosures to restore degraded soils as a result of overgrazing in Tigray, Ethiopia. *Journal of arid environments*, **69** (2), 270–284.
- Miller J.C. (1993) Insect natural-history, multispecies interactions and biodiversity in ecosystems. *Biodiversity and Conservation*, **3**, 233–241.
- Moreno C.E. (2001) Métodos para medir la biodiversidad. M&T–Manuales y Tesis SEA, vol. 1. Zaragoza, España, 84 p.
- Murvanidze M., Mumladze L., Todria N., Salakaia M. & Maraun, M. (2019) Effect of ploughing and pesticide application on oribatid mite communities. *International Journal of Acarology*, **45** (4), 181–188.
- Neher D. & Barbercheck M. (1998) Diversity and Function of Soil Mesofauna. *Biodiversity in agroecosystems*, pp. 27–47. <https://doi.org/10.1201/9781420049244.ch3>
- Neher D.A., Lewins S.A., Weichtalld T.R. & Darby B.J. (2009) Microarthropod communities associated with biological soil crusts in the Colorado Plateau and Chihuahuan deserts. *Journal of Arid Environments*, **73**, 672–677.
- Nielsen U.N., Osler G.H.R., Campbell C.D., Bursle D. & van der Wal, R. (2010) The influence of vegetation type, soil properties and precipitation on the composition of soil mite and microbial communities at the landscape scale. *Journal of Biogeography*, **37**, 1317–1328.
- Norton R.A. & Palmer S.C. (1991) The distribution, mechanisms and evolutionary significance of parthenogenesis in oribatid mites. In: *The Acari - Reproduction*,

- development and life-history strategies*. Schuster, R. & Murphy, P.W. (Eds.). Chapman and Hall, London/New York, pp. 107–136. [https://doi.org/10.1007/978-94-011-3102-5\\_7](https://doi.org/10.1007/978-94-011-3102-5_7).
- Norton R.A. & Behan-Pelletier V.M. (2009) Suborder Oribatida. Chapter 15. In: Krantz, G.W. & Walter, D.E. (Eds.), *A Manual of Acarology. 3<sup>rd</sup> Edition*. Texas Tech University Press, Lubbock, pp. 430–564.
- Noy-Meir I (1973) Desert ecosystems: environment and producers. *Annual Review Ecology and Systematics* **4**, 25–41.
- Noy-Meir I. (1981) Spatial effects in modelling of arid ecosystems, in: Goodall, D.W., Perry, R.A. (Eds.), *Arid-land Ecosystems: Structure, Functioning, and Management*, Cambridge University Press, pp. 411–432.
- Nunes L.A.P.L., Araújo A.S.F., Pessoa M.M.C., Sousa R.S., Silva J.D.C. & Matos-Filho C.H.A. (2018) Edaphic fauna in a vegetation gradient in the Sete Cidades National Park. *Brazilian Journal of Biology*, **79** (1), 45–51.
- Oosterheld M., Aguiar M.R. & Paruelo J.M. (1998) Ecosistemas patagónicos. Doctoral dissertation, Asociación Argentina de Ecología, Buenos Aires, 308 pp.
- Palacios-Vargas, J. G. (2014). Biodiversidad de Collembola (Hexapoda: Entognatha) en México. *Revista mexicana de biodiversidad*, **85**, 220-231.
- Paoletti M.G., Bressan M. & Edwards C.A. (1996) Soil invertebrates as bioindicators of human disturbance. *Critical Reviews in Plant Science*, **15** (1), 21–62.
- Parisi V., Menta C., Gardi C., Jacomini C. & Mozzanica E. (2005) Microarthropod communities as a tool to assess soil quality and biodiversity: a new approach in Italy. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, **105**, 323–333.
- Paruelo J.M., Golluscio R.A., Jobbágy E.G., Canevari M. & Aguiar M.R. (2005) Situación ambiental en la estepa patagónica. *La situación ambiental argentina*, pp. 302-320.

