

# EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE *PROTAPHORURA HERUS* CHRISTIANSEN Y BELLINGER (COLLEMBOLA: ONYCHIURIDAE) EN LA DESCOMPOSICIÓN DE HOJARASCA DE DURAZNO (*PRUNUS PERSICA* (L.) SIEB. Y ZUCC.), A TRAVÉS DE LA PRODUCCIÓN DE CO<sub>2</sub>.

ANDRÉS MIRANDA-RANGEL

Laboratorio de Micro y Mesofauna del suelo. Área de Biología. Depto. de Preparatoria Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo. 56230 Chapingo, Edo. de México. MÉXICO.

**RESUMEN.** Se evaluó la influencia de una población de colémbolos edáficos *Protaphorura herus* en el proceso de descomposición de hojarasca de durazno (*Prunus persica*) en función de la producción de CO<sub>2</sub>, en diferentes lapsos: desde un día hasta 90 días. Se establecieron cinco lotes con 40 repeticiones cada uno, y cinco repeticiones para cada tiempo (un día, dos días, tres días, siete días, 14 días, 60 días y 90 días). El Lote A contuvo a la hojarasca como se tomó del campo (con fauna y microbiota asociada); al Lote B se le eliminó la fauna; el Lote C se trató igual que el B, pero se le agregaron 10 ejemplares de *Protaphorura herus*; los Lotes D y E se esterilizaron, pero al E se le agregaron 10 ejemplares de *Protaphorura herus*, sin esterilizar. El sistema C (colémbolos y microbiota) generó una mayor producción de CO<sub>2</sub>, que en el resto de los lotes, a los 90 días. Inclusive por encima de aquel en el que se encontró la fauna completa y la microbiota propia de la hojarasca. También se generó una diferencia en la producción de CO<sub>2</sub> (estadísticamente significativa) entre un sistema completamente estéril (Lote D), y otro semejante a este al cual se le agregaron 10 colémbolos de la especie citada (Lote E). Lo anterior mostró la influencia positiva que presentó la población de colémbolos *Protaphorura herus* sobre la descomposición de la hojarasca de *Prunus persica* bajo las condiciones experimentales.

**PALABRAS CLAVE:** descomposición de hojarasca, colémbolos, ecología del suelo, *Protaphorura herus*, microcosmos.

**ABSTRACT.** This study evaluated the influence of a population of edaphic collembola *Protaphorura herus* on the process of peach leaf litter (*Prunus persica*) decomposition with respect to the production of CO<sub>2</sub> in different times lapses: from one day to 90 days. Five sets were established with 40 repetitions each, five repetitions for each time lapse (one day, two days, three days, seven days, 14 days, 30 days, 60 days and 90 days). Set A contained leaf litter taken from the soil with no manipulation. Set B leaf litter from which fauna was eliminated, Set C with fauna eliminated but with the addition of 10 individuals of *Protaphorura herus*. Set D totally sterilized and Set E totally sterilized with the addition of 10 individuals of *Protaphorura herus*. It was found that the system where this population participated, along with associated microbiotic organisms (Set C), generated a higher production of CO<sub>2</sub> by the end of the experiment than the rest of the systems evaluated. This was true even for the system where complete fauna and microbiotic participation was included. Another significant difference was found in the production of CO<sub>2</sub> between set D and E, favoring set E. In general the influence of the collembola population on the decomposition of the peach leaf litter in experimental conditions was positive.

**KEY WORDS:** litter decomposition, Collembola, soil ecology, *Protaphorura herus*, microcosm.

---

### *Miranda-Rangel: Protaphorura herus en la descomposición de hojarasca*

El proceso de descomposición de la materia orgánica es complejo por la diversidad de fenómenos físicos, químicos y biológicos que participan en él (Benner y Kammowski, 1984; Cancela Da Fonseca y Poinso-Balaguer, 1983). En este actúan una gran variedad de organismos como: los hongos, las bacterias y los animales. Los dos primeros intervienen desde que las estructuras forman parte del organismo completo (como en los casos de las plantas y/o los animales), hasta la mineralización, cuando esta sucede (Alexander, 1982; Harris, 1988; Petersen y Luxton, 1982).

La descomposición de la materia orgánica edáfica conlleva la mineralización de la misma, y la liberación de los nutrientes y la energía, necesarios para sostener los ecosistemas (Irmeler, 2000). Como parte de este proceso, se produce bióxido de carbono, se libera el nitrógeno y el fósforo contenidos en las células, entre otros elementos, y se reduce su biomasa (Seastedt, 1984).

La oxidación de la materia orgánica edáfica genera CO<sub>2</sub> (Stevenson y Cole, 1999). La evaluación del CO<sub>2</sub> producido es una medición del catabolismo del suelo, en el cual la fauna edáfica participa en diferentes proporciones, dependiendo de las condiciones particulares del medio. Así, se considera que la microartropodofauna puede contribuir desde 1% hasta 25% de la respiración heterótrofa en un suelo (Persson, 1989).

Se ha visto que la participación de la colembofauna en el catabolismo del suelo es importante porque estimula y controla el crecimiento y diversidad de los microorganismos (hongos y bacterias), fragmenta la hojarasca y reduce la lixiviación del nitrógeno mineralizado (Baath *et al.*, 1981; Edsberg, 2000; Persson, 1989).

Los colémbolos y los ácaros constituyen hasta 95% de la artropodofauna edáfica, con una amplia distribución (Hopkin, 1997). En el proceso de descomposición de la materia orgánica, los colémbolos participan de diferentes formas, ya sea como desmenuzadores aumentando la superficie de las estructuras a degradar, principalmente las de origen vegetal (Cancela da Fonseca & Poinso-Balaguer, 1983), este incremento facilita la acción enzimática de los microorganismos, con lo cual se acelera la mineralización y la oxidación de la materia orgánica hasta en 23% (Huhta *et al.*, 1998; Seastedt, 1984).

