

**Caracterización de las poblaciones de colémbolos asociados  
a la hojarasca de un bosque secundario en  
Mayagüez, Puerto Rico**

Por  
Claudia Marcela Ospina Sánchez

Tesis sometida en cumplimiento de los requisitos para el grado de  
MAESTRO EN CIENCIAS  
en  
Biología

UNIVERSIDAD DE PUERTO RICO  
RECINTO UNIVERSITARIO DE MAYAGÜEZ  
2010

Aprobado por:

\_\_\_\_\_  
Carlos J. Santos Flores, Ph.D.  
Miembro, Comité Graduado

\_\_\_\_\_  
Fecha

\_\_\_\_\_  
Felipe N. Soto Adames, Ph.D.  
Miembro, Comité Graduado

\_\_\_\_\_  
Fecha

\_\_\_\_\_  
José A. Mari Mutt, Ph.D.  
Presidente, Comité Graduado

\_\_\_\_\_  
Fecha

\_\_\_\_\_  
Nanette Diffoot Carlo, Ph.D.  
Directora del Departamento

\_\_\_\_\_  
Fecha

\_\_\_\_\_  
Linda Wessel Beaver, Ph.D.  
Representante de estudios graduados

\_\_\_\_\_  
Fecha

## Abstract

Collembolans are small arthropods, abundant in litter and, often regarded as good indicators of soil health. Diversity and abundance of litter springtails was analyzed in a Mayaguez secondary forest in leaf litter of *Castilla elastica*, *Roystonea borinquena* and *Bambusa vulgaris* during 14 months. The 378 samples produced 38791 springtails, 35 species (of which seven are new reports for Puerto Rico) and three new species. The most common species were *Isotomiella minor* in leaf litter and *Campylothorax sabanus* in pitfall traps. Analyses of variance showed significant differences in species diversity and abundance in relation to litter type and sampling date. Regression analysis showed a positive relationship between springtail population size and sample humidity. *Roystonea borinquena* litter maintained the most favorable conditions for the springtail community, while that of *Bambusa vulgaris* produced the lowest diversity and abundance.

## Resumen

Los colémbolos son pequeños artrópodos, abundantes en la hojarasca y considerados buenos indicadores de la salud del suelo. Se analizó la diversidad y abundancia de los colémbolos en un bosque secundario en Mayagüez en hojarasca de *Castilla elastica*, *Roystonea borinquena* y *Bambusa vulgaris* durante 14 meses. Las 378 muestras produjeron 38791 individuos, 35 especies (de las que siete son nuevos reportes para Puerto Rico) y tres son especies nuevas. Las especies más comunes fueron *Isotomiella minor* en hojarasca y *Campylothorax sabanus* en trampas de caída. Los análisis de varianza mostraron diferencias significativas en diversidad y abundancia entre los tipos de hojarasca y entre las fechas de muestreo. Los análisis de regresión mostraron una relación positiva entre la abundancia y diversidad de las poblaciones de Collembola y la humedad de la muestra. La hojarasca de *R. borinquena* mantuvo las condiciones más favorables para la comunidad de colémbolos, mientras que la de *B. vulgaris* produjo la menor abundancia y diversidad.

© Claudia Marcela Ospina Sánchez 2010

Papi y Mami:

Llegar hasta aquí ha sido el resultado de muchos eventos de mi vida, pero el más afortunado de todos ha sido tenerlos a mi lado enseñándome la importancia de buscar la paz y la felicidad junto con la determinación de enfrentar cada oportunidad con osada entrega.

Creo que voy por buen camino, los amo.

## **Agradecimientos**

Agradezco a la Universidad de Puerto Rico, por la oportunidad de continuar con mi formación académica.

Al Dr. José A. Mari Mutt, por aceptarme como su estudiante, por facilitarme el material bibliográfico y equipos, por sus consejos y sugerencias para este trabajo y para el quehacer científico.

Al Dr. Carlos J. Santos, por tener siempre la disposición de resolver mis dudas, por su amistad, sus sugerencias y recomendaciones. Gracias también por darme un espacio en su laboratorio para llevar a cabo este trabajo.

Al Dr. Felipe N. Soto-Adames, por su apoyo en mi formación en taxonomía de Collembola, por recibirme en su laboratorio y en su casa. Gracias por estar siempre dispuesto para responder mis preguntas y llenar mis vacíos conceptuales.

Al Dr. Nico Franz y a José Almodóvar, por facilitarme equipos para la toma de fotografías.

A José Miguel García y Jennifer Girón, por su ayuda durante el trabajo de campo, con el manejo de programas informáticos y la redacción de la tesis, pero sobre todo por su cariño y apoyo incondicional durante toda la maestría.

A mi familia, que desde lejos siempre me llenó de fuerza para continuar.

A Isabel, Yaleidy, Paola y Juliana, por su alegría y amistad.

## Tabla de contenido

<b>Abstract</b> .....	<b>ii</b>
<b>Resumen</b> .....	<b>iii</b>
<b>Lista de tablas</b> .....	<b>x</b>
<b>Lista de figuras</b> .....	<b>xi</b>
<b>Lista de apéndices</b> .....	<b>xiv</b>
<b>Introducción</b> .....	<b>1</b>
<b>CAPITULO 1. Colémbolos (Hexapoda: Collembola) asociados a tres tipos de hojarasca de un bosque secundario en Mayagüez-Puerto Rico</b> .....	<b>3</b>
<b>1. Revisión de Literatura</b> .....	<b>3</b>
1.1. Distribución de Collembola .....	3
1.2. Caracteres morfológicos generales .....	3
1.3. Diversidad de los colémbolos de Puerto Rico.....	4
<b>2. Materiales y Métodos</b> .....	<b>5</b>
2.1. Zona de estudio .....	5
2.2. Toma de muestras .....	5
2.3 Identificación.....	5
<b>3. Resultados</b> .....	<b>7</b>
3.1. Especies Identificadas .....	7
3.2. Clave para la identificación de familias y géneros de Collembola asociados a la hojarasca de un bosque secundario en Mayagüez-PR .....	9
3.3. Diagnósis de géneros y especies de Collembola asociados a la hojarasca de un bosque secundario en Mayagüez-PR.....	14
3.3.1. Familia Neanuridae Börner, 1901 .....	14
3.3.2. Familia Brachystomellidae Stach, 1949 .....	15
3.3.3. Familia Onychiuridae Lubbock, 1867 .....	16
3.3.4. Familia Tullbergiidae Bagnall, 1935 .....	16
3.3.5. Familia Isotomidae Schäffer, 1896.....	18

3.3.6. Familia Entomobryidae Schäffer, 1896 .....	21
3.3.7. Familia Paronellidae Börner, 1913, sensu Soto-Adames <i>et al.</i> , 2008. ....	26
3.3.8. Familia Neelidae Folsom, 1896.....	29
3.3.9. Familia Collophoridae Bretfeld, 1999 .....	29
3.3.10. Familia Dicyrtomidae Börner, 1906. ....	29
<b>CAPITULO 2 Variación estacional de las poblaciones de Collembola asociadas a la hojarasca un bosque secundario en Mayagüez, Puerto Rico. ....</b>	<b>32</b>
<b>1. Revisión de Literatura.....</b>	<b>32</b>
1.1. Los bosques secundarios en Puerto Rico .....	32
1.2. Estudios ecológicos en Collembola .....	32
<b>2. Materiales y Métodos .....</b>	<b>34</b>
2.1. Zona de estudio .....	34
2.2. Muestreo.....	34
2.3. Identificación.....	36
2.4. Análisis de diversidad y abundancia .....	37
2.4.1. Índice de Riqueza específica (S).....	38
2.4.2. Índice de diversidad de Margalef ( $D_{Mg}$ ) .....	38
2.4.3. Índice de dominancia (D) .....	39
2.4.4. Índice de Simpson (1-D).....	39
2.4.7. Índice de Shannon-Wiener (H).....	39
2.4.8. Chao 2 .....	40
2.4.9. Jacknife de primer orden.....	40
2.4.10. Jacknife de segundo orden .....	41
<b>3. Resultados .....</b>	<b>42</b>
3.1. Influencia de la precipitación sobre las poblaciones de Collembola .....	42
3.2. Variación entre los tipos de hojarasca .....	44
3.2.1. Diversidad .....	47
3.2.2. Abundancia .....	50
<b>4. Discusión .....</b>	<b>54</b>
4.1. Precipitación vs. diversidad y abundancia .....	54
4.2. Diferencias entre las hojarascas predominantes del bosque.....	55

4.2.1. Abundancia .....	55
4.2.2. Diversidad .....	56
<b>Conclusiones.....</b>	<b>58</b>
<b>Recomendaciones.....</b>	<b>59</b>
<b>Bibliografía .....</b>	<b>60</b>
<b>Apéndices .....</b>	<b>67</b>

## Lista de tablas

Tabla 1. 1 Clasificación y lista de Collembola colectados en el bosque Miradero (Mayagüez-Puerto Rico) en 2009-2010. Se clasifican según Deharveng (2004) y Bellinger <i>et al.</i> (2010). .....	8
Tabla 2. 1 Medias de abundancia, diversidad de Collembola y humedad de la hojarasca observada durante 12 meses (seis para cada época) de las muestras colectadas en el bosque Miradero, Mayagüez-Puerto Rico. ....	45
Tabla 2. 2. Índices de Diversidad de los biotipos muestreados en el bosque Miradero	48

## Lista de figuras

Figura 1. 1. Caracteres morfológicos generales de Collembola.....	4
Figuras 1.2 - 1.6. 1. 2. <i>Pseudachorutes parvulus</i> 1. 3. <i>Isotomiella</i> sp. 1. 4. <i>Trogolaphysa geminata</i> 1. 5. <i>Calvatomina rufescens</i> 1. 6. <i>Neelus murinus</i> . ....	12
Figuras 1.7 - 1.9. Piezas bucales. 1. 7. Hypogastruridae (Mandíbula), 1. 8. <i>Brachystomella agrosa</i> , 1. 9. <i>Neotropiella silvestrii</i> .....	13
Figura 1. 10. Órgano posantenal (OPA) de <i>Mesaphorura yosii</i> Figura 1. 11. OPA de <i>Onychiurus</i> sp. ....	13
Figura 1. 12 - 1.14. Ocelos. 1. 12. <i>Pseudachorutes parvulus</i> , 1. 13. <i>Americanura interrogator</i> , 1. 14. <i>Neotropiella silvestrii</i> . ....	13
Figura 1.15-1.16. Dentes y Mucrón 1. 15. <i>Cyphoderus inaequalis</i> ,1. 16. <i>Trogolaphysa geminata</i> . ....	13
Figuras 1.17-1.22. Orden Poduromorpha 1. 17. <i>Americanura interrogator</i> , 1. 18. <i>Neotropiella silvestrii</i> , 1. 19. <i>Arlesia albipes</i> , 1. 20. <i>Brachystomella agrosa</i> , 1. 21. <i>Pseudachorutes parvulus</i> , 1. 22. <i>Onychiurus</i> sp. ....	17
Figuras 1.23-1.28. Familia Isotomidae .1. 23. <i>Hemisotoma thermophila</i> , 1. 24. <i>Folsomides centralis</i> , 1. 25. <i>Folsomides parvulus</i> , 1. 26. <i>Folsomina onychiurina</i> , 1. 27. <i>Isotomiella minor</i> , 1. 28. <i>Isotomurus</i> sp.....	20
Figuras 1.29-1.38. Familia Entomobryidae. 1. 29. <i>Dicranocentrus marias</i> , 1. 30. <i>Heteromurtrella tihuiensis</i> , 1. 31. <i>Entomobrya longisetae</i> , 1. 32. <i>Entomobrya longisetae</i> (nuevo patrón de coloración), 1. 33. <i>Lepidocyrtus distinctus</i> , 1. 34. <i>L. caprilesi</i> forma B, 1. 35. <i>L. dispar</i> , 1. 36. <i>L. griseolus</i> , 1. 37. <i>L. nigrosetosus</i> , 1. 38. <i>Pseudosinella biungiculata</i> . ....	25
Figuras 1.39-1.43. Familia Paronellidae. 1. 39 <i>Camphylothorax sabanus</i> , 1. 40. <i>Salina tristani</i> , 1. 41. <i>Trogolaphysa</i> nr. <i>geminata</i> n.sp., 1. 42. <i>T. geminata/jataca</i> , 1. 43. <i>Cyphoderus inaequalis</i> . ....	28
Figura 1. 44. <i>Neelus murinus</i> . Figuras 1.45-1.49. Orden Symphypleona. 1. 45. <i>Collophora quadrioculata</i> , 1. 46. <i>Calvatomina</i> n.sp1, 1. 47. <i>Calvatomina rufescens</i> , 1. 48. <i>Calvatomina</i> n.sp2, 1. 49 <i>Ptenothrix borincana</i> . ....	31

Figura 2. 1. Sitios de muestreo en los fragmentos de bosque en Miradero (Mayagüez-Puerto Rico). .....	34
Figura 2. 2. Esquema de muestreo alrededor de los .....	35
Figura 2. 3. Montaje en Embudos Berlese-Tullgren. ....	36
Figura 2. 4. Trampas de caída instaladas en el bosque.....	36
Figura 2. 5. Precipitación (milímetros acumulados 21 días antes de la fecha de muestreo) durante los 14 meses y abundancia (individuos/muestreo) del total de Collembola, colectados el bosque Miradero (Mayagüez-Puerto Rico). ....	42
Figura 2. 6. Porcentaje de humedad dentro de las muestras de hojarasca (Ecuación 2.1) y abundancia (individuos/muestreo) del total de Collembola colectados desde marzo del 2009 a abril del 2010 en el bosque Miradero (Mayagüez-Puerto Rico). .....	43
Figura 2. 7. Análisis de Componentes principales, teniendo en cuenta los componentes 2(var=31 %) que relaciona la precipitación acumulada y el componente 3 (12 %) las variables relacionadas son el contenido de agua de la muestra y la abundancia de colémbolos en la hojarasca. Cada punto representa un punto de muestreo. La elipse encierra el 95 % de la variación. ....	44
Figura 2. 8. Abundancia de Collembola (individuos/muestreo de hojarasca) de tres tipos de hojarasca en el bosque Miradero (Mayagüez-Puerto Rico) colectados desde marzo del 2009 a abril del 2010 .....	46
Figura 2. 9. Medias de la abundancia de las poblaciones de colémbolos (individuos/siete meses) colectados durante la época lluviosa (junio-noviembre de 2009) y seca (marzo-mayo de 2009 y diciembre de 2009 – enero 2010) en tres tipos de hojarasca muestreada en el bosque Miradero. ....	46
Figura 2. 10. Variación en el número de especies de colémbolos asociados a tres tipos de hojarasca en el bosque Miradero desde marzo de 2009 a abril del 2010 (En abril 2010 no se colectaron colémbolos en la hojarasca de <i>Bambusa vulgaris</i> ). ....	47
Figura 2. 11. Curva de acumulación de especies para 126 muestras tomadas de marzo de 2009 a abril de 2010 en tres tipos de hojarasca en el bosque Miradero, Mayagüez Puerto Rico. ....	48
Figura 2. 12. Curva de acumulación de especies para 126 muestras tomadas de marzo de 2009 a abril de 2010 en trampas de caída instaladas en el bosque Miradero, Mayagüez Puerto Rico. ....	49
Figura 2.13. Comparación de la riqueza de los tres tipos de hojarasca muestreadas en el bosque Miradero.....	49

Figura 2. 14. Comparación de la riqueza en la superficie (trampas de caída) de los tres tipos de hojarasca muestreadas en el bosque Miradero. La curva se calcula a partir del estimador de Mao-Tao. ....	50
Figura 2.15. Abundancia (número de individuos/especie, durante cada fecha de muestreo) de 27 especies colectadas en trampas de caída en el bosque Miradero (Mayagüez, Puerto Rico) desde marzo de 2009 a abril de 2010. Los colores de las barras representan las tres hojarascas muestreadas (* Nuevos reportes para Puerto Rico).....	51
Figura 2.16. Abundancia (número de individuos/especie, durante cada fecha de muestreo) de 35 especies colectadas en hojarasca del bosque Miradero (Mayagüez, Puerto Rico) desde marzo de 2009 a abril de 2010. Los colores de las borras representan las tres hojarascas muestreadas (* Nuevos reportes para Puerto Rico)...	52
Figura 2.17. Análisis de conglomerados usando el método de encadenamiento simple y distancia Euclídea, basado en la presencia/ausencia de las 35 especies de Collembola colectadas desde marzo de 2009 a abril de 2010 en el bosque Miradero (Mayagüez, Puerto Rico). Correlación = 0.956. ....	53

## Lista de apéndices

Apéndice 1. Número de individuos de cada especie dentro de cada biotipo.....	67
Apéndice 2 Lista de especies de Collembola de Puerto Rico. A. Orden Poduromorpha. B. Orden Entomobryomorpha C. Ordenes Neelipleona y Symphypleona. , grupos con * son marinos o asociados a medios marinos, incluyendo manglares.....	68
Apéndice 3 Porcentaje de colémbolos adultos e inmaduros capturados a lo largo de 14 meses para las poblaciones de : A. <i>Trogolaphysa jataca</i> y B. <i>Camphylothorax sabanus</i> . .....	71
Apéndice 4. Curvas de acumulación de especies, para 42 muestras tomadas en cada biotipo. Para hojarasca de A. <i>Castilla elastica</i> . B. <i>Roystonea borinquena</i> C. <i>Bambusa vulgaris</i> . Para trampas de caída instaladas en D. <i>Castilla elastica</i> . E. <i>Roystonea borinquena</i> F. <i>Bambusa vulgaris</i> .....	72

## Introducción

Los bosques secundarios marcan el inicio de la rehabilitación de los bosques y son refugio de la diversidad biológica en ambientes fragmentados. Este tipo de bosque continuará ampliándose durante las próximas décadas debido al abandono de las actividades agrícolas (Guariguata y Ostertag, 2000). Aunque en la mayor parte del mundo la cubierta forestal se encuentra estable, el último inventario forestal de Puerto Rico indica que dicha cubierta aumentó de 32 % en 1990 a 57% en 2004 (Brandeis *et al.*, 2008).

Los remanentes de bosque en el área del Recinto Universitario de Mayagüez están constituidos por áreas irregulares cubiertas por bosque secundario. Estos hábitáculos se caracterizan por la presencia de especies arbóreas con un dosel cercano a los 30 m de altura y una gran cantidad de lianas y epífitas (Martínez-Hernández, 2007). Dentro de este bosque los árboles de caucho (*Castilla elastica*), palma real (*Roystonea borinquena*) y bambú (*Bambusa vulgaris*) son la principal fuente de hojarasca.

Los colémbolos y los ácaros son los artrópodos más abundantes en el suelo y la hojarasca de los bosques tropicales (André *et al.*, 1994). Por su gran adaptabilidad, tanto fisiológica como ecológica, los colémbolos han colonizado todo tipo de ambientes, siendo uno de los grupos de artrópodos que más biomasa aporta a los suelos (Hopkin, 1997). Dichos organismos intervienen activamente en los procesos de degradación de la materia orgánica, así como en el reciclaje y la mineralización de elementos útiles para las plantas (Palacios-Vargas, 2000). Además, al ser uno de los grupos más diversos dentro de la fauna edáfica, constituyen un instrumento muy eficiente para estudios de biodiversidad en estos hábitáculos (Deharveng, 1996).

Aunque los colémbolos son uno de los grupos de artrópodos más estudiados en Puerto Rico, colectas recientes (e.g., Salmalot-Roque, 2006) indican que aún faltan

especies por reportar. Por otro lado, no se ha realizado en la Isla un estudio ecológico del grupo encaminado a analizar los factores ambientales que influyen en la dinámica de comunidades. Los propósitos de esta investigación son: (1) **Identificar las especies de colémbolos asociadas a la hojarasca de un bosque secundario**, evaluando la intensidad de muestreo necesario para cubrir toda la diversidad de la zona; (2) **evaluar el efecto de la variación estacional (seca-lluviosa) en las poblaciones de Collembola asociadas al bosque secundario**, relacionando la abundancia de las poblaciones con las condiciones climáticas de cada estación, y (3) **determinar la variación en abundancia y diversidad dentro de los tipos de hojarasca dominantes en el bosque**, caracterizando las poblaciones de colémbolos presentes en las hojarascas de *Castilla elastica*, *Roystonea borinquena* y *Bambusa vulgaris*. Éste es el primer estudio de este tipo en la Isla y se espera que establezca la base para el aprovechamiento del potencial de estos organismos como bioindicadores.