- Paruelo J.M., Beltrán A., Jobbagy E., Sala, O.E. & Golluscio R.A. (1998) The climate of Patagonia: general patterns and controls on biotic processes. *Ecología Austral*, **8** (2), 85–101.
- Paruelo J.M., Golluscio R.A., Jobbágy E.G., Canevari M., Aguiar M.R., Brown A. & Corcuera J. (2006) Ecorregión Estepa Patagónica. Situación ambiental en la Estepa Patagónica. *La situación ambiental Argentina 2005*. Buenos Aires, pp. 302–320.
- Peri P.L., Sturzenbaum M.V. & Monelos L. (2004) Sistemas silvopastoriles en Santa Cruz. PIARFON- BAP, Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. Informe final.
- Ponge, J.F., 1991. Succession of fungi and fauna during decomposition of needles in a small area of Scots pine litter. *Plant Soil* 138 (1), 99–113.
- Prinzing A., Kretzler S., Badejo A. & Beck L. (2002) Traits of oribatid mite species that tolerate habitat disturbance due to pesticide application. *Soil Biology and Biochemistry*, **34**, 1655–1661. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(02\)00149-9](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(02)00149-9).
- QGIS Development Team (2018) *QGIS Geographic Information System*. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>.
- R Core Team (2016) *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Raffaele E. & Schlichter T. (2000) Efectos de las plantaciones de Pino Ponderosa sobre la heterogeneidad de micrositios en estepas del Noroeste Patagónico. *Ecología Austral*, **10** (2), 151–58. [doi:10.1104/pp.106.085209](https://doi.org/10.1104/pp.106.085209).
- Rizzuto S. & Manzo R.M. (2018) *Estudios de ácaros de suelo en zonas áridas del Noroeste de Chubut, Argentina*. Restauración Ecológica en la Diagonal Árida Argentina. Pp. 12–372.
- Roig F.A. (1998) *La vegetación de la Patagonia*. En: Flora Patagónica (Ed., M.N. Correa). Tomo VIII, Volumen 1. INTA. Buenos Aires, pp. 48–166.

- Rozas H.S., Echeverria H.E. & Angelini H.P. (2011) Niveles de carbono orgánico y ph en suelos agrícolas de las regiones pampeana y extrapampeana Argentina. *Revista Ciencia del Suelo*, **29**, 29–37.
- RStudio Team. (2016) *R Studio: Integrated development for R*. RStudio, Inc., Boston, MA. Available from: [www.rstudio.com/](http://www.rstudio.com/)
- Ruiz E.V., Rizzuto S. & Martinez P.A. (2015) Primeros registros de ácaros oribátidos (Acari: Oribatida) de bosques de Nothofagus pumilio en la región Patagónica, Chubut, Argentina. *Revista de la Sociedad Entomológica Argentina*, **74** (1–2), 69–73.
- Ruiz V.E. (2017) *Microartrópodos edáficos en bosques de Nothofagus pumilio con manejo silvícola en las provincias de Chubut y Tierra del Fuego, con especial referencia a los ácaros oribátidos*. Título para obtener el doctorado. Universidad Nacional de Mar del Plata.
- Ruiz E.V., Rizzuto S. & Martinez P.A. (2018) New records of oribatid mites (Acari, Oribatida) from Argentina. *Zootaxa*, **4370** (2), 194–200. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4370.2.8>Ruiz, 2017.
- Rusek J. & Marshall V.G. (2000) Impacts of airborne pollutants on soil fauna. *Annual Review of Ecology and Systematics*, **31**, 395–423.
- Rutgers M., Schouten A.J., Bloem J., van Eekeren N., de Goede R.G.M., Jagersop Akkerhuis G.A.J.M., van der Wal A., Mulder C., Brussaard L. & Breure A.M. (2009) Biological measurements in a nationwide soil monitoring network. *European Journal of Soil Science*, **60**, 820–832.
- Sala O.E. & Aguiar M.R. (1996) Origin, maintenance, and ecosystem effect of vegetation patches in arid lands. In: *Rangelands in a Sustainable Biosphere* (Ed. West, N.). Proceedings of the Fifth International Rangeland Congress, Society for Range Management, Denver, pp. 29–32.