Además, los colémbolos son transformadores químicos de las estructuras que consumen, por la acción de las bacterias contenidas dentro de su tracto digestivo y/o por sus propias enzimas (Christiansen, 1992; Miranda, 1998). Son un almacén de nutrientes del propio suelo (Miranda y Palacios-Vargas, 1992); excretan sustancias nitrogenadas útiles para el desarrollo de la microbiota edáfica (Baath *et al.*, 1981). Los estudios en microcosmos permiten estudiar condiciones que difícilmente se pueden presentar o mantener en el campo; razón por la cual facilitan algunos estudios, pero implican limitantes en sus conclusiones (Edsberg, 2000).

Con base en lo señalado en esta sección se planteó como objetivo del presente trabajo evaluar el papel que juega *Protaphorura herus* (Onychiuridae: Collembola),

habitante del suelo de una huerta de duraznos en la descomposición de la hojarasca. Además, la mayoría de los estudios sobre la descomposición de la materia orgánica en microcosmos, se han realizado en períodos mayores al considerado en el presente estudio (Baath *et al.*, 1981; Irmiler, 2000; Xingjun *et al.*, 2000). Por lo anterior el presente trabajo es un acercamiento a las primeras etapas de este proceso.

## **MATERIALES Y MÉTODOS.**

El presente experimento se llevó a cabo dentro de las instalaciones del bioterio del área de Biología, del Departamento de la Preparatoria Agrícola, de la Universidad Autónoma Chapingo, del 13 de septiembre al 13 de diciembre de 1998, para lo cual se desarrollaron las siguientes actividades:

1) Se colectó la hojarasca de una huerta de duraznos (*Prunus persica*) en Chapingo, Edo. de Méx. (México), en el campo de cultivo San Martín (98° 30' N y 98° 51' W), el cual se encuentra a una altitud de 2240 m snm. Se tomó la hojarasca caída de nueve árboles, los cuales fueron seleccionados aleatoriamente. Se colectó la hojarasca encontrada sobre el suelo, a los lados del tronco de los árboles, la cual se guardó inmediatamente en bolsas de polietileno con cierre hermético. Estas últimas se mantuvieron en un recipiente térmico mientras se transportaban al laboratorio.

2) Posteriormente, se pesaron 10 g de hojarasca por muestra, y se introdujo en frascos de vidrio transparente de un litro (16.5 X 9 cm), con cierre de rosca hermético, asignándole un número del 1 al 200, a cada frasco.

Luego, se seleccionaron 40 frascos mediante números aleatorios, para formar cada uno de los cinco lotes.

3) Se formaron los Lotes (A, B, C, D y E), con cinco repeticiones cada uno, para cada tiempo; y ocho tiempos diferentes de evaluación (ver punto 11).

4) En el Lote A se colocó la hojarasca tal como se colectó de la huerta.

Posteriormente cada muestra se regó con 30 ml de agua destilada.

5) En el Lote B se colocó la hojarasca, sin fauna edáfica. Para lo cual las muestras se calentaron a 45 °C por 3 h en un horno. Luego se verificó bajo microscopio, la ausencia de animales. El calentamiento de la hojarasca no hizo visible algún cambio físico en ella.

Finalmente se regaron las muestras con 30 ml de agua destilada.

6) En el Lote C, la hojarasca se trató de la misma manera que en el Lote B, y al final se agregaron 10 colémbolos de la especie *Protaphorura herus* tomados del campo.

7) A las muestras del Lote D se le agregaron 30 ml de agua destilada, y se esterilizaron por medio de calor húmedo, en una autoclave a 121 °C, una hora diaria, por tres días consecutivos.

Se comprobó la esterilidad de la hojarasca, al sembrarse fragmentos de cada muestra, en medios de cultivo (de Martin y agar nutritivo). Los cuales se incubaron

*Miranda-Rangel: Protaphorura herus en la descomposición de hojarasca*

a 28 °C y 32 °C respectivamente, durante 15 días. Al final del período de incubación no se observó el crecimiento de ningún microorganismo.

8) El Lote E se esterilizó de manera semejante al Lote D (hojarasca estéril), y se efectuaron las mismas pruebas para comprobar su esterilidad. Luego se agregaron 10 ejemplares tomados del campo, de *Protaphorura herus*.

9) Se colocaron 5 ml de NaOH 1 N, y una pequeña tira de papel filtro en un recipiente, dentro de cada uno de los frascos con la hojarasca. Esta sustancia fijó el bióxido de carbono producido en la descomposición de la hojarasca. Al captar el CO<sub>2</sub>, la sosa se transformó en Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>. Posteriormente se adicionaron 2 ml de cloruro de bario a 2% para precipitar el carbonato. La sosa que no reaccionó se tituló con HCl 0.1 N, utilizando como indicador a la fenofaleína.

10) Se estableció un testigo para cada uno de los lotes y los tiempos estudiados (con tres repeticiones cada uno), el cual consistió en introducir la trampa de NaOH arriba mencionada, en un frasco semejante a los que contenían la hojarasca, pero sin ésta. Los valores obtenidos de esta titulación proporcionaron el valor de referencia, para calcular el CO<sub>2</sub> producido, mediante la siguiente fórmula:

CO<sub>2</sub> producido (mg) = (C - V) N x E ; en donde:

C = Volumen de HCl gastado en la titulación (ml) del testigo.

V = Volumen de HCl gastado en la titulación (ml) de los tratamientos evaluados.

N = Normalidad del HCl

E = Peso equivalente del CO<sub>2</sub> = 22.

11) Los tiempos de evaluación para cada lote fueron de un día, dos días, tres días, 7 días, 14 días, 30 días, 60 días y 90 días. Durante estos tiempos los frascos permanecieron herméticamente cerrados. Posteriormente, se eliminaron cinco repeticiones de cada tratamiento, en cada tiempo.

