

CORRELACIÓN ENTRE FAMILIAS DE COLLEMBOLA CON FACTORES QUÍMICOS EDÁFICOS, BAJO EL EFECTO DEL HERBICIDA PARAQUAT, EN UN ECOSISTEMA DE HERBAZAL, OLLAS ARRIBA, CAPIRA, PANAMÁ OESTE.

CORRELATION BETWEEN FAMILIES OF COLEMBOLA WITH EDAPHIC CHEMICAL FACTORS, UNDER THE EFFECT OF HERBICIDE PARAQUAT, IN A GRASSLAND ECOSYSTEM, OLLAS ARRIBA, CAPIRA, PANAMA OESTE.

Jorge Gutiérrez¹; Carmen Quarless²; Yinela Mela², Mario González³.

1 Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Naturales Exactas y Tecnología, Panamá, Panamá

jlgutiz@yahoo.es

2 Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Naturales Exactas y Tecnología, Panamá, Panamá

quarlesscarmen@hotmail.com

2 Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Naturales Exactas y Tecnología, Panamá, Panamá

revista.ciencia@up.ac.pa

3 Universidad de Panamá, Centro Regional Universitario de Colón, Panamá, Panamá

mariogonzalez@up.ac.pa

RESUMEN

Esta investigación se llevó a cabo con el objetivo de conocer las correlaciones existentes entre las familias de Collembola y los factores químicos edáficos en un ecosistema de herbazal, bajo el efecto del herbicida Paraquat, durante la estación lluviosa y seca. El mismo se realizó en Ollas Arriba, Capira, Panamá Oeste. Los especímenes de Collembola, fueron colectados utilizando trampas pitfall, encontrándose 8 familias. Se realizó un análisis químico del suelo para determinar las variables químicas edáficas, de las áreas estudiadas. A través de una prueba de Componentes Principales, se determinaron los factores químicos edáficos, que presentaron mayor peso sobre las familias de Collembola. A través de la prueba de correlación de Pearson, se establecieron las correlaciones existentes entre las familias de Collembola y los factores químicos edáficos. Con un Análisis Cluster de Bray–Curtis, se generaron dendrogramas, que confirmaban las similitudes o correlaciones existentes entre las familias de Collembola y los factores químicos edáficos de las áreas estudiadas.

ABSTRACT

This investigation was carried out aiming to know the correlations existence between the families of Collembola and the edaphic chemical factors in a grassland ecosystem under the effect of herbicide Paraquat, during the rainy and dry season. It took place at Ollas Arriba, Capira in Panama Oeste. The specimens of Collembola were collected using pitfall traps, finding 8 families. A chemical analysis was done of the soil, to determine the edaphic chemical variables of the areas studied. By means of a Principal Component test, edaphic chemical factors were determined with presented higher weight on the Collembola's families. Using the Pearson Correlation test, correlations existence were established between the families of Collembola and edaphic chemical factors. A Cluster Bray-Curtis Analisis generated dendrograms with confirmed the similarities or correlations existence between Collembola and edaphic chemical factors of the areas studied.

PALABRAS CLAVES

Herbazal, herbicida, Paraquat, peso de las variables, correlación, dendrogramas.

KEYWORDS

Grassland, herbicide, Paraquat, weight of the variables, correlation, dendrogramas.

INTRODUCCIÓN

Los colémbolos son un componente de la fauna edáfica, que pueden ser utilizados como indicadores biológicos (Palacios – Vargas, 1985). Es uno de los grupos edáficos que mayor interés ha despertado por sus características de indicadores de condiciones ecológicas en agroecosistemas, por parte de los ecólogos y taxónomos (Villalobos, 1990; Stork y Eggleton, 1992); además, por ser un elemento más del subsistema suelo, contribuyen a su normal funcionamiento, pueblan biotopos muy diversos y son muy sensibles a las variaciones de las condiciones ecoclimáticas, por lo que son un material excelente para estudios sinecológicos.

Ospina *et al.* (2009), sostienen que los colémbolos (Hexapoda:Entognatha), son un grupo sensible a los cambios medioambientales. Los colémbolos, pueden ser útiles como indicadores biológicos, al medir la salud del ambiente, ya que tienen la capacidad de responder a cambios en las condiciones del ambiente, sean físicos o químicos, debido a su plasticidad (Cutz-Pool *et al.*, 2003).

Los colémbolos dentro de la entomofauna edáfica, son considerados uno de los grupos que ha despertado mayor interés, en función de la susceptibilidad a las variaciones de las condiciones físico-químicas en los suelos agrícolas (Villalobos, 1990; Stock y Eggleton, 1992; Garita-Cambronero *et al.*, 2006).

Entre los atributos que los hacen buenos indicadores, está el que responden a la perturbación de forma rápida, predecible y analizable, así como una asociación cerrada con otras especies y condiciones edáficas (Brown, 1991). Por su parte Rebek *et al.* (2002), afirmó que los Colémbolos responden a las alteraciones en la estructura del suelo, por lo que tanto, la

abundancia, la diversidad de especies y sus características, proveen información sobre el impacto de los ecosistemas.

El orden Collembola, está relacionado directamente con la salud edáfica en los diversos ecosistemas, considerándose algunas especies de este grupo como bioindicadores de contaminación (Van Straalen, 1997).

La actividad humana en los diferentes agroecosistemas, involucra fertilización y aplicación de agroquímicos, en la tentativa de promover la sostenibilidad de la producción agrícola a mediano y largo plazo (Ponge *et al.*, 1986; Rebek *et al.*, 2002).

La adaptación de las diversas especies de Collembola, a ecosistemas que presentan diferentes tipos de suelo, es determinada entre otros factores por la cantidad de materia orgánica en descomposición y el pH (Rusek, 1998). El uso de indicadores biológicos, se presenta como una forma sencilla y adecuada de inferir el contenido y calidad de la materia orgánica del suelo (Curry y Good, 1992).

Frampton (1997), encontró que las aplicaciones de plaguicidas, especialmente organofosforados, afectan negativamente la abundancia de los colémbolos; aunque se sabe que el orden Collembola, es sensible a una amplia gama de pesticidas utilizados en la actualidad, rara vez han sido adecuados en escala temporal, para permitir la detección de los efectos de la población a largo plazo. Este mismo autor, indicó que las interacciones entre Collembola y microartrópodos, pueden ser consideradas para determinar el valor de estos taxa como bioindicadores y para establecer el efecto directo o indirecto de los pesticidas.