# **CAPITULO 1. Colémbolos (Hexapoda: Collembola) asociados a tres tipos de hojarasca de un bosque secundario en Mayagüez-Puerto Rico.**

## **1. Revisión de Literatura**

### **1.1. Distribución de Collembola**

Los colémbolos son cosmopolitas y ocupan gran diversidad de hábitaculos. Abundan en todos los continentes, incluyendo la Antártica; desde el nivel del mar hasta las montañas más altas y desde el desierto hasta la superficie del agua (Palacios-Vargas, 2000).

### **1.2. Caracteres morfológicos generales**

Los colémbolos miden entre 0.25 mm y 10 mm de longitud (generalmente 1-2 mm) y su desarrollo es ametábolo y epimórfico (Greenslade, 1991). No poseen alas y sus piezas bucales están ocultas en la cabeza (son entognatos). Algunas especies presentan un órgano posantenal (OPA) y el número de ocelos puede variar de cero a ocho en cada lado de la cabeza. Se distinguen de otros hexápodos por la presencia en el primer segmento abdominal de un tubo ventral, o colóforo que funciona como órgano osmoregulador (Noble-Nesbitt, 1963). Muchas especies tienen en el cuarto segmento abdominal una fúrcula que usan como mecanismo de escape y en el tercero, un tenáculo para sostener la fúrcula cuando está en reposo (Figura 1.1).

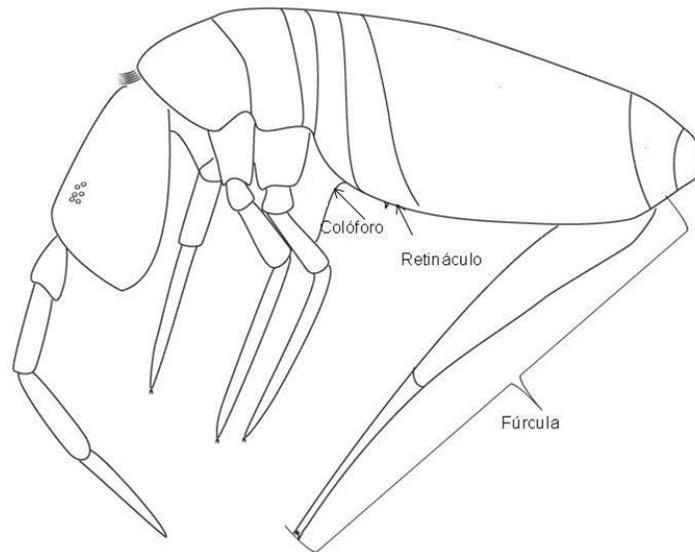


Figura 1. 1. Caracteres morfológicos generales de Collembola.

### 1.3. Diversidad de los colémbolos de Puerto Rico

Mundialmente se conocen unas 8033 especies, con una tasa de 80 especies nuevas descritas cada año (Janssens 2009). En Puerto Rico, los primeros colémbolos fueron reportados por Folsom (1927), quien describió dos nuevas especies para la Isla. Wolcott (1950) citó siete géneros y Wray (1953) reportó nueve géneros adicionales. Mari Mutt (1976,1979, 1984, 1985a-b, 1986, 1987,1988) reportó unas 60 especies y Soto-Adames (1988a-b, 2002) reportó siete especies adicionales. Samalot-Roque (2006) encontró 44 especies en bosques de mangle rojo (*Rhizophora mangle*), distribuidas alrededor de la isla y preparó una lista de las especies reportadas de Puerto Rico. Al presente se conocen 109 especies representando 53 géneros y 17 familias. De las familias aceptadas a nivel mundial (Deharveng, 2004) diez no están representadas en Puerto Rico.

## **2. Materiales y Métodos**

### **2.1. Zona de estudio**

El estudio se llevó a cabo en un bosque secundario del Recinto de Mayagüez de la Universidad de Puerto Rico. El predio está localizado en N 18° 12' 47.3" y W 67°08' 13.4". Su altitud es de 36 m, la temperatura diurna fluctúa entre 29 y 35 °C y la precipitación es de 1413 mm/año (bh-ST). Estos fragmentos conservan parte de la flora nativa y un conjunto de especies exóticas bajo un estado limitado de intervención humana.

### **2.2. Toma de muestras**

Los muestreos se hicieron mensualmente, comenzando en marzo de 2009 y se extendieron hasta abril de 2010. Se tomaron muestras usando trampas de caída instaladas durante 24 horas y colectando hojarasca alrededor de árboles de caucho (*Castilla elastica*), palma real (*Roystonea borinquena*) y bambú (*Bambusa vulgaris*). Las muestras de hojarasca se procesaron durante 72 a 96 horas usando embudos de Berlese-Tullgren. Los organismos se conservaron en etanol al 95%. Finalmente se separaron y se contaron los colémbolos de todas las muestras.

### **2.3 Identificación**

La identificación de los colémbolos comenzó con la separación por morfoespecies, usando un microscopio de disección. Luego se realizaron montajes permanentes de 3 a 5 individuos de cada morfoespecie. Los especímenes a ser examinados al microscopio compuesto se transparentaron en líquido Nesbitt, seguido de la fijación en láminas usando líquido Marc André II (Mari Mutt, 1979). Para endurecer el medio, las láminas se dejaron sobre una plancha entre 45 y 50°C, durante al menos tres días y luego, se rotularon con los datos de colecta.

Los organismos se identificaron usando las claves de Christiansen y Bellinger (1980), claves disponibles en [www.collembola.org](http://www.collembola.org), claves locales elaboradas por Mari Mutt (1976, 1979, 1984, 1985a-b, 1986, 1987, 1988) y usando literatura primaria. Todas las identificaciones fueron corroboradas por el Dr. Felipe N. Soto-Adames.

### 3. Resultados

#### 3.1. Especies Identificadas

Se encontraron 35 especies, de las cuales siete son nuevos reportes para Puerto Rico y de éstas tres son especies nuevas para la ciencia. Las especies identificadas pertenecen a 10 familias (*sensu* Deharveng, 2004; Bellinger *et al.*, 2010 y Adames *et al.*, 2008): Brachystomellidae, Collophoridae, Dicyrtomidae, Entomobryidae, Isotomidae, Neanuridae, Neelidae, Onychiuridae, Paronellidae y Tullbergiidae. (Tabla1.1).

Los nuevos reportes para Puerto Rico son, *Folsomina onychiurina*, *Isotomodes* sp2., *Isotomurus* sp5., *Mesaphorura yosii*, *Neelus murinus* y *Onychiurus* sp1. Las nuevas especies pertenecen a los géneros *Calvatomina* y *Trogolaphysa*.

Las especies *Americanura interrogator* y *Hemisotoma thermophila* que habían sido reportadas en la isla como *Sensillanura illina* y *Cyptopygus thermophilus* fueron renombradas. Todas las especies colectadas se han reportado en zonas tropicales y asociadas al suelo y hojarasca de bosques. Con este trabajo se amplía a 109 la lista de especies de colémbolos de Puerto Rico (Apéndice 2).

**Tabla 1. 1 Clasificación y lista de Collembola colectados en el bosque Miradero (Mayagüez-Puerto Rico) en 2009-2010. Se clasifican según Deharveng (2004) y Bellinger *et al.* (2010).**

Taxón
Clase Collembola Lubbock, 187
Orden Poduromorpha Börner, 1913
Superfamilia Neanuroidea Massoud, 1967
Familia Neanuridae Börner, 1901
Subfamilia Neanurinae Börner C, 1901, sensu Cassagnau, 1989
<i>Americanura</i> Cassagnau y Palacios-Vargas, 1983
1. <i>Americanura interrogator</i> Cassagnau y Palacios-Vargas, 1983
Subfamilia Pseudachorutinae
<i>Arlesia</i> Handschin 1942
2. <i>Arlesia albipes</i> (Folsom, 1927)
<i>Neotropiella</i> Handschin 1942
3. <i>Neotropiella silvestrii</i> (Denis, 1929)
<i>Pseudachorutes</i> Tullberg, 1871
4. <i>Pseudachorutes parvulus</i> Börner 1901
Familia Brachystomellidae Stach, 1949
<i>Brachystomella</i> Agren, 1903
5. <i>Brachystomella agrosa</i> Wray, 1953
Superfamilia Onychiuroidea sensu D'Haese 2002
Familia Onychiuridae Lubbock, 1867
Subfamilia Onychiurinae Börner, 1901
<i>Onychiurus</i> Gervais, 1841
6. <i>Onychiurus</i> sp.
Familia Tullbergiidae Bagnall, 1935
Subfamilia Stenaphorurinae Luciañez & Simón, 1992
<i>Mesaphorura</i> Börner, 1901
7. <i>Mesaphorura yosiii</i> (Rusek, 1967)
Orden Entomobryomorpha Börner, 1913 Soto-Adames <i>et al.</i> , 2008
Superfamilia Isotomoidea Szeptycki, 1979
Familia Isotomidae Schäffer, 1896
Subfamilia Anurophorinae Börner, 1901
<i>Hemisotoma</i> Bagnall 1949
8. <i>Hemisotoma thermophila</i> (Axelson 1900).
<i>Folsomides</i> Stach, 1922
9. <i>Folsomides centralis</i> (Denis, 1931)
10. <i>Folsomides parvulus</i> Stach, 1922
<i>Isotomodes</i> Linnaniemi, 1907
11. <i>Isotomodes</i> sp.
Subfamilia Proisotominae Stach, 1947
<i>Folsomina</i> Denis, 1931
12. <i>Folsomina onychiurina</i> Denis, 1931
Subfamilia Isotominae Schäffer, 1896
<i>Isotomiella</i> Bagnall, 1939
13. <i>Isotomiella minor</i> (Schäffer, 1896) 1
<i>Isotomurus</i> Börner, 1903
14. <i>Isotomurus</i> sp.
Superfamilia Entomobryoidea Womersley, 1934
Familia Entomobryidae Schäffer, 1896
Subfamilia Orchesellinae Börner C, 1906, sensu Szeptycki A, 1979
<i>Dicranocentrus</i> Schött, 1893
15. <i>Dicranocentrus marias</i> (Wray, 1953)
<i>Heteromurtrella</i> Mari Mutt, 1979
16. <i>Heteromurtrella tihuiensis</i> Mari Mutt, 1985
Subfamilia Entomobryinae Schäffer, 1896, sensu Szeptycki, 1979
<i>Entomobrya</i> Rondani, 1861
17. <i>Entomobrya longisetae</i> Soto-Adames, 2002

Continúa

Tabla 1.1 Continuación

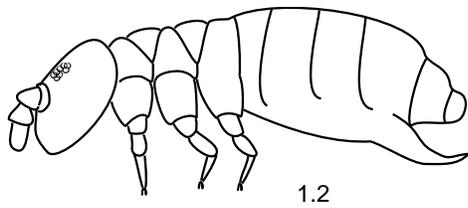
- Subfamilia Lepidocyrtinae Wahlgren E, 1906, sensu Szeptycki, 1979  
*Lepidocyrtus* Bourlet, 1839  
 18. *Lepidocyrtus caprilesi* Wray, 1953  
 19. *Lepidocyrtus dispar* Mari Mutt, 1986  
 20. *Lepidocyrtus distinctus* Mari Mutt, 1986  
 21. *Lepidocyrtus griseolus* Mari Mutt, 1986  
 22. *Lepidocyrtus nigrosetosus* Folsom, 1927  
*Pseudosinella* Schäffer, 1897  
 23. *Pseudosinella biungiculata* Ellis, 1967  
 Familia Paronellidae Börner, 1913, sensu Soto-Adames FN et al., 2008  
 Subfamilia Paronellinae Börner, 1913, sensu Soto-Adames et al., 2008  
*Camphylothorax* Schött, 1893  
 24. *Camphylothorax sabanus* (Wray, 1953)  
*Salina* MacGillivray, 1894  
 25. *Salina tristani* Denis, 1931  
*Trogolaphysa* Mills, 1938  
 26. *Trogolaphysa* nr. *geminata* n.sp.  
 27. *Trogolaphysa geminata* Mari Mutt 1987  
 28. *Trogolaphysa jataca* (Wray 1953)  
 Subfamilia Cyphoderinae Börner, 1913, sensu Soto-Adames et al., 2008  
*Cyphoderus* Nicolet, 1842  
 29. *Cyphoderus inaequalis* Folsom, 1927  
 Orden Neelipleona Massoud, 1971  
 Familia Neelidae Folsom, 1896  
*Neelus* Folsom, 1896  
 30. *Neelus murinus* Folsom, 1896  
 Orden Symphypleona Börner, 1901 sensu Massoud, 1971  
 Superfamilia Katiannoidea Bretfeld, 1994  
 Familia Collophoridae Bretfeld, 1999  
*Collophora* Richards, 1964  
 31. *Collophora quadrioculata* (Denis, 1933)  
 Superfamilia Dicyrtomoidea Bretfeld, 1994  
 Familia Dicyrtomidae Börner, 1906  
*Calvatomina* Yosii, 1966  
 32. *Calvatomina rufescens* (Reuter, 1890)  
 33. *Calvatomina* n. sp.1  
 34. *Calvatomina* n. sp.2  
 Subfamilia Ptenothricinae Richards, 1968  
*Ptenothrix* Börner, C, 1906  
 35. *Ptenothrix borincana* Soto-Adames, 1988

### 3.2. Clave para la identificación de familias y géneros de Collembola asociados a la hojarasca de un bosque secundario en Mayagüez-PR

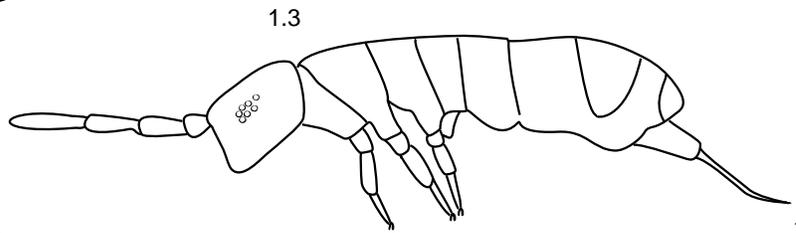
1. Cuerpo alargado (Figuras 1.1 - 1.4) ..... 2
- 1' Cuerpo globoso (Figuras. 1.5,1.6) ..... 23
2. Protórax bien desarrollado, con sedas dorsales (Figura. 1.2); fúrcula reducida  
**Orden Poduromorpha** ..... 3
- 2'. Protórax reducido, sin sedas dorsales; fúrcula bien desarrollada (Figuras. 1.3,1.4) ..... **Orden Entomobryomorpha** ..... 9

3.	Piezas bucales masticadoras, mandíbulas con superficies molares (Figura 1.7)	.4
3'	Piezas bucales cuadrangulares o estiletiformes (Figuras.1.8, 1.9)	5
4.	Abdomen apicalmente acuminado; órgano sensorial del Ant. III con 1-3 sensilas clavadas	.....
	<b>Familia Tullbergiidae</b> ..... OPA con numerosas vesículas, organizadas en dos filas (Figura 1.10)	<i>Mesaphorura</i>
4'	Abdomen apicalmente clavado; órgano sensorial del Ant III con 2 sensilas clavadas	..... <b>Familia Onychiuridae</b>
	..... OPA con 8 a 20 vesículas compuestas (Figura 1.11)	<i>Onychiurus</i>
5.	Sin mandíbulas; maxilas cuadrangulares y generalmente con dientes (Figura 1.8.)	<b>Familia Brachystomellidae</b> ..... <i>Brachystomella</i>
5;	Mandíbulas presentes; maxilas estiletiformes (Figura 1.9)	.....
	<b>Familia Neanuridae</b> ..... 6	
6.	8+8 ocelos (Figura 1.12)	..... <i>Pseudachorutes</i>
6'	5+5 o 2+2 ocelos	..... 7
7.	2+2 ocelos (Figura 1.13)	..... <i>Americanura</i>
7'	5+5 ocelos	..... 8
8.	Con órgano postantenal (OPA) (Figura 1.14)	..... <i>Neotropiella</i>
8'	Sin órgano postantenal	..... <i>Arlesia</i>
9.	Abd IV al menos 1.5 veces más largo que Abd III (Figura 1.4). OPA ausente	.....15
9'.	Abd III y IV del mismo tamaño (Figura 1.3); OPA presente o ausente	.....
	<b>Familia Isotomidae</b> ..... 10	
10.	OPA , ocelos y pigmento ausentes	..... 11
10'	OPA presente, ocelos y pigmento presentes o ausentes	..... 12
11.	Abd IV a VI fusionados; mucrón falcado	..... <i>Folsomina</i>
11'	Sólo Abd V y VI fusionados, mucrón tridentado	..... <i>Isotomiella</i>
12.	Abd II al IV con tricobotrias; manubrio con más de diez sedas ventrales	..... <i>Isotomurus</i>
12'	Abd II al IV sin tricobotrias; manubrio con menos de nueve sedas ventrales.....	13
13.	Mucrón separado de los dentes	..... 14
13'	Mucrón fusionado con los dentes	..... <i>Folsomides</i>
14	Dentes con 7 sedas ventrales	..... <i>Hemisotoma</i>
14'	Dentes con 2 sedas ventrales	..... <i>Isotomodes</i>

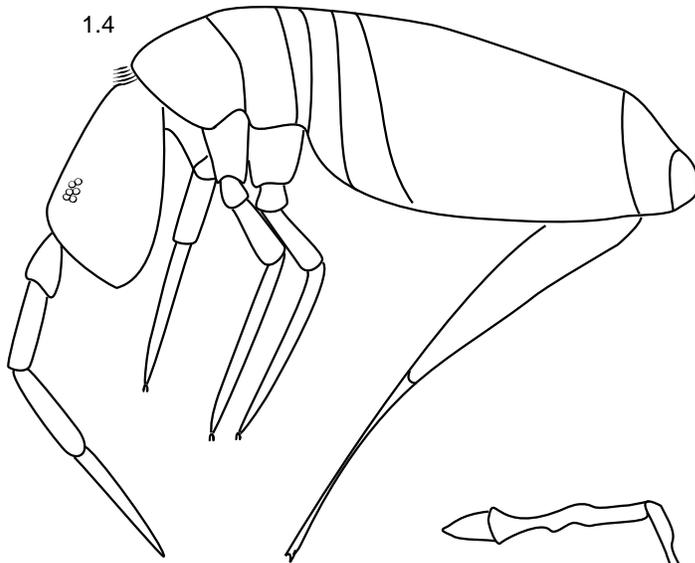
15.	Dentes crenulados dorsalmente; mucrón corto, con uno o dos dientes .....	
	<b>Familia Entomobryidae</b> .....	16
15'	Dentes lisos dorsalmente; mucrón cuadrado o rectangular con dos a más dientes	
	<b>Familia Paronellidae</b> .....	20
16	Antenas con 5 ó 6 artejos; Abd IV menos de dos veces la longitud del Abd III .....	17
16'	Antenas con 4 artejos, Abd IV más de dos veces la longitud del Abd III .....	18
17.	Ocelos 8+8; Ant I y II subdivididos .....	<i>Dicranocentrus</i>
17'	Ocelos 2+2; Ant I subdivido .....	<i>Heteromurtrella</i>
18.	Cuerpo cubierto de escamas .....	19
18'	Cuerpo sin escamas .....	<i>Entomobrya</i>
19.	Ocelos y mancha ocular reducidos .....	<i>Pseudosinella</i>
19'.	Con 8+8 ocelos, mancha ocular siempre pigmentada .....	<i>Lepidocyrtus</i>
20.	Mucrón al menos 1/3 la longitud de los dientes (Figura 1.15) .....	<i>Cyphoderus</i>
20'.	Mucrón menos de 1/4 la longitud de los dientes (Figura 1.16) .....	21
21.	Cuerpo sin escamas .....	<i>Salina</i>
21'.	Cuerpo cubierto de escamas .....	22
22.	Primer artejo antenal más largo que la cabeza, cuerpo arqueado entre el Th. III y el Abd. I .....	<i>Campylothorax</i>
22'.	Primer artejo antenal más corto que la cabeza, cuerpo no arqueado entre el Th. III y el Abd. I .....	<i>Trogolaphysa</i>
23.	Antenas más largas que la cabeza (Figura 1.5)....	<b>Orden Symphypleona</b> ..... 24
23'.	Antenas más cortas que la cabeza (Figura 1.6)...	<b>Orden Neelipleona</b> .....
.....	<b>Familia Neelidae</b> ..... Cuarto artejo antenal separado del tercero .....	<i>Neelus</i>
24.	Ant III y IV de longitud similar; con 4+4 ocelos .....	<b>Familia Collophoridae</b> .....
		<i>Collophora</i>
24'	Ant IV más corta que Ant. III; con 8+8 ocelos ....	<b>Familia Dicyrtomidae</b> ..... 26
25.	Uña con túnica y pseudoniquia, antenas no subdivididas; clípeo sin espinas romas .....	<i>Calvatomina</i>
25'.	Uña sin túnica y pseudoniquia; Ant. III y IV subdividida; clípeo con espinas romas .....	<i>Ptenothix</i>