Las muestras se mantuvieron con una distribución azarosa entre los tratamientos, a una temperatura promedio de 22 °C, durante todo el período del experimento, dentro de una sala del bioterio de la Preparatoria Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo, en la cual no se controló la temperatura.

12) Se hicieron pruebas no paramétricas de rangos de Wilcoxon, lo cual es equivalente a hacer un análisis de varianza Tipo I (Sokal y Rohlf, 1968; Zar, 1984). Además se realizaron pruebas de Tukey y de normalidad de los resultados obtenidos.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados no presentaron una distribución normal, de acuerdo con la prueba de Wilcoxon, por lo cual se analizaron por rangos. Esta prueba mostró diferencias altamente significativas entre los lotes y los tiempos (183 muestras), ya que se obtuvo una F = 17.3, con Pr > F = 0.0001. Lo cual significa que las diferencias entre las muestras fueron consecuencia de los tratamientos aplicados y los períodos establecidos.

El análisis estadístico entre lotes también arrojó diferencias significativas ( $F = 110.44$  y  $Pr > F = 0.0001$ ), las cuales se debieron a los tratamientos estudiados.

La prueba de comparación de medias de Tukey entre los lotes, mostraron las diferencias entre ellos a través de todos los tiempos, con excepción de los Lotes B y C.

El Lote A presentó la producción media de  $\text{CO}_2$  más alta ( $x = 94.49 \text{ mg} \pm 9.83$  y  $n = 37$  muestras) (Cuadro 1), en el cual se encontraron la fauna y la microbiota completas (como se colectaron en el campo).

En el Lote (A) se encontraron diversos animales como: moluscos, ácaros, diferentes insectos y colémbolos, que con su propio catabolismo contribuyeron a la producción de  $\text{CO}_2$ .

Este resultado indicó la interacción de la comunidad completa de degradadores sobre la hojarasca, lo cual generó la mayor producción de  $\text{CO}_2$ .

La interrelación entre la fauna total y la microbiota completa con la hojarasca de duraznos, estimuló una mayor producción de  $\text{CO}_2$  debido a que la edafofauna desarrolla diferentes funciones en la descomposición de la materia orgánica como: el desmenuzamiento físico de la materia orgánica, el cual incrementa la superficie de acción de las exoenzimas secretadas por los microorganismos edáficos; aporte de nitrógeno al medio, lo cual estimula el desarrollo de los hongos y bacterias; control y dispersión de las poblaciones de microorganismos, debido a la depredación que la fauna efectúa sobre estos, lo cual incrementa la diversidad de los mismos y por lo tanto, la heterogeneidad de enzimas en el medio, y así se acelera la descomposición de la materia orgánica.

La fauna propicia una mayor eficiencia en el transporte de gases hacia la microbiota con sus movimientos, lo cual estimula el desarrollo de sus poblaciones (Huhta *et al.*, 1998; Seastedt, 1984). Además los animales por si mismos son generadores de  $\text{CO}_2$ . Todo lo anterior incidió favorablemente en la descomposición de la hojarasca, desde el inicio del experimento.

El Lote B siguió en cuanto a la producción de  $\text{CO}_2$  ( $x = 73.503 \pm 30.64$  mg de  $\text{CO}_2$  y  $n = 37$  muestras) (Cuadro 1).

Dicha producción fue menor a la del Lote A, lo cual pudo ser consecuencia de la ausencia de fauna en la hojarasca, la cual fue eliminada con el tratamiento.

Donde no hay edafofauna no se presentan las interrelaciones fauna-microbiota-hojarasca, y por tanto el desarrollo de las poblaciones de microorganismos es limitado, y la descomposición de la materia orgánica más lenta (Huhta *et al.*, 1998). Esto se refleja en una menor producción de  $\text{CO}_2$ .

La ausencia de animales posibilita la lixiviación de nutrientes del suelo, y una disminución de la mineralización de la materia orgánica edáfica y una reducción de la heterogeneidad enzimática del medio (Larink, 1997; Newman, 1988).

Por otro lado, al no haber diferencia significativa entre las producciones de  $\text{CO}_2$  de

*Miranda-Rangel: Protaphorura herus en la descomposición de hojarasca*

los Lotes B y C, durante el período analizado, se mostró que el tiempo del experimento fue insuficiente para apreciar más claramente la incidencia de *Protaphorura herus* en la descomposición de la hojarasca de duraznos, bajo las condiciones del estudio. Lo anterior se basa en que al final del período del experimento (90 días) se registró una mayor producción del Lote C (colémbolos y microbiota) sobre los Lote A (fauna total y microbiota completa) y B (microbiota) (Cuadro 1).

Algunos trabajos como los de Baath *et al.* (1981), Edsberg (2000), Persson (1989) y Seastedt (1984), entre otros, consideraron tiempos mayores para evaluar la influencia de los colémbolos en la descomposición de la materia orgánica edáfica, pero no analizaron estas primeras etapas.

La producción de CO<sub>2</sub> del Lote C (colémbolos y microbiota) ( $x = 65.659 \pm 34.750$  mg de CO<sub>2</sub>, y  $n = 36$  muestras) ocupó el tercer sitio (Cuadro 1). La amplia desviación estándar (la mayor de todas) indicó que las variaciones en la producción fueron las mayores, lo cual pudo ser consecuencia del desarrollo de las poblaciones de *Protaphorura herus* en las muestras, así como la incidencia positiva de estos colémbolos, sobre el desarrollo de las poblaciones de la microbiota.

Al final del experimento se observó un incremento de la producción de CO<sub>2</sub> del Lote C, por encima del B; lo cual pudo reflejar el desarrollo de las poblaciones de colémbolos y una más eficiente descomposición de la hojarasca de duraznos en este lote.

Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Baath *et al.* (1981), e Ineson *et al.* (1982), quienes observaron un efecto positivo de los colémbolos sobre el proceso de mineralización de la materia orgánica y un incremento en las poblaciones bacterianas del medio.

Al finalizar los tiempos de los tratamientos no se cuantificaron los colémbolos. En cuanto a producción de CO<sub>2</sub> siguió el Lote E (hojarasca estéril con colémbolos) ( $x = 31.869 \pm 27.757$  mg de CO<sub>2</sub>; y  $n = 40$  muestras) (Cuadro 1).

Aquí se muestra la influencia positiva que tuvieron los colémbolos en la generación de CO<sub>2</sub>, ya sea con su propia respiración y/o con la inoculación de la microbiota a la hojarasca estéril. Este efecto se notó debido a que la producción de CO<sub>2</sub> fue superior (estadísticamente), a la del Lote D (hojarasca estéril) (Cuadro 1). Lo anterior refleja el aporte positivo que hizo la población de *Protaphorura herus* en el proceso de descomposición de la hojarasca de duraznos, al inocular la microbiota a los sistemas estériles, lo cual contribuyó a su descomposición. Además del desarrollo de su propia población.

El rendimiento de CO<sub>2</sub> del Lote E fue inferior al de los Lotes C (colémbolos y microbiota) y B (microbiota) (Cuadro 1), lo cual indica que posiblemente no se estableció la diversidad de degradadores, semejante a la de los Tratamientos C o B. Los ejemplares de *Protaphorura herus* hicieron un aporte particular a la producción

**Cuadro 1**

Producción de CO<sub>2</sub> (mg) de lotes y tiempos

Lote/días	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
	Media	d.s.	F	Pr > F	Tukey	Media	d.s.	F	Pr > F	Tukey
A	85.4	12.5	3.42	0.028	A*	96.2	7.4	5.84	0.003	A
B	69.5	15.1			A, B	48.7	34.8			A, B
C	51.6	40.6			A, B	43.5	43.4			B
D	18.4	2.9			B	16.8	2.9			B
E	20.1	2.4			A, B	19.1	1.9			B

  

Lote/días	3	3	3	3	3	7	7	7	7	7
	Media	d.s.	F	Pr > F	Tukey	Media	d.s.	F	Pr > F	Tukey
A	113	6.21	56.33	0.001	A	90.8	4	13.1	0.001	A
B	83	4.4			B	85.6	30.8			A
C	55.8	21.5			B, C	84.2	12			A, B
D	12.7	6.3			D	12	3.5			C
E	19.7	9.5			D, C	38	29.8			C, B

  

Lote/días	14	14	14	14	14	30	30	30	30	30
	Media	d.s.	F	Pr > F	Tukey	Media	d.s.	F	Pr > F	Tukey
A	92.4	3.6	148.5	0.001	A	94.2	1.2	33.9	0.001	A
B	82.6	9.6			B	90.9	0.7			A
C	77.3	14.1			B	88.6	4.7			A
D	9.66	11.43			B	8.2	1.7			B
E	11.9	1.8			B	45.2	35.2			C

Miranda-Rangel: *Protaphorura herus* en la descomposición de hojarasca

**Cuadro 1 (Continuación)**  
Producción de CO<sub>2</sub> (mg) de lotes y tiempos

Lote/días	60	60	60	60	60	90	90	90	90	90
	Media	d.s.	F	Pr > F	Tukey	Media	d.s.	F	Pr > F	Tukey
A	90.6	0.86	77.98	0.001	A	90.6	3.8	18.8	0.001	A
B	90.3	0.58			A	92.5	2.9			A
C	89.5	0.89			A	94	1.6			A
D	6.9	2.28			B	11.5	2.9			B
E	40.7	2.28			C	67.6	31.3			C

\*Letras iguales conforman un solo bloque.

de CO<sub>2</sub> en este lote, pero no se cuantificó.

La amplitud de la desviación estándar señaló como las muestras tuvieron grandes variaciones en la producción (Cuadro 1), lo cual pudo ser consecuencia del buen desarrollo de las poblaciones implicadas (colémbolos y microbiota) en algunas muestras, y en otras el desarrollo fue raquítico.

La producción más baja de CO<sub>2</sub> estuvo en el Lote D (hojarasca estéril) ( $x = 11.270 \pm 5.853$  mg de CO<sub>2</sub>, y  $n = 33$  muestras).

Se encontró la menor desviación estándar, lo cual significa las menores variaciones en la producción (Cuadro 1).

Estos resultados fueron consecuencia del tratamiento aplicado.

La diferencia de este Lote (D), con respecto a los otros, permitió comparar la contribución de los diversos organismos que participaron en cada uno de los tratamientos (Cuadro 1).

La prueba de medias de Tukey entre lotes mostró que éstos son desiguales a lo largo de todos los tiempos, a excepción de los Lotes B y C (Cuadro 1).

La diferencia entre los lotes y los tiempos, representa el desarrollo de las diversas poblaciones dentro de cada muestra, lo cual implicó variaciones de un tiempo a otro, y entre tratamientos.

Se hizo un análisis de varianza para observar las diferencias entre los tiempos y los lotes, y se obtuvo una  $F = 16.15$  y  $Pr > 0.0001$ , lo cual indica que las diferencias entre los tiempos fueron significativas, y por tanto entre los lapsos se desarrollaron diferentes condiciones entre cada uno de los lotes.

Las producciones promedio para cada uno de los tiempos fueron: Para el período de un día, la producción fue ( $x = 49.030 \pm 32.837$  mg de CO<sub>2</sub> ; y

n = 24 muestras). En este período el Lote A fue el que tuvo la mayor producción de CO<sub>2</sub>, seguido por el B y en tercer lugar el Lote C. No hubo una diferencia significativa entre los Lotes D y E.

