

**ABUNDANCIA DE COLLEMBOLA (ARTRÓPODA: HEXÁPODA) E  
INTERACCIÓN CON LOS PARÁMETROS EDÁFICOS, EN EL AGRO  
ECOSISTEMA ARROZ (*Oryza sativa* L., POACEAE), EN PANAMÁ**

Bruno Zachrisson y Pedro Osorio

RESUMEN

Se determinó la abundancia relativa (%) de los colémbolos, correlacionándola con la materia orgánica, humedad del suelo y el pH, en tres localidades productoras de arroz en Panamá. Las parcelas experimentales fueron sembradas con la variedad IDIAP-38, sin intervención antrópica previa. La recolección aleatoria de 30 muestras de 1000cm<sup>3</sup> de suelos en cada parcela experimental, realizada a los 70 días después de la siembra, se procesó por medio del embudo de Berlese y los colémbolos fueron identificados y cuantificados a nivel de familia. Las variables edáficas evaluadas se determinaron a través del análisis de componentes principales (ACP), representadas por medio de la varianza total explicada. La correlación entre

las familias de Collembola y los parámetros del suelo seleccionados, se analizó por medio de la prueba de Spearman ( $r_s$ ;  $p < 0,05$ ). El número total de individuos recolectados fue de 28 249, distribuidos en nueve familias, y presentaron diferencia estadística ( $P < 0,05$ ) entre las tres áreas muestreadas. La materia orgánica y la humedad del suelo presentaron interacciones positivas con las familias Isotomidae, Sminthuridae y Sminthurididae, las cuales fueron consideradas dominantes para este cultivo. Las reducidas poblaciones reportadas para las familias Brachystomellidae, Entomobryidae, Dycirtomidae, Hypogastruridae, Onychiuridae y Paronellidae, sugieren la vulnerabilidad a las variables edáficas estudiadas, inferiores al 10%.

Introducción

Los colémbolos constituyen el grupo más representativo de la mesofauna edáfica (Gómez-Anaya *et al.*, 2010; Cicconardi *et al.*, 2013; Socarrás, 2013), habiendo sido poco estudiado debido a la complejidad de los

ecosistemas que habitan y a su elevada diversidad (Mari Mutt y Belinger, 1990; Bellini y Zeppelini, 2009). Actualmente se ha registrado un total de 8344 especies de Collembola (Bellinger *et al.*, 1998-2013), encontrándose la mayoría reportada en regiones de clima

temperado (Bellini y Zeppelini, 2009). Sin embargo, estos autores estiman que una elevada proporción de la diversidad de colémbolos podría concentrarse en la región neotropical.

La actividad de estos artrópodos en el proceso de degradación y reciclaje de la materia

orgánica se refleja en la formación y fertilidad de los suelos (Palacios-Vargas, 2000; Kaneda y Kaneko, 2008), de manera que la variación de los parámetros físicos y químicos de los suelos incide en la composición y estructura de la población de colémbolos (Kováč, 1994;

**PALABRAS CLAVE / Arroz / Calidad de Suelos / Collembola / Ecosistemas Agrícolas / *Oryza sativa* /**

Recibido: 25/08/2016. Modificado: 05/01/2017. Aceptado: 11/01/2017.

**Bruno Zachrisson.** Licenciado en Ciencias Biológicas, Universidad Federal de Paraná, Brasil. Doctor en Ciencias Biológicas (Entomología), Escuela Superior de Agricultura

Luiz de Queiroz, Universidad de São Paulo, Brasil. Investigador, Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP). Profesor, Universidad de Panamá. Di-

rección: Laboratorio de Entomología, Centro de Investigación Agropecuaria Oriental, IDIAP. Tanara, Chepo, Panamá. e-mail: bazsalam@gmail.com

**Pedro Osorio.** Ingeniero Agrónomo, Universidad EARTH, Costa Rica. Coordinador, Laboratorio de Entomología, Centro de Investigación Agropecuaria Oriental, IDIAP, Panamá.

## ABUNDANCE OF COLLEMBOLA (ARTHROPODA: HEXAPODA) AND INTERACTION WITH EDAPHIC PARAMETERS, IN THE RICE (*Oryza sativa* L., POACEAE) AGRICULTURAL ECOSYSTEM, IN PANAMA

Bruno Zachrisson and Pedro Osorio

### SUMMARY

The relative abundance (%) of *Collembola* was determined along with its correlation with soil organic matter, humidity and pH, in three rice growing locations, in Panamá. The experimental plots were cultivated with the IDIAP-38 rice variety, without previous anthropic intervention. The random recollection of 30 samples in 1000cm<sup>3</sup> from soils of each experimental plots was performed at 70 days after seeding. The samples were processed using a Berlese funnel and the *Collembola* individuals were identified and quantified to family level. The assessed edaphic variables were determined through principal component analysis (PCA) and represented by means of the explanation of the total data variance. The

correlation between the *Collembola* families and the selected soil parameters was analyzed by means of the Spearman test ( $r_s$ ;  $p < 0.05$ ). The total number of collected individuals was 28 249, distributed in nine families, and presented statistical differences between the three sampled areas. The organic matter and the soil humidity presented positive interactions with the families *Isotomidae*, *Sminthuridae* and *Sminthurididae*, which were considered dominant for these crops. The reduced reported populations of *Brachystomellidae*, *Entomobryidae*, *Dycirtomidae*, *Hypogastruridae*, *Onychiuridae* and *Paronellidae* families suggest the vulnerability of the studied edaphic variables, lower than 10%.