- Salazar Martínez A.; Accatoli C., Martínez P.A., Schnack J.A. (2010) Diversidad de oribátidos (acari: oribatida) del «paseo del bosque», la plata (Buenos Aires, argentina). *Ciencia del Suelo* (Argentina) **28**, 181–190
- Salomone J., Llanos M.E., San Martín A., Elissalde, N.O. & Behr S. (2013) Uso del suelo y degradación de tierras en la provincia del Chubut. Evolución en los últimos veinte años. XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Semiárido un desafío para la ciencia del suelo.
- Santorufu L., Van Gestel C.A.M., Rocco A. & Maisto G. (2012) Soil invertebrates as bioindicators of urban soil quality. *Environmental Pollution*, **161**, 57–63.
- Santos P.F. & Whitford W.G. (1983) Seasonal and spatial variation in the soil microarthropod fauna of the white sands national monument. *The Southwestern Naturalist*, 417–421.
- Sayer, E.J., 2006. Using experimental manipulation to assess the roles of leaf litter in the functioning of forest ecosystems. *Biol. Rev.* 80, 1–31.
- Schatz H. (2004) Diversity and global distribution of oribatid mites (Acari, Oribatida) – evaluation of the present state of knowledge. *Phytophaga*, **14**, 485–500.
- Scheu S. & Schulz E. (1996) Secondary succession, soil formation and development of a diverse community of oribatids and saprophagous soil macro-invertebrates. *Biodiversity & Conservation*, **5** (2), 235–250.
- Schneider K., Migge S., Norton R.A., Scheu S., Langel R., Reineking A. & Maraun M. (2004) Trophic niche differentiation in soil microarthropods (Acari: Oribatida): evidence from stable isotope ratios ( $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ ). *Soil Biology and Biochemistry*, **36**, 1769–1774
- Shimano S. (2011) Aoki's oribatid-based bioindicator systems. *Zoosymposia*, **209**, 200–209.
- Siepel H. (1996) Biodiversity of soil microarthropods: the filtering of species. *Biodivers. Conserv.* **5**, 251–260.

- Siepel H. (1994) Life-history tactics of soil microarthropods. *Biology and Fertility Soils*, **18** (4), 263–278. <https://doi.org/10.1007/BF00570628>
- Soil Survey Staff (2014) Claves para la Taxonomía de Suelos. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Décimo segunda Edición. Servicio de Conservación de Recursos Naturales.
- Soriano A. & Movia C. (1986) Erosión y desertización en la Patagonia. *Interciencia*, **1**, 77–83.
- Soriano A. (1956) Aspectos ecológicos y pastoriles de la vegetación patagónica relacionados con su estado y capacidad de recuperación. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, **10** (4), 349–372.
- Soriano A. (1983). Deserts and semi-deserts of Patagonia. In: Temperate Deserts and Semi-Deserts (Ed. West, N.E.). Elsevier, Amsterdam, pp. 423–459.
- Soriano A., Sala O.E. & Perelman S.B. (1994) Patch structure and dynamics in a Patagonian arid steppe. *Vegetation*, **111** (2), 127–135. <https://doi.org/10.1007/BF00040332>
- Schlichter T. & Laclau P. (1998) Ecotono estepa-bosque y plantaciones forestales en la Patagonia norte. *Ecología Austral*, **8** (2), 285–296.
- Steinberger Y. & Wallwork J.A. (1985) Composition and vertical distribution patterns of the microarthropod fauna in a Negev desert soil. *Journal of Zoology*, **206** (3), 329–339. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7998.1985.tb05662.x>
- Steinberger Y. & Whitford W.G. (1985) Microarthropods of a Desert Tabosa Grassland (*Hilaria mutica*) Swale. *American Midlan Naturalist*, **114**, 225–234.
- Steinberger Y. (1990) Acarofauna of a Negev desert loes plain. *Acarologia*, **31**, 313–319.
- Stork N.E. & Eggleton P. (1992) Invertebrates as determinants and indicators of soil quality. *American journal of alternative agriculture*, 38–47.