La mayor producción del Lote A se explicó en función de la superior diversidad que contiene; y la menor producción del Lote C, al posible proceso de adaptación al que las poblaciones de la microbiota y los colémbolos estuvieron sometidos.

La amplia desviación estándar fue el reflejo de la heterogeneidad en las producciones, sobre todo en los Lotes A, B y C (Cuadro 1).

La ausencia de diferencias entre los Lotes D y E, se pudo explicar en función de un pobre desarrollo de los organismos de este último Lote (Cuadro 1).

Posteriormente se hizo un análisis de varianza para la producción de CO<sub>2</sub> obtenida en el período de un día (F = 3.42 y Pr > F = 0.0275), el cual mostró que las diferencias entre los lotes fueron significativas (Cuadro 1).

Al hacer una prueba de medias de Tukey entre los lotes se observó que los Lotes A, B, C y E conformaron un bloque y los Lotes B, C, D y E conforman otro bloque (Cuadro 1). Así, las diferencias más importantes para este período están entre los lotes con la comunidad completa de degradadores y aquellos donde no lo está, lo cual muestra el efecto integral del proceso de descomposición de la materia orgánica edáfica.

El siguiente período fue el de dos días (x = 44.907 ± 37.187 mg de CO<sub>2</sub> producido; y n = 24 muestras). En este lapso el Lote A (fauna total y microbiota completa) produjo más del doble de CO<sub>2</sub> que el siguiente más cercano en su producción: el B (microbiota) (Cuadro 1). Este resultado mantiene la tendencia del período anterior donde la mayor biodiversidad y biomasa de la comunidad completa de degradadores generó más CO<sub>2</sub>.

En tanto, los Lotes B y C, no mostraron diferencias significativas entre sí; así como los D y E. Estos últimos sí las presentaron con respecto a B y C (Cuadro 1).

En este período (dos días), no se observó aún la influencia de *Protaphorura herus* y su microbiota asociada en el Lote E, de manera semejante al período de un día (Cuadro 1).

Se realizó un análisis de varianza para el tratamiento de dos días (F = 5.84 y Pr > F = 0.0028). Nuevamente, las diferencias entre los lotes fueron significativas (Cuadro 1).

La prueba de comparación de medias de Tukey mostró que los Lotes A y B conformaron un sólo bloque, debido a su mayor producción. Luego los Lotes B, C, D y E ajustaron otro bloque (Cuadro 1).

Sobresalió el Lote A con una mayor producción de CO<sub>2</sub>, la cual pudo ser consecuencia de la superior diversidad de fauna y microbiota presentes, debido a una más eficiente descomposición de la hojarasca.

Aunque estadísticamente son semejantes los Lotes A y B, en este último hubo una

reducción en la producción para este período.

La producción del tratamiento de tres días fue ( $x = 56.862 \pm 40.007$  mg de  $\text{CO}_2$  producido, y  $n = 24$  muestras). El Lote A fue el que tuvo la mayor producción de  $\text{CO}_2$ , luego le siguió el B, el Lote C fue el tercero en producción, con menos de la mitad del Lote A (Cuadro 1). La menor producción del Lote C pudo deberse a que la población de colémbolos aún no se reproducía.

También se observó una diferencia entre las producciones de los Lotes D (hojarasca estéril) y E (hojarasca estéril más colémbolos) (Cuadro 1), por lo que se apreció el papel de *Protaphorura herus* como inoculadores de microorganismos. Además del propio desarrollo de sus poblaciones como generadoras de  $\text{CO}_2$ .

La desviación estándar tan grande señaló la gran heterogeneidad de las producciones de  $\text{CO}_2$ , siendo el Lote C el que mayor variabilidad presentó (Cuadro 1).

En este período, el Lote A mostró el pico más alto en la producción de  $\text{CO}_2$  (Cuadro 1). Este incremento en las primeras etapas del experimento concuerda con los resultados de Seastedt (1984), quien observó un incremento en la producción de  $\text{CO}_2$  como consecuencia del metabolismo de sustancias simples que pudieron ser contenidas.

Algo semejante sucedió con el Lote B, ya que aquí se presentó un incremento muy marcado en este período (Cuadro 1).

En los Lotes C y E hubo un crecimiento en la generación de  $\text{CO}_2$ , no tan pronunciado como en el Lote B (Cuadro 1).

Sólo el Lote D mostró un descenso en su producción (Cuadro 1).

A los tres días se observó un incremento en la producción de  $\text{CO}_2$  en los Lotes A, B, C y E, lo cual pudo deberse a un aprovechamiento de sustancias simples fácilmente asimilables por los microorganismos, lo cual pudo implicar un incremento en sus poblaciones y por lo tanto un crecimiento en la producción de  $\text{CO}_2$ , ya que trabajos como los de Seastedt (1984) y Ineson *et al.* (1982) encontraron que en los primeros tiempos de sus experimentos se incrementó la producción de  $\text{CO}_2$  como consecuencia del metabolismo de éstas sustancias.

Para el período de tres días se hizo un análisis de varianza y se obtuvo una  $F = 56.33$  y una  $Pr > F = 0.0001$ , lo cual significa que las diferencias entre lotes son significativas (Cuadro 1).

Al efectuar la prueba de Tukey, el Lote A formó un sólo bloque, debido a su alta producción de  $\text{CO}_2$  (Cuadro 1).

Posteriormente, los Sistemas B y C se agruparon en un solo bloque y los Lotes C y E se asociaron en otro grupo. Aquí se pudo apreciar la influencia de los colémbolos al integrar este grupo. Finalmente, los Lotes D y E formaron un cuarto grupo (Cuadro 1).

Como pudo verse no hay tendencias claras y la amplia desviación estándar que se presentó en este período lo reflejó (Cuadro 1).