## ABUNDÂNCIA DE COLLEMBOLA (ARTRÓPODA: HEXÁPODA) E INTERAÇÃO COM OS PARÂMETROS EDÁFICOS, NO AGRO ECOSISTEMA ARROZ (*Oryza sativa* L., POACEAE), NO PANAMÁ

Bruno Zachrisson e Pedro Osorio

### RESUMO

Se determinou a abundância relativa (%) dos *Collembola*, correlacionando com a matéria orgânica, umidade e pH do solo em três localidades produtoras de arroz no Panamá. As áreas experimentais foram semeadas com a variedade IDIAP-38, sem intervenção antrópica previa. A coleta aleatória de 30 amostras de 1000cm<sup>3</sup> do solo de cada localidade amostrada, realizada 70 dias depois semeadura, foi processada por meio de um funil de Berlese e os *Collembola* foram identificados e quantificados a níveis de família. As variáveis edáficas avaliadas foram determinadas através da análise de componentes principais (ACP), representadas por meio da variância total explicada. A correlação entre as famílias de

*Collembola* e os parâmetros do solo selecionados foi analisada através do teste de Spearman ( $r_s$ ;  $p < 0,05$ ). O número total de indivíduos submetidos à coleta foi de 28 249, distribuídos em nove famílias e apresentaram diferença estatística entre as três áreas de amostragem. A matéria orgânica e a umidade do solo apresentaram interações positivas com as famílias *Isotomidae*, *Sminthuridae* e *Sminthurididae*, as quais foram consideradas dominantes. A população reduzida registrada para as famílias *Brachystomellidae*, *Entomobryidae*, *Dycirtomidae*, *Hypogastruridae*, *Onychiuridae* e *Paronellidae*, sugerem vulnerabilidade para as variáveis edáficas estudadas, inferiores a 10%.

Chagnon *et al.*, 2000) y en sus interacciones con otros organismos edáficos (Guillén *et al.*, 2006). Específicamente, la concentración de materia orgánica (Eaton *et al.*, 2004; Negri, 2004), la humedad del suelo (Guillén *et al.*, 2006; Gómez-Anaya *et al.*, 2010; Socarrás, 2013), el pH (Hägvar, 1982; Loranger *et al.*, 2001; Guillén *et al.*, 2006; Socarrás, 2013), la disponibilidad de nutrientes (Bird *et al.*, 2000; Socarrás e Izquierdo, 2014) y la acumulación de ingredientes activos de pesticidas (Framptom, 1997; Hasegawa 2002; Cassagne *et al.*, 2003, 2004), limitan la colonización de colémbolos en los ecosistemas agrícolas y forestales. Otras variables de origen antropogénico vinculadas a la producción agrícola, como son la meca-

nización, compactación, textura y estructura de los suelos, influyen en la densidad poblacional y provocan la distribución irregular de este grupo de hexápodos (Mussuri *et al.*, 2002; Bedano *et al.*, 2006; Guillén *et al.*, 2006; Gómez-Anaya *et al.*, 2010).

La conjugación de la tasa de humedad del suelo y la concentración de la materia orgánica afecta directamente el patrón de distribución vertical de los colémbolos (Hopkin, 1997; Socarrás, 2013). La interacción observada entre ambos parámetros edáficos, también favorece el incremento de la población de hongos y bacterias, organismos que sirven de alimento a un elevado número de especies de *Collembola* (Guillén *et al.*, 2006).

La susceptibilidad de los parámetros biológicos y reproduc-

tivos de los colémbolos, con relación a la variabilidad de los parámetros edáficos en los ecosistemas agrícolas y forestales, permite enmarcarlos como indicadores biológicos de la salud y calidad de los suelos (Bellinger *et al.*, 2016; Duelli y Obrist, 2003; Guillén *et al.*, 2006; Baretta *et al.*, 2008; Pimentel *et al.*, 2011; Socarrás, 2013). El escaso número de taxónomos de este grupo y la dificultad de identificar los individuos a nivel de género o especie, podría limitar su utilización como indicadores biológicos en la evaluación de la salud y calidad de los suelos de vocación agrícola y forestal. No obstante, algunos autores sustentan que la agrupación de los colémbolos por familia u otro taxón también puede

indicar la degradación de los suelos destinados a diversas actividades productivas (Prasse, 1985; Ekschmitt *et al.*, 2003).

La reducida cantidad de referencias bibliográficas que relacionan a la taxonomía, biología y ecología de *Collembola* con la variación de los factores edáficos en los ecosistemas agrícolas tropicales, sustenta la necesidad de investigar en el tema propuesto. De esta manera, los resultados presentados redundarán en el fortalecimiento de los programas de manejo y conservación de suelos en áreas destinadas al cultivo del arroz. En el presente estudio se comparó el patrón de abundancia de los colémbolos asociados a este cultivo en Panamá, y se determinó la correlación entre las familias de estos

hexápodos con las principales variables edáficas.