- Subías, L.S. (2004) Listado sistemático, sinonímico y biogeográfico de los ácaros oribátidos (Acariformes, Oribatida) del mundo (1758-2002). *Graellsia*, 1982, 1–570. [online update 2018. Available from: [http://escalera.bio.ucm.es/usuarios/bba/cont/docs/RO\\_1.pdf](http://escalera.bio.ucm.es/usuarios/bba/cont/docs/RO_1.pdf) (accessed 27 February 2018)]  
<https://doi.org/10.3989/graellsia.2004.v60.iExtra.218>
- Subías L. (2011) Listado sistemático, sinonímico y biogeográfico de los Ácaros Oribátidos (Acariformes, Oribatida) del mundo (excepto fósiles). Available from: <http://www.ucm.es/info/zoo/Artropodos/Catalogo.pdf> (Date of access: 10-01-2011).
- Subías, L.S. (2018) Nuevas adiciones a los listados de España (5a actualización) y mundial (13a actualización) de ácaros oribátidos (Acari, Oribatida). *Revista ibérica de aracnología*, **32**, 11-14.
- Ter Braak C.J.F. & Smilauer P. (1998) CANOCO Reference Manual and User's Guide to Canoco for Windows: Software for Canonical Community Ordination (verion4). *Microcomputer Power, Ithaca*.
- Travé J., André H.M. & Bernini F. (1996) *Les acariens oribates*. Éditions AGAR & SIALF, Wavre, 110 p.
- Tsiafouli M.A., Thébault E., Sgardelis S.P., de Ruiter P.C., van derPutten W.H., Birkhofer K., Hemerik L., de Vries F.T., Bardgett R.D., Brady M.V., Bjornlund L., Jørgensen H.B., Christensen S., d'Hertefeldt T., Hotes S., Hol W.H.G., Frouz J., Liiri M., Mortimer S.R., Setälä H., Tzanopoulos J., Uteseny K., Pizl V., Stray J., Wolters V. & Hedlund K. (2015) Intensive agriculture reduces soil biodiversity across Europe. *Global Change Biology*, **21**, 973–985.
- UNEP (1991) UNEP Governing Council Decision 16/22—Desertification. *Desertification Control Bulletin*, **20**, 3–5.
- Valenzuela F., Irisarri J., Ferro I. y Buduba C. (2002) Caracterización mineralógica de suelos desarrollados sobre cenizas volcánicas en el Noroeste de la Provincia del Chubut. *Actas*

XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Puerto Madryn, Chubut. Formato digital.

Van Straalen N.M. (1998) Evaluation of bioindicator systems derived from soil arthropod communities. *Applied Soil Ecology*, **9**, 429–437.

Wallwork J.A. (1967) Cryptostigmata (oribatid mites). *Entomology of Antarctica*, **10**, 105–122. <https://doi.org/10.1029/AR010p0105>.

Wallwork J.A. (1972) Distribution patterns of cryptostigmatid mites (Arachnida: Acari) in South Georgia. *Pacific Insects*, **14**, 615–625.

Wallwork J.A (1976) The distribution and diversity of soil fauna. 268-316. London-Academic.

Wallwork J.A. (1958). Notes on the feeding behaviour of some forest soil Acarina. *Oikos*, **9** (2), 260–271.

Wallwork J.A. (1988) *The soil fauna as bioindicators. In: Biología Ambiental: Actas del Congreso de Biología Ambiental (II Congreso Mundial Vasco)*, San Sebastian, Spain: Servicio Editorial, Universidad del País Vasco, pp. 203–215.

Walter D.E. & Proctor H.C. (2013) *Mites: ecology, evolution and behaviour. Life at a microscale*. Springer, Dordrecht, 494 p. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-7164-2>

Whitford W.G. (1996). The importance of the biodiversity of soil biota in arid ecosystems. *Biodiversity & Conservation*, **5** (2), 185–195.

Wardle D.A. (2002) *Communities and ecosystems: linking the aboveground and belowground components*. Princeton University Press, Princeton.