En este período, se mantuvo la diferencia del Lote A, debido a su mayor diversidad.

Luego se observó la influencia de los colémbolos al conformar un sólo grupo, con los Lotes C y E.

También la similitud entre los Lotes D y E, mostró que las poblaciones habitantes de este último aún presentaron un desarrollo incipiente.

A los siete días la producción de CO<sub>2</sub> fue de  $x = 62.187 \pm 24.647$  mg (n = 23 muestras).

Aunque el Lote A fue el que presentó la mayor producción de CO<sub>2</sub> en este período, el mismo fue un valle dentro de su dinámica general (Cuadro 1).

En tanto que los Lotes B, C y E presentaron picos en este período, sobre todo los Lotes C y E.

El incremento en los Lotes B, C y E pudo señalar el inicio del crecimiento de las poblaciones de colémbolos en las muestras: sobre todo en el E, donde se observó una diferencia significativa con el Lote D (Cuadro 1).

La amplia desviación estándar mostró las grandes variaciones entre los lotes, sobre todo entre C y E (Cuadro 1), lo cual pudo mostrar el desarrollo de las poblaciones de *Protaphorura herus* en algunas de sus muestras.

Para el período de siete días, se realizó un análisis de varianza, y se obtuvo una  $F = 13.17$  y  $Pr > F = 0.0001$ , o sea que las diferencias son altamente significativas (Cuadro 1).

La prueba de Tukey mostró que los Lotes A, B y C conforman un grupo, mientras que C y E forman otro grupo y los Lotes D y E integran un tercero (Cuadro 1).

La agrupación de los Lotes A, B y C refleja la acción de la fauna y la microbiota contenida en esos sistemas. También muestra el efecto de la población de *Protaphorura herus*, ya que la producción del Lote C (colémbolos y microbiota), fue semejante a la del Lote A (fauna y microbiota completa), posiblemente como consecuencia del desarrollo de las poblaciones de *Protaphorura herus*.

El segundo grupo señaló la influencia de la microbiota y los colémbolos, y el tercero la influencia de la hojarasca estéril (Cuadro 1).

El período con la menor producción fue el de 14 días ( $x = 28.217 \pm 41.060$  mg de CO<sub>2</sub> producido; n = 22 muestras).

Esta baja producción fue muy influida por la reducida producción del Lote E (hojarasca estéril y colémbolos) (Cuadro 1).

El Lote A (fauna completa con microbiota total) fue el que mayor producción presentó, seguido de B y C; los Lotes E (colémbolos en hojarasca estéril) y D (hojarasca estéril) presentaron producciones muy semejantes (Cuadro 1).

La baja en la producción del Lote E pudo ser consecuencia de una reducción en sus poblaciones para este período (Cuadro 1). Algo semejante sucedió con el Lote C.

Este período mostró una disminución en las producciones de los Lotes B, C y E. Dicha disminución pudo atribuirse a una baja de la temperatura ambiental, imputable al inicio de la temporada de frío (principios de octubre), lo cual incidió en este

*Miranda-Rangel: Protaphorura herus en la descomposición de hojarasca*

resultado, ya que la sala carece de control de temperatura.

Al efectuar la prueba de medias de Tukey para este período (14 días), por si mismo conformó un grupo aparte del resto de los tiempos, debido a su menor producción (Cuadro 1).

En el período de 14 días, al hacer el ANOVA entre los lotes se obtuvo una  $F = 148.53$  y una  $Pr > F = 0.0001$ , por lo que las diferencias son altamente significativas (Cuadro 1).

La prueba de medias de Tukey entre los lotes, arrojó que el Lote A conformó un bloque, y el resto de los lotes se asociaron en otro. Se debió a la baja producción de  $CO_2$  que presentaron en general el resto de los tratamientos (Cuadro 1).

La producción de  $CO_2$  a los 30 días fue de  $63.3411 \pm 38.307$  mg en  $n = 23$  muestras. En este período, la mayor producción la tuvo el Lote A (hojarasca con fauna total y microbiota completa). Los Lotes B, C y E mostraron un incremento en la producción de  $CO_2$ , y fueron el segundo con la media mayor (Cuadro 1).

Particularmente, los Lotes C (colémbolos y microbiota) y E (colémbolos en hojarasca estéril) iniciaron una tendencia creciente en la producción de  $CO_2$ .

La desviación estándar en este período indicó una variación grande en la producción, nuevamente en los Lotes C y E, sobre todo en este último, lo cual reflejaría el desarrollo de las poblaciones de colémbolos y microbiota.

En el período de 30 días, los Lotes A, B, C y E presentaron un incremento en la producción y el Lote D mantuvo constante la suya (Cuadro 1). Este período fue crítico para el incremento en la producción de  $CO_2$ , ya que en todos los lotes donde se presentaron organismos hubo un aumento.

Pareciera que este fue el tiempo que necesitaron las poblaciones de colémbolos para desarrollarse. Así, Meson *et al.* (1982) encontraron que las poblaciones de colémbolos en microcosmos, se incrementaron hacia la cuarta semana y redujeron las poblaciones de microorganismos.

Para el período de 30 días se hizo un análisis de varianza y se obtuvo una  $F = 33.90$  y un  $Pr > F = 0.0001$ , lo cual planteó que las diferencias entre los lotes fueron altamente significativas (Cuadro 1).

Al efectuar la prueba de Tukey se tuvo que los Lotes A, B y C conformaron un sólo bloque, como consecuencia de su alta productividad. Mientras que los Lotes D y E crearon un sólo bloque cada uno (Cuadro 1).

La influencia de *Protaphorura herus* fue evidente en los tratamientos, en este período. Así el Lote C presentó un incremento en su producción, ya que alcanzó una productividad semejante a la del Lote A conformando un solo bloque con él.