## Material y Métodos

### Áreas experimentales

El estudio consideró tres áreas experimentales de arroz de Panamá, ubicadas en las localidades de Barro Blanco (BB), Chiriquí (8°25'879"N y 82°46'284"O); Dos Bocas (DB), Herrera, (8°3'475"N y 80°51'542"O) y Tocumen (T), Panamá, (9°3'93"N y 79°20'134"O). Las parcelas experimentales de arroz (*Oryza sativa* L.), sembradas con la variedad IDIAP-38, midieron 1600m<sup>2</sup> (40x40m). Las áreas seleccionadas fueron establecidas en suelos que no presentaban degradación como consecuencia de la actividad antrópica previa. Para la preparación del suelo en las parcelas muestreadas, se siguieron las recomendaciones de Villarreal *et al.* (2007).

### Recolección de las muestras de suelo

Las muestras de suelo de 1000cm<sup>3</sup> (10x10x10cm) fueron recolectadas aleatoriamente y transferidas a bolsas plásticas transparentes, codificadas de acuerdo con la localidad y fecha de muestreo. Las mismas fueron extraídas a los 70 días después de la siembra (dds), estableciéndose un total de 30 muestras por parcela experimental. Posteriormente, en menos de 24h, las muestras fueron enviadas al laboratorio de suelos del Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP).

### Análisis físico y químico de las muestras de suelo

El análisis químico de los macronutrientes (P, K, Ca, Mg) y micronutrientes (Fe, Cu, Zn, Mn, Al) se realizó de acuerdo con el protocolo desarrollado por Villarreal y Name (1996). El porcentaje de materia orgánica (MO) y el pH se determinaron respectivamente por medio del método de Walkley-Black (Jackson, 1982) y el potenciométrico (Villarreal y Name,

1996). La humedad del suelo se calculó a través del porcentaje de la relación entre el peso húmedo y seco de la muestra (Villarreal y Name, 1996).

### Extracción e identificación taxonómica de Collembola

La extracción de los colémbolos fue realizada por medio del embudo de Berlese, proceso que se completó a los siete días, para posteriormente ser transferidos a viales de vidrio de 10ml, con alcohol etílico 70%. El montaje de los especímenes se realizó de acuerdo con el procedimiento descrito por Christiansen y Bellinger (1998). La identificación de los especímenes por familia y su separación por localidad, se efectuó por medio de la observación y diferenciación de los caracteres morfológicos presentados en las claves taxonómicas de Palacios-Vargas (1990) y Palacios-Vargas y Gómez-Anaya (1993). Los especímenes *voucher*, fueron depositados en el Laboratorio de Entomología del Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), El Naranjal, Chepo, Panamá.

### Diseño experimental y análisis estadístico

El diseño experimental utilizado fue completamente al azar, considerando la aleatoriedad de las muestras en cada parcela experimental. La abundancia

relativa (%) de los colémbolos distribuidos por familia, fue determinada para cada localidad. Posteriormente, la aplicación de una prueba de LSD de Fisher ( $p < 0,05$ ) permitió inferir si existía diferencia estadística entre el número total de individuos y las áreas muestreadas. Las variables físicas y químicas de los suelos seleccionadas para las localidades estudiadas fueron comparadas por la prueba LSD de Fisher ( $p < 0,05$ ).

La selección de las variables edáficas consideradas en el presente estudio fue determinada por medio del análisis de componentes principales (ACP), representada por medio de la varianza total explicada (Villarreal *et al.*, 2003). El criterio de retención del valor propio (*Eigen value*)  $> 1$  indicó el aporte de las principales variables edáficas registradas en las parcelas experimentales. La correlación de los parámetros físicos y químicos seleccionados con el número de individuos por familia de Collembola en cada localidad se analizó a través de la prueba de Spearman ( $r_s$ ;  $p < 0,05$ ).

## Resultados

### Composición y abundancia de familias de Collembola

El número total de individuos recolectados fue de 28 249, incluidos en nueve familias, y presentaron diferencia estadística

( $p < 0,05$ ) en relación a las tres localidades evaluadas (Tabla I). La cantidad de colémbolos registrada en Tocumen fue mayor ( $p < 0,05$ ) que las parcelas ubicadas en Dos Bocas y Barro Blanco (Tabla I). Independientemente de la variación en el patrón de abundancia en las áreas experimentales, se confirmó que las familias dominantes en el agro-ecosistema arroz fueron: Isotomidae, Sminthuridae y Sminthurididae, las cuales contribuyeron con 89, 73 y 89% del total de individuos en Barro Blanco, Dos Bocas y Tocumen, respectivamente (Tabla I; Figura 1).

Las familias Dicyrtomidae e Hypogasturidae, con abundancia  $< 1\%$ , sugieren gradientes de susceptibilidad a los factores edáficos registrados en las parcelas experimentales (Tabla I, Figura 1). Sin embargo, el patrón variable de abundancia ( $< 10\%$ ) de las familias Entomobryidae, Paronellidae, Brachystomellidae y Onychiuridae, también sugiere la sensibilidad de estos individuos a los parámetros evaluados (Tabla I).

