

Revista científica CENTROS

30 de enero de 2019 – Vol.8 No. 1

ISSN: 2304-604X pp. 27- 47

Recibido: 18/06/18; Aceptado: 20/12/18

Se autoriza la reproducción total o parcial de este artículo, siempre y cuando se cite la fuente completa y su dirección electrónica.

<https://revistas.up.ac.pa/index.php/centros>

indexada en



<http://www.latindex.unam.mx/>



<http://miar.ub.edu/issn/2304-604X>



CORRELACIÓN ENTRE FAMILIAS DE COLLEMBOLA CON FACTORES FÍSICO-QUÍMICOS EDÁFICOS, BAJO EL EFECTO DEL HERBICIDA QUIRÓN 400 (2,4-diclorofenoxiacético) EN CULTIVO DE MAÍZ, EN SAN ROQUE, SAN FRANCISCO, VERAGUAS.

CORRELATION BETWEEN FAMILIES OF COLLEMBOLA WITH EDAPHIC PHYSIOCHEMICAL FACTORS UNDER THE EFFECT OF HERBICIDE QUIRON 400 (2,4-diclorofenoxiacetic) IN CORN CROP AT SAN ROQUE, SAN FRANCISCO, VERAGUAS.

Jorge Gutiérrez¹; Sheila Valdés²; Yaniseika Aguilar²; Mario González³.

¹ Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Naturales Exactas y Tecnología, Escuela de Biología, Departamento de Ciencias Ambientales. jlgutiz@yahoo.es

² Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Naturales Exactas y Tecnología, Escuela de Biología.

³ Universidad de Panamá. Centro Regional de Colón, Escuela de Biología.

RESUMEN.

Este estudio se llevó a cabo con el objetivo de conocer las correlaciones existentes entre las familias de Collembola y los factores físico-químicos edáficos en cultivo de maíz, bajo el efecto del herbicida Quirón 400, durante la estación lluviosa y seca. El mismo se realizó en San Francisco, Veraguas. Los especímenes de Collembola, fueron colectados utilizando trampas pitfall, encontrándose 8 familias. Se realizó un análisis físico-químico de las variables del suelo de las áreas estudiadas. A través de una prueba de Componentes Principales, se determinaron

los factores químicos edáficos, que mayor peso tuvieron sobre las familias de Collembola. Por medio de la prueba de correlación de Pearson, se establecieron las correlaciones entre las familias de Collembola y los factores físico-químicos edáficos. Finalmente, con un Análisis Cluster de Bray – Curtis, se establecieron las similitudes o relaciones de las familias de collembolas y los factores edáficos de y entre las áreas estudiadas.

PALABRAS CLAVE: Collembola, correlación, factores edáficos, cultivo, herbicida.

ABSTRACT.

This study was carried-out with the purpose to know the correlation that exist in a corn field crop under the effect of the herbicide Quiron 400, during the rainy and dry season. It was done in San Roque, San Francisco,Veraguas. The specimens of Collembola were collected using pitfall traps, finding 8 families. A physiochemical analysis of the variables of the soil of the studied areas, was done by means of Principal Component test which determined that edaphic chemical factors had greater stronght on the Collembola families. Pearson's correlation's test were used to stablish correlation between Collembola's families and edaphic physiochemical factors. Finally Bray-Curtis Cluster Analysis stablished similarities or relationships between the Collembola's families and edaphic factors in the areas studied.

KEYWORDS. Collembola, correlation, edaphic factors, herbicide.

INTRODUCCIÓN.

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 & Eggleton, 1992; Garita-Cambronero *et al.*, 2006). 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; tal como lo indican los trabajos realizados por Cutz-Pool *et al.* (2003).

Frampton (1997), indicó 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, también sostuvo 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.

El uso de pesticidas como 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.

Prácticas antropogénicas, como el monocultivo en los suelos con vocación agrícola y el uso indiscriminado de plaguicidas, provocan la pérdida de materia orgánica, afectando la estabilidad de la entomofauna edáfica (Anderson, 1988; Gregorich *et al.*, 1995; Guillén *et al.*, 2006). Por su parte Rebek *et al.* (2002) afirmó que los Colémbolos, responden a las alteraciones en la estructura del suelo; por lo tanto, la abundancia, la diversidad de especies y sus características, proveen información sobre el impacto de los ecosistemas.

Factores físico-químicos del suelo, como la precipitación pluviométrica, la materia orgánica y el pH, regulan la densidad poblacional de los Collembola, Palacios-Vargas, *et al.* (2000), Arbea y Blasco-Zumeta (2001), Ferguson & Joly (2002), Palacios-Vargas y Castaño Meneses (2003), Ávila-Ávila y Jaramillo Cano (2009). Marín Beitía (2013), indicó que las condiciones de humedad del suelo y precipitación tienen influencia variable en algunas familias de colémbolos. Loaiza (2013), encontró que el número de individuos y la abundancia relativa de

Collembola, fue mayor durante la estación lluviosa que en la seca. 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 & Miklisova, 1997; Gómez-Anaya, 1998). Greenslade & Vaughan (2003); Vásquez (1999), corroboraron que especies del orden Collembola como *Folsomia candida*, *Sinella communis*, *Proistoma minuta*, *Lepidocyrtus pallidus*, *Ceratophysella denticulata* y *Onychiurus folsomi*, responden de forma distinta a la toxicidad de metales pesados, de materia orgánica y de pH del suelo.