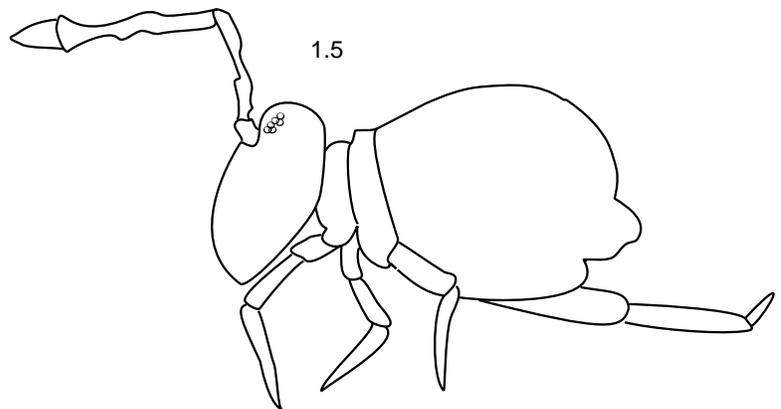
1.2



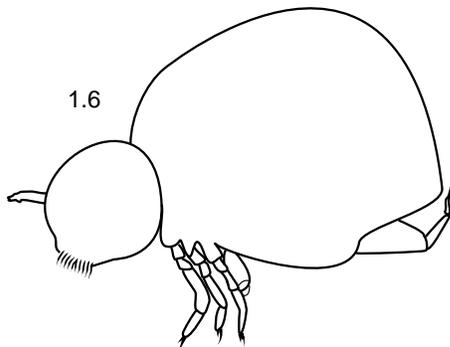
1.3



1.4

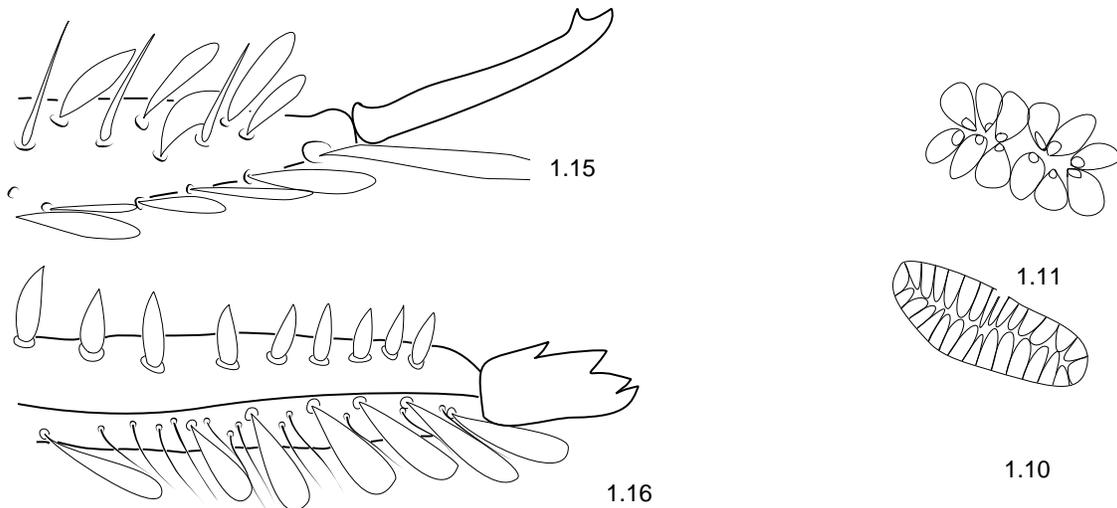
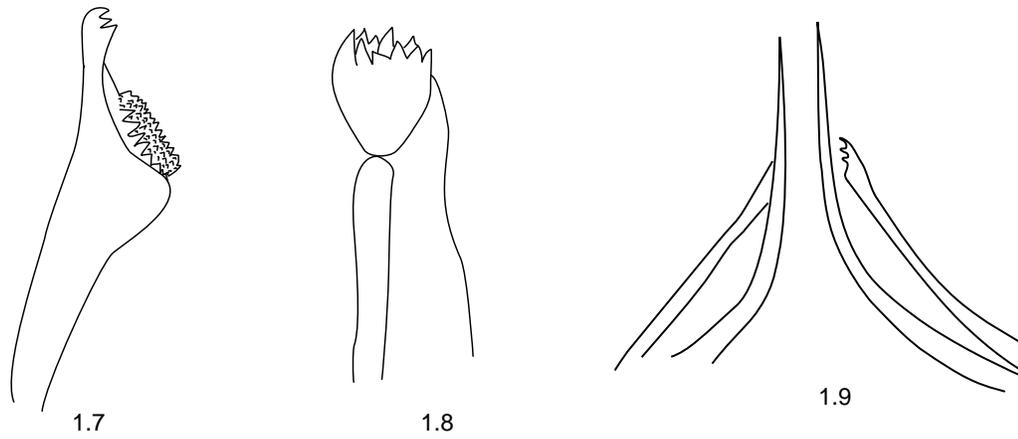
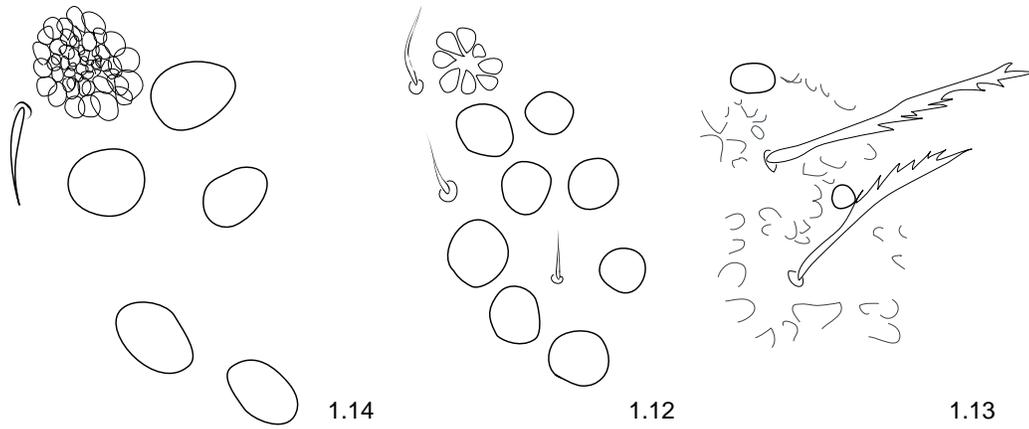


1.5



1.6

Figuras 1.2 - 1.6. 1. 2. *Pseudachorutes parvulus* 1. 3. *Isotomiella* sp. 1. 4. *Trogolaphysa geminata* 1. 5. *Calvatomina rufescens* 1. 6. *Neelus murinus*.



Figuras 1.7 - 1.9. Piezas bucales. 1. 7. Hypogastruridae (Mandíbula), 1. 8. *Brachystomella agrosa*, 1. 9. *Neotropiella silvestrii*.

Figura 1. 10. Órgano posantenal (OPA) de *Mesaphorura yosii* Figura 1. 11. OPA de *Onychiurus* sp.

Figura 1. 12 - 1.14. Ocelos. 1. 12. *Pseudachorutes parvulus*, 1. 13. *Americanura interrogator*, 1. 14. *Neotropiella silvestrii*.

Figura 1.15-1.16. Dentes y Mucrón 1. 15. *Cyphoderus inaequalis*, 1. 16. *Trogolaphysa geminata*.

### 3.3. Diagnósis de géneros y especies de Collembola asociados a la hojarasca de un bosque secundario en Mayagüez-PR

#### 3.3.1. Familia Neanuridae Börner, 1901

**Americanura** Cassagnau y Palacios-Vargas 1983, se caracteriza por la presencia de 2+2 ocelos; las piezas bucales están reducidas y las maxilas son estiletiformes; sus sedas están aplanadas dando la apariencia de hojas de palma; también presentan una reducción en las sedas dorsales; la sensila S7 está hipertrofiada y tiene cuando menos dos veces el grosor de las otras. *Americanura interrogator* Cassagnau y Palacios-Vargas, 1983 carece de pigmento corporal (Figura 1.17), presenta tres tubérculos en el cuarto segmento abdominal y el tubérculo lateral de los segmentos abdominales dos y tres tiene tres sedas (Palacios-Vargas *et al.*, 2009). El órgano sensorial del antenito III presenta una sensila ventral recurvada en forma de signo de interrogación (Cassagnau y Palacios-Vargas, 1983). Este es el primer reporte para Puerto Rico de este género endémico de la región Neotropical, la especie se ha reportado en Dominica, Ecuador, Guadalupe, Martinica, Marie Galante y Venezuela (Mari Mutt y Bellinger, 1990). En los muestreos del bosque Miradero, se colectaron 332 especímenes dentro de los tres tipos de hojarasca y sólo un espécimen en las trampas de caída instaladas en *B.vulgaris*.

**Arlesia** Handschin 1942, agrupa a los individuos con cono bucal relativamente corto, maxila estiletiforme, mandíbula con muchos dientes; ocelos reducidos y OPA ausente; fúrcula presente. *Arlesia albipes* (Folsom, 1927) es color azul oscuro en la región dorsal (Figura 1.18), mientras que la coxa, el trocánter y el fémur están ligeramente pigmentados. El tercer artejo antenal es blanco con manchas azules, el cuarto artejo antenal y las patas son blancos (Folsom, 1927), la mancha ocular tiene 5+5 ocelos y su mandíbula presenta 4 dientes; uña con un diente interno y sin dientes laterales; los dientes presentan seis sedas. Es una especie endémica de la Región Neotropical, conocida en Barbados, Brasil, Costa Rica, Cuba, Dominica, Guadalupe, Guatemala, La Desirade, Martinica, México, Marie Galante, Panamá, México, Puerto Rico, Santa Lucia, Surinam y San Vicente (Mari Mutt y Bellinger, 1990). En el bosque

Miradero se colectaron 120 individuos dentro de los tres tipos de hojarasca y las trampas de caída.

***Neotropiella*** Handschin 1942, agrupa colémbolos relativamente grandes, con los artejos antenales claramente separados, ocelos reducidos, OPA moruliforme, con fúrcula y sin espinas anales. *Neotropiella silvestrii* (Denis, 1929) es azul oscuro dorsalmente (Figura 1.19) y blanco ventralmente, incluyendo las patas; las antenas son azul claro. Su OPA es más grande que el ocelo más cercano y se compone de más de 30 vesículas. La mancha ocular comprende 5+5 ocelos y la mandíbula con tiene dientes apicales. La especie se conoce de Cuba, México, Puerto Rico y Tórtola (Mari Mutt y Bellinger, 1990). En el bosque de Miradero se colectaron 558 individuos en los tres tipos de hojarasca.

***Pseudachorutes*** Tullberg 1871, tiene la fúrcula bien desarrollada, 8+8 ocelos y OPA sencillo. Su cono bucal y maxila son alargados. No presenta apéndice empodial ni espinas anales. *Pseudachorutes parvulus* Börner, 1901, tienen puntos morados claros, con un fondo blanco. La mancha ocular es rojiza (Figura 1.20). Su OPA tiene entre 5 y 8 vesículas (Fjellberg, 1998). La mandíbula tiene tres dientes, el basal es grande y fácil de ver, mientras que los dos apicales son pequeños y por su cercanía, difíciles de distinguir; la maxila tiene un diente apical. Esta especie es cosmopolita, para el Neotrópico se ha reportado en Argentina, Chile, Guadalupe, La Desirade, Martinica, Marie Galante, México y San Vicente (Mari Mutt y Bellinger, 1990). De Puerto Rico fue reportado por Samalot-Roque (2006). En el bosque Miradero se colectaron 646 individuos en todos los biotopos.

### **3.3.2. Familia Brachystomellidae Stach, 1949**

***Brachystomella*** Agren 1903, presenta puntos de color azul claro en el cuerpo y la cabeza, incluyendo las antenas (Figura 1.21) las patas y la fúrcula tienen una coloración más tenue. Presenta maxilas cuadradas y no presenta mandíbulas; el cuarto segmento antenal tiene un bulbo apical bien desarrollado; presenta 8+8 ocelos. *Brachystomella agrosa* Wray, 1952 presenta cuatro vesículas en su OPA, su maxila

tiene entre 5 y 6 dientes; el órgano sensorial del antenito III tiene dos sedas de guarda entre las sensilas de guarda. El largo del mucrón es una tercera parte el largo de los dientes (Wray, 1953). Esta es una especie Neotropical reportada en Brasil, Colombia, Cuba, Ecuador, Guyana Francesa, Guadalupe, Martinica, María Galante, Santa Lucía, San Vicente y Puerto Rico (Mari Mutt y Bellinger, 1990). En el Bosque Miradero se encontraron 1718 individuos colectados en los tres tipos de hojarasca.

### **3.3.3. Familia Onychiuridae Lubbock, 1867**

***Onychiurus*** Gervais 1841, son blancos (Figura 1.22) y se distinguen de otros en su familia por tener vesículas compuestas en el órgano postantenal y por la textura lisa de sus bastones sensoriales. Su fúrcula está reducida o ausente, presentan pseudocelos distribuidos por el cuerpo (Palacios-Vargas y Díaz, 1995). En Puerto Rico se han reportado dos especies del género; la que se encontró en este muestreo es una especie sin espinas anales y sin dientes internos en la uña. En el bosque Miradero se colectaron 2088 individuos en muestras de hojarasca y 2 en trampas de caída de *C. elastica*.

### **3.3.4. Familia Tullbergiidae Bagnall, 1935**

***Mesaphorura*** Börner 1901, agrupa las especies con dos sensilas curvadas en el órgano sensorial del tercer artejo antenal; carece de pigmento, ocelos y fúrcula. *Mesaphorura yosiii* (Rusek, 1967) es incoloro; en el cuarto segmento abdominal la seda P1 es más corta que la P2 y la seda m5 está ausente; presenta unas crestas poco profundas posteriores a los pseudocelos del quinto segmento abdominal; todas las sedas del tibiotarso son cortas y acuminadas. Es una especie cosmopolita. En el Neotrópico se encuentra en Brasil y México (Mari Mutt y Bellinger, 1990). Este es el primer reporte de esta especie para Puerto Rico. En el bosque Miradero se colectaron 282 individuos en los tres tipos de hojarasca.



Figuras 1.17-1.22. Orden Poduromorpha 1. 17. *Americanura interrogator*, 1. 18. *Neotropiella silvestrii*, 1. 19. *Arlesia albipes*, 1. 20. *Brachystomella agrosa*, 1. 21. *Pseudachorutes parvulus*, 1. 22. *Onychiurus* sp.

### 3.3.5. Familia Isotomidae Schäffer, 1896

***Hemisotoma*** Bagnall 1949, incluye los isotómidos con el quinto y sexto segmentos abdominales fusionados, con la fúrcula desarrollada, sedas en el manubrio, dientes crenulados dorsalmente, y mucrón con dos dientes. *Hemisotoma thermophila* (Axelson 1900) es de color gris (Figura 1.23), el OPA es tres veces más largo que el ocelo más cercano y tiene 8+8 ocelos dispuestos en la misma mancha ocular (Christiansen y Bellinger, 1980). Esta especie estaba identificada como *Cryptopygus thermophilus* y fue reubicada en *Hemisotoma* por Rusek (2002). Esta es una especie de distribución mundial, en el Neotrópico se ha reportado en Argentina, Chile, Colombia, Costa Rica, Cuba, Jamaica, México, Perú, Puerto Rico y Venezuela (Mari Mutt y Bellinger, 1990). En el bosque de Miradero se colectaron 548 individuos en todos los biotipos muestreados.

***Folsomides*** Stach 1922, carece de espinas anales, tienen el mucrón fusionado con los dientes y tiene OPA; su quinto y sexto segmentos abdominales están separados.

*Folsomides centralis* (Denis 1931), es de color azul grisáceo (Figura 1.24), se caracteriza por tener 6+6 ocelos y sedas ventrales en el manubrio. En el mundo se ha reportado en América, Australia, Madagascar, Asia y Malasia. En el Neotrópico se encuentra en Brasil, Costa Rica, Cuba, Ecuador, México, Perú y Venezuela (Mari Mutt y Bellinger, 1990). En Puerto Rico fue reportado por Samalot-Roque (2006). En el bosque Miradero se colectaron 841 individuos en los tres tipos de hojarasca.

*Folsomides parvulus* Stach 1922, se diferencia de la especie anterior por la ausencia de pigmento (Figura 1.25). También se distingue por sus 2+2 ocelos individualmente pigmentados y por no tener sedas en el manubrio; el sexto segmento abdominal está orientado ventralmente (Christiansen y Bellinger, 1980). Es una especie cosmopolita. En el Neotrópico se encuentra en Argentina, Cuba y México (Mari Mutt y Bellinger, 1990). La especie fue previamente reportada de Puerto Rico (Mari Mutt 1977, 1982) como *F. americanus*. En el bosque Miradero se colectaron 839 individuos en los tres tipos de hojarasca y dos especímenes en trampas de caída de *C. elastica*.

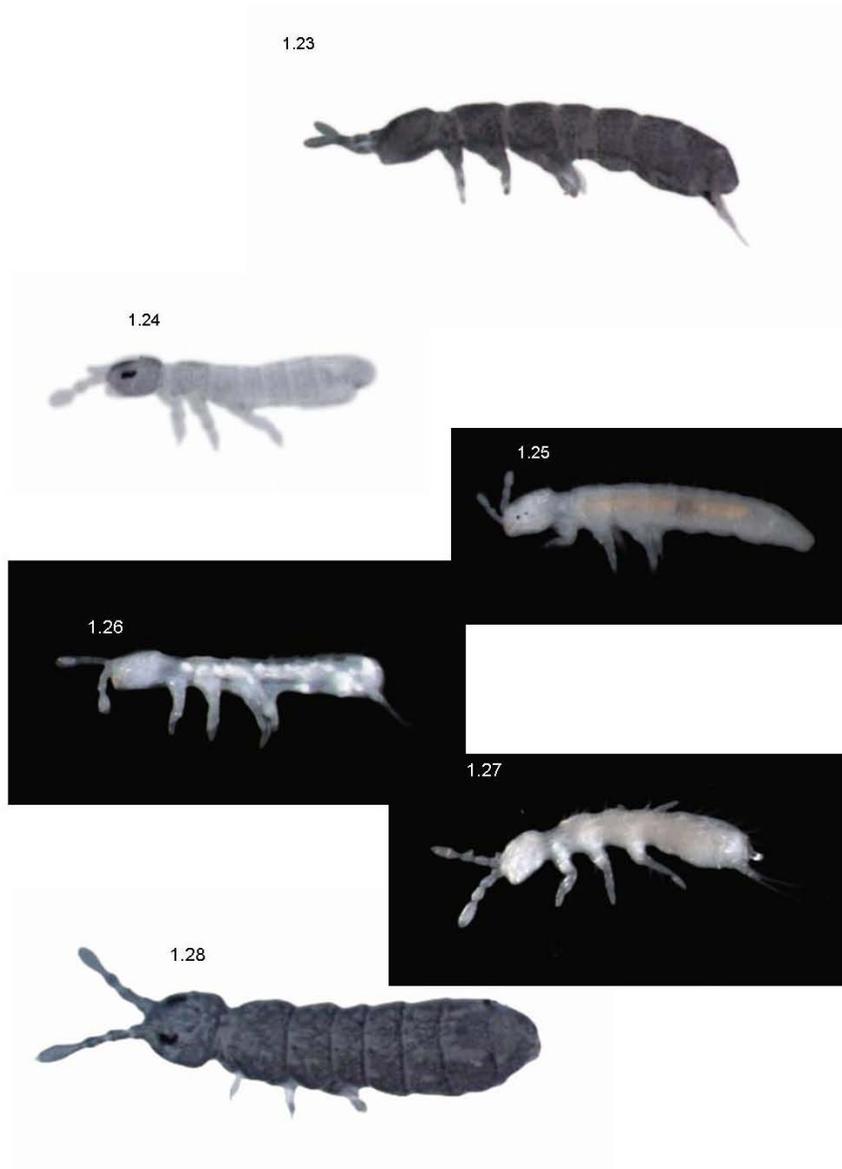
**Isotomodes** Linnaniemi 1907, incluye a los isotómidos de cuerpo alargado, sin ocelos, con fúrcula desarrollada y con todos los segmentos del cuerpo claramente separados. No tiene sedas en el manubrio y el mucrón es bidentado. El género fue reportado por Mari Mutt (1982), pero aún no se ha identificado la especie. En el bosque Miradero se colectaron 27 individuos en *C.elastica* y 48 en *R. borinquena*.