### Perfil edáfico de las áreas evaluadas

Los parámetros edáficos (Tabla II) variaron en relación a las parcelas muestreadas, confirmando una marcada diferencia estadística ( $p < 0,05$ ) entre ellas. A pesar de la variabilidad de los factores edáficos en las áreas

TABLA I  
NÚMERO DE INDIVIDUOS Y ABUNDANCIA RELATIVA,  
POR FAMILIA DE COLLEMBOLA (ARTRÓPODA: HEXÁPODA),  
REGISTRADAS EN TRES LOCALIDADES DE PANAMÁ

Familia	BB		DB		T		Total	
	NI	AR	NI	AR	NI	AR	NI	AR
Entomobryidae	300	3,14	697	9,61	758	6,62	1755	6,21
Isotomidae	1421	14,87	918	12,66	3889	33,98	6228	22,05
Paronellidae	124	1,30	148	2,04	140	1,22	412	1,46
Sminthuridae	2613	27,35	2376	32,76	2119	18,51	7108	25,16
Sminthurididae	4518	47,29	2013	27,76	4139	36,16	10670	37,77
Brachystomellidae	151	1,58	384	5,30	208	1,82	743	2,63
Dicyrtomidae	13	0,14	9	0,12	22	0,19	44	0,16
Onychiuridae	401	4,20	695	9,58	151	1,32	1247	4,41
Hypogastruridae	12	0,13	11	0,15	19	0,17	42	0,15
Total	9553 b	100,00	7251 c	100,00	11445 a*	100,00	28249	100,00

BB: Barro Blanco, Bugaba, Provincia de Chiriquí; DB: Dos Bocas, Ocu, Provincia de Herrera; T: Tocumen, Provincia de Panamá.

NI: número total de individuos. AR: abundancia relativa (%), \*: diferencia estadística entre el número total de individuos y las localidades muestreadas, por medio de la prueba de LSD de Fisher ( $P < 0,05$ ).

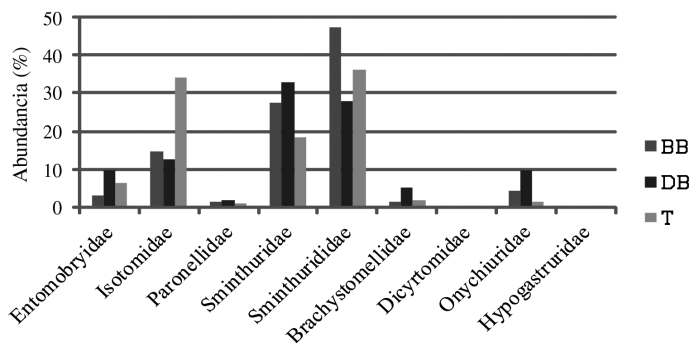


Figura 1. Abundancia relativa (%), por familia de Collembola (Artrópoda: Hexápoda), registradas en las localidades de Barro Blanco (BB), Bugaba, Provincia de Chiriquí; Dos Bocas (DB), Océ, Provincia de Herrera y Tocumen (T), Provincia de Panamá, Panamá.

experimentales, la localidad de Tocumen registró niveles elevados de materia orgánica, humedad del suelo y pH, estadísticamente superiores ( $p < 0,05$ ) a Barro Blanco y Dos Bocas. Los macronutrientes (P, K, Ca, Mg) y micronutrientes (Fe, Cu, Zn, Mn, Al), fueron estadísticamente semejantes en las localidades de Dos Bocas y Tocumen. Por ello, el análisis de la varianza total explicada (Tabla III) confirmó el aporte de la materia orgánica, humedad y pH en los suelos de las áreas experimentales, considerando el registro de los valores propios  $> 1,0$ .

#### Interacción entre abundancia de familias y variables edáficas

El número de individuos de las familias Isotomidae, Smin-

thuridae y Sminthurididae, presentó correlaciones positivas con la materia orgánica y la humedad del suelo en las parcelas evaluadas (Tabla IV). El papel determinante de estas variables edáficas en la composición de las familias de Collembola podría justificar la elevada abundancia de éstas en las áreas experimentales (Tabla I). La mayoría de las familias de Collembola, con excepción de Paronellidae e Hypogastruridae, se correlacionaron significativamente con la humedad del suelo ( $p < 0,05$ ).

En general, se evidenció un patrón variable de la interacción entre el pH y la abundancia de Collembola. Sin embargo, la familia Sminthuridae fue la única que presentó correlación positiva ( $p < 0,05$ ) en

TABLA II  
NIVELES DE LA MATERIA ORGÁNICA (MO), pH, HUMEDAD DEL SUELO (%), MACRO Y MICRONUTRIENTES, REGISTRADOS EN TRES LOCALIDADES DE PANAMÁ\*