Hägvar (1987), Van Straalen & Verhoef (1997) y Heneghan & Bolge (1996), indicaron que el pH, ejerce una barrera selectiva para muchas especies de colémbolos, quienes reaccionan positivamente a las condiciones de baja acidez, por lo que se han sugerido a estas especies, para que puedan ser utilizadas como bioindicadores de pH bajo; comportándose como especies acidófilas.

La estructura de la comunidad de los colémbolos, es susceptible a las variaciones de materia orgánica presente en los suelos (Hasegawa, 2002). Investigaciones realizadas por Hazra & Choudhuri (1983), Framptom (1997), Mendoza-Arviso (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. Negri (2004), al igual que los autores citados anteriormente, confirman que las concentraciones elevadas de materia orgánica disponible en los suelos, propician las explosiones demográficas de Collembola, sustentando además la distribución gregaria del grupo. El incremento en la acidez del suelo provoca reducción en la diversidad y abundancia de especies de Collembola (Petersen, 2002; Geissen *et al.*, 1997).

Espinosa y Molina (1999), indicaron que los suelos ácidos se encuentran más frecuentemente en áreas de alta precipitación, donde el exceso de lluvias, lixivia

bases de cationes de la tierra, aumentando el porcentaje de Al_3^+ y H^+ en relación con otros cationes.

Van Straalen y Verhoef (1997), afirman que la composición de especies de artrópodos del suelo, específicamente el orden Collembola, puede considerarse como indicadores potenciales de pH. Sobre este aspecto Gutiérrez (2010), indicó que el género *Salina sp.*, familia Paronellidae, puede encontrarse en suelos cultivados con pH entre 4 y 6, por lo que puede ser considerado como un potencial indicador de la buena calidad de los mismos, en cuanto a este factor.

Por lo tanto la susceptibilidad de especies o grupos taxonómicos de insectos a los cambios en los agroecosistemas producto de la intervención humana, se pueden reflejarse en la presencia o ausencia de los mismos, lo cual también lo define como bioindicador (Iannacone & Montoro, 2002).

Ponge & Prat (1982), Ponge *et al.* (1986), Mendoza-Arviso *et al.* (1999), Petersen (2000,2002), Rebek *et al.* (2002), Mojocoa (2004) y Guillén *et al.* (2006), 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. Sin embargo, cabe señalar que investigaciones vinculadas al uso de bioindicadores de suelos agrícolas degradados, son escasos (Villalobos, 1990; Frampton & Van der Brink, 2002).

METODOLOGÍA.

Esta investigación se realizó en un agroecosistema de maíz, en la comunidad de San Roque, San Francisco, Veraguas; con coordenadas geográficas: 08°16`995" N° y 080°59`153" W, a una elevación de 161 m.s.n.m., donde se delimitaron dos parcelas de maíz al azar de 1000 m²; a una se le aplicó el herbicida Quirón 400, mientras que a la otra no se le aplicó el herbicida. En cada área de estudio, se

realizó un muestreo mensual, con ocho repeticiones, durante seis meses, de octubre a diciembre del 2011 y de enero a marzo del 2012. En cada área de muestreo, se colocaron al azar ocho trampas pitfall, para coleccionar los especímenes de Collembola, que contenían 500 ml. de una solución jabonosa con formalina al 1%. En cada área de estudio, las trampas pitfall, estuvieron ubicadas durante tres días, al final de los cuales, las muestras fueron recogidas, tamizadas a través de un cernidor de 50 micras y colocadas en envases con alcohol al 70%; se transportaron al laboratorio, para su lavado, limpieza, preservación e identificación final. En la separación e identificación, se utilizaron estereomicroscopios, marca Motic, modelo SM2-143 y las claves taxonómicas para Collembola de Palacios-Vargas (1990); Palacios-Vargas & Gómez-Anaya (1993); Díaz Aspiazú *et al.* (2004); Christiansen *et al.* (2007); Ospina *et al.* (2009). Se aplicó la prueba de componentes principales, con la que se determinó el peso o influencia de los factores físico-químicos edáficos sobre las familias de Collembola. La correlación entre las poblaciones de las familias de Collembola y los factores físico-químicos edáficos, se estableció a través de un análisis de correlación de Pearson, utilizando el programa Excel 2010. También se utilizó el programa SPSS versión 16, para generar los dendrogramas que relacionaron las familias de Collembola y los factores físico químicos edáficos.

RESULTADOS.

Prueba de componentes principales.

A través de la prueba de componentes principales, se determinaron los factores químicos edáficos que tuvieron mayor peso o influencia sobre las familias de Collembola, siendo los mismos: el pH, fósforo, potasio y calcio, con un peso en conjunto de 80,61% (Cuadro 1).

Cuadro 1. Peso específico de las variables químicas edáficas sobre las familias de Collembola.

Variables químicas edáficas	Peso de la variable (%)
pH	39,89
Fósforo	17,22

Potasio	13,74
Calcio	9,76
Peso total de las variables	80,61%

La variable química edáfica pH, presentó el mayor peso sobre las familias de Collembola, siendo este resultado similar a los obtenidos por Gutiérrez (2010) y Loaiza (2013), quienes indicaron que este factor, es el de mayor influencia sobre las poblaciones de Collembola.