Factores físico-químicos del suelo, como la precipitación pluviométrica, la materia orgánica y el pH, regulan la densidad poblacional de los Collembola (Ferguson y Joly, 2002; Ávila-Ávila y Jaramillo Cano, 2009; Palacios *et al.*, 2000)). Además, la adaptación de las especies de Collembola, a diferentes condiciones físico-químicas presentes en los diversos tipos de suelos, es determinada entre otros factores por la cantidad de materia orgánica en descomposición y el pH (Rusek, 1998; Hasegawa 2002; Kovác y Miklisova, 1997; Gómez-Anaya, 1998). Gutiérrez (2010), Loaiza (2013) y Aguilar y Valdés (2014), indicaron que los factores químicos edáficos materia orgánica, pH, fósforo, potasio y calcio, son los que presentan el mayor peso sobre las poblaciones de las familias de Collembola. Zachrisson *et al.* (2008), indicó que factores químicos edáficos como el potasio y aluminio, tienen peso sobre poblaciones de las familias Entomobryidae y Sminthuridae.

Ponge y Prat (1982), Ponge *et al.* (1986), Mendoza-Arviso *et al.* (1999), Petersen (2000; 2002), Rebek *et al.* (2002), Guillén *et al.* (2006), Mojocoa (2004), han realizado estudios en los agroecosistemas, en donde se promueve el uso de la fertilización química y la aplicación de plaguicidas, como medida para garantizar la sostenibilidad de los rubros agrícolas a mediano y largo plazo.

El uso de pesticidas como el Benomyl e Isofreno, producen una depresión inmediata de la abundancia de Collembola, manteniendo un efecto persistente entre uno y cuatro años

(Krogh, 1991). Sin embargo, Vreeken-Buijs *et al.* (1994), indicaron que la aplicación de pesticidas, producen cambios en la abundancia de Collembola, interfiriendo negativamente; mientras que Stinner *et al.* (1986), habían indicado que los pesticidas producen un efecto positivo en las poblaciones de este grupo.

El Paraquat es el nombre comercial del herbicida Dicloruro de 1,1'-dimetil-4,4'-bipiridilo, el cual está entre los herbicidas más utilizados, es no selectivo y de amplio espectro que actúa por contacto; es decir, no se trasloca sino que afecta al órgano verde cuya superficie resulta asperjada (Rao, 2015).

Según la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, 2015), en humanos el Paraquat, afecta el tracto gastrointestinal, riñón, hígado, corazón y otros órganos poniendo a riesgo la vida. Sin embargo, no se conoce el efecto sobre la fauna edáfica, en especial sobre el orden Colembola, por lo que se hace necesario conocer su efecto sobre estos organismos edáficos.

METODOLOGÍA.

Área de estudio.

Este estudio se desarrolló en un ecosistema de herbazal, en la comunidad Ollas Arriba, Capira, Panamá Oeste; con coordenadas geográficas $08^{\circ}48'31.4''$ N $079^{\circ}53'32.8''$ W, a una elevación de 371 m.s.n.m.

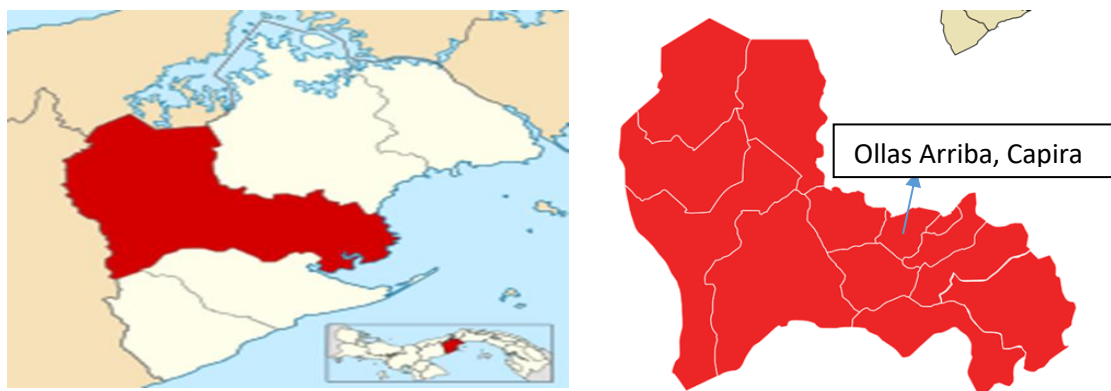


Figura 1. Mapas de la localización Geográfica del área de estudio.

Descripción de la metodología.

Para el estudio, se seleccionó un área de herbazal de 3 000 metros cuadrados, la cual fue subdividida a su vez en tres sub áreas de 1 000 metros cuadrados; una de las sub áreas fue utilizada como área control, por lo tanto no se le aplicó herbicida Paraquat; a la segunda sub área, se le hicieron dos aplicaciones del herbicida, al inicio y a los tres meses del estudio y a

la tercera sub área, se le aplicó herbicida Paraquat, cada mes durante los seis meses de estudio. La dosis de del herbicida utilizada fue la proporcional a la de un litro de Paraquat por 100 litros de agua (1L/100L agua). Después de ocho días de la aplicación del herbicida, se colocaron en cada área de estudio, ocho trampas pitfall para realizar la colecta de los especímenes de Collembola, manteniéndolas en el área durante tres días. Este procedimiento se realizó mes a mes durante los seis meses de muestreo. Cada trampa pitfall, contenía aproximadamente 500 ml de una solución jabonosa con formalina al 1%, que sirvió para retener y conservar los especímenes de Collembola. Los especímenes se colocaron en envases que contenían alcohol al 70%, rotulados con información de fecha y área de muestreo y llevados al laboratorio para su limpieza y preservación final. Se procedió a la identificación, utilizando las claves para familias de Collembola de Palacios-Vargas, 1990; Palacios-Vargas y Gómez-Anaya, 1993; Díaz *et al.*, 2004 y Christiansen *et al.*, 2007. Al momento de colocar las trampas pitfall en cada muestreo, se tomó una muestra de suelo en cada área de aproximadamente 1 kilogramo, que se colocaron en bolsas plásticas y enviadas inmediatamente al Laboratorio de Análisis de Suelo del Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP), localizado en Divisa, para el análisis correspondiente de los factores químicos edáficos. El peso de las variables químicas sobre las familias de Collembola, se estableció a través de la prueba de Componentes Principales y se aplicó una prueba de correlación de Pearson, para establecer las correlaciones y generar los dendrogramas entre las familias de Collembola y los factores químicos edáficos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

En el estudio se colectaron 6 418 especímenes de Collembola, distribuidos en ocho (8) familias (Isotomidae, Entomobryidae, Paronellidae, Brachystomellidae, Sminthuridae, Sminthurididae, Dicyrtomidae, Onychiuridae), que fueron encontradas en las tres áreas de estudio (Tabla 1). Los datos del análisis de suelo a cada una de las áreas estudiadas, para conocer los factores químicos edáficos presentes durante los seis meses de muestreo, arrojaron que los mismos fueron: materia orgánica (M.O.), pH, fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), aluminio (Al), manganeso (Mn), hierro (Fe), zinc (Zn) y cobre (Cu) (Tablas 2, 3 y 4).