**Folsomina** Denis 1931, se distingue de los demás isotómidos por las ausencias de OPA y de ocelos y por la fusión de los tres últimos segmentos abdominales (Greenslade,1999). *Folsomina onychiurina* Denis, 1931 es blanca y de cuerpo alargado (Figura 1.26), su mucrón es falcado y en las antenas presentan 6 sedas S bien desarrolladas, cuatro gruesas y dos más delgadas. Se ha reportado en América, África, India, Asia, Australia y Nueva Zelanda (Greenslade, 1999) En el Neotrópico se conoce de Argentina, Brasil, Costa Rica, Cuba, Jamaica, México, Perú y Venezuela (Mari Mutt y Bellinger, 1990). Este es el primer reporte del género en Puerto Rico. En el bosque de Miradero se colectaron 1229 individuos en los tres tipos de hojarasca.

**Isotomiella** Bagnall 1939, incluye a los isotómidos con fúrcula bien desarrollada y sin pigmento, ocelos ni OPA (Christiansen y Bellinger, 1980). *Isotomiella minor* (Schäffer, 1896); es blanca (Figura 1.27), sus segmentos abdominales quinto y sexto están fusionados y tiene sedas aserradas. Su mucrón tridentado la distingue de *Folsomina* y otros isotómidos pequeños y blancos (Christiansen y Bellinger, 1980). Es una especie cosmopolita. En el Neotrópico se encuentra en Argentina, Brasil, Chile, Costa Rica, Cuba, República Dominicana, Guatemala, Jamaica, México, Nicaragua, Perú, Puerto Rico y Trinidad y Tobago (Mari Mutt y Bellinger, 1990). En el bosque Miradero se colectaron 20630 individuos en todos los biotipos.

**Isotomurus** Börner 1903, (Figura 1.28), agrupa los isotómidos con botriotricas en los tergos abdominales, crenulaciones en los dentes y el mucrón con cuatro dientes (el diente apical es pequeño y ventral) (Christiansen y Bellinger, 1980). El género fue reportado por Mari Mutt (1976), pero aún no se ha identificado la especie. En el bosque

Miradero se colectó en hojarasca de *R. borinquena* y *B. vulgaris* (136 y 2 individuos, respectivamente) y en las trampas de caída instaladas en *C. elastica* y *R. borinquena*. (7 y 2 individuos, respectivamente).



Figuras 1.23-1.28. Familia Isotomidae .1. 23. *Hemisotoma thermophila*, 1. 24 *Folsomides centralis*, 1. 25. *Folsomides parvulus*, 1. 26. *Folsomina onychiurina*, 1. 27. *Isotomiella minor*, 1. 28. *Isotomurus* sp

### 3.3.6. Familia Entomobryidae Schäffer, 1896

***Dicranocentrus*** Schött 1893, agrupa a especies con los dos artejos antenales basales subdivididos, el cuerpo y los apéndices cubiertos de escamas y espinas dentales simples (Mari Mutt, 1979, 1981). *Dicranocentrus marias* Wray 1953; es de color de fondo ámbar, que puede verse café o azul claro como efecto de las escamas (Figura 1.29). Tiene dos o tres filas de pequeñas espinas en la base de los dentes y no tiene escamas en el triangulo labial (Mari Mutt, 1979). Esta especie Neotropical se conoce de Costa Rica, Guatemala, México, Panamá y Puerto Rico (Mari Mutt y Bellinger, 1990). En el bosque Miradero se colectaron 673 individuos dentro de los tres biotipos. En Puerto Rico *D. marias* está ampliamente distribuída en bosques con dosel cerrado.

***Heteromurtella*** Mari Mutt 1979, agrupa a los entomóbridos con cinco artejos antenales, escamas, primer segmento abdominal con al menos 1+1 macrosedas y cabeza con macroseda S0 y macrosedas posteriores. *Heteromurtella tihuiensis* Mari Mutt, 1985 tiene el cuerpo blanco con puntos naranja en la parte dorsal (Figura 1.30). Los dentes tienen una fila de sedas espiniformes, pero no tienen espinas mucronales. Esta especie es endémica de Puerto Rico (Mari Mutt, 1985). En el bosque Miradero se colectaron 408 individuos en la hojarasca y en las trampas de caída instaladas en los tres biotipos, con excepción de las trampas de caída de *B.vulgaris*. Previamente se conocía sólo de El Yunque.

***Entomobrya*** Rondani 1861, agrupa a los entomóbridos con cuatro antejos antenales, 8+8 ocelos, cuerpo sin escamas, todas las sedas tibiotarsales ciliadas y el mucrón bidentado. La población de Miradero de *Entomobrya longisetae* Soto-Adames, 2002 presenta dos patrones de coloración, el azul oscuro usual (Figura 1.31) y otro de fondo pardo-rojizo y puntos azul-morado (Figura 1.32). Esta especie se caracteriza por la presencia de la macroseda a1 y la ausencia de la seda p2 en el tercer segmento torácico; en el segundo segmento abdominal las sedas medias posteriores son tan largas como la macroseda m3 (Soto-Adames, 2002). Se conoce sólo de Puerto Rico

(Soto-Adames, 2002). En el bosque Miradero se colectaron 408 individuos en la hojarasca y en las trampas de caída instaladas en los tres biotipos.

***Lepidocyrtus*** Bourlet 1839, se caracteriza por sus escamas redondeadas apicalmente, sin costillas, con dentículos diminutos, distribuidas en la cabeza, el tronco y la parte ventral de la fúrcula. Todas las especies poseen 8+8 ocelos y la mancha ocular siempre está pigmentada. Como norma general, el mesonoto está agrandado y puede o no proyectarse sobre la cabeza. *Lepidocyrtus* es el género con más especies en Puerto Rico.

*L. caprilesi* Wray 1953, presenta varios patrones de coloración a través de la Isla, la población de Miradero es la forma B (Mari Mutt, 1986, Fig 16), caracterizada por una banda azul entre la mancha ocular y el margen posterior de la cabeza. Entre las especies de Puerto Rico, *L. caprilesi* es fácil de identificar porque el segundo segmento torácico es cónico, de ángulo agudo y se proyecta fuertemente sobre la cabeza (Figura 1.34). Las escamas están presentes en el segundo y tercer artejos antenales y en todos los segmentos de las patas. Esta especie sólo se conoce del Banco de Puerto Rico y Venezuela (Wray,1953; Mari Mutt, 1986; Díaz y Najt, 1995 Soto-Adames, 2000). En el bosque Miradero se colectaron 141 individuos en la hojarasca y en las trampas de caída instaladas en los tres biotipos.

*L. dispar* Mari Mutt 1986, comprende al menos ocho patrones de coloración pero la población de Miradero sólo muestra el patrón C (Mari Mutt 1986, Fig 77), que presenta bandas azul oscuras en parte del tórax y el abdomen (Figura 1.35). Las antenas y las patas no presentan escamas y tienen 5+5 sedas a lo largo del surco cefálico. Sólo se ha reportado de Puerto Rico y la isla de San Juan (Mari Mutt, 1986; Soto-Adames, 2002). En el bosque Miradero se colectaron 685 individuos en la hojarasca y en las trampas de caída instaladas en los tres biotipos.

*L. distinctus* Mari Mutt 1986, es de color blanco con bandas azul-violeta que en la cabeza van desde el área posocelar hasta la base de las antenas. Los segmentos

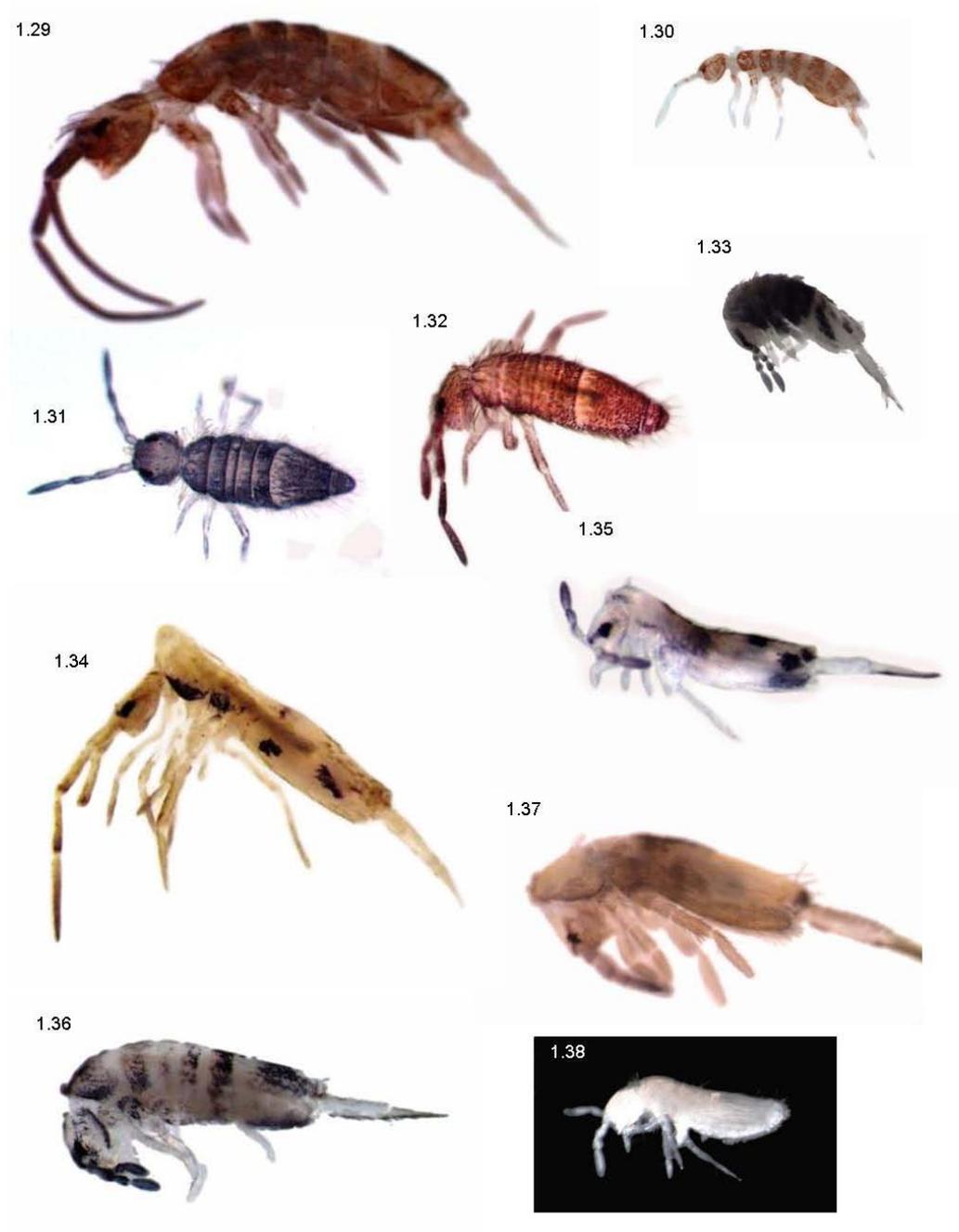
toraxicos II al abdominal III están fuertemente pigmentados, el segmento abdominal IV presenta una banda lateral (Figura 1.33). El mesonoto no está proyectado sobre la cabeza; el antenito IV presenta una papila subapical dentro de una depresión. No presenta macrosetas en la cabeza. Esta especie sólo se conoce de Puerto Rico e Islas Vírgenes (Mari Mutt, 1986; Soto-Adames, 2000, 2002). En el bosque Miradero se colectaron 17 y 115 individuos en la hojarasca de *C. elastica* y *R. borinquena*, respectivamente y dos individuos en las trampas de caída en *C. elastica*

*L. griseolus* Mari Mutt 1986, es de color gris-violeta claro sobre la mayor parte del cuerpo y la cabeza (Figura 1.36). Su pronoto no está proyectado sobre la cabeza, el cuarto segmento antenal tiene una gran protuberancia. Sólo se ha reportado de Puerto Rico e Islas Vírgenes, pero una especie muy similar, *L. nilatus*, es conocida de Colombia (Mari Mutt, 1986; Mari Mutt, 1987; Soto-Adames, 2000). En el bosque Miradero se colectaron 65 y 197 individuos en la hojarasca de *C. elastica* y *R. borinquena*, respectivamente.

*L. nigrosetosus* Folsom 1927, presenta una coloración crema amarillenta, con escamas que le dan un tono café oscuro. Posee pigmentación violeta en los bordes laterales del segundo segmento torácico y en ocasiones en el tercero (Figura 1.37). La cabeza tiene una mancha oscura entre las bases de las antenas; el último artejo antenal es violeta (Folsom, 1927), las antenas presentan escamas sólo en el primer artejo. El segundo segmento torácico está proyectado hacia la cabeza, pero es de ángulo amplio, dando la apariencia de ser apicalmente romo. La cabeza no posee macrosetas dorsales y presenta 5+5 o 6+6 sedas a lo largo del surco cefálico. Esta especie se ha reportado en Colombia, Jamaica, Brasil, Islas Vírgenes y Puerto Rico (Mari Mutt y Bellinger, 1990; Bellini y Zeppelini, 2004, 2009) En el bosque Miradero se colectaron 613 individuos dentro de todos los biotipos.

***Pseudosinella*** Schäffer 1897, agrupa a las especies similares a *Lepidocyrtus*, pero con ocelos reducidos a 6+6 o menos. *Pseudosinella biungiculata* Ellis, 1967 es blanca y sin ocelos (Figura 1.38); su segundo segmento torácico no se proyecta sobre

la cabeza y posee una seda conspicua en forma de bastón en el metatibiotarso, característica única entre los miembros puertorriqueños de este género (Samalot-Roque, 2006). Se ha reportado de Brasil, Guatemala, Islas Vírgenes, México y Puerto Rico (Mari Mutt y Bellinger, 1990, 1997). En el bosque Miradero se colectaron en la hojarasca, 329 en *C. elastica*, 442 en *R. borinquena* y 49 en *B. vulgaris*.



Figuras 1.29-1.38. Familia Entomobryidae. 1. 29. *Dicranocentrus marias*, 1. 30. *Heteromurtrella tihuiensis*, 1. 31. *Entomobrya longisetae*, 1. 32. *Entomobrya longisetae* (nuevo patrón de coloración), 1. 33. *Lepidocyrtus distinctus*, 1. 34. *L. caprilesi* forma B, 1. 35. *L. dispar*, 1. 36. *L. griseolus*, 1. 37. *L. nigrosetosus*, 1. 38. *Pseudosinella biungiculata*.

### 3.3.7. Familia Paronellidae Börner, 1913, sensu Soto-Adames et al., 2008.

**Campylothorax** Schött 1893, tiene 8+8 ocelos; escamas en todo el cuerpo y la fúrcula, mesotórax dorsalmente aplanado y el metatórax agrandado y arqueado; el cuarto segmento abdominal tiene tres botrióticas (Mari Mutt, 1987). *Campylothorax sabanus* (Wray, 1953) se distingue por su patrón de coloración (Figura 1.39) que incluye la presencia de una mancha en forma de W sobre el cuarto segmento abdominal. Es la única especie del género reportada en Puerto Rico (Wray, 1953; Mari Mutt, 1988, Samalot-Roque, 2006). En el bosque de Miradero se colectaron 948 individuos en los tres tipos de hojarasca y en las trampas de caída.

**Salina** MacGillivray 1894, agrupa a los paronélidos con 8+8 ocelos, el primer artejo antenal más largo que la diagonal cefálica, sin escamas, con una vesícula dental apical y con el segundo segmento torácico no arqueado. Los dientes son lisos y tiene un lóbulo en la parte distal. *Salina tristani* Denis 1931 es amarillenta, o color limón, con bandas oscuras en la parte distal de los segmentos antenales (Figura 1.40), un mucrón compacto con cuatro dientes. Se ha reportado de Costa Rica, Islas Vírgenes, México, Puerto Rico y Venezuela (Mari Mutt y Bellinger, 1990). En el bosque Miradero se colectaron 93 individuos dentro en los tres biotipos.

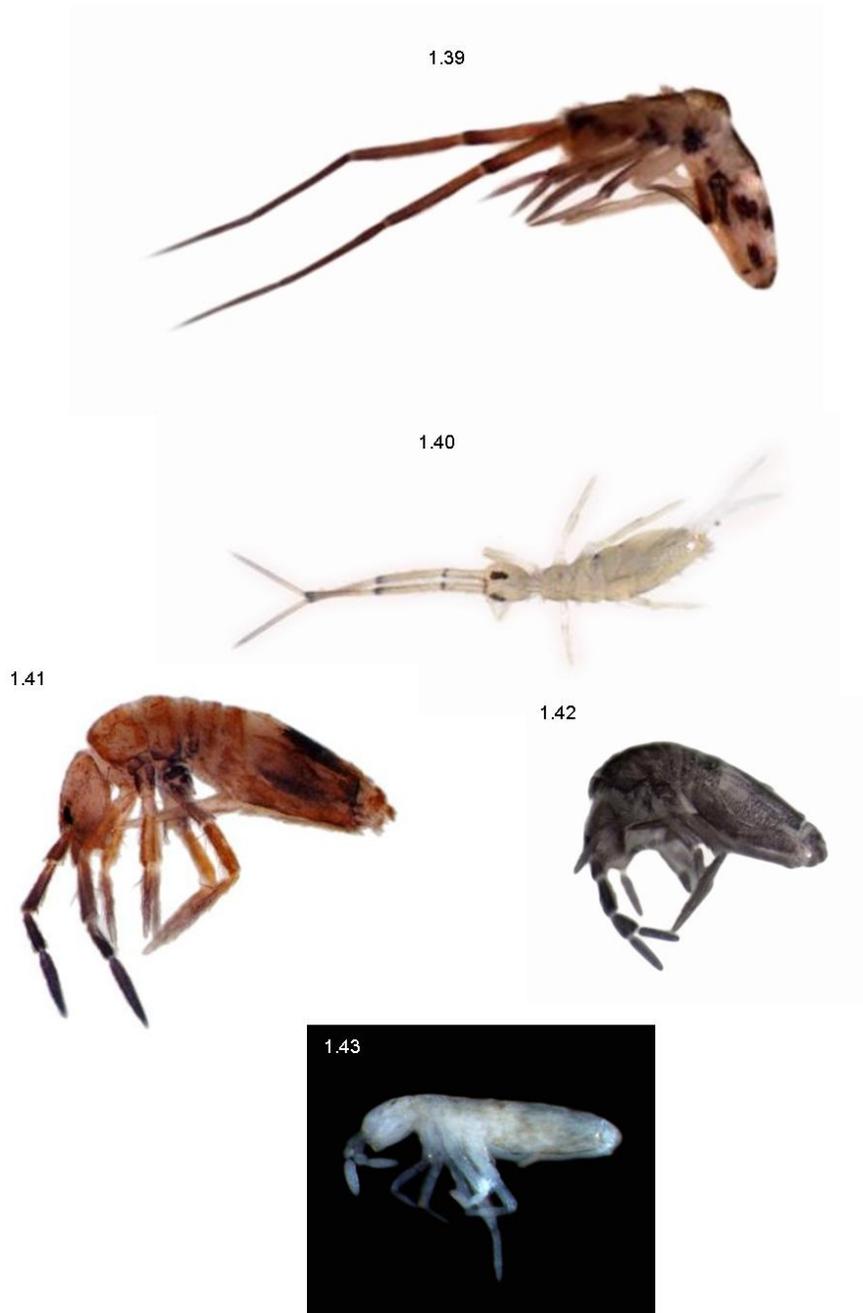
**Trogolaphysa** Mills 1938, agrupa a paronélidos con 8+8 ocelos, pero con los ocelo G y H tan diminutos que rara vez son claramente visibles en preparaciones regulares de modo que los individuos aparentan tener 6+6 ocelos, el primer segmento antenal más corto que la cabeza, el cuarto artejo antenal verticilado pero sin subsegmentar, con escamas en el tronco y la cara ventral de la fúrcula y con dos filas de espinas dentales.