En cuanto a las variables edáficas fósforo, potasio y calcio, estas tuvieron un peso similar a los resultados obtenido por Loaiza (2013), quien encontró, que después del pH, las variables fósforo, potasio y calcio, fueron las de mayor peso o influencia sobre las familias de Collembola. Sin embargo, para los factores fósforo, potasio y calcio, existe poca o ninguna información de su influencia sobre las familias de Collembola.

Cuadro 2. Correlación entre las familias de Collembola con los factores físico químicos edáficos, para el área de cultivo de maíz, sin la aplicación del herbicida Quirón 400.

Familias	Coeficiente de correlación								
	pH*	P*	K*	Ca*	M.O*	Temp.*	Precip.*	Hum.*	Evap.*
Isotomidae	0,23	0,14	0,49	0,07	0,70	-0,12	0,67	0,55	- 0,46
Onychiuridae	0,26	0,24	0,54	0,11	0,74	-0,19	0,71	0,61	- 0,53
Entomobryidae	-0,16	0,65	-0,01	- 0,20	0,08	-0,01	-0,29	-0,21	- 0,05
Paronellidae	0,13	0,95	0,58	0,25	0,59	-0,61	0,18	0,33	-0,55
Brachystomellidae	0,53	0,31	0,65	0,39	0,59	-0,39	0,89	0,82	-0,76
Dicyrtomidae	0,33	0,42	0,48	0,19	0,58	-0,30	0,71	0,65	-0,68
Sminthuridae	-0,14	0,11	0,15	- 0,44	0,55	0,41	0,10	-0,02	0,06
Sminthurididae	0,19	0,12	0,46	0,03	0,70	-0,08	0,64	0,52	-0,42

*pH: acidéz, P: fósforo, K: potasio, Ca: calcio, M.O: materia orgánica, Temp.: temperatura, Precip.: precipitación, Hum.: humedad, Evap.: evaporación.

*Los datos colocados resaltados en negrita, representan valores significativos para cada uno de los factores físico-químicos.

Respecto al área de cultivo de maíz sin la aplicación del herbicida Quirón 400, existió correlación significativa positiva para las siguientes familias de Collembola para con los siguientes factores físico químicos edáficos: Brachystomellidae y Dicyrtomidae, con el pH; Paronellidae, Entomobryidae, Dicyrtomidae y Brachystomelidae, con el fósforo; Brachystomelidae, Paronellidae, Onychiuridae, Isotomidae, Dicyrtomidae y Sminthuridae, con el potasio; Brachystomellidae y Sminthuridae con el calcio; Isotomidae, Onychiuridae, Paronellidae, Brachystomellidae, Dicyrtomidae, Sminthuridae y Sminthuridae, con la materia orgánica; Sminthuridae con la temperatura; Isotomide, Onychiuridae, Brachystomellidae, Dicyrtomidae y sminthurididae con la humedad (Cuadro 2).

Existieron correlaciones negativas significativas para las siguientes familias de Collembola, par con los siguientes factores físico-químicos edáficos: Sminthutidae con el calcio; Paronellidae, Brachystomellidae y Dicyrtomidae con la temperatura; Isotomidae, Onychiuridae, Paronellidae, Bracystomellidae, Dicyrtomidae y Sminthurididae con la evaporación (Cuadro 2).

Hasegawa (2002), determinó que algunas especies de Collembola, presentaban correlaciones significativas, especialmente cuando se utilizan los valores totales de materia orgánica. Hasegawa (2002), Kovác & Miklisová (1997) y Gómez-Anaya (1998), sustentaron que la abundancia de Collembola, se incrementa con el aumento de materia orgánica en los suelos.

Guillen, *et al.* (2006), indicaron que factores como la temperatura, presenta una correlación negativa, donde valores bajos favorecen la diversidad y abundancia de este grupo, coincidiendo con nuestros datos.

Cuadro 3. Correlación entre las familias de Collembola con los factores físico químicos, para área de cultivo de maíz, con la aplicación del herbicida Quirón 400.

Familias	Coeficiente de correlación								
	pH*	P*	K*	Ca*	M.O*	Temp.*	Precip.*	Hum.*	Evap.*
Isotomidae	0,56	0,73	0,57	0,68	0,42	-0,13	0,68	0,57	-0,47
Onychiuridae	0,67	-0,34	0,66	0,72	0,49	-0,13	0,60	0,56	-0,48
Entomobryidae	-0,38	-0,34	-0,29	-0,57	-0,36	0,28	-0,62	-0,55	0,35
Paronellidae	0,27	0,24	0,38	0,15	0,24	-0,59	0,01	0,18	-0,40
Brachystomellidae	0,75	0,87	0,74	0,79	0,59	-0,19	0,73	0,62	-0,57
Dicyrtomidae	0,41	0,57	0,41	0,37	0,14	0,14	0,27	0,16	-0,13
Sminthuridae	0,30	0,52	0,37	0,34	0,19	0,11	0,35	0,25	-0,23

*pH: acidéz, P: fósforo, K: potasio, Ca: calcio, M.O: materia orgánica, Temp.: temperatura, Precip.: precipitación, Hum.: humedad, Evap.: evaporación.

*Los datos en negrita, representan valores significativos para cada uno de los factores físico-químicos edáficos.