Tabla 1. Número de individuos por familias de Collembola por tratamiento.

FAMILIA	Sin aplicación	Dos aplicaciones durante el muestreo	Aplicación mensual	TOTAL	Porcentaje
Isotomidae	189	336	414	939	14,63%
Entomobryidae	1 220	1 522	1 291	4 033	62,83%
Paronellidae	4	31	19	54	0,84%
Brachystomellidae	38	214	27	279	4,34%
Sminthuridae	26	222	23	271	4,22%
Sminthurididae	32	405	31	468	7,29%
Dicyrtomidae	7	147	0	154	2,39%
Onychiuridae	98	29	93	220	3,43%
TOTAL	1 614	2 906	1 898	6 418	100%

Tabla 2. Concentraciones de factores químicos edáficos en el área Control, durante los seis (6) meses de muestreo.

Mes	M.O	pH	P	K	Ca	Mg	Al	Mn	Fe	Zn	Cu
Julio	0,47	5,3	0	73,1	16,7	2,3	0,6	61,4	11,8	5,5	2,9
Agosto	0,28	5,7	5	121,2	4,7	3,1	2,6	44,0	9,4	3,4	2,5
Septiembre	2,52	5,4	0	67,7	4,6	2,4	0,1	49,0	9,1	1,8	2,4
Octubre	2,28	5,3	0	91,4	4,0	2,0	0,1	74,4	15,6	3,1	5,0
Noviembre	2,11	5,6	4	52,5	3,0	2,3	0,1	51,0	20,2	2,9	3,0
Diciembre	1,28	5,2	4	18,4	2,8	3,0	0,1	36,2	12,0	2,6	1,5

Tabla 3. Concentraciones de factores químicos edáficos en el área con dos aplicaciones de Paraquat, durante los seis (6) meses de muestreo.

Mes	M.O	pH	P	K	Ca	Mg	Al	Mn	Fe	Zn	Cu
Julio	0,47	4,8	0	118,2	2,8	1,9	2,1	43,2	24,1	2,5	4,9
Agosto	0,28	5,3	4	90,3	2,9	2,1	2,0	11,4	8,30	1,6	2,9
Septiembre	1,93	4,9	1	51,5	1,7	1,2	0,1	32,8	17,1	3,2	4,0
Octubre	2,89	4,9	0	67,0	3,1	1,1	0,1	34,3	27,7	3,9	5,1
Noviembre	2,87	5,4	4	62,9	2,6	1,4	0,7	65,7	19,5	4,1	3,7

Diciembre	0,08	4,6	1	32,9	5,4	4,1	0,2	56,6	11,0	3,9	1,8
-----------	------	-----	---	------	-----	-----	-----	------	------	-----	-----

Tabla 4. Concentraciones de factores químicos edáficos en el área con aplicaciones mensuales de Paraquat, durante los seis (6) meses de muestreo.

Mes	M.O	pH	P	K	Ca	Mg	Al	Mn	Fe	Zn	Cu
Julio	3,02	5,2	0	67,0	3,9	2,0	0,2	18,5	8,8	1,8	4,9
Agosto	0,37	5,2	13	97,7	4,1	2,8	1,7	23,1	11,1	4,3	2,3
Septiembre	1,71	4,9	0	21,7	2,4	1,9	0,2	18,9	8,0	1,2	2,9
Octubre	2,05	4,8	0	63,9	2,0	0,5	0,1	47,1	23,9	2,3	4,7
Noviembre	2,85	5,4	6	61,2	3,8	1,8	0,3	65,6	13,8	5,3	2,8
Diciembre	0,37	4,5	4	17,7	2,7	2,9	0,3	79,1	23,5	4,8	3,0

4.5 Prueba de Componentes Principales.

La prueba de Componentes Principales, permitió establecer que las variables químicas edáfica con mayor peso sobre las poblaciones de familias de Collembola, tanto para el conjunto de las tres áreas, como para las áreas sin aplicación de herbicida, con dos aplicaciones del herbicida y la de aplicación mensual del herbicida fueron: materia orgánica, pH, fósforo, potasio y calcio. El resto de los factores químicos edáficos medidos, ejercen efectos muy bajos sobre las poblaciones de Collembola (Tabla 5).

Estos resultados obtenidos del Peso que ejercen las variables químicas edáficas sobre las poblaciones de las familias de Collembola, coinciden con los obtenidos por Gutiérrez (2010), quien indicó que las variables químicas edáficas con mayor peso sobre las poblaciones de las familias de Collembola, fueron materia orgánica y el pH respectivamente; Mientras que los resultados obtenidos para el pH, fósforo, potasio y calcio, coinciden con los reportados por Loaiza (2013); Aguilar y Valdés (2014), quienes obtuvieron que estos factores en forma decreciente, son los que presentan mayor peso sobre las poblaciones de familias de Collembola.

Tabla 5. Peso de las variables químicas edáficas conjuntas y por cada área de estudio, con aplicación de Paraquat, sobre las familias de Collembola.

	Áreas conjuntas	Sin aplicación	Dos aplicaciones durante el muestreo	Aplicación mensual
MO	88,76%	91,20%	90,24%	80,24%
pH	10,22%	5,30%	9,05%	18,93%
P	0,67%	3,31%	0,62%	0,58%

K	0,20%	0,16%	0,05%	0,21%
Ca	0,08%	0,02%	0,01%	0,02%

* MO: materia orgánica, pH: acidez, P: fósforo, K: potasio, Ca: calcio.

Prueba de Correlación.

Al establecerse las correlaciones entre las familias de Collembola y los factores químicos edáficos materia orgánica, pH, fósforo, potasio y calcio, tomando en cuenta los datos de todas las áreas de estudios a través de la prueba de Correlación de Pearson (Tabla 5), se obtuvo que existe una correlación negativa significativa entre la familia Entomobryidae y el factor materia orgánica; mientras que con los factores pH, fósforo, potasio y calcio, esta familia presentó una correlación positiva significativa.