	BB	DB	T
MO. (%)	4,4 $\pm$ 1,0 b	4,5 $\pm$ 0,7 b	5,1 $\pm$ 1,3 a*
Humedad (%)	5,1 $\pm$ 0,6 b	4,9 $\pm$ 0,4 b	6,3 $\pm$ 0,3 a
pH	4,6 $\pm$ 0,1 b	4,5 $\pm$ 0,2 b	5,8 $\pm$ 0,4 a
P (mg·l <sup>-1</sup> )	4,1 $\pm$ 0,9 a	3,8 $\pm$ 0,2 a	4,2 $\pm$ 0,8 a
K (mg·l <sup>-1</sup> )	78,9 $\pm$ 6,4 b	82,1 $\pm$ 5,1 a	84,3 $\pm$ 4,3 a
Fe (mg·l <sup>-1</sup> )	68,3 $\pm$ 6,3 a	69,4 $\pm$ 5,8 a	72,3 $\pm$ 5,4 a
Zn (mg·l <sup>-1</sup> )	2,9 $\pm$ 0,6 a	2,7 $\pm$ 0,5 a	2,9 $\pm$ 0,5 a
Cu (mg·l <sup>-1</sup> )	4,6 $\pm$ 0,4 b	6,0 $\pm$ 0,2 a	5,8 $\pm$ 0,7 a
Mn (mg·l <sup>-1</sup> )	33,8 $\pm$ 3,2 b	36,9 $\pm$ 3,7 a	38,1 $\pm$ 2,4 a
Ca (cmol·kg <sup>-1</sup> )	4,5 $\pm$ 0,9 b	5,3 $\pm$ 0,6 a	5,8 $\pm$ 0,5 a
Mg (cmol·kg <sup>-1</sup> )	2,6 $\pm$ 0,3 a	2,7 $\pm$ 0,4 a	2,4 $\pm$ 0,7 a
Al (cmol·kg <sup>-1</sup> )	0,5 $\pm$ 0,08 a	0,5 $\pm$ 0,06 a	0,6 $\pm$ 0,04 a

BB: Barro Blanco, Bugaba, Provincia de Chiriquí; DB: Dos Bocas, Océ, Provincia de Herrera; T: Tocumen, Provincia de Panamá.

\* Promedios de 30 muestras de suelos por localidad, a los 70 dds. Medias seguidas de la misma letra, en las líneas, no presentan diferencias estadísticas, por la prueba de Fisher ( $P < 0,05$ ).

relación con el pH, prevaleciendo esta tendencia en las parcelas experimentales evaluadas (Tabla IV).

#### Discusión

El elevado contenido de materia orgánica asociado con la humedad del suelo favoreció al incremento de la población de Collembola en la localidad de Tocumen, Panamá. Curry y Good (1992) relacionaron la reducción de la densidad y del número de especies de Collem-

bola con la pérdida de materia orgánica en áreas cultivadas de arroz. Otros autores sugieren que la salud edáfica responde al equilibrio existente entre la materia orgánica y la humedad del suelo (Siddiky *et al.*, 2012), interacción que promueve el incremento de la población de colémbolos (Park y Cousins, 1995; Hopkin, 1997; Guillén *et al.*, 2006). La actividad biológica de este grupo de artrópodos, relacionada directamente con el reciclaje de materia orgánica y la humedad del

TABLA III  
PORCENTAJE DE LA VARIANZA TOTAL EXPLICADA (VALORES PROPIOS \*) PARA LAS VARIABLES EDÁFICAS DE LAS TRES LOCALIDADES ESTUDIADAS

Variables edáficas	Barro Blanco			Dos Bocas			Tocumen		
	Valor propio	Varianza total	Varianza total acumulada	Valor propio	Varianza total	Varianza total acumulada	Valor propio	Varianza total	Varianza total acumulada
MO	3,88	33,54	33,54	3,55	33,02	33,02	3,47	31,53	31,53
Hum	2,98	25,77	59,31	2,67	24,87	57,89	2,51	22,83	54,36
pH	1,29	11,15	70,46	1,65	15,36	73,25	1,75	15,89	70,25
P	0,90	7,77	78,23	0,86	7,97	81,22	0,91	8,27	78,52
K	0,67	5,78	84,01	0,64	5,91	87,13	0,66	5,97	84,49
Fe	0,62	5,32	89,33	0,56	5,25	92,38	0,59	5,36	89,85
Zn	0,51	4,43	93,76	0,36	3,34	95,72	0,47	4,27	94,12
Cu	0,44	3,78	97,54	0,22	2,07	97,79	0,35	3,16	97,38
Mn	0,21	1,83	99,37	0,15	1,38	99,17	0,16	1,43	98,71
Ca	0,11	0,47	99,84	0,04	0,33	99,50	0,06	0,59	99,30
Al	0,01	0,11	99,95	0,03	0,29	99,79	0,05	0,41	99,71
Mg	0,006	0,05	100,00	0,02	0,21	100,00	0,03	0,29	100,00

\* Los valores propios (*Eigen values*)  $> 1$ , en números cursivos, indican el aporte de las variables edáficas. MO: materia orgánica, Hum: humedad del suelo (%).