Wasserstrom H., Whitford W.G. & Steinberger Y. (2016) Spatiotemporal Variations of Soil Microarthropod. *Pedosphere: An International Journal*, **26** (4), 451–461. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(15\)60056-X](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(15)60056-X)

- Webb N.R. (1994) Post-fire succession of cryptostigmatic mites (Acari, Cryptostigmata) in a Calluna-heathland soil. *Pedobiologia*, **38**, 138–145.
- Wei T., & Simko V. (2016) Corplot: Visualization of a Correlation Matrix. R package version 0.77. CRAN, Vienna, Austria.
- Whitford W.G. (2002) *Ecology of desert systems*. Page xvi. Framework. Academic Press. Retrieved. 343 p.
- Whitford W.G., Freckman D.W., Elkins N.Z., Parker L.W., Parmalee R., Phillips J. & Tucker S. (1981) Diurnal Migration and Responses to Simulated Rainfall in Desert Soil Microarthropods and Nematodes. *Soil Biology and Biochemistry*, **13** (5), 417–25, [doi:10.1016/0038-0717\(81\)90087-0](https://doi.org/10.1016/0038-0717(81)90087-0).
- Winter J.P. & Behan-Pelletier V.M. (2007) Microarthropods. In: *Soil Sampling and Methods of Analysis, second ed* (Eds. Carter, M.R., Gregorich, E.G.). CRC press, Taylor and Francis Group LLC, Boca Raton, FL, pp. 399–414.
- Woas S. (2002) Acari: Oribatida. *Amazonian Arachnida and Myriapoda*, 21–291.
- Wolfinger R.D. & Chang M. (1995) Comparing the SAS and GLM mixed modeling procedures for repeated measures. *SUGI Proceedings. Cary, NC: SAS Institute Inc.*
- Wood T.G. (1971) The distribution and abundance of *Folsomides deserticola* Wood (Collembola: Isotomidae) and other microarthropods in arid and semiarid soils in Southern Australia with a note on nematode populations. *Pedobiologia*, **11**, 446–468.
- Zaitsev A.S., van Straalen N.M. & Berg M.P. (2012) Landscape geological age explains large scale spatial trends in oribatid mite diversity. *Landscape Ecology*, **28** (2), 285–296. <https://doi.org/10.1007/s10980-012-9834-0>
- Zuur A.F., Ieno E.N., Walker N.J., Saveliev A.A. & Smith G.M. (2009) GLM and GAM for count data. In: *Mixed effects models and extensions in ecology with R*. Springer, New York, NY, pp.209–243.

VI. APENDICES

APENDICE 1

**Apéndice 1.** Métricas de mesofauna de las 168 muestras de la estepa patagónica de la provincia de Chubut. Son colocados la media, el desvío estándar y los valores máximos y mínimos.

<i>Métricas de Mesofauna</i>	<b>Media+DS</b>	<b>Min.</b>	<b>Max.</b>
Abundancia	138±90	32	329
Riqueza	4,58±0,88	3	6
Diversidad (Índice de Margalef)	0,48±0,06	0,35	0,62
Diversidad (Índice Simpson)	0,61±0,18	0,3	1
Diversidad (Índice Shannon)	1,47±0,54	0,5	2,42
Equitatividad (Índice de Pielou)	0,49±0,18	0,19	0,8
<i>Métricas de Oribátidos</i>			
Abundancia	24±23	1	83
Riqueza	6±4	1	15
Diversidad (Índice de Margalef)	0,66±0,23	0	0,86
Diversidad (Índice de Simpson)	0,4±0,26	0	1
Diversidad (Índice de Shannon)	1,7±0,97	0	3,48
Equitatividad (Índice de Pielou)	0,8±0,3	0	0,96
N° Fam.	5±3	1	10
Abundancia de Macropylina	9±11	0	38
Abundancia de Gymnonota	8±12	0	40
Abundancia de Poronota	8±8	0	36
Riqueza de Macropylina	1±1	0	5
Riqueza de Gymnonota	2±2	0	6
Riqueza de Poronota	2±2	0	8

APENDICE 2

**Apéndice 2.** Tablas de los resultados de los análisis estadísticos ANOVAS, del Capítulo 1.

Abundancia

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Abundancia	24	0.91	0.73	51.25