Investigaciones realizadas por Hazra y Choudhuri (1983), Frampton (1997), Mendoza-Arviso *et al.* (1999), Hasegawa (2002), indicaron que la abundancia y la diversidad de especies de Collembola, se ve influenciada por la materia orgánica presente en los suelos. Esta aseveración permite explicar posiblemente la correlación negativa entre la familia Entomobryidae y el factor edáfico materia orgánica. Zachrisson *et al.* (2008), encontró que Entomobryidae conjuntamente con Sminthuridae, presentaron correlaciones significativas, con el Aluminio y Potasio, en un estudio realizado en suelos de vocación bananera.

La familia Isotomidae, presentó correlación positiva significativa con el factor pH; la familias Paronellidae, Brachystomellidae, Sminthurididae y Onychiuridae, presentaron correlación positiva con el pH y fósforo; las familias Sminthuridae y Dicyrtomidae, presentaron correlaciones positivas significativas con el fósforo y la familia Onychiuridae presentó correlación positiva significativa con el fósforo y potasio (Tabla 6).

Sobre este aspecto Loaiza (2013), concluyó que los factores edáficos pH, potasio y fósforo, mostraron tener una mayor correlación e influencia sobre la abundancia y diversidad de las familias de Collembola.

Tabla 6. Correlaciones entre las familias de Collembola y factores químicos edáficos.

FAMILIAS	MO	pH	P	K	Ca
Isotomidae	-0,04	0,66	0,69	0,46	-0,19
Entomobryidae	-0,62	0,35	0,73	0,37	0,37
Paronellidae	0,00	0,25	0,28	0,05	0,16
Brachystomellidae	0,18	0,69	0,54	0,24	-0,24
Sminthuridae	0,19	0,10	0,29	0,11	-0,04
Sminthurididae	-0,11	0,35	0,59	0,00	-0,19
Dicyrtomidae	-0,16	0,11	0,61	-0,18	-0,24

Onychiuridae	-0,09	0,71	0,70	0,45	0,03
--------------	-------	-------------	-------------	-------------	------

* MO: materia orgánica, pH: acidez, P: fósforo, K: potasio, Ca: calcio.

Al correlacionar las poblaciones de las familias de Collembola con los factores químicos edáficos, para el área sin aplicación del herbicida Paraquat, se determinó que la familia Isotomidae, presentó correlaciones negativas significativas con la materia orgánica y el calcio, pero correlaciones positivas significativas con pH, fósforo y potasio; la familia Entomobryidae y Onychiuridae, presentaron correlaciones negativas significativas con la materia orgánica, pero correlaciones positivas significativas con pH, fósforo y potasio; la familia Paronellidae, presentó correlaciones positivas significativas con la materia orgánica, el pH y el potasio; pero correlación negativa significativa con el calcio; las familia Brachystomellidae, presentó correlaciones positivas significativas con el pH, fósforo, potasio, pero correlación negativa significativa para el calcio; la familia Sminthuridae, presentó correlación positiva significativa para la materia orgánica, pero correlaciones negativas significativas para el pH y el calcio; la familia Sminthurididae, presentó correlación positiva para el fósforo, pero negativas para la materia orgánica y el calcio; la familia Dicyrtomidae, presentó correlación positiva significativa para el fósforo, pero correlaciones negativas significativas para el pH, potasio y calcio (Tabla 7).

Tabla 7. Correlaciones entre las familias de Collembola y factores químicos edáficos en el área sin aplicación del herbicida durante los seis meses de muestreo.

FAMILIAS	MO	pH	P	K	Ca
Isotomidae	-0,32	0,96	0,68	0,57	-0,29
Entomobryidae	-0,82	0,51	0,62	0,48	0,06
Paronellidae	0,25	0,29	0,03	0,51	-0,37
Brachystomellidae	-0,15	0,95	0,71	0,34	-0,34
Sminthuridae	0,33	-0,56	-0,23	-0,09	-0,32
Sminthurididae	-0,54	0,07	0,74	-0,09	-0,33
Dicyrtomidae	-0,21	-0,43	0,47	-0,63	-0,31
Onychiuridae	-0,57	0,69	0,53	0,74	-0,15

* MO: materia orgánica, pH: acidez, P: fósforo, K: potasio, Ca: calcio.

Al correlacionar las familias de Collembola con los factores químicos edáficos del área con dos aplicaciones del herbicida Paraquat, la familia Isotomidae, presentó correlaciones positivas significativas con el pH y el fósforo; la familia Entomobryidae, presentó correlaciones positivas significativas con el pH, fósforo y calcio, pero correlación negativa significativa con la materia orgánica; la familia Paronellidae, presentó correlaciones positivas significativas con el fósforo y calcio, pero correlación significativa negativa con el potasio; las familias Brachystomellidae, Onychiuridae, Sminthuridae y Sminthurididae, presentaron correlaciones positivas significativas con la materia orgánica, pH y Fósforo, pero Sminthurididae, presentó correlación negativa significativa con el calcio; la familia

Dicyrtomidae, presentó correlaciones positivas significativas con el pH, fósforo y potasio (Tabla 8).

En este sentido, Hasegawa (2002), determinó que algunas especies de Collembola presentaban correlaciones significativas, especialmente cuando se utilizan los valores totales de materia orgánica.

Tabla 8. Correlaciones entre las familias de Collembola y factores químicos edáficos en el área con aplicación del herbicida dos veces durante seis meses de muestreo.

FAMILIAS	MO	pH	P	K	Ca
Isotomidae	0,23	0,94	0,94	0,13	-0,22
Entomobryidae	-0,47	0,28	0,74	-0,08	0,60
Paronellidae	-0,10	0,01	0,35	-0,60	0,69
Brachystomellidae	0,43	0,92	0,84	0,00	-0,23
Sminthuridae	0,83	0,63	0,34	-0,11	-0,23
Sminthurididae	0,63	0,87	0,67	0,01	-0,30
Dicyrtomidae	-0,10	0,66	0,75	0,26	-0,17
Onychiuridae	0,42	0,84	0,74	-0,03	-0,24

* MO: materia orgánica, pH: acidez, P: fósforo, K: potasio, Ca: calcio.

La correlación entre las familias de Collembola y los factores químicos edáficos en el área con aplicación mensual del Paraquat, arrojó que la familia Isotomidae, presentó correlaciones positivas significativas con el fósforo y el potasio; las familias Entomobryidae y Sminthuridae, presentaron correlaciones positivas significativas con el pH, fósforo, potasio y calcio, pero correlación negativa significativa con la materia orgánica; la familia Paronellidae, presentó correlaciones positivas significativas con el pH y el fósforo; la familia Brachystomellidae, presentó correlaciones positivas con la materia orgánica y el potasio; la familia Sminthurididae, presentó correlación positiva significativa con el fósforo, pero correlación significativa negativa con la materia orgánica (Tabla 9).