TABLA IV  
COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE SPEARMAN ( $r_s$ ) ENTRE EL NÚMERO DE INDIVIDUOS POR FAMILIA DE COLLEMBOLA Y LAS VARIABLES MATERIA ORGÁNICA, HUMEDAD Y pH, PARA LAS TRES LOCALIDADES ESTUDIADAS

Familia	Barro Blanco			Dos Bocas			Tocumen		
	MO	Hum	pH	MO	Hum.	pH	MO	Hum.	pH
Entomobryidae	0,03	0,32*	-0,11	0,07	0,37*	-0,18	0,16	0,41*	-0,14
Isotomidae	0,41*	0,43*	-0,02	0,38*	0,54*	-0,06	0,47*	0,48*	-0,08
Paronellidae	-0,07	-0,01	0,12	-0,06	-0,09	-0,03	0,15	-0,05	-0,06
Sminthuridae	0,38*	0,34*	0,19*	0,42*	0,47*	0,21*	0,47*	0,54*	0,37*
Sminthurididae	0,43*	0,53*	0,08	0,36*	0,63*	0,03	0,64*	0,72*	0,10
Brachystomellidae	-0,13	0,21*	0,01	-0,06	0,18*	0,03	0,19	0,29*	0,05
Dicyrtomidae	-0,01	0,25*	0,03	-0,06	0,19*	0,01	-0,02	0,21*	-0,04
Onychiuridae	-0,13	0,37*	0,10	0,23	0,29*	0,24	-0,03	0,21*	-0,02
Hypogastruridae	-0,12	-0,01	-0,19*	-0,09	-0,09	-0,02	0,13	-0,08	-0,17*

\* Correlaciones significativas ( $p < 0,05$ ). MO: materia orgánica, Hum: humedad del suelo (%).

suelo, promueven la producción de hongos, bacterias y micorrizas, considerados componentes principales de la dieta de los colémbolos (Park y Cousins, 1995; Hopkin, 1997; Chauvat *et al.*, 2003; Larsen *et al.*, 2004). Se confirma así la relación entre las variables edáficas citadas con la elevada tasa de abundancia de las familias Isotomidae, Sminthuridae y Sminthurididae en las parcelas experimentales evaluadas. Grandy *et al.* (2013) y Guzmán *et al.* (2010) destacaron que la concentración de materia orgánica próxima a 5,09% favorece el crecimiento poblacional de Collembola en áreas productoras de arroz. Sin embargo, la variabilidad en la concentración de gradientes de materia orgánica relacionada con otros factores abióticos puede influir de manera indiscriminada en la dominancia de las familias de Collembola reportadas en suelos destinados al cultivo del arroz (Mendoza *et al.*, 1999; Widyastuti, 2005).

La susceptibilidad de los colémbolos, en función de la caracterización y variabilidad de los parámetros edáficos, puede reflejarse en el registro de las familias Hypogastruridae y Paronellidae, vulnerables a la humedad del suelo, en el ecosistema arroz (Widyastuti, 2005). No obstante, la condición que establece el grado de vulnerabilidad de estos organismos y que los define como indicadores biológicos puede variar de acuerdo con el patrón edáfico registrado en la localidad

evaluada y al rubro agrícola sembrado.

El pH influye en la composición y abundancia de las familias de los colémbolos en los ecosistemas agrícolas y forestales (Ponge, 1983; Hågvar y Abrahamsen, 1984), por lo que la variabilidad del pH puede considerarse como un factor limitante para el desarrollo biológico y reproductivo de este grupo de artrópodos (Hågvar; 1987; Brethes *et al.* 1995; Van Straalen y Verhoef, 1997). De manera que la sinergia entre el pH registrado en suelos ácidos y la elevada tasa de humedad favorece el aumento de la población de las especies de las familias Isotomidae y Sminthuridae, en zonas destinadas al cultivo del arroz (Widyastuti, 2005).

Los organismos mesoedáficos, que incluyen a los colémbolos, responden a la variabilidad de los parámetros físicos y químicos, adoptando la estrategia -r, lo cual indica su elevada capacidad reproductiva y de adaptación, en ecosistemas agrícolas y forestales (Petersen, 2002). La variación del patrón de distribución, densidad y diversidad de los colémbolos, como resultado de las interacciones con las variables físicas y químicas, permite referir a estos organismos como indicadores de la salud y calidad de los suelos (Socarrás, 2013). Sin embargo, no se descarta la influencia de los factores bióticos en las interacciones con otros organismos edáficos, en la definición del estado ecológico de

los suelos destinados a la producción agrícola.

### Conclusiones

Los factores edáficos, principalmente la materia orgánica y la humedad del suelo, influyeron en la estructura y composición de la comunidad de los colémbolos, en las áreas productoras de arroz. La sinergia de ambos parámetros edáficos favoreció el incremento de la población de las familias Isotomidae, Sminthuridae y Sminthurididae, consideradas como dominantes en este agroecosistema.

Las reducidas poblaciones registradas para las familias Brachystomellidae, Dicyrtomidae, Entomobryidae, Paronellidae, Onychiuridae e Hypogastruridae, sugieren la vulnerabilidad a las variables edáficas estudiadas, por lo que se recomienda la implementación de estudios posteriores en condiciones bióticas y abióticas controladas, que definan al grupo como indicadores biológicos de salud y calidad en suelos de vocación arrocera. Además, es imperativo promover la formación de especialistas que integren conocimientos de taxonomía, biología, ecología y comportamiento, con la finalidad de entender las diferentes interacciones bióticas y abióticas de los colémbolos en los ecosistemas productivos del trópico.

La identificación de los individuos a nivel de familia ofreció una alternativa viable y

práctica para determinar suelos degradados o vulnerables a los diversos sistemas de manejo en los ecosistemas agrícolas destinados a la producción de arroz.

### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT), Panamá, por el financiamiento del proyecto FID07-82, y al Sistema Nacional de Investigación (SNI). Igualmente, queremos destacar el apoyo del técnico Onesio Martínez.

### REFERENCIAS

- Baretta D, Seabra F, Souza J, Nogueira C (2008) Colémbolos (Hexapoda: Collembola) como bioindicadores de qualidade do solo em áreas com *Araucaria angustifolia*. *Rev. Bras. Cienc. Solo* 32: 2693-2699.
- Bedano J, Cantú M, Doucet M (2006) Soil springtails (Hexapoda: Collembola), Symphylans and Paurpods (Arthropoda: Myriapoda) under different management systems in agroecosystems of the subhumid Pampa (Argentina). *Eur. J. Soil Biol.* 42: 107-119.
- Bellini B, Zeppelini D (2009) Registros da fauna de Collembola (Arthropoda, Hexapoda) no estado da Paraíba, Brasil. *Rev. Bras. Entomol.* 53: 386-390.
- Bellinger P, Christiansen K, Janssens F (1998-2013) *Checklist of the Collembola of the World*. [www.collembola.org](http://collembola.org/). (Cons. 03/01/2016).
- Bellinger P, Christiansen K, Janssens F (2016) *Checklist of the Collembola: Families*. University of Antwerp, Bélgica. <http://collembola.org./taxa/collembola.htm>. (Cons. 06/01/2016).
- Bird S, Coulson R, Crossley D (2000) Impacts of silvicultural practices on soil and litter arthropods diversity in a Texas pine plantation. *For. Ecol. Manag.* 131: 65-89.
- Brethes A, Brun J, Jabiol B, Ponge J, Toutain B (1995) Classification of forest humus forms: a French proposal. *Ann. Sci. For.* 52: 535-546.
- Cassagne N, Gers C, Gauquelin T (2003) Relationships between Collembola, soil chemistry and humus type in forest stands (France). *Biol. Fertil. Soils* 37: 355-361.
- Cassagne N, Bal-Serin M, Gers C, Gauquelin T (2004) Changes in