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo	11894.00	15	792.93	5.17	0.0123	
Sitio	816.33	2	408.17	0.23	0.8112	(Sitio*Estepa)
Estepa	352.67	1	352.67	0.20	0.6977	(Sitio*Estepa)
Sitio*Estepa	3506.33	2	1753.17	11.43	0.0045	
Vegetación	5221.50	1	5221.50	10.93	0.0298	(Estepa>Vegetación*Sitio)
Vegetación*Estepa	28.17	1	28.17	0.06	0.8201	(Estepa>Vegetación*Sitio)
Estepa>Vegetación*Sitio	1911.33	4	477.83	3.11	0.0803	
Estación	4.17	1	4.17	0.03	0.8732	
Vegetación*Estación	2.67	1	2.67	0.02	0.8984	
Estepa*Estación	48.17	1	48.17	0.31	0.5906	
Vegetación*Estepa*Estación..	2.67	1	2.67	0.02	0.8984	
Error	1227.33	8	153.42			
Total	13121.33	23				

LOG10\_Riqueza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
LOG10 Riqueza	24	0.81	0.45	39.79

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo	2.22	15	0.15	2.26	0.1230	
Sitio	0.06	2	0.03	0.11	0.9031	(Sitio*Estepa)
Estepa	0.02	1	0.02	0.08	0.8041	(Sitio*Estepa)
Sitio*Estepa	0.58	2	0.29	4.47	0.0498	
Vegetación	1.33	1	1.33	74.89	0.0010	(Estepa>Vegetación*Sitio)
Vegetación*Estepa	0.03	1	0.03	1.89	0.2407	(Estepa>Vegetación*Sitio)
Estepa>Vegetación*Sitio	0.07	4	0.02	0.27	0.8883	
Estación	1.2E-05	1	1.2E-05	1.8E-04	0.9895	
Vegetación*Estación	0.06	1	0.06	0.86	0.3799	
Estepa*Estación	0.05	1	0.05	0.77	0.4066	
Vegetación*Estepa*Estación..	4.7E-03	1	4.7E-03	0.07	0.7945	
Error	0.52	8	0.07			
Total	2.74	23				

LOG10\_Margalef

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
LOG10 Margalef	21	0.81	0.36	72.92

Datos desbalanceados en celdas.  
 Para otra descomposición de la SC  
 especifique los contrastes apropiados.. !!

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo	0.58	14	0.04	1.80	0.2409	
Sitio	0.01	2	0.01	0.32	0.7570	(Sitio*Estepa)
Estepa	0.13	1	0.13	8.36	0.1016	(Sitio*Estepa)
Sitio*Estepa	0.03	2	0.02	0.70	0.5341	
Vegetación	0.23	1	0.23	13.80	0.0339	(Estepa>Vegetación*Sitio)
Vegetación*Estepa	0.03	1	0.03	1.77	0.2751	(Estepa>Vegetación*Sitio)
Estepa>Vegetación*Sitio	0.05	3	0.02	0.74	0.5649	
Estación	0.02	1	0.02	0.68	0.4417	
Vegetación*Estación	0.01	1	0.01	0.39	0.5577	
Estepa*Estación	1.8E-04	1	1.8E-04	0.01	0.9326	
Vegetación*Estepa*Estación..	0.06	1	0.06	2.72	0.1504	
Error	0.14	6	0.02			
Total	0.71	20				

Shannon

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Shannon	24	0.67	0.06	54.92

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo	7.03	15	0.47	1.10	0.4644	
Sitio	0.47	2	0.23	0.32	0.7572	(Sitio*Estepa)
Estepa	0.02	1	0.02	0.03	0.8888	(Sitio*Estepa)
Sitio*Estepa	1.45	2	0.73	1.71	0.2415	
Vegetación	3.57	1	3.57	30.76	0.0052	(Estepa>Vegetación*Sitio)
Vegetación*Estepa	0.09	1	0.09	0.81	0.4198	(Estepa>Vegetación*Sitio)
Estepa>Vegetación*Sitio	0.46	4	0.12	0.27	0.8873	
Estación	0.07	1	0.07	0.17	0.6903	
Vegetación*Estación	0.81	1	0.81	1.90	0.2057	
Estepa*Estación	0.09	1	0.09	0.20	0.6641	
Vegetación*Estepa*Estación..	2.7E-04	1	2.7E-04	6.3E-04	0.9806	
Error	3.40	8	0.43			
Total	10.43	23				