Sobre este aspecto Loaiza (2013), encontró que los factores químicos edáficos pH, potasio y fósforo, fueron los que mostraron tener una mayor correlación e influencia sobre la abundancia y diversidad de las familias de Collembola. Sin embargo, Van Straalen y Verhoef (1997), determinaron que las concentraciones de K, Na, Ca, Fe y Al, influyen sobre el pH, razón que dificulta la definición del efecto directo de estos elementos, sobre el comportamiento de Collembola.

Tabla 9. Correlaciones entre las familias de Collembola y factores químicos edáficos en el área con aplicación mensual del herbicida.

FAMILIAS	MO	pH	P	K	Ca
-----------------	-----------	-----------	----------	----------	-----------

Isotomidae	-0,05	0,07	0,46	0,67	-0,05
Entomobryidae	-0,56	0,26	0,84	0,73	0,44
Paronellidae	-0,12	0,46	0,47	0,24	0,16
Brachystomellidae	0,27	0,21	0,09	0,38	-0,16
Sminthuridae	-0,58	0,26	0,78	0,55	0,41
Sminthurididae	-0,44	0,10	0,36	0,09	0,06
Onychiuridae	-0,12	0,59	0,81	0,65	0,49

* MO: materia orgánica, pH: acidez, P: fósforo, K: potasio, Ca: calcio.

Las correlaciones obtenidas entre las familias de Collembola y los factores químicos edáficos, de las áreas de muestreo sin aplicación de Paraquat, con dos aplicaciones de Paraquat y con aplicación mensual de Paraquat, fueron muy variables. Esta variabilidad, pudo haber sido debido a la frecuencia con que se aplicó el herbicida y a su residualidad.

Los factores químicos del suelo y las comunidades de Collembola, están estrechamente correlacionados, por ejemplo a factores como el pH y la materia orgánica, los cuales son factores limitantes (Gómez Anaya, 1998); por lo que la adaptación de las especies de Collembola, a diferentes condiciones físico-químicas presentes en los diversos tipos de suelos, es determinada entre otros factores por la cantidad de materia orgánica en descomposición y el pH (Rusek, 1998; Hasegawa, 2002; Kovác y Miklisova, 1997; Gómez-Anaya, 1998).

Además, Vreeken-Buijs *et al.* (1994), indicaron que la aplicación de pesticidas, producen cambios en la abundancia de Collembola, interfiriendo negativamente; mientras que Stinner *et al.* (1986), indicaron que los pesticidas producen un efecto positivo en las poblaciones de este grupo. Frampton (1997), indicó que se sabe que el orden Collembola, es sensible a una amplia gama de pesticidas utilizados en la actualidad, los cuales rara vez han sido adecuados en escala temporal, para permitir la detección de los efectos de la población a largo plazo.

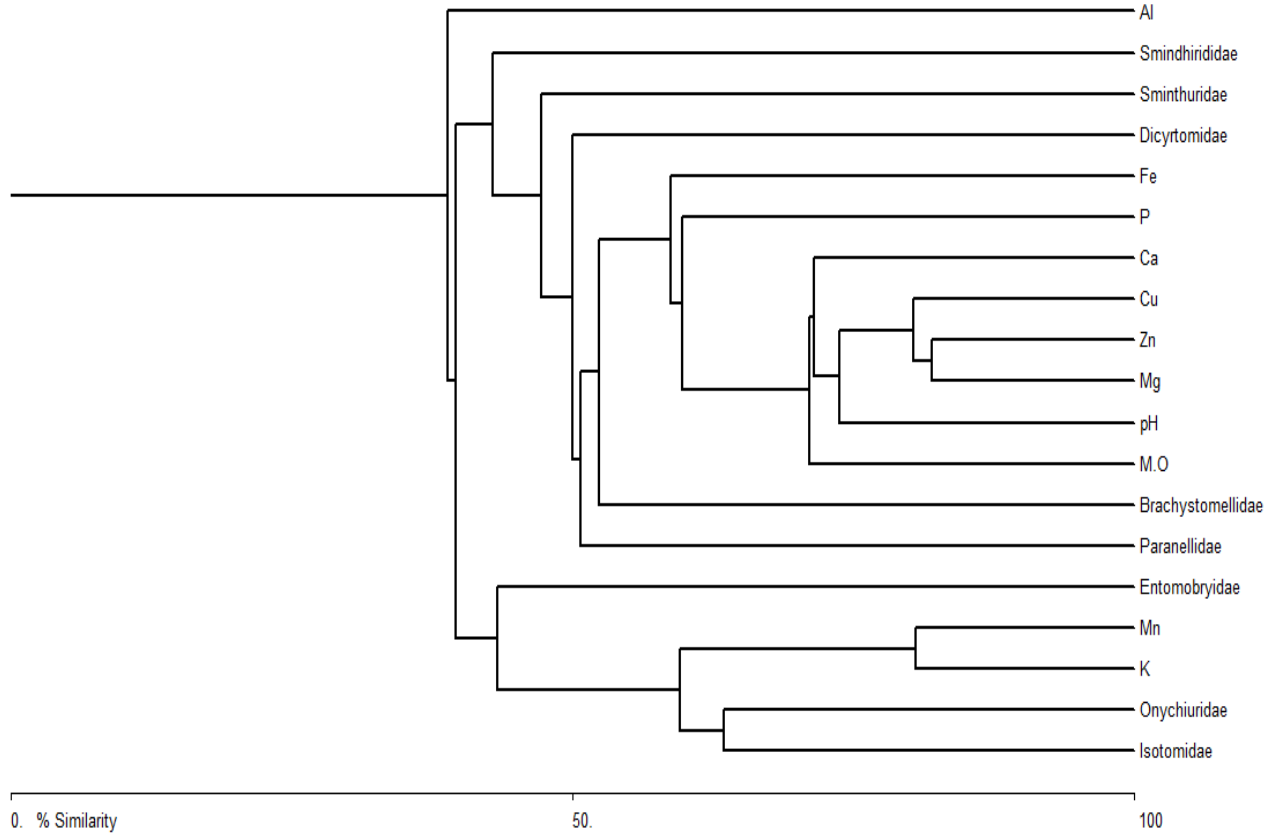
4.7 Análisis de Cluster Bray-Curtis.