*Trogolaphysa* nr. *geminata* n. sp., es color de fondo marrón claro con bandas azul oscuras en el cuarto segmento abdominal, el borde lateral del tórax, las coxas, trocánter y el segundo y tercer artejos antenales (Figura 1.41). Se distingue de *T. jataca* por la ausencia de la macroseda M2 de la cabeza y por la presencia de la seda a6 en el primer segmento abdominal. Mari Mutt (1987) indica que especímenes con el patrón de

coloración marrón son indistinguible de *T. geminata* salvo en color. Esta especie sólo se ha reportado para Puerto Rico (Mari Mutt 1987). En el bosque de Miradero se colectaron 42 individuos en todos los biotipos.

Los demás especímenes de *Trogolaphysa*, son una mezcla de individuos de *T. jataca* (Wray) 1953 y *T. geminata* Mari Mutt 1987. La mayor parte de los ejemplares de estas dos especies poseen un patrón de coloración de fondo azul con bandas oscuras en el cuerpo (Figura 1.42) de modo que son indistinguibles usando el microscopio de disección. *Trogolaphysa jataca* presenta todas las macrosetas de la cabeza. Se ha reportado en Jamaica y Puerto Rico (Mari Mutt y Bellinger, 1990). En el bosque Miradero se colectaron 862 individuos dentro de todos los biotipos

**Cyphoderus** Nicolet 1842, agrupa a paronélidos incoloros, sin ocelos (Figura 1.43), con el cuerpo y la cara ventral de la fúrcula cubiertos de escamas, la fúrcula bien desarrollada y el mucrón alargado y con un número variable de dientes. La distribución de muchas especies está limitada a la de las hormigas y termitas que les sirven de hospederos (Palacios-Vargas *et al.*, 2000; Hopkin, 1997). *Cyphoderus inaequalis* Folsom, 1927, presenta cuatro dientes en el mucrón y tres dientes internos en la uña. Se encuentra en Costa Rica, Jamaica, Panamá y Puerto Rico (Mari Mutt y Bellinger, 1990). En el bosque Miradero se colectaron 1128 especímenes dentro de los tres tipos de hojarasca y 11 en las trampas de caída instaladas en *C. elastica*.



Figuras 1.39-1.43. Familia Paronellidae. 1. 39 *Camphyl thorax sabanus*, 1. 40. *Salina tristani*, 1. 41. *Trogolaphysa* nr. *geminata* n.sp., 1. 42. *T. geminata/jataca*, 1. 43. *Cyphoderus inaequalis*.

### 3.3.8. Familia Neelidae Folsom, 1896

**Neelus** Folsom 1896, se diferencia de otros nélicos por tener los artejos antenales 3-4 separados y subiguales en diámetro, y por la presencia de un lóbulo posterior en el tubo ventral (Christiansen y Bellinger, 1980) *Neelus murinus* Folsom 1896, tiene color de fondo amarillento y se encontraron dos patrones de coloración, uno con gránulos naranja en la cabeza y el cuerpo, y otro con gránulos grisáceos (Figura 1.44). Las uñas tienen un par de dientes basales alargados y dos dientes internos. Es una especie cosmopolita, en el Neotrópico se encuentra en Costa Rica, Cuba, Jamaica y México (Mari Mutt y Bellinger, 1990). Este es el primer reporte de este género para Puerto Rico. En el bosque de Miradero, se colectaron 1025 individuos en los tres tipos de hojarasca y se colectó un espécimen en trampas de caída de *C. elastica*.

### 3.3.9. Familia Collophoridae Bretfeld, 1999

**Collophora** Richards 1964, tienen los ocelos reducidos a 4+4, el quinto segmento abdominal está fusionado con el abdomen, los dientes no tienen espinas y la botriotrica D es gruesa, capitada y está insertada en una papila cónica y corta. (Christiansen y Bellinger, 1980). *Collophora quadrioculata* es de fondo gris claro con gránulos que pueden ser marrón claro (Figura 1.45) o azul-grisáceo. Se distingue por que el cuarto artejo antenal presenta de 3 a 5 subartejos y el órgano trocanteral está colocado en una depresión circular. La especie no posee sedas espiniformes cefálicas (Christiansen y Bellinger, 1980). Esta especie se ha reportado en Costa Rica, Cuba, México y Puerto Rico (Mari Mutt y Bellinger, 1990, 1996). En el bosque de Miradero se colectaron 85 individuos en las tres hojarascas y trampas de caída.

### 3.3.10. Familia Dicyrtomidae Börner, 1906.

**Calvatomina** Yosii 1966, se caracteriza por poseer una túnica con pseudoniquia muy desarrollada sobre la uña, por la falta de espinas dorsales en la cabeza por la presencia de la botriotrica A y la falta de botriotrica D. *Calvatomina rufescens* (Reuter,

1890) es de color azul-rosáceo, más intenso en los flancos posteriores, pero de otro modo sin un patrón de coloración definido (Figura 1.46). Esta especie se ha reportado en toda América y Europa, en el Neotrópico se ha reportado de Colombia, Cuba, México y Puerto Rico (Mari Mutt y Bellinger, 1990, 1996).

***Calvatomina n. sp.1*** es de color amarillo-marrón sin un patrón de coloración definido (Figura 1.47). Dentro de las preparaciones no se tienen hembras, por lo que podría tratarse de machos de *C. rufescens*. La quetotaxia del pequeño abdomen se diferencia de las hembras de *C. rufescens* por la ausencia de las sedas a1 a a4 y por que la seda T es acuminada, delgada y más larga que la M. En los muestreos del bosque Miradero se colectaron 35 especímenes dentro de todos los biotipos excepto en trampas de caída en *B. vulgaris*.

***Calvatomina n. sp.2*** es de fondo blanco y presenta bandas de color en la cabeza y el gran abdomen. Estas bandas pueden ser azul-violeta o amarillo-marrón (Figura 1.48). La quetotaxia del pequeño abdomen se diferencia de *C. rufescens* porque las sedas Sa y Sa1 y a1 hasta a4 son cortas y acuminadas. En el bosque Miradero se colectaron 64 individuos en todos los biotipos excepto en las trampas de caída de *R. borinquena*.

***Ptenothrix*** Börner 1906, agrupa a los dicirtómidos con botrióticas A y D, antenas largas y con los artejos antenales tres y cuatro anillados. *Ptenothrix borincana* (Soto-Adames, 1988) es blanca con manchas violetas, antenas más oscuras y apéndices claros (Figura 1.49). Se caracteriza por su vértice cefálico con 5 sedas cortas, 2 lancetas y tres espinas de ápice romo, cortas y robustas (Soto-Adames, 1988). Esta especie sólo se ha reportado en Puerto Rico (Soto-Adames, 1988). En el bosque de Miradero se colectaron 18 individuos, en todos los biotipos con excepción de las trampas de caída de *C. elastica*.



Figura 1. 44. *Neelus murinus*. Figuras 1.45-1.49. Orden Symphypleona. 1. 45. *Collophora quadrioculata*, 1. 46. *Calvatomina n.sp1*, 1. 47. *Calvatomina rufescens*, 1. 48. *Calvatomina n.sp2*, 1. 49 *Ptenothrix borincana*.

## **CAPITULO 2 Variación estacional de las poblaciones de Collembola asociadas a la hojarasca un bosque secundario en Mayagüez, Puerto Rico.**

### **1. Revisión de Literatura**

#### **1.1. Los bosques secundarios en Puerto Rico**

Puerto Rico estuvo completamente cubierto de bosque hasta la llegada de los europeos en el 1493 (Wadsworth, 1950). La deforestación ocurrió lentamente durante los tres siglos siguientes y se aceleró durante el siglo 19, con el desarrollo de plantaciones de café (*Coffea arabica*) y de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), que durante el siglo 20 se convirtió en el cultivo más importante (Franco *et al.*, 1997). La cobertura boscosa llegó a su punto mínimo en 1940 con un 6% (Birdsey y Weaver, 1987). El programa de industrialización comenzado a mediados del siglo 20 llevó al abandono de muchos predios agrícolas y la cobertura forestal se recuperó hasta alcanzar el 57% para el 2003 (Brandeis *et al.*, 2008).

La recuperación de los bosques nos ofrece la oportunidad de estudiar el impacto de los ecosistemas tropicales deforestados a gran escala sobre las comunidades de colémbolos. Otra ventaja del estudio de los bosques secundarios en Puerto Rico es que son más maduros que otros ubicados en zonas que han experimentado deforestación a gran escala durante las últimas décadas (Zimmerman *et al.*, 1995; Aide *et al.*, 1996).

#### **1.2. Estudios ecológicos en Collembola**

Las comunidades de colémbolos son influenciadas por factores tales como la fertilidad del suelo (Hagvar, 1982), el tipo de hojarasca (Cassagne *et al.*, 2003), el contenido de agua (Verhoef, 1981; Takeda, 1987) y diversos factores biológicos

(Addison *et al.*, 2003b; Hagvar, 1982). Estos factores estructuran las comunidades y sirven para explicar los cambios en las sucesiones (Zaitsev *et al.*, 2002; Chauvat *et al.*, 2003). La composición florística del bosque junto con la heterogeneidad de la hojarasca y su composición de hongos y bacterias son factores adicionales que determinan la diversidad de los colémbolos (Ferreira *et al.*, 1994).

Los colémbolos aceleran la descomposición de restos vegetales y animales. Además, participan en la formación de sustancias húmicas, mejorando en forma indirecta la estructura y la capacidad de absorción de los suelos. También se les atribuye, por su rápida multiplicación y gran número, ser fuente de materia y de energía para el suelo y grupos tróficos superiores (Villalobos, 1990). Otras transformaciones de los colémbolos en el suelo incluyen su participación en el control y dispersión de los microorganismos, regulando las colonias de hongos y micorrizas (Walwork, 1970; Villalobos, 1990).

La dinámica poblacional de los colémbolos y su importancia como bioindicadores de la estabilidad de los ecosistemas ha sido ampliamente estudiada en zonas templadas (Addison *et al.*, 2003a, Cassagne *et al.*, 2006, Chauvat *et al.*, 2003; Hasegawa *et al.*, 2006; Zaitsev *et al.*, 2002). Este tipo de estudio ha sido posible gracias al excelente conocimiento taxonómico de los colémbolos de esas latitudes. Al no tener suficiente información sobre otros artrópodos del suelo, los colémbolos se constituyen en una buena herramienta para evaluar el estado de los ecosistemas terrestres (Deharveng, 1996).

En las zonas tropicales existe muy poca información sobre el uso de la fauna del suelo como bioindicadores (Guillen *et al.*, 2006), principalmente debido a la falta de conocimiento de su diversidad a nivel específico. En Costa Rica se comparó un bosque primario, uno secundario y un cultivo de café, encontrándose que los dos tipos de bosque tuvieron la misma riqueza de especies, mientras que en el cafetal fue menor (Guillen *et al.*, 2006). En ambos bosques dominaron las especies de *Heteromurus* y *Trogolaphysa*, ambos caracterizados como generalistas (Cabral, 1994).

## 2. Materiales y Métodos

### 2.1. Zona de estudio

El estudio se llevó a cabo en un fragmento del bosque secundario ubicado detrás del edificio de Biología en el Recinto de Mayagüez de la Universidad de Puerto Rico, Barrio Miradero. El predio está localizado en N 18° 12' 47.3" y W 67°08' 13.4". Su altitud es de 36 m, la temperatura diurna promedio es de 29 °C y la precipitación anual es de 1413 mm/año (bosque húmedo –Sub Tropical). El área conserva parte de la flora nativa y un conjunto de especies exóticas bajo un estado limitado de alteración antrópica.



Figura 2. 1. Sitios de muestreo en los fragmentos de bosque en Miradero (Mayagüez-Puerto Rico). Cada punto señala un lugar de toma de muestra. Rojo=*Castilla elastica*. Naranja=*Roystonea borinquena*. Amarillo=*Bambusa vulgaris*. Izquierda inferior-Edificio de Biología.

### 2.2. Muestreo

Las muestras se tomaron en 14 ocasiones, mensualmente desde marzo de 2009 hasta abril de 2010. Se tomaron muestras de la hojarasca predominante en el bosque, proveniente de *Castilla elastica*, *Roystonea borinquena* y *Bambusa vulgaris*. Se escogieron tres zonas dentro del bosque para tomar muestras de cada tipo de

hojarasca, obteniendo un total de nueve sitios de muestreo (Figura 2.1). En cada sitio se tomaron tres muestras de hojarasca: una cerca al tronco del árbol, otra al final de la zona de influencia por la hojarasca y otra en medio de estos dos puntos (Figura 2.2).

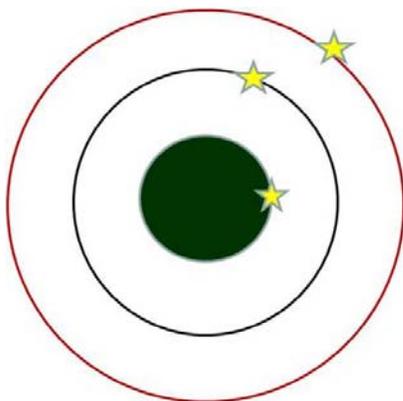


Figura 2. 2. Esquema de muestreo alrededor de los árboles escogidos para el muestreo, Las estrellas indican el lugar de toma de muestra.

Las muestras de hojarasca se colectaron en bolsas plásticas de 20 x 15cm y se procesaron en el laboratorio, durante 72 a 96 horas dependiendo de la humedad de la hojarasca, usando embudos plásticos tipo Berlese-Tullgren (Figura 2.3). Estas muestras se procesaron en dos grupos, el día del muestreo se procesaron 14 muestras; cuando el primer grupo de muestras secó se inició el proceso para las 13 muestras restantes, que hasta el momento se habían mantenido selladas y a una temperatura aproximada de 23°C. Los organismos se conservaron en etanol al 95%. La hojarasca se pesó antes y después de procesada para evaluar su contenido de humedad.

También se instalaron trampas de caída en los mismos puntos. Estas trampas consistieron en una parte fija (vaso plástico de 8 onzas) que permaneció en el punto de muestreo y un vaso desmontable de 4 onzas con etanol al 95% (Figura 2.4), instalados durante 24 horas, al cabo de las cuales se recogieron para evaluarlas en el laboratorio. Finalmente, los especímenes se separaron por morfoespecies y se contaron todos los colémbolos capturados por ambos métodos.



Figura 2. 3. Montaje en Embudos Berlese-Tullgren.



Figura 2. 4. Trampas de caída instaladas en el bosque.

### 2.3. Identificación

La identificación de los colémbolos comenzó con la separación por morfoespecies usando un microscopio de disección. La preparación de especímenes a ser examinados al microscopio compuesto consistió en aclararlos con líquido Nesbitt, seguido de la fijación en láminas usando líquido Marc André II (Mari Mutt, 1979). Para endurecer el medio, las láminas se dejaron sobre en una plancha entre 45 y 50°C durante al menos tres días y luego se rotularon con los datos de colecta. Los organismos se identificaron usando claves de Christiansen y Bellinger (1980), claves

disponibles en [www.collembola.org](http://www.collembola.org), claves locales elaboradas por Mari Mutt (1976, 1979, 1984, 1985a-b, 1986, 1987, 1988) y literatura primaria. Todas las identificaciones fueron corroboradas por el Dr. Felipe N. Soto-Adames.

## 2.4. Análisis de diversidad y abundancia

La abundancia de colémbolos se determinó contando el número de especímenes en cada muestra. La humedad de la muestra se determinó de según la ecuación propuesta por Arbea y Jordana (1990):

$$\frac{\text{Peso fresco de la hojarasca} - \text{Peso seco de la hojarasca}}{\text{Peso seco de la hojarasca}} \quad \text{Ecuación 2.1}$$

Con los datos de abundancia, número de especies y humedad de la hojarasca de las 378 muestras en hojarasca, junto con la abundancia y número de especies de igual número de muestras en trampas de caída tomadas durante 14 fechas, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de comparación múltiple de Tukey (alfa=0.05). Para este análisis se usó el programa Infostat (versión 3.0, 2009). Se analizaron las variables de abundancia, diversidad y humedad de la muestra, comparando cada tipo de hojarasca, el punto de toma de muestra y la época de colecta (seca – lluviosa) para ambos tipos de muestreo.

Históricamente, Mayagüez presenta una época seca entre enero y marzo y una lluviosa ente agosto y noviembre (Estación Meteorológica del Recinto Universitario de Mayagüez, Departamento de Ciencias Marinas, Universidad de Puerto Rico). Para comparar las épocas climáticas, basados en los datos de precipitación durante el tiempo de muestreo, se determinó como época seca el periodo entre diciembre y abril y la época lluviosa entre mayo y noviembre.

Se realizaron análisis de regresión lineal usando como regresoras la humedad de la muestra y precipitación acumulada de uno, siete y 21 días antes de la toma de muestra. Los datos de abundancia y diversidad para la hojarasca y trampas de caída

se tomaron como variables dependientes. Finalmente, se hizo una regresión entre la humedad de la muestra y las tres series de precipitación.

Usando las mismas variables ya descritas se realizó un análisis de componentes principales (PCA). Los datos fueron corregidos con  $\text{Log}_n - 1$  y se usaron los componentes 2 y 3 para explicar la variación de los datos. Todo lo anterior se realizó usando PAST versión 2001.

Para describir la biodiversidad entre los tipos de hojarasca dentro del bosque, se usaron varios métodos para calcular los índices de riqueza específica y dominancia. Los cálculos se realizaron usando el programa PAST (versión 2001). Los intervalos de confianza fueron calculados con bootstrap, produciendo 100 muestras al azar.

#### **2.4.1. Índice de Riqueza específica (S)**

Se refiere al número total de especies obtenido por un censo de la comunidad.

#### **2.4.2. Índice de diversidad de Margalef ( $D_{Mg}$ )**

Este asume una relación entre la cantidad de individuos y el número de especies en una muestra; el resultado sirve para comparar la razón entre las especies por cada localidad y el total de individuos.

$$D_{Mg} = \frac{(S-1)}{\log N} \quad \text{Ecuación 2.2}$$

donde:

S = número de especies

N = número total de individuos

### 2.4.3. Índice de dominancia (D)

Toma en cuenta la representatividad de las especies con mayor valor de importancia sin evaluar la contribución del resto de las especies. Los rangos van de 0 (todos los taxones están igualmente presentes) a 1 (un taxón domina por completo la comunidad).

$$D = \sum(n_i/n)^2 \quad \text{Ecuación 2.3}$$

donde:

$n_i$  = número de individuos del taxón  $i$

$n$  = número de individuos

### 2.4.4. Índice de Simpson (1-D)

Manifiesta la probabilidad de que dos individuos tomados al azar de una muestra sean de la misma especie. Está fuertemente influido por la importancia de las especies más dominantes (Magurran, 1988), mientras más alto es el índice, mayor es el grado de dominancia y menor es la diversidad.

$$\lambda = 1 - \sum p_i^2 \quad \text{Ecuación 2.4}$$

donde:

$p_i$  = abundancia proporcional de la especie  $i$ , es decir, el número de individuos de la especie  $i$  dividido entre el número total de individuos de la muestra.

### 2.4.7. Índice de Shannon-Wiener (H)

Mide el grado promedio de incertidumbre en predecir a qué especie pertenecerá un individuo escogido al azar de una colección (Magurran, 1988). Asume que los individuos son seleccionados al azar y que todas las especies están representadas en la muestra. Mientras más especies hay y más uniforme es la distribución de las mismas, más alto es el índice y por ende, mayor la diversidad.

$$H' = -\sum p_i \ln p_i \quad \text{Ecuación 2.5}$$

Se determinó la riqueza de especies observada y esperada en cada hojarasca mediante curvas de acumulación de especies usando el programa EstimateS Version 8.2 (Collwel, 2009). La curva de acumulación de especies provee información sobre la cantidad de muestreos necesarios para colectar el total de especies en una localidad. Además, la asíntota de la curva indica la riqueza total de especies para el mismo lugar. Los estimadores usados fueron Mao Tau (especies observadas), Chao 2 y Jacknife de primer y segundo orden; estos calculan la riqueza en base a la presencia/ausencia de las especies en la muestra.

#### 2.4.8. Chao 2

Este estimador se calcula en base al número de especies únicas y las que ocurren en duplicado usando los datos de incidencia.

$$S_{Chao2} = S_{obs} + \left(\frac{m-1}{m}\right) \left(\frac{Q_1(Q_1-1)}{2(Q_2+1)}\right) \quad \text{Ecuación 2.6}$$

donde:

m= Número total de muestras

Q= Número de especies que ocurren exactamente en  $j$  muestras ( $Q_1$  es la frecuencia de únicos y  $Q_2$  la frecuencia de duplicados)

#### 2.4.9. Jacknife de primer orden

Este estimador se basa en el número de especies que ocurren solamente en una muestra. Se usa para reducir el sesgo de los valores estimados.

$$S_{jack1} = S_{obs} + Q_1 \left(\frac{m-1}{m}\right) \quad \text{Ecuación 2.7}$$

### 2.4.10. Jacknife de segundo orden

Este estimador se basa en el número de especies que ocurren solamente en una muestra, así como en el número de especies que ocurren en exactamente dos muestras (Palmer, 1990; Krebs, 1989).

$$S_{jack2} = S_{obs} + \left[ \frac{Q_1(2m-3)}{m} - \frac{Q_2(m-2)^2}{m(m-1)} \right] \quad \text{Ecuación 2.8}$$

Finalmente, para apreciar patrones de agrupamiento entre las especies se realizó con el programa Infostat un análisis de conglomerados, basados en los datos de presencia/ausencia de las especies en cada tipo de hojarasca. Se usó encadenamiento simple, distancia Euclídea y variables estandarizadas.