- humus properties and collembolan communities following the replanting of beech forests with spruce. *Pedobiologia* 48: 267-276.
- Cicconardi F, Fanciulli P, Emerson B (2013) Collembola, the biological species concept and underestimation of global species richness. *Mol. Ecol.* 22: 5382-5396.
- Chagnon M, Herbert C, Paré D (2000) Community structure of Collembola in sugar maple forest: relation to humus type and seasonal trends. *Pedobiologia* 44: 148-174.
- Chauvat M, Zaitsev A, Wolters V (2003) Successional changes of Collembola and soil microbiota during forest rotation. *Oecologia* 137: 269-276.
- Christiansen K, Bellinger P (1998) *The Collembola of North America, North of Rio Grande*. Grinnell College. Grinnell, IO, EEUU. pp. 1116-1122.
- Curry J, Good J (1992) Soil faunal degradation and restoration. *Adv. Soil Sci.* 17: 171-215.
- Duelli P, Obrist M (2003) Biodiversity indicators: the choice of values and measures. *Agric. Ecosyst. Environ.* 98: 87-98.
- Eaton R, Barbercheck M, Buford M, Smith W (2004) Effects of organic matter removal, soil compaction, and vegetation control on Collembolan population. *Pedobiologia* 48: 121-128.
- Ekschmitt K, Stierhof T, Dauber J, Kreimes K, Wolters V (2003) On the quality of soil biodiversity indicators: abiotic and biotic parameters as predictors of soil faunal richness at different spatial scales. *Agric. Ecosyst. Environ.* 98: 273-283.
- Frampton, G (1997) The potential of Collembola as indicators of pesticide usage: evidence and methods from the UK arable ecosystem. *Pedobiologia* 41: 179-184.
- Gomez-Anaya J, Palacios-Vargas J, Castaño-Meneses G (2010) Abundancia de colémbolos (Hexápoda: Collembola) y parámetros edáficos de una selva baja caducifolia. *Rev. Col. Entomol.* 36: 96-105.
- Grandy A, Salam D, Wickings K, McDaniel M, Culman S, Snapp S (2013) Soil respiration and litter decomposition responses to nitrogen fertilization rate in no-till corn systems. *Agric. Ecosyst. Environ.* 179: 35-40.
- Guzmán L, Melo O, Lozano M, Rivera F (2010) Colémbolos (Hexápoda) en un sistema silvopastoril de tres edades de establecimiento y un área arrocera del bosque seco tropical, en el municipio de Piedras, Tolima. *Bol. Cient. Mus. Hist. Nat.* 14: 155-168.
- Guillén C, Soto-Adames F, Springer M (2006) Diversidad y abundancia de los colémbolos edáficos en un bosque primario, un bosque secundario y un cafetal en Costa Rica. *Agron. Costarric.* 30(2): 7-17.
- Hägvar S (1982) Collembola in Norwegian coniferous forest soils. I. Relations to plant communities and soil fertility. *Pedobiologia* 24: 255-296.
- Hägvar S (1987) Why do collembolas and mites react to changes in soil acidity? *Entomol. Meddel.* 55: 115-119.
- Hägvar S, Abrahamsen G (1984) Collembola in Norwegian coniferous forest soils III. Relation to soil chemistry. *Pedobiologia* 27: 331-339.
- Hasegawa M (2002) The response of collembolan community to the amount and composition of organic matter of a forest floor. *Pedobiologia* 46: 353-364.
- Hopkin S (1997) *Biology of the Springtails (Insecta: Collembola)*. Oxford University Press, Oxford, RU. 340 pp.
- Jackson M (1982) *Análisis Químicos de Suelos*. Omega. Madrid. España. 662 pp.
- Kaneda S, Kaneko N (2008) Collembolans feeding on soil affect carbon and nitrogen mineralization by their influence on microbial and nematode activities. *Biol. Fertil. Soils* 44: 435-442.
- Kováč L (1994) Effect of soil type on collembolan communities in agroecosystem. *Acta Zool. Fenn.* 195: 89-93.
- Larsen T, Schjonning P, Axelsen J (2004) The impact soil compaction on eudaphic Collembola. *Appl. Soil Ecol.* 26: 273-281.
- Loranger G, Bandyopadhyaya I, Razaka B, Ponge J (2001) Does soil acidity explain altitudinal sequences in collembolan communities? *Soil Biol. Biochem.* 33: 381-393.
- Mari Mutt J, Bellinger P (1990) *A Catalog of Neotropical Collembola Including Nearctic Areas of Mexico. Flora and Fauna Handbook N° 5*. Sandhill Crane. Gainesville, FL, EEUU. 237 pp.
- Mendoza S, Villalobos F, Ruiz-Montoya L, Castro A (1999) Patrones ecológicos de los colémbolos en el cultivo de maíz en Balún Canal, Chiapas, México. *Acta Zool. Mex.* 78: 83-101.
- Mussuri R, Scalón S, da Silva S, Soligo V (2002) Study of Acari and Collembola populations in four cultivation systems in Dourados-MS. *Braz. Arch. Biol. Technol.* 45: 257-264.
- Negri I (2004) Spatial distribution of Collembola in presence and absence of a predator. *Pedobiologia* 48: 585-588.
- Palacios-Vargas JG (1990) Diagnóstico y clave para determinar las familias de los Collembola de la región Neotropical. En *Manuales y Guías para el Estudio de Microartrópodos I*. UNAM. México. pp. 1-15.
- Palacios-Vargas JG (2000) Los Collembola (Hexapoda: Entognatha) de Jalisco, México. *Dugesiana* 7: 23-36.
- Palacios-Vargas JG, Gómez-Anaya J (1993) Los Colémbolos (Hexapoda: Apterygota) de Chamela, Jalisco, México. (Distribución, Ecología y Claves). *Folia Entomol. Mex.* 89: 1-34.
- Park J, Cousins S (1995) Soil biological health an agro-ecological change. *Agric. Ecosyst. Environ.* 56: 137-148.
- Petersen H (2002) General aspects of collembolan ecology at the turn of the millennium. *Pedobiologia* 46: 246-260.
- Pimentel M, De-Polli, H, Aquino A, Correia M, Rouws C (2011) Biondicators of soil quality in coffee organic cultivation systems. *Pesq. Agropec. Bras.* 46: 546-553.
- Ponge J (1983) Les Collemboles, Indicateurs du type d'humus en milieu forestier. Résultats obtenus au Sud de Paris. *Acta Oecol.* 4: 359-374.
- Prasse J (1985) Indications of structural changes in the communities of microarthropods of the soil in an agro-ecosystem after applying herbicides. *Agric. Ecosyst. Environ.* 13: 205.
- Siddiky R, Kohler J, Cosme M, Rilling M (2012) Soil biota effects on soil structure: Interactions between arbuscular mycorrhizal fungal mycelium and collembolan. *Soil Biol. Biochem.* 50: 33-39.
- Socarrás A (2013) Mesofauna edáfica: indicador biológico de la calidad del suelo. *Pastos y Forrajes* 36: 5-13.
- Socarrás A, Izquierdo I (2014) Evaluación de sistemas agroecológicos mediante indicadores biológicos de la calidad del suelo: mesofauna edáfica. *Pastos y Forrajes* 37: 47-54.
- Van Straalen N, Verhoef H. 1997. The development of a bioindicator system for soil acidity based on arthropod pH preferences. *Appl. Ecol.* 34: 217-232.
- Villarreal J, Name B (1996) *Técnicas de Laboratorios de Suelo*. IDIAP. Divisa, Panamá. 110 pp.
- Villarreal L, Alvarez J, Maldonado D (2003) Aplicación del análisis de componentes principales en el desarrollo de productos. *Acta Nova* 2: 399-408.
- Villarreal J, Name B, Smyth J, Quiroz E (2007) Dosis óptima para la fertilización nitrogenada del arroz, en la región central de Panamá. *Agron. Mesoamer.* 18: 115-127.
- Widyastuti R (2005) Population dynamics of microarthropods (Oribatidae and Collembola) in rainfed paddy field ecosystem in Pati, Central, Java. *J. Tanah Lingsungan* 7: 11-15.

Usted encontrará la colección  
de la revista *Interciencia* en



<http://redalyc.uaemex.mx>

<http://www.redalyc.org/>