El dendrograma de correlación entre los factores químicos edáficos y las familias de Collembola, generado a través del Análisis de Cluster Bary-Curtis, para el área sin aplicación del herbicida durante los seis meses de muestreo, indicó que las familias Brachystomellidae, Paronellidae y Dicyrtomidae, están mayormente correlacionadas con los factores químicos edáficos materia orgánica, pH, calcio y fósforo, en una proporción mayor del 50%. Mientras que las familias Sminthuridae y Sminthurididae, están relacionada con estos mismos factores, en un porcentaje menor a un 50%. La familia Isotomidae y Onychiuridae, están más correlacionadas con el factor potasio, aproximadamente en un 80%, (Figura 1).

Figura 1. Dendrograma de correlación entre los factores químicos edáficos y las familias de Collembola, para el área sin aplicación del herbicida durante

los seis meses de muestreo

Bray-Curtis Cluster Analysis (Single Link)

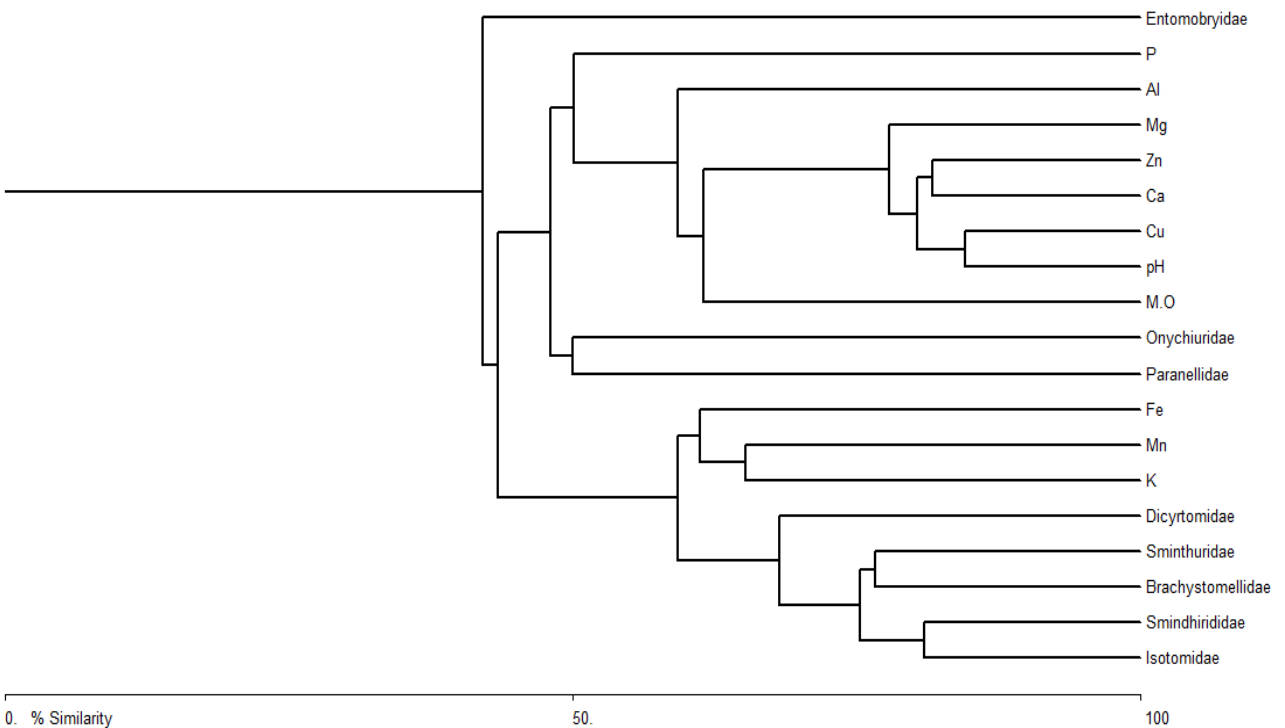


El dendrograma de correlación entre los factores químicos edáficos y las familias de Collembola, generado a través del Análisis de Cluster Bary-Curtis, para el área con dos aplicaciones del herbicida durante los seis meses de muestreo, indicó que las familias Paronellidae y Onychiuridae, están más correlacionadas con la materia orgánica, pH, calcio y fósforo, en una proporción aproximada de un 60%; las familia Isotomidae, Sminthuridae, Brachystomellidae, Sminthurididae y Dicyrtomidae, están más correlacionadas con el potasio, en una proporción aproximadamente de un 60%; mientras que la familia Entomobryidae, presenta menos del 40% de correlación, con respecto a los factores químicos edáficos de estudio (Figura 2).

Estos resultados generados con los dendrogramas, a través del Análisis de Bray-Curtis, indican que a medida que se hicieron aplicaciones con mayor frecuencia del herbicida Paraquat, la familia Paronellidae estuvo más correlacionada con los factores edáficos materia orgánica, pH, y calcio, con un porcentaje mayor a un 60%; las familias Sminthuridae y Sminthurididae, presentaron mayor correlación con el factor edáfico fósforo, con un porcentaje mayor a un 60%; la familia Isotómidae, presentó mayor correlación con el factor edáfico potasio, con un porcentaje mayor a un 60%; mientras que las familias Entomobryidae y Brachystomellidae, presentaron tendencia a aumentar ligeramente sus porcentajes de correlaciones con los factores edáficos materia orgánica, pH, fósforo, potasio y calcio, pero menor a un 50%; en las familias Brachystomellidae y Onychiuridae, no se pudo observar patrones de correlaciones definidas.