### 3. Resultados

#### 3.1. Influencia de la precipitación sobre las poblaciones de Collembola

Durante el tiempo de muestreo, los meses con mayor precipitación fueron julio, agosto y noviembre de 2009 (Figura 2.5). La hojarasca conservó más humedad durante los meses de octubre, agosto y diciembre de 2009 y enero de 2010 (Figura 2.6).

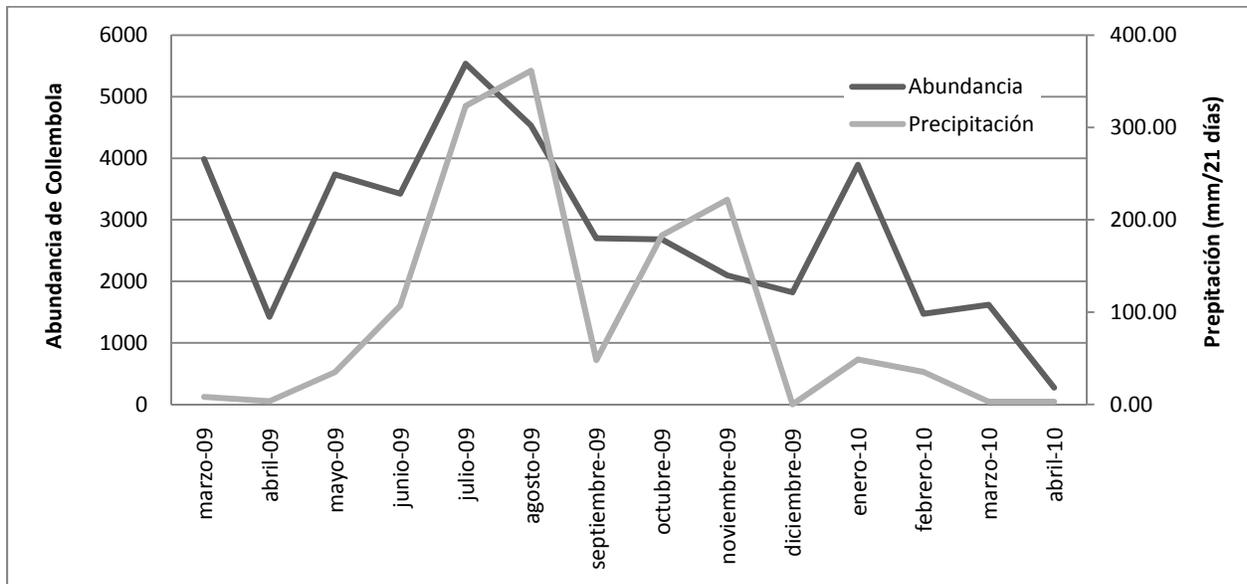


Figura 2. 5. Precipitación (milímetros acumulados 21 días antes de la fecha de muestreo) durante los 14 meses y abundancia (individuos/muestreo) del total de Collembola, colectados el bosque Miradero (Mayagüez-Puerto Rico).

Durante los meses de mayor precipitación se colectó el 58 % de los individuos. Los meses con más abundancia de Collembola fueron julio, agosto y marzo. Los meses con menor abundancia fueron febrero, marzo y abril del 2010 (Figuras 2.5 – 2.6).

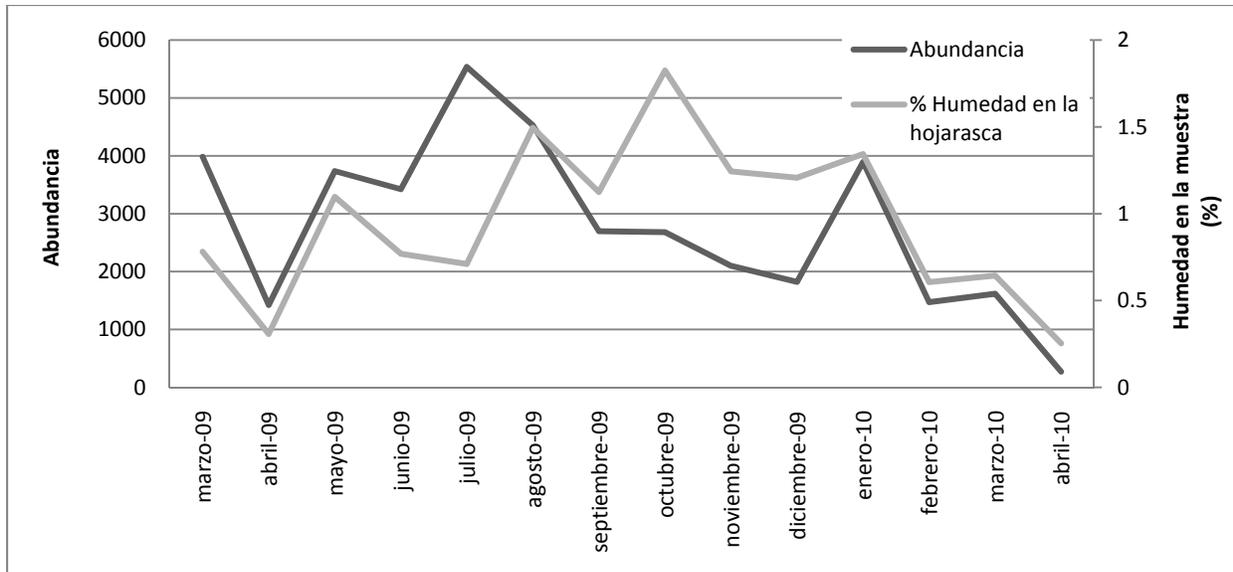


Figura 2. 6. Porcentaje de humedad dentro de las muestras de hojarasca (Ecuación 2.1) y abundancia (individuos/muestreo) del total de Collembola colectados desde marzo del 2009 a abril del 2010 en el bosque Miradero (Mayagüez-Puerto Rico).

Según el análisis de regresión la precipitación no tuvo efecto de sobre la abundancia en las poblaciones muestreadas. Sí se encontró relación entre la humedad en la muestra y la precipitación a uno, siete y veintiún días antes de la toma de muestra ( $p < 0.0001$ ). También se encontró una regresión positiva entre la humedad de la muestra y la abundancia y la diversidad de colémbolos ( $p < 0.0001$ ), sin embargo, el ajuste de los datos al modelo lineal fue mínima:  $R^2 = 0.08$  para la abundancia y  $R^2 = 0.12$  para la diversidad en la hojarasca, es decir, entre el 88 y 92 % de la variación de los datos se explica por otros factores.

Según el PCA, el componente 1 con el 45 % de la variabilidad representa la baja abundancia de colémbolos dentro de las trampas de caída (-0.93). El componente 2 con el 31 % de la variabilidad, está representado por la precipitación acumulada en 21 días (0.70) y en 7 días (0.57). El componente 3 mostró el 12% de la variabilidad, éste se explicaba por la baja abundancia en la hojarasca (-0.74) y en el contenido de agua de las muestras (-0.40). Finalmente, se graficaron los componentes 2 y 3. Los puntos fuera de la elipse representan muestras tomadas durante el mes de abril, éstas mostraron una alta acumulación de agua en la hojarasca aunque éste fue un mes con poca precipitación (Figura 2.7).

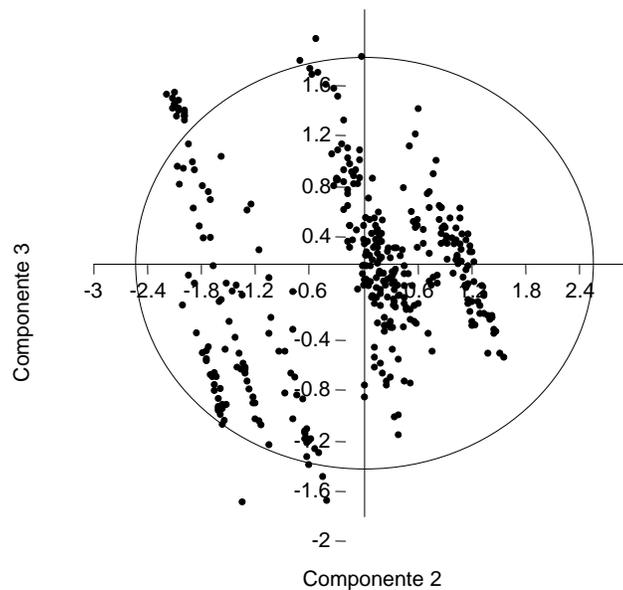


Figura 2. 7. Análisis de Componentes principales, teniendo en cuenta los componentes 2(var=31 %) que relaciona la precipitación acumulada y el componente 3 (12 %) las variables relacionadas son el contenido de agua de la muestra y la abundancia de colémbolos en la hojarasca. Cada punto representa un punto de muestreo. La elipse encierra el 95 % de la variación.

### 3.2. Variación entre los tipos de hojarasca

En los datos de abundancia en hojarasca se obtuvieron diferencias significativas entre tipo de hojarasca, la época climática ( $p > 0.0001$ ), y la interacción entre estas dos variables ( $p = 0.019$ ) en las trampas de caída se encontraron diferencias entre los tipos de hojarasca ( $p = 0.0036$ ). El sitio de muestreo no mostró diferencias significativas en cuanto a la abundancia ( $p = 0.344$ ) y diversidad de colémbolos ( $p = 0.5991$ ).

Tabla 2. 1 Medias de abundancia, diversidad de Collembola y humedad de la hojarasca observada durante 12 meses (seis para cada época) de las muestras colectadas en el bosque Miradero, Mayagüez-Puerto Rico.

	Hojarasca			Trampas de caída	
	Abundancia de Collembola	Diversidad de Collembola	% de humedad de la hojarasca	Abundancia de Collembola	Diversidad de Collembola
<b>Época seca marzo-mayo de 2009 y diciembre de 2009 – enero 2010</b>					
<i>Castilla elastica</i>	98.371	8.981	0.939	5.482	2.223
<i>Roystonea borinquena</i>	145.204	9.779	1.047	4.554	2.260
<i>Bambusa vulgaris</i>	46.241	5.500	0.686	2.741	1.668
<b>Epoca lluviosa(junio-noviembre de 2009</b>					
<i>Castilla elastica</i>	185.871	9.129	1.147	4.759	1.889
<i>Roystonea borinquena</i>	106.852	8.796	1.464	4.573	1.778
<i>Bambusa vulgaris</i>	83.074	6.851	0.973	3.166	1.407

Según la prueba de comparación, la hojarasca que más retiene humedad es la de *R. borinquena*, habiendo diferencias significativas entre los tres tipos de hojarasca. En cuanto a la abundancia, no se encontraron diferencias en las medias de *R. borinquena* y *C. elastica*, lo mismo sucedió para la diversidad (tabla 2.1) Por el contrario, la hojarasca de *B. vulgaris* fue significativamente menor tanto en abundancia y diversidad (tabla 2.1). La hojarasca de *C. elastica* alcanzó una mayor abundancia de colémbolos en el mes de julio (época lluviosa), la de *R. borinquena* en enero de 2010 (época seca) y la de *B.vulgaris* en junio y julio(época lluviosa) (Figura 2.8).

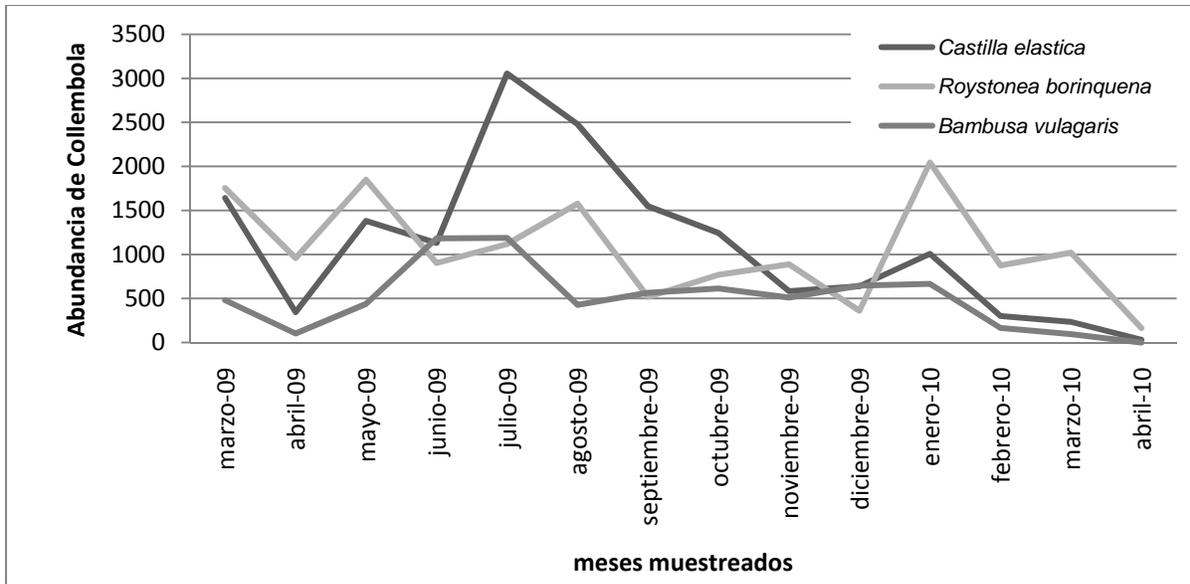


Figura 2. 8. Abundancia de Collembola (individuos/muestreo de hojarasca) de tres tipos de hojarasca en el bosque Miradero (Mayagüez-Puerto Rico) colectados desde marzo del 2009 a abril del 2010

La época climática tuvo influencia sobre la abundancia de colémbolos en todas las hojarascas, *C. elastica* y *B. vulgaris*, fueron mayores durante la época lluviosa. La hojarasca de *R. borinquena* conservó su abundancia a través de ambas épocas, siendo mayor durante la época seca (Figura 2.9).

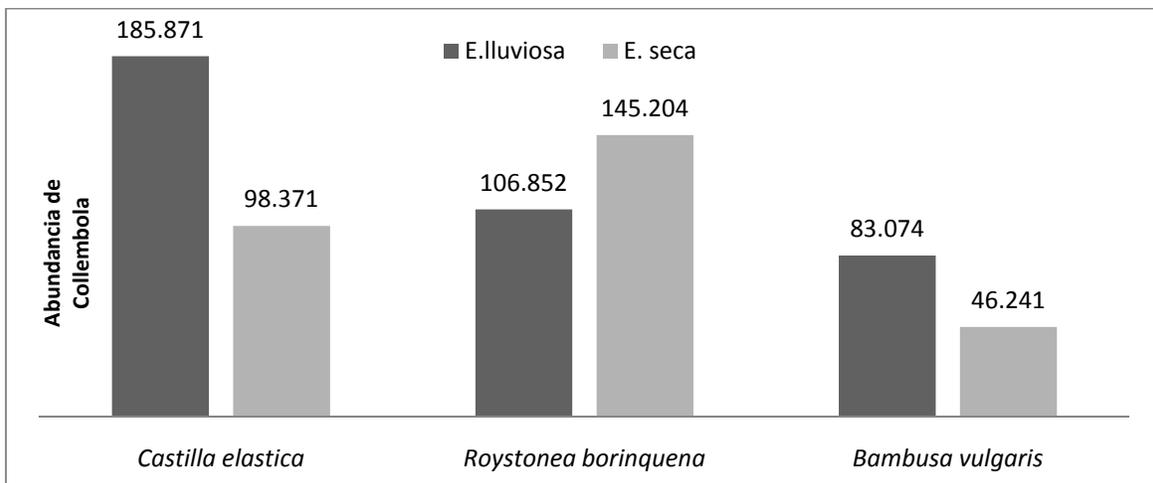


Figura 2. 9. Medias de la abundancia de las poblaciones de colémbolos (individuos/siete meses) colectados durante la época lluviosa (junio-noviembre de 2009) y seca (marzo-mayo de 2009 y diciembre de 2009 – enero 2010) en tres tipos de hojarasca muestreada en el bosque Miradero.

### 3.2.1. Diversidad

El ANOVA mostró diferencias de diversidad entre los tipos de hojarasca ( $p < 0.001$ ), La hojarasca *R. borinquena* y *C. elastica* tuvieron una media de 9 especies, mientras que *B. vulgaris* fue significativamente menor con 6. Las muestras más diversas se colectaron durante abril en hojarasca de y en enero y febrero de 2010 en hojarasca de *R. borinquena* (Figura 2.10). En trampas de caída no se encontraron diferencias.

Durante el muestreo se identificaron 35 especies en hojarasca y 27 en trampas de caída. La especie dominante en los tres tipos de hojarasca fue *I. minor* y para las trampas de caída *C. sabanus*. Los resultados para los índices de diversidad se encuentran en la tabla 2.2. Las especies que sólo se colectaron en muestras de hojarasca fueron: *Brachystomella agrosa*, *Neotropiella silvestrii*, *Mesaphorura yosii*, *Isotomodes* sp., *Folsomina onychiurina*, *Folsomides centralis*, *Lepidocyrtus griseolus*, *Lepidocyrtus* sp. y *Pseudosinella biunguiculata*.

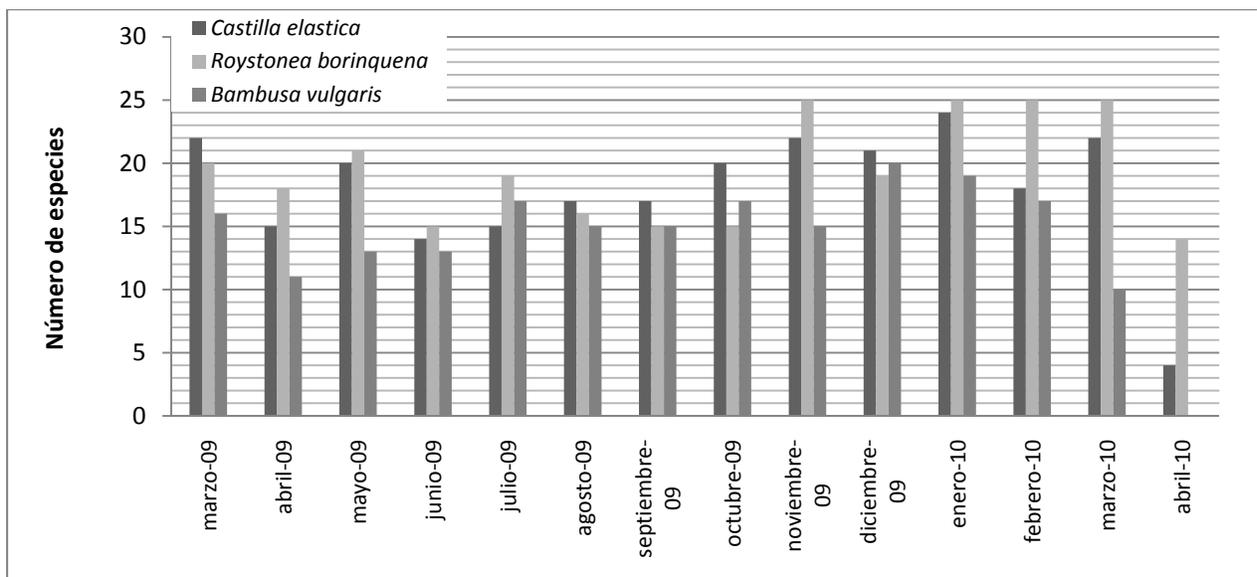


Figura 2. 10. Variación en el número de especies de colémbolos asociados a tres tipos de hojarasca en el bosque Miradero desde marzo de 2009 a abril del 2010 (En abril 2010 no se colectaron colémbolos en la hojarasca de *Bambusa vulgaris*).

Tabla 2. 2. Índices de Diversidad de los biotipos muestreados en el bosque Miradero.