El Lote E (hojarasca estéril con colémbolos), presentó una diferencia significativa con el Lote D (hojarasca estéril). Por lo que se apreció la contribución de *Protaphorura herus* como inoculadores de la microbiota, además del posible desarrollo de las poblaciones de los propios colémbolos.

Este período fue crítico para que se desarrollaran las poblaciones, particularmente las del Lote E.

El período de 60 días tuvo una producción de CO<sub>2</sub> ( $x = 62.527 \pm 37.209$  mg de CO<sub>2</sub> producido, en  $n = 24$  muestras). La generación de CO<sub>2</sub> en este período fue semejante entre los Lotes A, B y C (Cuadro 1).

En los Lotes A y B la producción disminuyó en este período, en comparación con el período anterior (Cuadro 1). Situación semejante se presentó en el Lote E. En tanto que en el Lote C hubo un ligero incremento.

La producción de este período se insertó dentro de la tendencia creciente en la producción de CO<sub>2</sub>, que se analizó para los períodos de 30 y 90 días. La desviación estándar fue la menor posiblemente por el buen desarrollo de las poblaciones en los sistemas (Cuadro 1).

Para el período de 60 días, al realizarse el análisis de varianza se obtuvo una  $F = 77.98$  y una  $Pr > 0.0001$ , por lo tanto las diferencias fueron altamente significativas (Cuadro 1).

De acuerdo con la prueba de Tukey los Lotes A, B y C conformaron un sólo bloque, con lo cual se mantuvo la tendencia del período anterior. Algo semejante sucedió con los tratamientos D y E, ya que crearon bloques independientes cada uno.

En esta etapa se mantuvo la influencia positiva de *Protaphorura herus* en la descomposición de la hojarasca de duraznos.

El lapso de 90 días presentó el mayor promedio de producción de CO<sub>2</sub> ( $x = 74.189 \pm 32.512$  mg de CO<sub>2</sub>, en  $n = 20$  muestras).

Este resultado señaló que a más tiempo de captación, hubo una mayor fijación de CO<sub>2</sub>, lo cual pudo ser consecuencia del mayor tiempo de captura.

El período de evaluación y las condiciones de los tratamientos, no impidieron la producción de CO<sub>2</sub> por ausencia de oxígeno, ya que al final del experimento se observaron incrementos marcados en la producción de los Lotes E (colémbolos en hojarasca estéril) y C (colémbolos y microbiota) (Cuadro 1). Tampoco se presentó alguna disminución significativa en algún otro de los tratamientos.

Las desviaciones estándar señalaron las variaciones menores que hubo en la producción, sobre todo entre los Lotes E y C. Estas menores variaciones en el lapso reflejan el desarrollo de las poblaciones de *Protaphorura herus*, en los tratamientos. Además el Lote C durante el período de 90 días fue el que mayor producción de CO<sub>2</sub> generó (Cuadro 1). Esto pudo ser consecuencia de la influencia de *Protaphorura herus*. Así, en el trabajo de Ineson *et al.* (1982) se encontró que poblaciones de colémbolos en microcosmos, pasaron de 20 a 300 individuos por muestra, en 10 semanas.

El Lote E presentó un particular incremento en la producción de CO<sub>2</sub> para este período, debido al posible desarrollo de la microbiota inoculada y los colémbolos (Cuadro 1).

*Miranda-Rangel: Protaphorura herus en la descomposición de hojarasca*

La presencia de *Protaphorura herus* en las muestras generó una retroalimentación positiva en los Lotes C y E, lo cual generó una mayor producción de CO<sub>2</sub>.

El análisis de varianza efectuado para el último tiempo (90 días) mostró una  $F = 18.80$  y una  $Pr > F = 0.0001$ , o sea diferencias altamente significativas (Cuadro 1). Al realizar las pruebas de Tukey se obtuvo que los Lotes A, B y C conforman un sólo bloque; y los Lotes D y E formaron cada uno un bloque independiente (Cuadro 1). El sistema C (colémbolos y microbiota), tuvo la producción más alta de CO<sub>2</sub>, posiblemente como consecuencia del crecimiento de las poblaciones de *Protaphorura herus*.

La diferencia entre los Tratamientos D y E mostró la influencia de *Protaphorura herus* como inoculadores de microorganismos, y la producción propia de estos colémbolos.

Al realizarse una prueba de medias de Tukey entre los tiempos, para todos los Lotes, se obtuvo que los lapsos de 90 días, 30 días, 60 días y 7 días conformaron un sólo grupo; o sea que al pasar una semana, se desarrollaron las poblaciones contenidas en los sistemas y se apreció él incrementó en la producción de CO<sub>2</sub>. Esta tendencia fue mayor en los Lotes C y E, lo cual pudo ser consecuencia de la influencia de los ejemplares de *Protaphorura herus* contenidos en los sistemas.

Luego los tiempos de un día, dos días, tres días, siete días, 30 días y 60 días conformaron otro bloque.

Lo anterior indicó que durante los primeros tiempos del experimento, la producción de CO<sub>2</sub> fue semejante entre los lotes con una menor diversidad (B, C, D y E).

Mientras el Lote A fue el que más CO<sub>2</sub> produjo debido a la mayor biodiversidad que contiene, lo cual implicó una mayor heterogeneidad enzimática y por lo tanto una más eficiente descomposición de la hojarasca de duraznos.

Conforme avanzó el tiempo, los Lotes B y C tuvieron incrementos en sus producciones de CO<sub>2</sub>, lo cual tendió a reducir las diferencias entre los tratamientos. Así, en el Lote E (colémbolos en hojarasca estéril), se observó la incidencia de *Protaphorura herus* como inoculadores de microorganismos, además del propio desarrollo que pudieron tener sus poblaciones, ya que a partir de la cuarta semana la producción de CO<sub>2</sub> de este tratamiento fue estadísticamente diferente a la del Lote D (hojarasca estéril), y esta tendencia se mantuvo a través del resto del tiempo del experimento.