Respecto al área de cultivo de maíz con la aplicación del herbicida Quirón 400, Existió correlación significativa positiva para las siguientes familias de Collembola y los factores físico químicos edáficos: Isotomidae, Onychiuridae, Brachystomellidae, Dicyrtomidae y Sminthuridae, con el pH; Isotomidae, Brachystomellidae, Dicyrtomidae y Sminthuridae con el fósforo; Isotomidae, Onychiuridae, Paronellidae, Brachystomellidae, Dicyrtomidae, y Sminthuridae con el potasio y calcio; Isotomidae, Onychiuridae, y Brachystomellidae con la materia orgánica y humedad; Isotomidae, Onychiuridae, Brachystomellidae y Sminthuridae con la precipitación; y Entomobryidae con la evaporación (Cuadro 3).

Existieron correlaciones negativas significativas para las siguientes familias de Collembola y los factores físico-químicos edáficos: Entomobryidae con el pH, calcio, materia orgánica, precipitación y humedad; Onychiuridae y Entomobryidae con el fósforo; Paronellidae con la temperatura; e Isotomidae, Onychiuridae, Paronellidae y Brachystomellidae con la evaporación (Cuadro 3).

Para el área del cultivo de maíz, donde se aplicó el herbicida Quirón 400, aumentó el número de familias que presentaron correlaciones significativas para los factores químicos, no así para los factores físicos; es decir, que probablemente la presencia del herbicida, hace que un mayor número de las familias, se correlacionen con los factores químicos edáficos.

Petersen (2001), afirmó que grupos generalistas como las familias Isotomidae, Hypogastruridae y Sminthuridae, aumentan considerablemente su abundancia proporcional, al enfrentarse a un ambiente rico en materia orgánica, con un solo tipo de recurso y cierto grado de polución. Sobre este aspecto las familias Isotomidae y Sminthuridae, presentaron resultados similares.

En cuanto a la materia orgánica y al pH, autores como (Grisin, 1943; Hagvar & Abrahamsem, 1984; Klironomos & Kendrick, 1995; Gómez Anaya, 1998; Rusek, 1998; Mendoza- Arviso, 1999; Salmon y Ponge, 1999; Crouau *et al.*, 1999; Hasegawa, 2002; Filser, 2002; Rebek *et al.*, 2002; Petersen, 2002; Greenslade & Vaughan, 2003), afirmaron que estas variables edáficas en suelos degradados, influyen en la distribución y abundancia de las especies del orden Collembola.

Hendrix *et al.*, 1985; Krogh, 1994; Lagerlöf & Andren, 1991; Petersen, 2000, indicaron que en suelos cultivados donde se usa fertilizantes químicos, suelen existir densidades menores de Collembola, comparados con suelos de sistemas naturales o seminaturales.

Cuadro 4. Correlación entre las familias de Collembola y los factores físico-químicos, durante la estación lluviosa.

Familias	Coeficiente de correlación								
	pH*	P*	K*	Ca*	M.O*	Temp.*	Precp.*	Hum.*	Evap.*
Isotomidae	-0,48	-0,13	0,57	-0,63	0,96	0,81	0,82	0,52	-0,46
Onychiuridae	-0,57	-0,03	0,48	-0,71	0,98	0,86	0,76	0,42	-0,37
Entomobryidae	-0,51	0,92	-0,99	-0,35	-0,24	0,09	-0,90	-0,99	0,99
Paronellidae	-0,67	0,98	-0,96	-0,53	-0,04	0,29	-0,80	-0,98	0,99
Brachystomellidae	-0,67	0,09	0,36	-0,79	0,99	0,92	0,67	0,30	-0,24
Dicyrtomidae	-0,97	0,65	-0,24	-0,99	0,84	0,97	0,13	-0,29	0,36
Sminthuridae	-0,47	-0,14	0,58	-0,62	0,96	0,80	0,83	0,52	-0,47

Sminthurididae	-0,50	-0,11	0,55	-0,64	0,96	0,82	0,81	0,50	-0,44
----------------	--------------	-------	-------------	--------------	-------------	-------------	-------------	-------------	--------------

*pH: acidéz, P: fósforo, K: potasio, Ca: calcio, M.O: materia orgánica, Temp.: temperatura, Precip.: precipitación, Hum.: humedad, Evap.: evaporación.

*Los datos en negrita, representan valores significativos para cada uno de los factores físico-químicos edáficos.

Respecto al área de cultivo de maíz durante estación lluviosa, existió correlación significativa positiva para las siguientes familias de Collembola, con los siguientes factores físico químicos edáficos: Entomobryidae, Paronellidae y Dicyrtomidae, con el fosforo; Isotomidae, Onychuridae, Brachystomellidae, Sminthuridae y Sminthurididae con el potasio; Isotomidae, Onychiuridae, Brachystomellidae, Dicyrtomidae, Sminthuridae y Sminthurididae, con la materia orgánica y la temperatura; Isotomidae, Onychiuridae, Brachystomellidae, Sminthuridae, y Sminthurididae, con la precipitación y la humedad; Entomobryidae, Paronellidae y Dicyrtomidae, con la evaporación (Cuadro 4).