	Biotipo						Total	
	<i>C. elastica</i>		<i>R. borinquena</i>		<i>B. vulgaris</i>		Hojarasca	T. caída
	Hojarasca	T. caída	Hojarasca	T. caída	Hojarasca	T. caída		
Abundancia	15381	661	14735	703	6964	347	<b>37080</b>	<b>1711</b>
Riqueza específica (S)	34	24	34	19	32	18	<b>35</b>	<b>26</b>
Margalef	3.423	3.542	3.438	2.746	3.503	3.358	<b>3.103</b>	<b>3.358</b>
Dominancia (D)	0.340	0.204	0.285	0.123	0.372	0.150	<b>0.269</b>	<b>0.143</b>
Simpson (1-D)	0.659	0.796	0.714	0.876	0.627	0.849	<b>0.731</b>	<b>0.856</b>
Shannon-Wiener (H)	1.897	2.153	2.155	2.341	1.736	2.203	<b>1.905</b>	<b>2.378</b>

Las curvas de acumulación de especies alcanzaron la asíntota y la riqueza observada es cercana a la esperada según las curvas de Chao2 y Jackknife de primer y segundo orden (Figuras 2.11 y 2.12).

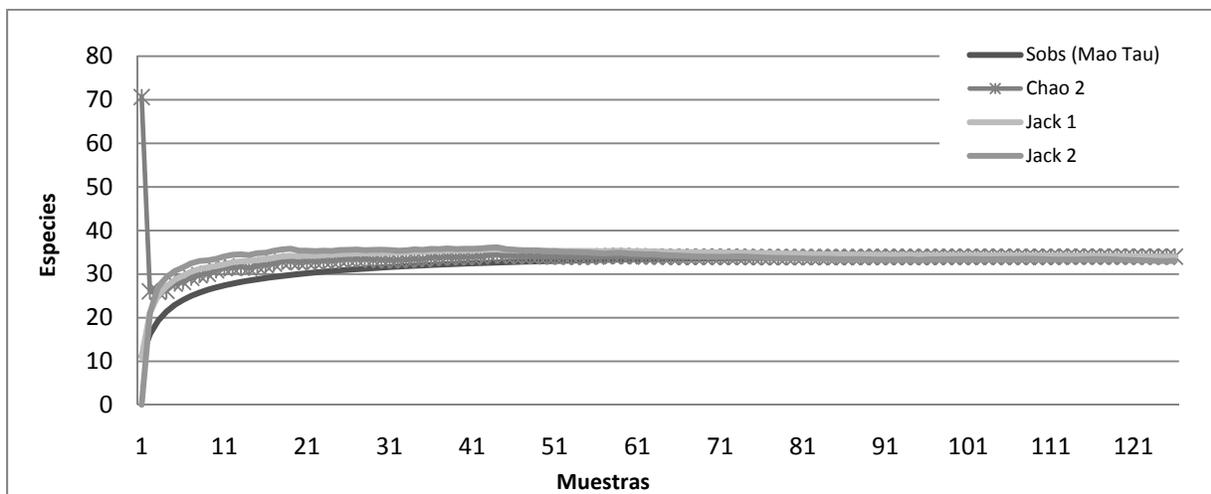


Figura 2. 11. Curva de acumulación de especies para 126 muestras tomadas de marzo de 2009 a abril de 2010 en tres tipos de hojarasca en el bosque Miradero, Mayagüez Puerto Rico.

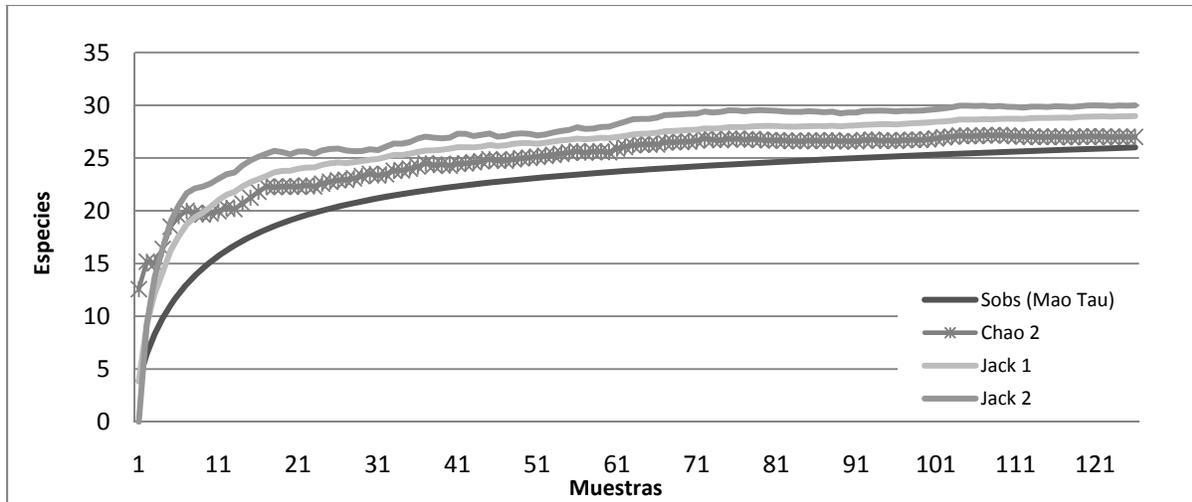


Figura 2. 12. Curva de acumulación de especies para 126 muestras tomadas de marzo de 2009 a abril de 2010 en trampas de caída instaladas en el bosque Miradero, Mayagüez Puerto Rico.

Al comparar la riqueza observada de los tres tipos de hojarasca, la diversidad en *B. vulgaris* es menor que en las otras dos, mientras que la diversidad de *C. elastica* y *R. borinquena* no muestran diferencias (Figura 2.13). Dentro de las muestras de hojarasca se colectaron 34 especies para *C. elastica* y *R. borinquena* y 32 para *B. vulgaris* (Apéndice 1).

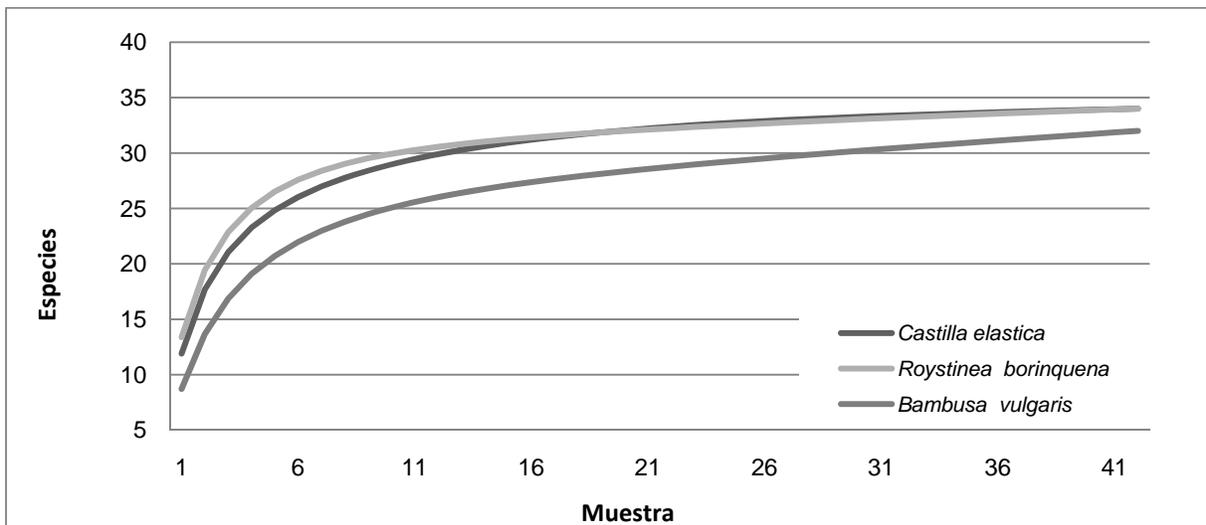


Figura 2.13. Comparación de la riqueza de los tres tipos de hojarasca muestreadas en el bosque Miradero. La curva se calcula a partir del estimador de Mao-Tao.

En las trampas de caída, la riqueza fue mayor para *C. elastica* (Figura 2.14). En estas trampas se colectaron 24 especies asociadas a *C. elastica*, 19 a *R. borinquena* y 18 a *B. vulgaris* (Apéndice 1).

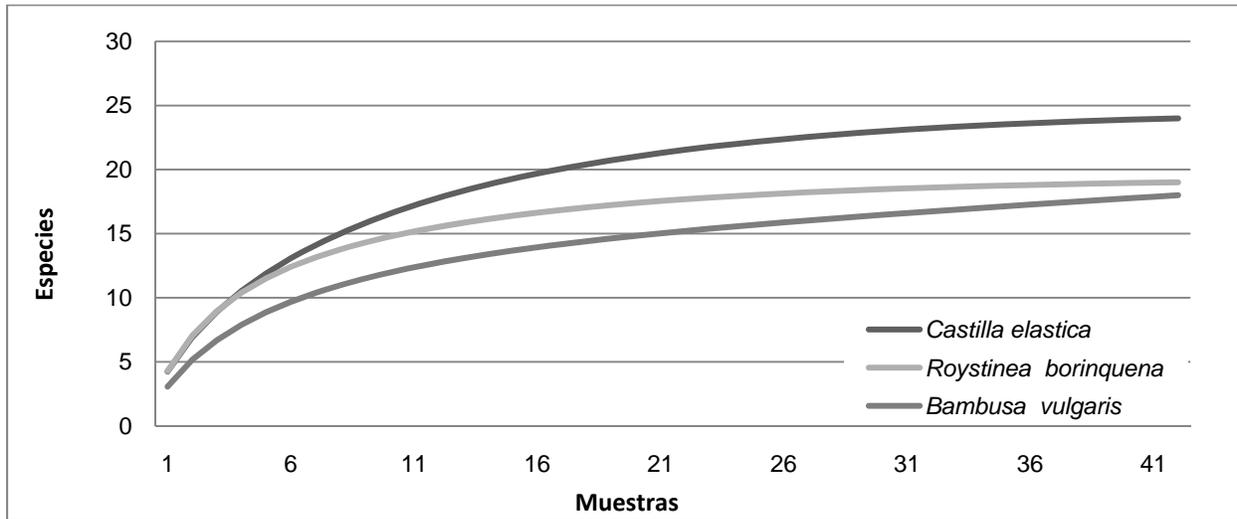


Figura 2. 14. Comparación de la riqueza en la superficie (trampas de caída) de los tres tipos de hojarasca muestreadas en el bosque Miradero. La curva se calcula a partir del estimador de Mao-Tao.

### 3.2.2. Abundancia

En las trampas de caída instaladas en *C. elastica* y *B. vulgaris* la especie dominante fue *C. sabanus* (36 y 27 %) seguida de *L. dispar* (24 y 21 %), mientras que para *R. borinquena* la especie dominante fue *L. dispar* con 21% seguida por *C. sabanus* con el 16%. *Ptehothix borincana* no se colectó en trampas de caída de *C. elastica*, pero en *R. borinquena* representó el 0.3% de la población y el 4% para las muestras de *B. vulgaris*. Por otra parte, *Isotomurus* sp. no se colectó en esta última y representó el 1% de las poblaciones de los otros biotipos (Figura 2.15).

Dentro de las muestras de hojarasca, la especie dominante fue *I. minor* con el 55.6% del total. Las especies que siguen en dominancia para *C. elastica* fueron *Onychiurus* sp. (8%), *B. agrosa* (6%) y *P. parvulus* (3%). Para *R. borinquena*, las especies fueron *B. agrosa*, *C. inaequalis* y *N. murinus* con el 4% cada una.

Para *B. vulgaris* las especies más abundantes fueron *Onychiurus* sp. (7 %), *F. onychiurina* (6 %) y *B. agrosa* (4 %). En *R. borinquena* 19 especies muestran una representación mayor al 1 %, en *C. elastica* 14 y en *B. vulgaris* 11. Las especies que no se colectaron en todas las hojarascas son especies raras con menos del 0.5 %, con excepción de *L. griseolus* que en *R. borinquena* representa el 1 % de la población, 0.4 % en *C. elastica* y en *B. vulgaris* no se colectó (Figura 2. 16).

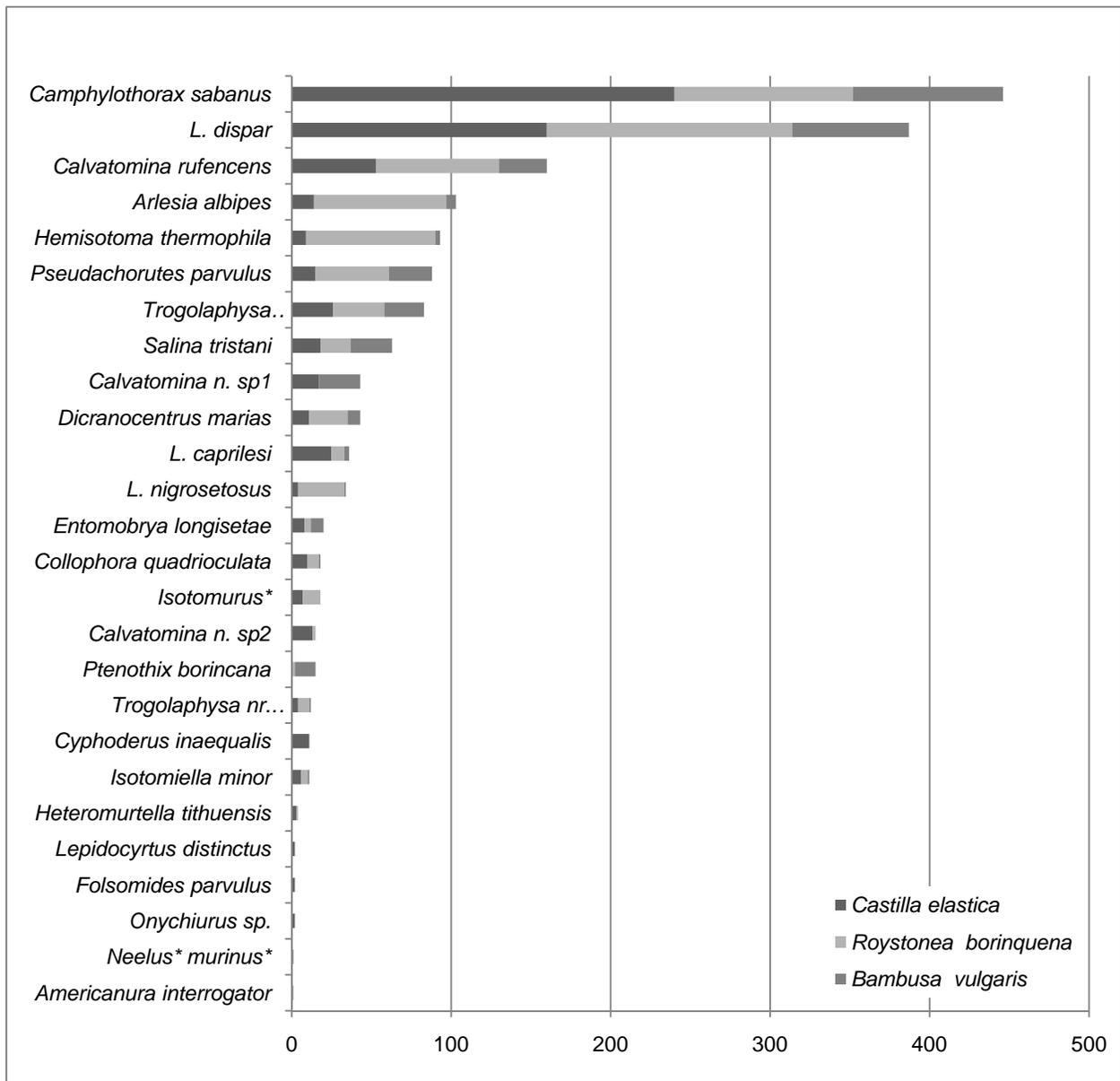


Figura 2.15. Abundancia (número de individuos/especie, durante cada fecha de muestreo) de 27 especies colectadas en trampas de caída en el bosque Miradero (Mayagüez, Puerto Rico) desde marzo de 2009 a abril de 2010. Los colores de las barras representan las tres hojarascas muestreadas (\* Nuevos reportes para Puerto Rico).



Figura 2.16. Abundancia (número de individuos/especie, durante cada fecha de muestreo) de 35 especies colectadas en hojarasca del bosque Miradero (Mayagüez, Puerto Rico) desde marzo de 2009 a abril de 2010. Los colores de las borras representan las tres hojarascas muestreadas (\* Nuevos reportes para Puerto Rico).

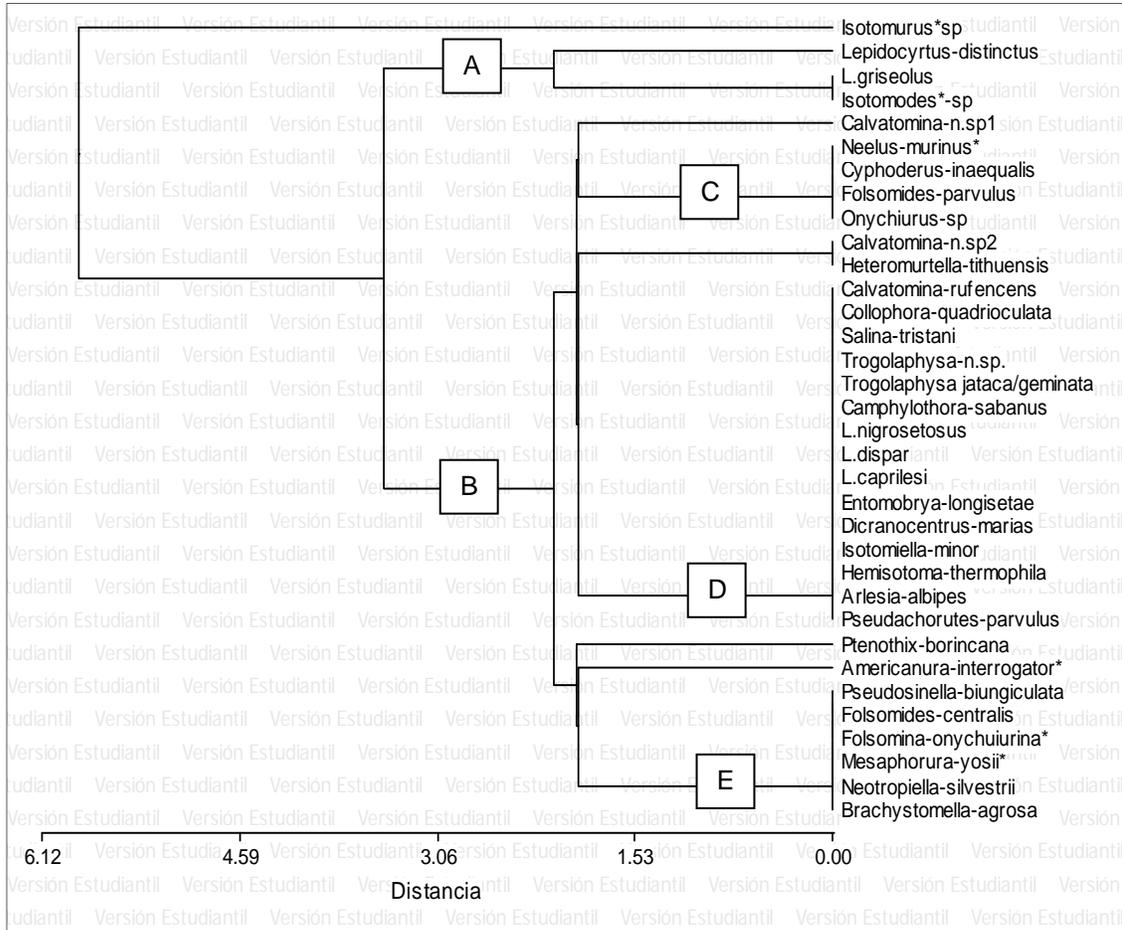


Figura 2.17. Análisis de conglomerados usando el método de encadenamiento simple y distancia Euclídea, basado en la presencia/ausencia de las 35 especies de Collembola colectadas desde marzo de 2009 a abril de 2010 en el bosque Miradero (Mayagüez, Puerto Rico). Correlación = 0.956.

En el análisis de conglomerados (Figura 2.17), el grupo A reúne las especies que no se colectaron en *B. vulgaris* y el grupo B reúne las que están presentes en los tres tipos de hojarasca. En el grupo C están las especies que no se colectaron en trampas de caída de *R. borinquena* y *B. vulgaris*. El grupo D muestra las especies que se colectaron en todos los biotipos y el grupo E las especies que no se colectaron en trampas de caída.