Por otro lado, el Lote C (hojarasca con colémbolos), al finalizar el experimento (90 días), tuvo una producción de CO<sub>2</sub>, semejante al Lote A (hojarasca con microbiota y fauna total). Lo anterior señaló la influencia de *Protaphorura herus*, debido al posible desarrollo de sus poblaciones en las muestras. Además los aportes que hicieron para el desarrollo de la microbiota.

Todo lo anterior indicó el papel positivo que jugaron los ejemplares de *Protaphorura herus* en la descomposición de hojarasca de duraznos, bajo las condiciones analizadas.

### AGRADECIMIENTOS

Se agradece a los Dres. José G. Palacios-Vargas y Gabriela Castaño Meneses sus atinados comentarios y sugerencias para el mejoramiento del presente trabajo.

Así como a dos árbitros anónimos que hicieron las sugerencias pertinentes para mejorar el presente trabajo.

### LITERATURA CITADA

- ALEXANDER, M. 1982. *Introducción a la microbiología del suelo*. AGT Editor. México. 491 pp.
- BAATH, E., U. LOHM, B. LUNDGREN, T. ROSSWALL, B. SÖDERSTRÖM AND B. SOHLENIUS. 1981. Impact of microbial-feeding animals on total soil activity and nitrogen dynamics: a soil microcosm experiment. *Oikos*, 37: 257-264.
- BENNER, B. AND P. B. KANNOVSKI. 1984. Collembola of Southwestern North Dakota: species composition and habitat distribution. *Prairie Nat.*, 16(2): 79-90
- BERG, B. 1984. Decomposition of root litter and some factors regulating the process: long-term root litter decomposition in a Scots pine forest. *Soil Biology and Biochemistry*, 16: 609-618.
- CANCELA DA FONSECA, J. AND N. POINSOT-BALAGUER. 1983 Les régimes alimentaires des microarthropodes du sol en relation avec la décomposition de la matière organique. *Bulletin de la Société Zoologique de France*, 108 (3): 371-388.
- CHRISTIANSEN, K. 1992 Springtails. *The Kansas School Naturalist*, 39 (1): 1-16.
- EDSBERG, E. 2000. The quantitative influence of enchytraeids (Oligochaeta) and microarthropods on decomposition of coniferous raw humus in microcosms. *Pedobiologia*, 44: 132-147.
- HARRIS, P. 1988 Ecology of the soil population. 472-499. In: Wild, A. (Ed.). *Russell's soil conditions and plant growth*. J. Willey & Sons. 11 Ed. N.Y.
- HOPKIN, S. 1997. *Biology of the springtails (Insecta: Collembola)*. Oxford University Press. N.Y. 330 pp.
- HUHTA, V., T. PERSSON AND H. SETÄLÄ. 1998. Functional implications of soil fauna diversity in boreal forests. *Applied Soil Ecology*, 10: 277-288.
- INSON, P., M. LEONARD AND J. ANDERSON. 1982. Effect of collembolan grazing upon nitrogen and cation leaching from decomposing leaf litter. *Soil Biology and Biochemistry*, 14: 601-605.
- IRMLER, U. 2000. Changes in the fauna and its contribution to mass loss and N release during leaf litter decomposition in two deciduous forests. *Pedobiologia*, 44: 105-118.
- LARINK, O. 1997. Springtails and mites: important knots in the food web of soils. 225-264 p. In: Benckiser, G. (Ed.). *Fauna in soil ecosystems. Recycling Processes, nutrient fluxes, and agricultural production*. Marcel Dekker, Inc. N. Y.
- MIRANDA, A. 1998. *Papel de los degradadores en ecosistemas terrestres y acuáticos*, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo. 19 p.
- MIRANDA, A. Y G. PALACIOS-VARGAS. 1992. Estudio comparativo de las comunidades de colémbolos edáficos de bosque de *A. religiosa* y cultivo de haba (*Vicia faba*). *Agrociencia Serie PROTECCION VEGETAL*, 3 (3): 7-18.
- NEWMAN, J. 1988. The soil fauna other than protozoa. 500-525 p. In: Wild, A. (Ed.). *Russell's Soil Conditions and Plant Growth*. J. Willey and Sons, Inc. 11 Ed. N. Y.
- PERSSON, T. 1989. Role of soil animals in C and N mineralisation. *Plant Soil*, 115: 241-245.
- PETERSEN, H. 1981. The respiratory metabolism of Collembola species from a Danish beech wood. *Oikos*, 37 (2): 273-286.
- PETERSEN, H. AND M. LUXTON. 1982. A comparative analysis of soil fauna populations and their role in decomposition in decomposition processes. *Oikos* 39, (3): 287-388.
- SEASTEDT, T. 1984. The role of microarthropods in decomposition and mineralization processes. *Annual Review of Entomology*, 29: 25-46.
- STEVENSON, F. AND M. COLE. 1999. *Cycles of soil. Carbon, nitrogen, phosphorus, sulfur, micronutrients*.

*Miranda-Rangel: Protaphorura herus en la descomposición de hojarasca*

- J. Willey & Sons, Inc. 2nd. Edi. N.Y. 427 pp.  
SOKAL, R. & J. ROHLF. 1968. *Biometry. The principles and practice of statistics in biological research.* W.H. Freeman and Co. N.Y. 776 pp.  
XINGJUN, T., H. TAKEDA AND J. AZUMA. 2000. Dynamics of organic-chemical components in leaf litters during a 3.5-year decomposition. *European Journal of Soil Biology.*, 36: 81-89.  
ZAR, J. 1984. *Biostatistical analysis.* Prentice-Hall. 2nd. Edi. N.Y. 693 p.

Recibido: 4 de noviembre de 1999

Aceptado: 12 de octubre del 2001.