Durante la estación lluviosa, existió correlación negativa significativa para las siguientes familias de Collembola, con los siguientes factores físico químicos edáficos: Isotomidae, Onychiuridae, Entomobryidae, Paronellidae, Brachystomellidae, Dicyrtomidae, Sminthuridae, Sminthurididae con el pH y calcio; Entomobryidae y Paronellidae con el potasio, precipitación y humedad; Isotomidae, Onychiuridae, Sminthuridae y Sminthurididae con la evaporación (Cuadro 4).

La alta abundancia y mayor riqueza en familias de Collembola que se presenta en la temporada de lluvias, puede obedecer al comportamiento favorable para la mayoría de las especies de colémbolos, ya que una humedad adecuada favorece la descomposición de la hojarasca reflejado en un aumento de la materia orgánica del cual se podrían estar alimentando estas especies.

Palacios-Vargas *et al.* (2000), afirmaron que la diversidad alfa, es más alta en los meses de temporada lluviosa cuando la precipitación es más abundante. Se infiere

por lo tanto que la precipitación y la humedad de los suelos, constituyen factores clave que afectan a muchas poblaciones colémbolos (Cutz-Pool, *et al.*, 2007).

Por otra parte Marín Beitía (2013), indica que las condiciones de humedad del suelo y precipitación tienen influencia variable en algunas familias de colémbolos, lo cual lleva a concluir la dificultad de la generalización de la influencia de los factores ambientales sobre las poblaciones.

Arbea y Blasco Zumeta (2001), indican que la humedad y la temperatura son factores determinantes del hábitat óptimo de los colémbolos, ya que influyen en la tasa de reproducción y crecimiento de los individuos y en su distribución vertical a lo largo de un perfil.

Para el caso particular de pH, Hågvar (1987); Van Straalen & Verhoef (1997) y Heneghan & Bolge (1996), indicaron que este factor, ejerce una barrera selectiva para muchas especies de colémbolos, quienes reaccionan positivamente a las condiciones de baja acidez, por lo que se han sugerido a estas especies, para que puedan ser utilizadas como bioindicadores de pH bajo; comportándose como especies acidófilas.

Cuadro 5. Correlación entre las familias de Collembola y los factores físico-químicos, durante la estación seca.

Familias	Coeficiente de correlación								
	pH*	P*	K*	Ca*	M.O*	Temp.*	Precp.*	Hum.*	Evap.*
Isotomidae	0,32	-0,76	-0,49	0,87	-0,97	-0,04	-0,99	-0,30	0,58
Onychiuridae	0,50	-0,87	-0,66	0,95	-0,90	0,16	-0,99	-0,49	0,73
Entomobryidae	0,70	-0,24	-0,55	0,03	0,65	0,91	0,41	-0,71	0,46
Paronellidae	0,67	-0,19	-0,52	0,01	0,69	0,89	0,45	-0,68	0,42
Brachystomellidae	0,57	-0,91	-0,71	0,97	-0,86	0,23	-0,97	-0,55	0,78
Dicyrtomidae	0,62	-0,93	-0,75	0,99	-0,83	0,29	-0,95	-0,60	0,82
Sminthuridae	0,43	-0,83	-0,59	0,93	-0,93	0,07	-0,99	-0,41	0,67

*pH: acidéz, P: fósforo, K: potasio, Ca: calcio, M.O: materia orgánica, Temp.: temperatura, Precip.: precipitación, Hum.: humedad, Evap.: evaporación.

*Los datos en **negrita**, representan valores significativos para cada uno de los factores físico-químicos edáficos.

En el cultivo del maíz durante la estación seca, se dieron correlaciones significativas positivas entre las familias de Collembola y los siguientes factores físicos químicos edáficos, de la forma siguiente: **Onychiuridae**, **Entomobryidae**, **Paronellidae**, **Brachystomellidae**, **Dicyrtomidae** y **Sminthuridae** con el pH; **Isotomidae**, **Onychiurida**, **Brachystomellidae**, **Dicyrtomidae** y **Sminthuridae**, con el calcio y evaporación; **Entomobryidae** y **Paronellidae** con la materia orgánica, temperatura y precipitación.

Existió correlación negativas significativas entre las familias de Collembola y los siguientes factores físicos químicos edáficos de la forma siguiente: **Isotomidae**, **Onychiuridae**, **Brachystomellidae**, **Dicyrtomidae** y **Sminthuridae** con el fósforo, materia orgánica y precipitación; **Isotomidae**, **Onychiuridae**, **Entomobryidae**, **Paronellidae**, **Brachystomellidae**, **Dicyrtomidae** y **Sminthuridae** con el potasio y humedad.

La existencia de correlación positiva durante la estación seca y de correlaciones negativas durante la estación lluviosa de las familias de Collembola con respecto al pH, se debe probablemente al aumento de la acidez producto de la gran acumulación de agua en el suelo. Sobre este aspecto Espinosa y Molina (1999), indicaron que los suelos ácidos se encuentran más frecuentemente en áreas de alta precipitación, donde el exceso de lluvias, lixivia bases de cationes de la tierra, al aumento del porcentaje de Al_3^+ y H^+ en relación con otros cationes. Además, el agua de lluvia tiene un pH ligeramente ácido de 5,7, debido a una reacción con CO_2 en la atmósfera que forma ácido carbónico, acidificando el suelo.