N° Fam

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
N° Fam	24	0.86	0.59	36.13

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	(Error)
Modelo	135.29	15	9.02	3.23	0.0495	
Sitio	16.75	2	8.38	1.33	0.4290	(Sitio*Estepa)
Estepa	0.04	1	0.04	0.01	0.9426	(Sitio*Estepa)
Sitio*Estepa	12.58	2	6.29	2.25	0.1674	
Vegetación	92.04	1	92.04	84.96	0.0008	(Estepa>Vegetación*Sitio)
Vegetación*Estepa	0.37	1	0.37	0.35	0.5879	(Estepa>Vegetación*Sitio)
Estepa>Vegetación*Sitio	4.33	4	1.08	0.39	0.8118	
Estación	2.04	1	2.04	0.73	0.4173	
Vegetación*Estación	5.04	1	5.04	1.81	0.2159	
Estepa*Estación	1.04	1	1.04	0.37	0.5583	
Vegetación*Estepa*Estación..	1.04	1	1.04	0.37	0.5583	
Error	22.33	8	2.79			
Total	157.63	23				

APENDICE 3

**Apéndice 3.** Tabla con los códigos del RDA del Capítulo 1. Los códigos corresponden a los sitios de muestreo y sus tratamientos

<i>Sitio</i>	<i>Criterio Fisonómico</i>	<i>Características Suelo</i>	<i>Estación del año</i>	<i>Código RDA</i>
Esquel	Graminosa	Cubierto	Primavera	EsGCS
Esquel	Graminosa	Cubierto	Otoño	EsGCA
Esquel	Graminosa	Desnudo	Primavera	EsGBS
Esquel	Graminosa	Desnudo	Otoño	EsGBA
Esquel	Arbustiva	Cubierto	Primavera	EsACS
Esquel	Arbustiva	Cubierto	Otoño	EsACA
Esquel	Arbustiva	Desnudo	Primavera	EsABS
Esquel	Arbustiva	Desnudo	Otoño	EsABA
Gdor. Costa	Graminosa	Cubierto	Primavera	GcGCS
Gdor. Costa	Graminosa	Cubierto	Otoño	GcGCA
Gdor. Costa	Graminosa	Desnudo	Primavera	GcGBS
Gdor. Costa	Graminosa	Desnudo	Otoño	GcGBA
Gdor. Costa	Arbustiva	Cubierto	Primavera	GcACS
Gdor. Costa	Arbustiva	Cubierto	Otoño	GcACA
Gdor. Costa	Arbustiva	Desnudo	Primavera	GcABS
Gdor. Costa	Arbustiva	Desnudo	Otoño	GcABA
Senguer	Graminosa	Cubierto	Primavera	SeGCS
Senguer	Graminosa	Cubierto	Otoño	SeGCA
Senguer	Graminosa	Desnudo	Primavera	SeGBS
Senguer	Graminosa	Desnudo	Otoño	SeGBA
Senguer	Arbustiva	Cubierto	Primavera	SeACS
Senguer	Arbustiva	Cubierto	Otoño	SeACA
Senguer	Arbustiva	Desnudo	Primavera	SeABS
Senguer	Arbustiva	Desnudo	Otoño	SeABA

APÉNDICE 4

**Apéndice 4.** Tablas de los Análisis de la Varianza para las métricas que dieron significativas y la que no lo fueron del Capítulo 2.

**Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
mesofauna	12	0.71	0.37	52.13

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Coef
Modelo	816.87	6	136.14	2.05	0.2234	
Tratamiento	633.14	2	316.57	4.78	0.0692	
Estación	134.18	3	44.73	0.67	0.6037	
Temperatura	199.00	1	199.00	3.00	0.1437	1.13
Error	331.41	5	66.28			
Total	1148.28	11				

**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=18.73231**

Error: 66.2828 gl: 5

Tratamiento	Medias	n	E.E.
F	7.86	4	4.07 A
G	13.32	4	4.27 A
C	25.67	4	4.22 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=24.52850**

Error: 66.2828 gl: 5

Estación	Medias	n	E.E.
Verano	2.11	3	11.37 A
Primavera	8.55	3	6.15 A B
Otoño	25.12	3	8.70 A B
Invierno	26.69	3	8.43 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

**Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
LOG10 Abundancia	12	0.35	0.00	82.46

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1.44	5	0.29	0.64	0.6810
Tratamiento	1.25	2	0.62	1.38	0.3211
Estación	0.19	3	0.06	0.14	0.9311
Error	2.71	6	0.45		
Total	4.15	11			

**Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Shannon	12	0.67	0.40	57.75

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2.81	5	0.56	2.44	0.1538
Tratamiento	1.52	2	0.76	3.31	0.1075
Estación	1.29	3	0.43	1.86	0.2365
Error	1.38	6	0.23		
Total	4.19	11			

**Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
LOG10 Riqueza	12	0.55	0.18	68.93

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.85	5	0.17	1.48	0.3206
Tratamiento	0.71	2	0.35	3.09	0.1196
Estación	0.14	3	0.05	0.41	0.7522
Error	0.69	6	0.11		
Total	1.54	11			

**Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Pielou	12	0.30	0.00	25.55

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.12	5	0.02	0.52	0.7541
Tratamiento	0.09	2	0.05	1.02	0.4141
Estación	0.03	3	0.01	0.19	0.9022
Error	0.27	6	0.04		
Total	0.39	11			

**N°Fam**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
N°Fam	12	0.76	0.47	52.54

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Coef
Modelo	43.82	6	7.30	2.64	0.1532	
Tratamiento	41.89	2	20.94	7.57	0.0307	
Estación	9.93	3	3.31	1.20	0.4005	
Temperatura	10.82	1	10.82	3.91	0.1049	0.26
Error	13.84	5	2.77			
Total	57.67	11				

**Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=3.82830**

Error: 2.7684 gl: 5

Tratamiento	Medias	n	E.E.
G	1.47	4	0.87 A
F	2.08	4	0.83 A
C	5.95	4	0.86 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=5.01286**

Error: 2.7684 gl: 5

Estación	Medias	n	E.E.		
Verano	-0.85	3	2.32	A	
Primavera	1.40	3	1.26	A	B
Otoño	5.96	3	1.78		B
Invierno	6.16	3	1.72		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

**Margalef**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Margalef	12	0.79	0.54	53.85

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Coef
Modelo	8.63	6	1.44	3.12	0.1162	
Tratamiento	6.19	2	3.10	6.72	0.0383	
Estacion	2.08	3	0.69	1.50	0.3214	
Temperatura	0.22	1	0.22	0.48	0.5214	0.04
Error	2.30	5	0.46			
Total	10.93	11				

**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=1.56181**

Error: 0.4608 gl: 5

Tratamiento	Medias	n	E.E.		
G	0.69	4	0.36	A	
F	0.76	4	0.34	A	
C	2.33	4	0.35		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=2.04507**

Error: 0.4608 gl: 5

Estacion	Medias	n	E.E.		
Verano	0.07	3	0.95	A	
Primavera	1.31	3	0.51	A	B
Invierno	1.44	3	0.70	A	B
Otoño	2.23	3	0.73		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

APENDICE 5.

**Apéndice 5.** Tabla con los códigos del CCA del Capítulo 2. Los códigos corresponden a los tratamientos y las estaciones del año.

<i>Tratamiento</i>	<i>Estación</i>	<i>Código</i>
Control	Verano	<b>C.V</b>
Control	Otoño	<b>C.O</b>
Control	Invierno	<b>C.I</b>
Control	Primavera	<b>C.P</b>
Forestal	Verano	<b>F.V</b>
Forestal	Otoño	<b>F.O</b>
Forestal	Invierno	<b>F.I</b>
Forestal	Primavera	<b>F.P</b>
Ganadero	Verano	<b>G.V</b>
Ganadero	Otoño	<b>G.O</b>
Ganadero	Invierno	<b>G.I</b>
Ganadero	Primavera	<b>G.P</b>