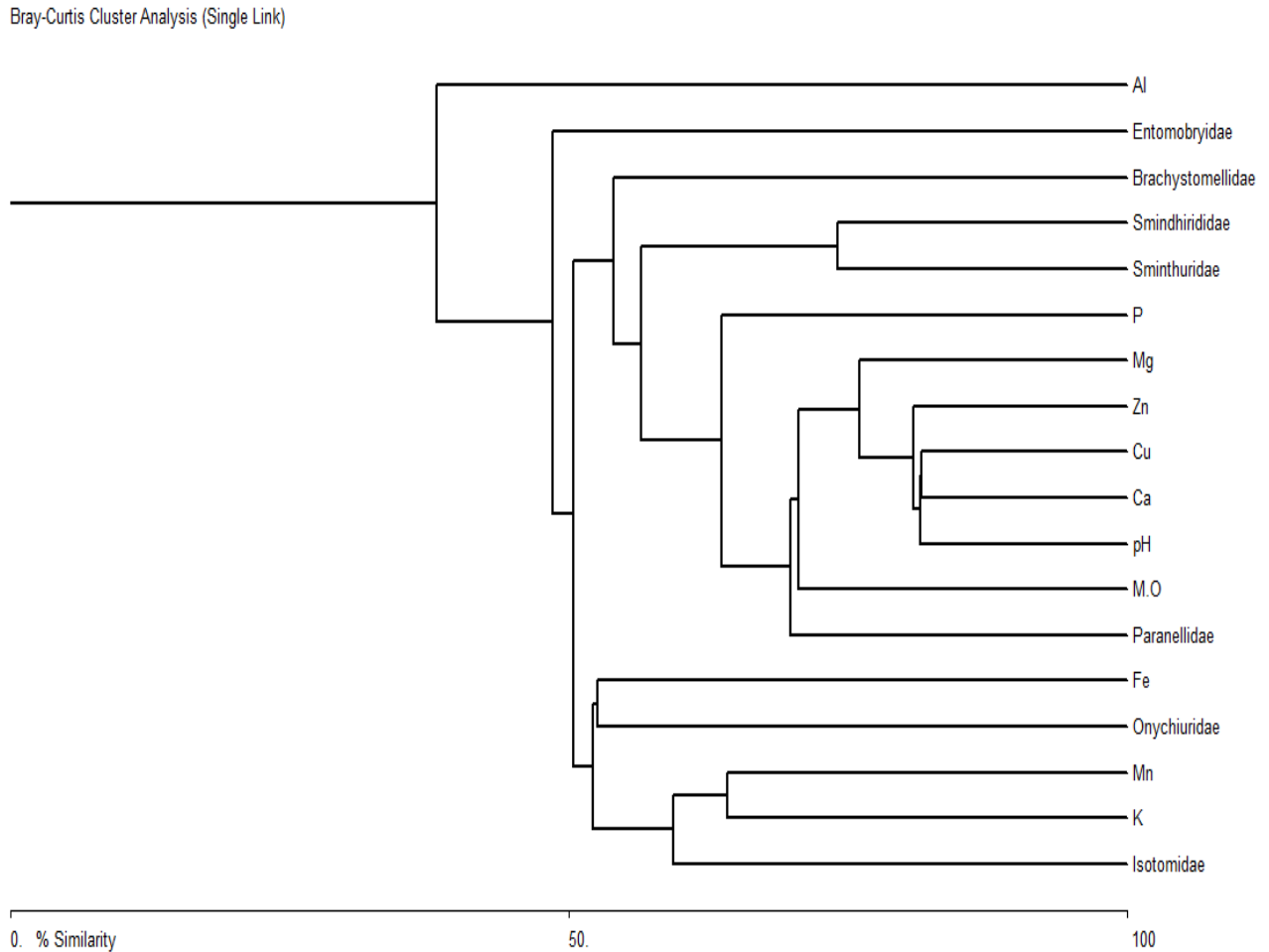
Figura 2. Dendrograma de correlación entre los factores químicos edáficos y las familias de Collembola, para el área de dos aplicaciones del herbicida durante los seis meses de muestreo.

Bray-Curtis Cluster Analysis (Single Link)



El dendrograma de correlación entre los factores químicos edáficos y las familias de Collembola, generado a través del Análisis de Cluster Bary-Curtis, para el área con aplicación mensual del herbicida durante los seis meses de muestreo, indicó que la familia Paronellidae, está correlacionada con materia orgánica, pH y calcio, aproximadamente en un 65%; la familia Isotomidae, está correlacionada al potasio, aproximadamente en un 60% y las familias Sminthuridae y Sminthirididae, están correlacionas con el fósforo aproximadamente en un 65%; mientras que la familia Brachystomellidae y Entomobryidae, están correlacionadas con estos cinco factores químicos edáficos, en una proporción aproximada del 50% (Fig. 3). Esta correlaciones establecidas a través de este analisis, indicaron que probablemente la aplicabilidad en el tiempo y la residualidad del herbicida Paraquat, influyen en la correlación existente entre las familias de Collembola y cada uno de los factores químicos edáficos.

Figura 3. Dendrograma de correlación entre los factores químicos edáficos y las familias de Collembola, para el área de aplicación mensual del herbicida durante los seis meses de muestreo.



Al comparar los resultados de los dendrogramas generados, se encontró que las correlaciones entre las familias de Collembola y los factores químicos edáficos, fueron diferentes en cada una de las áreas de estudio. Estos resultados fueron similares a los obtenidos por Aguilar y Valdés (2014), al aplicar el herbicida Quirón 400, suelos con cultivo de maíz.

CONCLUSIÓN.

En el estudio se determinó que los factores químicos edáficos materia orgánica, pH, fósforo, potasio y calcio, fueron los que ejercieron respectivamente mayor peso sobre la dinámica poblacional de las 8 familias del Orden Collembola, encontradas en las áreas de muestreo del ecosistema de herbazal. También se determinó la existencia de variabilidad en las correlaciones significativas positivas y negativas entre las familias de Collembola y los factores químicos edáficos, dependiendo del número de aplicaciones de herbicida Paraquat, en las áreas de estudio. Los resultados generados a través de los dendrogramas, confirmaron la variabilidad existente en las correlaciones entre las familias de Collembola y los factores químicos edáficos, presentes en cada una de las áreas de estudio.

BIBLOGRAFÍA.

Aguilar, Y. y Valdés, S. (2014). Efecto del herbicida Quirón 400 (Diclorofenoxiacético), en la diversidad del orden Collembola, en cultivos de maíz y su relación con factores edáficos, en San Roque, San Francisco, Veraguas. Tesis de Licenciatura en Biología con Orientación en Biología Ambiental. Universidad de Panamá. pp. 35, 40.

Ávila-Ávila, D. R. y Jaramillo Cano, Y. F. (2009). Composición de la clase Collembola en un bosque alto andino de la vereda Noruega alta, Silvania, Cundinamarca, Colombia. pp. 206.

Brown, K. S. (1991). Conservation of Neotropical Enviroments: Insect as indicators. pp. 350-401 In: N.M. Collins and J.A. Thomas (eds.). The conservation and their habitats Ch. 14. New York.

Christiansen, K. A., P. Greenslade, L., Deharveng, R., Pomorski, J. y Jenssens, F. (2007). Checklist of the Collembola: key to the families of Collembola. pp. 12.

Curry, J. P. y Good, J. A. (1992). Soil faunal Degradation and Restoration. *Advances in Soil Science* 17: 171-215.