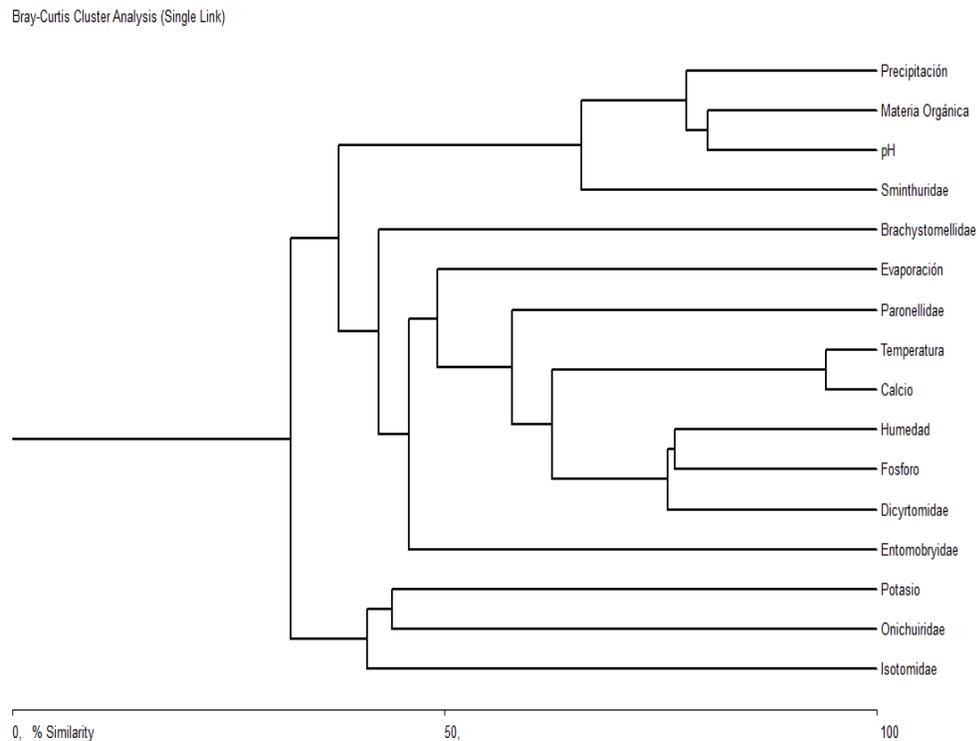
En cuanto al factor materia orgánica Hasegawa (2002), indicó que no se ha establecido de forma directa la relación existente entre la materia orgánica y la comunidad de Collembola. Por otro lado Van Straalen & Verhoef (1997), determinaron que las concentraciones del elemento Calcio, influye sobre el pH,

razón que dificulta la definición del efecto directo de este elemento, sobre el comportamiento de los Collembola.

Los colémbolos en su mayoría tienden a registrar una baja actividad en la temporada de sequía reduciendo sus poblaciones de un 30 a un 90% (Palacios-Vargas y Castaño-Meneses 2003).

Además, los análisis de correlación corroboraron que las variables humedad, precipitación y temperatura, son factores ambientales que influyen de manera significativa, ya sea de forma positiva o negativa en la abundancia de las familias de Collembola; por lo que se puede indicar que las variaciones estacionales, repercuten sobre la abundancia y composición de las poblaciones de Collembola, en estos ecosistemas.

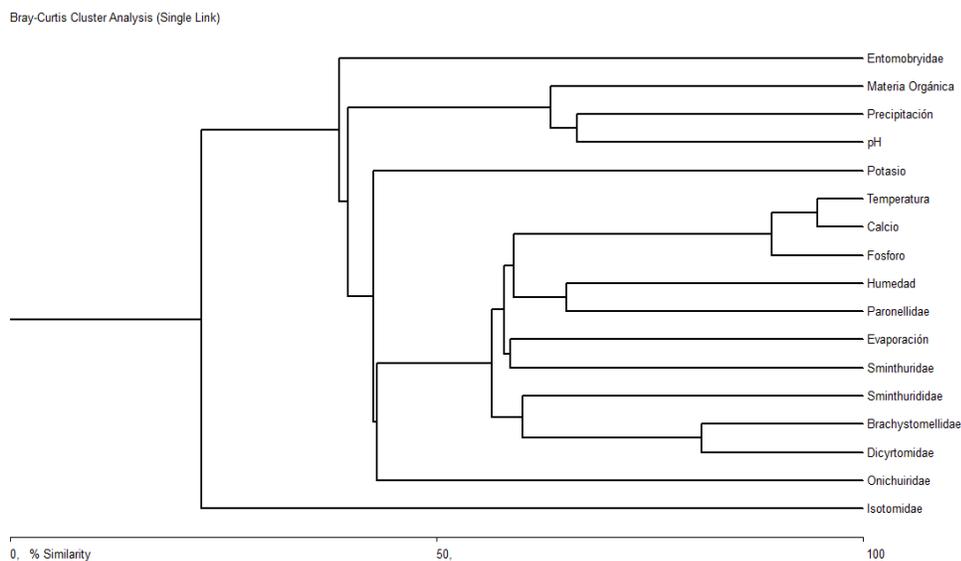
Figura 1. Dendrograma de correlación entre factores físico químicos edáficos y las familias de Collembola, para el área de cultivo de maíz con la aplicación del herbicida Quirón 400.



El análisis Cluster de Bray–Curtis, para el área de cultivo de maíz donde aplicó el herbicida Quirón 400, indicó que la familia Dicyrtomidae, mostró mayor dependencia a los factores fósforo y humedad, aproximadamente en un 75%; y con el calcio y la temperatura aproximadamente en un 60%. La familia Sminthuridae, indicó mayor relación o dependencia con los factores, materia orgánica, pH y precipitación, en una proporción aproximada del 60%. La familia Paronellidae, mostró dependencia a los factores calcio y temperatura aproximadamente en un 55%. Las familias Brachystomellidae, Entomobryidae, Isotomidae y Onychiuridae, mostraron una relación proporcional de menos del 50%, respecto a los factores físico-químicos analizados.

Estos resultados coinciden con lo encontrado por Loaiza (2013), para las familias Dicyrtomidae, que mostró dependencia con la humedad y Paronellidae con el calcio y temperatura. La baja coincidencia con los resultados obtenidos por Loaiza, se pudo deber a que en su investigación no se aplicó químico alguno a las áreas de estudio; mientras que en este estudio hubo aplicación del herbicida en el área de cultivo.

Figura 2. Dendrograma de correlación entre los factores físico químicos edáficos y las familias de Collembola, para el área de cultivo de maíz sin la aplicación del herbicida Quirón 400.



El análisis Cluster de Bray – Curtis, para el área de cultivo de maíz sin la aplicación del herbicida Quirón 400, indicó que la familia Paronellidae, mostró una mayor dependencia con el factor humedad en un 60% aproximadamente, y de un 55% al fósforo, calcio y temperatura. La familia Sminthuridae, indicó una mayor dependencia con el factor evaporación, en una proporción aproximada del 55%. Las familias Brachystomellidae, Dicyrtomidae y Sminthurididae, mostraron dependencia a los factores calcio, fósforo temperatura, humedad y evaporación, aproximadamente en un 55%; y las familias Entomobryidae, Isotomidae y Onychiuridae, presentaron una relación proporcional de menos del 50%, respecto a los factores físico-químicos analizados.

En este caso, estos resultados coinciden con los de Loaiza (2013), para las familias Paronellidae con el calcio y la temperatura; Brachystomellidae con la temperatura y la humedad. Además, hubo resultado parecido en cuanto a la similaridad de relación o dependencia de las familias, Entomobryidae, Isotomidae y Onychiuridae con las variables precipitación, pH, y materia orgánica, mostrando menos de un 50% de dependencia con los factores físico-químicos edáficos analizados.

CONCLUSIONES.

Las variables químicas edáficas de mayor peso sobre las familias de Collembola, fueron el pH, fósforo, potasio y calcio respectivamente. Existió un aumento en las correlaciones significativas sobre todo para los factores químicos edáficos, en el área de cultivo de maíz, donde se aplicó el herbicida Quirón 400. Durante la estación lluviosa existieron correlaciones negativas entre las familias de Collembola con el factor pH y el calcio; mientras que durante la estación seca las correlaciones para con estos dos factores fueron positivas. Para el factor fósforo y potasio durante la estación seca todas las familias de Collembola, presentaron las correlaciones significativas negativas, no así durante la estación lluviosa. Durante la estación seca aumentó el número de familias Collembolas, con correlaciones significativas negativas con los factores materia orgánica, precipitación y humedad. Para la evaporación durante la estación seca, todas las familias presentaron correlaciones positivas, no así durante la estación lluviosa. Existió variabilidad en la relación de similaridad entre las familias de Collembola y los factores físico químicos edáficos, entre las áreas de cultivo con y sin aplicación del herbicida Quirón 400.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anderson, M. J. (1988). Spatio temporal effects of invertebrates on soil processes. *Biology and fertility of Soil* 6: 189-203.
- Arbea, J. I. y Blazco-Zumeta, J. (2001). Ecología de los colémbolos (Hexápoda, Collembola) en los Monegros (Zaragoza-España). *Aracnet 7-Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa* 28: 35-48.
- Avila-Avila, 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.

- Christiansen, K. A., Greenslade, L. P., Deharveng, R., Pomorski, J. & F. Jenssens. (2007). Checklist of the Collembola: key to the families of Collembola. pp 12.
- Cutz-Pool, L. Q., Palacios-Vargas, J. G. y Vásquez, M. M. (2003). Comparación de algunos aspectos ecológicos de Collembola en cuatro asociaciones vegetales de Noh-Bec, Quintana Roo, México. *Folia Entomológica Mexica* 42(1): 91-101.
- Cutz-Pool, L. Q., Palacios-Vargas, J. G., Castaño-Meneses, G. y García-Calderón, N. E. (2007). Edaphic Collembola from two agroecosystems with contrasting irrigation type in Hidalgo State, Mexico. *Applied Soil & Ecology* 36:46-52
- Díaz Aspiazú, González Cairo, M., V, Palacios-Vargas, J. G. y Lucía 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: the role of density dependence, predation and weather. *Ecological Entomology* 27: 565-573.
- Frampton, G. K. (1997). The potential of Collembola as indicators of pesticide usage: evidence and methods from the UK arable ecosystem. *Pedobiología* 41:179-184.
- Frampton, G. K. y Van der Brink, P. J. (2002). Influence of cropping on the species composition of epigeic Collembola in arable fields. *Pedobiología* 46: 328-337.
- Garita-Cambronero, J., Duarte Madrigal, A. y Retana-Salazar, A. (2006). Indicadores eficientes de salud edáfica. *Mes* 1(11): 23-32.
- Geissen, V., Illmann, J., Flohr, A., Kahrer, R. y Brummer, G. W. (1997). Effects of liming and fertilization on Collembola in forest soils in relation to soil chemical parameters. *Pedobiología* 41: 194-201.
- 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.*
- Greenslade, P. y Vaughan, G. (2003). A comparison of Collembola species for toxicity testing of Australian soils. *Pedobiología* 47: 171-179.