Díaz Aspiazú, M., González Cairo, V., Palacios-Vargas, J. G. y Luciañes Sánchez, M. J. (2004). Clave dicotómica para la determinación de los colémbolos de Cuba. (Hexápoda: Collembola). *Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa* 34: 73-83.

Ferguson, S. H. y Joly, D. O. (2002). Dynamics of springtail and mite populations: therole of density dependence, predation and weather. *Ecological Entomology* 27: 565-573.

Frampton, G. K. (1997). The potencial of Collembola as indicators of pesticide usage: evidence and methods from the UK arable ecosystem. *Pedobiología* 41: 179–184.

Gómez-Anaya, J. (1998). Ecología de Collembola (Hexapoda: Apterygota) de Chamela, Jalisco, México: Tesis, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias, División de Estudios de Postgrado, México.

Guillén, C., Soto-Adames, F. y Springer, M. (2006). Variables, físico, químicas y biológicas del suelo sobre las poblaciones de colémbolos en Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 30(2): 19-29.

Gutiérrez V., J. L. (2010). Efectos de la materia orgánica (m.o.) y el pH, sobre la fauna del Collembola, en Suelo de Vocación Arrocera en Panamá. Tesis de Maestría en Ciencias con Orientación en Biología Animal. Universidad de Panamá.

Hasegawa, M. (2002). The response of collembolan community to the amount and composition of organic matter of a forest floor. *Pedobiología* 46: 353-364.

Hazra, A. K. y Choudhuri, D. K. (1983). A study of Collembola communities in cultivated and uncultivated sites of West Bengal in relation to three major factors. *Review Ecology Biology Soil* 20: 385-401.

Kováč, L. y Miklisová, D. (1997). Collembolan communities (Hexápoda, Collembola) in arable soils of east Slovakia. *Pedobiología* 41: 62-68.

Krogh, P. H. (1991). Perturbation of soil microarthropod community with the pesticides benomyl and isofenphos. I. Population changes. *Pedobiología* 35: 71-88.

Loaiza R., V. (2013). Determinación de la abundancia y diversidad de la fauna de Collembola (Entognatha) y su correlación con factores físicos (estacionalidad) y químicos edáficos, en ecosistemas de bosque seco tropical, herbazal y cultivo de maíz; en el área de San Roque, distrito de San Francisco Provincia De Veraguas. Tesis de Licenciatura en Biología con Orientación en Biología Ambiental. Universidad de Panamá.

Mendoza-Arviso, S., Villalobos, F. J., Ruíz Montoya, L. y Castro R, A. E. (1999). Patrones ecológicos de los colémbolos en el cultivo de maíz en Balún Canal, Chiapas, México. *Acta Zoológica Mexicana* 78: 83-101.

Mojocoa Alarcón, M. (2004). Efecto del uso de clorpirifos en maíz (*zea mays* L.) sobre los artrópodos no-blanco del suelo. Universidad Del Tolima. Facultad de Ingeniería Agronómica. Ibagué. pp 57.

Palacios-Vargas, J. G., Castaño-Meneses, G. y Mejía-Recamier, B. E. (2000). Collembola. In Biodiversidad, taxonomía y biogeografía de artrópodos de México: hacia una síntesis de su conocimiento, J. Llorente Bousquets, A. N. García Aldrete y E. González-Serrano (eds.). Instituto de Biología, UNAM, México, D.F. p. 249-273.

Palacios- Vargas, J. G. y Gómez-Anaya, J. A. (1993). Los Colémbolos (Hexápoda: Apterigota) de Chamela, Jalisco, México. (Distribución, Ecología y Claves). *Folia Entomológica Mexicana* 89: 1-34.

Palacios- Vargas, J. G. (1990). Diagnósis y clave para determinar las familias de los Colémbola de la región Neotropical. Manuales y guías para el estudio de microartrópodos 1. México D.F. pp. 15.

Petersen, H. (2000). Colémbola populations in an organic crop rotation: Population dynamics and metabolism after conversion from clover-grass ley to spring barley. *Pedobiología* 44: 502-515.

Petersen, H. (2002). General aspects of collembolan ecology at the turn of the millennium. *Pedobiología* 46: 246-260.

Ponge, J. F. y Pratt, B. (1982). Les colémbolés, indicateurs du mode d'humification dans les peuplements résineux, feuillus et mélangés: résultats obtenus en forêt d'Orléans. *Review Ecology Biology Soil* 19: 237-250.

Ponge, J. F., Vannier, G., Arpin, P. y David, J. F. (1986). Soil fauna and site assessment in beech stands of the Belgian Ardennes. *Canadian Journal of forest Research* 27: 2053-2064.

Rao, V. S. (2015). *Transgenic Herbicide Resistance in Plants*. Boca Raton, Florida: CRC Press. p. 211. ISBN 978-1-4665-8738-0. Consultado el 22 de febrero de 2015.

Rebek, E. J., Hogg, D. B. y Young, D. K. (2002). Effect of four cropping systems on the abundance and diversity of epedaphic springtails (Hexápoda: Parainsecta: Colémbola) in Southern Wisconsin. *Environmental Entomology*, 31 (1): 37-46.

Rusek, J. (1998). Biodiversity of Colémbola and their functional role in the ecosystem. *Biodiversity and Conservation*, 7: 1207-1219.

Stinner, B. R., Krueger, H. R. y McCartney, D. A. (1986). Insecticide and tillage effects on pest and non-pest arthropods in corn agroecosystems. *Agric. Ecosystems. Environ* 15: 11-21.

Van Straalen, N. M. (1997). Community structure of soil arthropods as bioindicators of soil health. In: Pankhurst, C.E., Double, B. M. and Gupta, V.V. S.R. eds. *Biological Indicators of Soil Health*. CAB International, Wallingford, UK, pp. 235-264.

Van Straalen, N. M y Verhoef, H. H. (1997). The development of a bioindicator system for soil acidity based on arthropod pH preferences. *Journal of Applied Ecology* 34: 217-232.

Vreeken-Buijs, M. J., Geurs, M., de Ruiter, P. C y Brussaard, L. (1994). Microarthropod biomass-C dynamics in the belowground food webs of two arable farming systems. *Agric. Ecosystems Environ* 51: 161-170.

Zachrisson, B., Martínez, O., Gutiérrez, J., Polanco, P. y Aranda, G. (2008). Estructura de la comunidad de Colémbola (Insecta) y su relación con nutrientes, en suelos de vocación

bananera, en Panamá. Resúmenes. XII Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología. Panamá, República de Panamá. pp.