- Gregorich, E. G., Angers, D. A. Campbell, C. A. Carter, M. R. Drury, C. F. Elier, B. H., Groenevelt, P. H., Holstrom, D. A., Monreal, C. M., Rees, H. W. Voroney, R. P. y Vyn, T. J. (1995). Changes in soil organic matter Ch.5. In: D. F. Acton & L. J Gregorich (eds). The health of our soils. Centre for Land and Biological Resources Research. Canada. pp. 350.
- Guillen, C., Soto-Adames, F. y Springer, M. (2006). Variables físicas, químicas y biológicas del suelo sobre las poblaciones de Colémbolos en Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 30(2): 19-29.
- Gutierrez, 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. pp.45.
- Hågvar, S. (1987). Why do collembolans and mites react to changes in soil acidity? *Ent. Meddr.* 55 (2/3): 115-119.
- 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.
- Heneghan, L. y Bolger, T. 1996. Effect of components of "acid rain" on the contribution of soil microarthropods to ecosystem function. *Journal of Applied Ecology* 33:1329-1344.
- Iannacone, J. y Montoro, I. (2002). Impacto de los productos botánicos bioinsecticidas (azadiractina y rotenona) sobre la artrofauna capturada con trampas de suelo en el tomate en Ica, Perú. *Revista Colombiana de Entomología.* 28: 191-198.
- Krogh, P. H. (1991). Perturbation of soil microarthropod community with the pesticides benomyl and isofenphos. I. Population changes. *Pedobiología* 35: 71-88.
- Kováč, L. y Miklisová, D. (1997). Collembolan communities (Hexapoda, Collembola) in arable soils of east Slovakia. *Pedobiología* 41: 62-58.
- Loaiza, 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 Grado. Licenciatura en Biología, Universidad de Panamá. Pp. 52.

Marín Beitía, E. P. (2013). Poblaciones de ácaros y colémbolos en un suelo humic dystrodepts con incorporación de abonos verdes y cultivado con maíz *Zea mays* L. Tesis de maestría. Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ciencias Agropecuarias. Palmira. pp 101.

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

Negri, I. (2004). Spatial distribution of Collembola in presence and absence of a predator. *Pedobiología* 48: 585- 588.

Ospina-Sánchez, C. M., Rodríguez, J., Peck, D. C. (2009). Clave para la identificación de géneros de Collembola en agroecosistemas de Colombia. *Revista colombiana de entomología* 35(1): 57-61.

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

Palacios- Vargas, J.G. (2000). Los colémbolos en los ecosistemas mexicanos. *CONABIO. Biodiversitas* 29: 12-15.

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

Palacios-Vargas, J. G. y Castaño-Meneses, G. (2003). Seasonality and community composition of springtails in Mexican forests. Pp. 159-169, en: Basset Y., V. Novotny, S.E. Miller y R.L. Kitching (eds.). *Arthropods of tropical forests: Spatiotemporal dynamics and resource use in the canopy*. Cambridge University Press, Cambridge.

Petersen, H. (2000). Collembola populations in an organic crop rotation: Population dynamics and metabolism after conversion from clover- glass 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 Prat, B. (1982). Les collemboles, indicateurs du mode d'humification dans les pleupements résineux, feuillus et mélanges: resultats 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.
- Rebek, E. J., Hogg, D. B. y Young, D. K. (2002). Effect of four chopping systems on the abundance and diversity of epiedaphic springtails (Hexapoda: Parainsecta: Collembola) in Souther Winsconsin. *Environmental Entomology* 31(1): 37-46.
- Rusek, J. (1998). Biodiversity of Collembola and their functional role in the ecosystem. *Biodiversity and Conservation* 7:1207-1219.
- Stinner, B. R., Krueger, H. R., McCartney, D. A. (1986). Insecticide and tillage effects on pest and non-pest arthropods in corn agroecosystems. *Agric. Ecosystems. Environ* 15: 11- 21.
- Stock, E. N. y P. Eggleton. (1992). Invertebrates as determinants and indicators of soil quality. *American Journal of Alternative Agriculture*. 7: 23-32.
- 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.
- Vásquez G., M. (1999). Fauna Edáfica de las selvas tropicales de Quintana Roo. Universidad de Quintana Roo. México. pp. 145.
- Villalobos, F. J. (1990). Estudio preliminar sobre la abundancia y diversidad de los Collembola (Apterygota) de un bosque tropical del norte de México. *Folia Entomológica Mexicana* 80: 5-29.
- Vreeken-Buijs, M. J., Geurs, M., de Ruiter, P. C., Brussaard, L. (1994). Microarthropod biomass-C dynamics in the belowground food webs of two arable farming systems. *Agric. Ecosystems Environ* 51: 161-170.