## 4. Discusión

### 4.1. Precipitación vs. diversidad y abundancia

Los meses de mayor abundancia de colémbolos coinciden con los de mayor precipitación; sin embargo, no se encontró relación significativa entre estas dos variables. Esto quiere decir que del 88 al 92 % de la variación en la abundancia y la diversidad se debe a otros factores y no a la variación de la humedad, se establece que las poblaciones de colémbolos de este bosque dependen más de las condiciones microclimáticas que de otros factores ambientales, como se ha señalado en estudios anteriores (Kuznetsova, 2006). Aunque hay una estación seca, la misma es breve y nunca falta humedad en el suelo. Bajo estas condiciones los factores climáticos no son determinantes para la distribución de los animales en el suelo (Arbea y Blasco-Zumeta, 2000).

Teniendo en cuenta que los dos factores que más influyen en las comunidades edáficas son la disponibilidad de nutrientes y la diversidad de microhábitats (Wardle, 2002; Wardle *et al.*, 2004), el crecimiento de las poblaciones de colémbolos durante las épocas de mayor precipitación (julio y agosto) se relaciona con la mayor cantidad de hojarasca y el aumento de la humedad relativa, lo que favorece la proliferación de los microorganismos que son su principal fuente de alimento (Ponge *et al.*, 1986; Cassagne *et al.*, 2003).

La diversidad de Collembola osciló entre 15 a 30 especies a largo de los 14 muestreos. Aunque existen diferencias entre las fechas de muestreo, se nota que hay una comunidad establecida de colémbolos en el bosque. Esto es atribuible a sus comunidades de plantas en avanzado estado de sucesión; a las poblaciones de hongos, que tienden a ser altas en sistemas maduros y a la biomasa de bacterias, que tiende a permanecer estable en estados avanzados de sucesión (DeVries *et al.*, 2007). Además, los artrópodos alcanzan una mayor diversidad y abundancia en ecosistemas

con menos perturbación como bosques, selvas y praderas permanentes (Addison *et al.*, 2003a).

La especie dominante en las colectas en hojarasca durante el muestreo fue *I. minor*, una forma hemiedáfica que suele encontrarse en altas densidades en los suelos del bosque (Hasegawa, 2002). Esta especie es común en las etapas avanzadas de sucesión vegetal (Rusek 1998 y Villalobos 1990). Otras especies identificadas en el bosque de Miradero como *D. marias*, *Onychiurus* sp., *F. onychiurina*, *I. minor* y *M. yosii*, son típicas de las capas orgánicas del bosque y representan un alto porcentaje de las especies dentro de las poblaciones (Hasegawa, 2002; Guillen *et al.*, 2006).

La familia más abundante fue Isotomidae con el 63% de los especímenes, seguido por Entomobryidae con el 11%. Este número difiere de lo que se obtuvo en el Yunque, donde el grupo más abundante fue Entomobryidae con el 69% de las colectas (Pfeiffer, 1996). Sin embargo, la distribución de especies dominantes varía dada la diferencia entre estos ecosistemas (Yunque - bosque primario vs. Miradero - bosque secundario).

## **4.2. Diferencias entre las hojarasca predominantes del bosque**

### **4.2.1. Abundancia**

Aunque enero no es un mes típicamente lluvioso, la abundancia de los colémbolos dentro de la hojarasca de *R. borinquena* aumentó durante dicho periodo. Esta hojarasca conservó mejor la humedad por estar compuesta de hojas grandes, espigas, flores y semillas, que se descomponen lentamente, proporcionando un ambiente estable para los microorganismos y artrópodos del suelo. Gracias a estas condiciones, las comunidades bien pueden crecer o haber migración de comunidades cercanas, dado que el resto del bosque se encuentra seco.

Contrario a lo que ocurre con la hojarasca de *R. borinquena*, la de *C. elastica*, no es tan duradera pero está disponible durante todo el año, ya que no sólo es aportada

por los arboles maduros sino también por las plántulas que germinan en los espacios abiertos del bosque, lo que proporciona alimento y refugio. La abundancia de colémbolos en esta hojarasca se vio favorecida durante los meses de julio y agosto (época lluviosa), cuando se colectó el 35 % de los individuos.

La hojarasca de *B. vulgaris* presentó la menor abundancia y diversidad de colémbolos. Esta planta se caracteriza por limitar el desarrollo de otras especies vegetales (alelopática), reduciendo la diversidad de organismos que pueden establecerse en este sustrato. Además, es un ambiente que ofrece pocos refugios, haciendo a los colémbolos una presa fácil.

#### 4.2.2. Diversidad

Como éste es el primer estudio de este tipo en Puerto Rico no es posible comparar la diversidad del bosque Miradero con la de otros ecosistemas en la Isla. En este muestreo se identificaron 35 especies y un índice de diversidad de Shannon  $(H)=1.95$ . En un bosque secundario de Costa Rica, se identificaron 24 especies y  $H=2.74$  pero este bosque era más maduro que el muestreado en Mayagüez.

Las hojarascas de *C. elastica* y *R. borinquena* no mostraron diferencias estadísticas en su abundancia y diversidad, aunque el índice de diversidad  $(H)$  señala que el ambiente más diverso es el de *R. borinquena* para ambos tipos de muestreo. Al observar la abundancia de cada especie dentro de cada tipo de hojarasca se ve una distribución más uniforme de las especies en las muestras de *R. borinquena*. Por ejemplo *L. dispar* puede ser más abundante por la cantidad de refugios, *B. agrosa* porque encuentra mayor variedad de hongos para alimentarse y *C. inaequalis* porque encuentra más poblaciones de hormigas o termitas con las cuales asociarse.

La curva de acumulación de especies, mostró que con el esfuerzo realizado se cubrió toda la diversidad de la zona. La hojarasca que alcanzó más rápido la asíntota fue la *R. borinquena* (20 muestras), confirmando que éste es el mejor habitáculo para

los colémbolos. Las curvas en trampas de caída alcanzaron la asíntota sobre las 41 muestras; además, dichas muestras no suministraron información adicional, es decir, que las 27 especies identificadas en las trampas de caída, ya habían sido identificadas dentro de la hojarasca procesada en los embudos de Berlese. (Apéndice 4).

Estas diferencias dentro de los tipos de hojarasca confirman que la cantidad y profundidad de hojarasca y de la materia orgánica influyen sobre la distribución, diversidad y abundancia de las comunidades de Collembola (Cutz-Pool *et al.*, 2007; Poole 1964; Petersen y Luxton, 1982).

## Conclusiones

Se identificaron 35 especies, siendo las más comunes *I. minor* en los tres tipos de hojarasca y *C. sabanus* para las trampas de caída. Los nuevos reportes para la isla son *Americanura interrogator*, *Folsomina onychiurina*, *Isotomodes* sp., *Isotomurus* sp., *Lepidocyrtus* sp., *Mesaphorura yosii* y *Neelus murinus*.

Con el esfuerzo de muestreo realizado en este trabajo, se cubrió la totalidad de las especies de la zona. Para un muestreo efectivo, es conveniente elegir un tipo de hojarasca mixta, que conserve mejor la humedad. Para cubrir toda la diversidad de un sistema similar al evaluado, se necesitan al menos 30 muestras en la hojarasca más rica. En otro tipo de hojarasca se necesitaran más de 40 muestras.

No se encontró relación directa entre la precipitación y la diversidad de las comunidades de colémbolos. Sí se encontró relación entre la humedad de la hojarasca y la diversidad y abundancia, confirmando que las poblaciones establecidas, por lo general, dependen de condiciones microambientales.

Del total de los individuos, el 42 % se colectó en la hojarasca de *C. elastica*, el 39 % en *R. borinquena* y el 19 % en *B. vulgaris*. Esta diferencia se debe a las características de cada hojarasca, su capacidad de retener humedad, de ser soporte para microorganismos y de proveer refugios contra los depredadores.

## Recomendaciones

Para continuar con el inventario de los colémbolos de Puerto Rico es conveniente evaluar las poblaciones de bosques primarios y de lugares con otras variaciones microambientales, tales como la vegetación, las cuevas y orilla del mar. También es importante incluir otras variables como la humedad, pH y temperatura del suelo.

Para este tipo de estudios de diversidad, el método más efectivo para el muestreo de colémbolos fue la colecta de hojarasca procesada usando embudos de Berlese-Tullgren. No se recomienda el uso de trampas de caída, ya que no suministraron información adicional y éstas se pierden fácilmente por la lluvia o por efecto de animales más grandes.

Para un ecosistema maduro, no es indispensable que la época de muestreo coincida con la época de lluvia. Sin embargo, se recomienda tomar muestras de hojarasca con alta humedad, ya que este factor sí está relacionado con la diversidad y abundancia que pueden alcanzar las comunidades.

La mayor cantidad de especímenes inmaduros se encontró durante la época lluviosa. Aunque este comportamiento parece variar entre las especies (Apéndice 3), siempre hubo presencia de organismos adultos, así que la cantidad de individuos adultos e inmaduros no es una condición limitante al momento de hacer el muestreo.

## Bibliografía

- Aide, T.M., J.K., Zimmerman, M., Rosario, y H. Marcano. 1996. Forest recovery in abandoned cattle pastures along an elevational gradient in northeastern Puerto Rico. *Forest Ecology and Management*. 28: 537–548.
- Addison, J.A., J.A., Trofymow, y V.G. Marshall. 2003a. Abundance, species diversity, and community structure of Collembola in successional coastal temperate forests on Vancouver Island, Canada. *Applied Soil Ecology* 24: 233–246.
- Addison, J.A., J.A., Trofymow, y V.G. Marshall. 2003b. Functional role of Collembola in successional coastal temperate forests on Vancouver Island Canada. *Applied Soil Ecology*. 24: 247–261.
- André, H.M., Noti M.I., y P. Lebrum. 1994. The soil fauna: the other last biotic frontier. *Biodiversity and Conservation* 3:45–56.
- Arbea, J.I., y J. Blasco-Zumeta. 2000. Ecología de los Colémbolos (Hexapoda, Collembola) en Los Monegros (Zaragoza, España. Conferencia presentada en el IX Congreso Ibérico de Entomología, Zaragoza, julio 2000.
- Arbea, J.I., y Jordana R. 1990. Ecología de las poblaciones de lo colémbolos edáficos en un prado y un pinar de la región submediterránea de Navarra. *Mediterranea, Serie de Estudios Biologicos* 12: 139-148.
- Bellinger, P.F., K.A., Christiansen, y F. Janssens. 2010 (1996-2010). Checklist of the Collembola of the World. <http://www.collembola.org>.
- Bellini, B. C., y D. ZEPPELINI. 2004. First records of Collembola (Ellipura) from the State of Paraíba, Northeastern Brazil. *Revista Brasileira de entomologia* [online]. (48) 4: 587-588.
- Bellini, B. C., y D. ZEPPELINI. 2009. Registros da fauna de Collembola (Arthropoda, Hexapoda) no Estado da Paraíba, Brasil. *Revista Brasileira de entomologia*. [online]. (53)3:386-390.
- Birdsey, R.A., y P.L. Weaver. 1987. Forest area trends in Puerto Rico. USDA Forest Service Research Note SO-331pp.
- Brandeis, T., E.H., Helmer, y S.N. Oswalt. 2008. El Estado de los Bosques de Puerto Rico 2003, Departamento de Agricultura de los Estados Unidos Servicio Forestal Estación de Investigación del Sur Boletín de Recursos SRS–119 (Español). 90pp.
- Cabral, R.S. 1994. Avaliação qualitativa e quantitativa de Collembola (Insecta) em quaticas de *Coffea arabica* L. Tesis de Maestría, Universidad Federal de Viçosa, Brasil. 139 pp.

- Cassagnau, P., y J. G. Palacios-Vargas. 1983. Contribution á l'étude du Collemboles Neanurinae d'Amérique Latine. *Travaux Lab. Ecobiologie des Arthropodes Edaphiques*. Toulouse, 4(1):1-16pp+7pls.
- Cassagne, N., C., Gers, y T. Gauquelin. 2003. Relationships between Collembola, soil chemistry and humus types in forest stands (France). *Biology and Fertility Soils* 37:355–361.
- Cassagne, N., T., Gauquelin, M., Bal-Serinc, y C. Gersb. 2006. Endemic Collembola, privileged bioindicators of forest management. *Pedobiologia* 127-134.
- Colwell, R.K. 2009. EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples. Version 8.2. User's Guide and application published at: <http://purl.oclc.org/estimates>.
- Cutz-Pool, L. Q., A., García-Gómez, y J. G. Palacios-Vargas. 2007. Primer estudio de colémbolos (Hexapoda: Collembola) de La Hoya de las Guaguas, en el estado de San Luis Potosí, México. *Dugesiana* 14(2): 47-51.
- Chauvat, M., A.S., Zaitsev, y V. Wolters. 2003. Successional changes of Collembola and soil microbiota during forest rotation. *Oecologia* 137: 269–276.
- Christiansen, K. A., y P. Bellinger. 1980. The Collembola of North America, north of the Rio Grande : a taxonomic analysis, 2<sup>nd</sup> ed. Grinnell College, Grinnell, Iowa. 4 volumes, 1518 pp.
- Deharveng, L. 1996. Soil Collembola diversity, endemism, and reforestation: a case study in the Pyrenees (France). *Conservation Biology* 10: 74–84.
- Deharveng, L. 2004. Recent advances in Collembola systematics. *Pedobiologia* 48:415-433.
- De Vries, F., J., Bloem, N., van Eekeren, L., Brussaard, y E. Hoffland. 2007. Fungal biomass in pastures increases with age and reduced N input. *Soil Biology and Biochemistry*. 39, 1620–1630.
- Diaz, A., y Najt, J. 1995. Collemboles (Insecta) des Andes Venezueliennes. *Bull. Mus. natl. Hist. nat.* 16:417435.
- Ferreira, C.S., M.M., Da Gama, J.P., Sousa, y T.M. Vasconcelos. 1994. Comparative study of the Collembola population from a *Pinus pinaster* Aitom forest and *Eucalyptus aquatica* Labill. Plantation, *Cienc. Biol. Ecol. Syst.*, (Portugal), 14 (1/2):19-34.
- Fjellberg, A. 1998. The Collembola of Fennoscandinavia and Denmark, Part I, Poduromorpha. *Fauna Entomologica Scandinavica*, 35:1-184.
- Folsom, J. W. 1927. Insects of the Subclass Apterygota from Central America and the West Indies. *Proceedings U.S. National Museum*, 72:1-16.

- Franco, P.A., P.L., Weaver, y S. Eggen-McIntosh. 1997. Forest resources of Puerto Rico, 1990. Resource Bulletin SRS-22. USDA Forest Service, Southern Research Station.
- Greenslade, P. 1991. Collembola (Springtails). The Insects of Australia: a textbook for students research workers/ the division of Entomology, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization. Volume II, Chap 11. Cornell University Press, Ithaca, New York 2<sup>nd</sup> ed. Pp.252-264.
- Greenslade, P. 1999: Revision of Folsomina Denis (Collembola: Isotomidae) with a description of a new species from Southeast Asia and the Pacific 62 quati and comments on ecology. *The Raffles Bulletin of Zoology*. 47(1) 1-15.
- Guariguata, M., y R. Ostertag. 2001. Neotropical Secondary Forest Succession: Changes in Structural and Functional Characteristics. *Forest Ecology and Management* 148; 185-206
- Guillén, C., F., Soto-Adames, y M. Springer. 2006. Diversidad y Abundancia de Colémbolos Edáficos en un Bosque Primario, un Bosque Secundario y un Cafetal en Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 30(2): 7-17.
- Hagvar, S. 1982. Collembola in Norwegian coniferous forest soils I. Relations to plant communities and soil fertility. *Pedobiologia* 24: 255–296.
- Hammer, Ø., D.A.T., Harper, y P. D. Ryan. 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica* 4(1): 9pp. [http://palaeo-electronica.org/2001\\_1/past/issue1\\_01.htm](http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm)
- Hasegawa, M. 2002. The response of collembolan community to the amount and composition of organic matter of a forest floor. *Pedobiologia* 46, 353–364.
- Hasegawa, M., K., Fukuyama, S., Makino, I., Okochi, H., Goto, T., Mizoguchi, T., Sakata, y H. Tanaka. 2006. Collembolan community dynamics during deciduous forests regeneration in Japan *Pedobiologia* 50, 117-126.
- Hopkin, S.P. 1997. Biology of springtails (Insecta: Collembola). Oxford University Press, Oxford. 333 pp.
- Infostat. 2008. Grupo Infostat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba. Argentina.
- Janssen, F. 2009. Checklist of the Collembola: Taxonomic speciation rate <http://www.collembola.org/doc/species.htm>
- Krebs, C. J. 1999. *Ecological methodology*. Addison – Welse Educational Publisher, New York. 654 pp.
- Kuznetsova, N.A. 2006. Long-term dynamics of Collembola in two contrasting ecosystems. *Pedobiologia* 50, 157—164.

- Magurran, A.E. 1998. *Ecological Diversity and its Measurement*. Cambridge University Press, Princeton, New Jersey, 179 pp.
- Martínez-Hernández, N.J. 2007. Composición y estructura de la fauna de escarabajos (Insecta: Coleoptera) en los remanentes de bosque del Recinto Universitario de Mayagüez, Puerto Rico, con énfasis en la superfamilia Scarabaeoidea. Tesis de Maestría Universidad de Puerto Rico, Mayagüez, Puerto Rico.
- Mari Mutt, J. A. 1976. The genera of Collembola (Insecta) in Puerto Rico: keys, diagnoses, and general comments. *Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico*, 60(1): 113-128.
- Mari Mutt, J. A. 1977. Nine new records of Collembola (Insecta) from Puerto Rico and the first record of the order from Tortola (British West Indies). *Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico*, 61:405-408.
- Mari Mutt, J. A. 1979. A revision of the genus *Dicranocentrus* Schött (Insecta: Collembola: Entomobryidae). *University of Puerto Rico, Agricultural Experiment Station, Bulletin* 259, 79 pp.
- Mari Mutt, 1981. New genus, a new species, and complemente to the description of seven Neotropical *Dicranocentrus* (Collembols: Entomobryidae: Orchesellinae). *Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico*, 65: 90-107.
- Mari Mutt, J. A. 1982. Observaciones preliminares sobre la distribución geográfica de los colémbolos de Puerto Rico (Insecta). *Caribbean Journal of Science*, 18:29-34.
- Mari Mutt, J. A. 1984. Una nueva especie de *Oncopodura* de Puerto Rico (Collembola: Oncopoduridae). *Caribbean Journal of Science*, 20: 163-167.
- Mari Mutt, J. A. 1985a. A new species of *Heteromurus* from Puerto Rico (Collembola: Entomobryidae). *Entomological News*, 96: 145-147.
- Mari Mutt, J. A. 1985b. Two new species of *Dicranocentrus* from Puerto Rico and the Dominican Republic (Collembola: Entomobryidae). *Caribbean Journal of Science*, 21:105-110.
- Mari Mutt, J. A. 1986. Puerto Rican species of *Lepidocyrtus* and *Pseudosinella* (Collembola: Entomobryidae). *Caribbean Journal of Science*, 22: 1-48.
- Mari Mutt, J. A. 1987. Puerto Rican species of Paronellidae (Insecta: Collembola). *Caribbean Journal of Science*, 23: 400-416.
- Mari Mutt, J. A. 1988. Two new species of *Lepidocyrtus* from Puerto Rico and descriptive notes for *L. aquati* Mari Mutt (Collembola: Entomobryidae). *Caribbean Journal of Science*, 24: 197-200.

- Mari Mutt, J.A., y P.F. Bellinger. 1990. A catalog of the neotropical Collembola including nearctic areas of México, flora and fauna handbook N° 5 Sandhill Crane Press, Gainesville, Florida, USA. 237 p.
- Mari Mutt, J.A., P.F., Bellinger, y F. Janssens. 1997. Checklist of the Collembola: Supplement to the Catalog of the Neotropical Collembola – May 1996 to 2009. <http://www.collembola.org/publicat/neotrcat.htm>
- Noble-Nesbitt, J. 1963. A site of water and ionic exchange with the medium in *Podura quatica* L. (Collembola, Isotomidae). *Journal of Experimental Biology*, 40: 701-711.
- Palacios-Vargas, J.G. 2000. Los Collembola (Hexapoda-Entognatha) de Jalisco, Mexico. *Dugesiana* 7(1): 23-36.
- Palacios-Vargas, J. G., y M. Díaz. 1995. Survey of the Onychiuridae (Collembola) from Neotropical Region. *Anales del Instituto de Biología. Serie. Zoología. UNAM.* 66(2):165-180.
- Palacios-Vargas, J.G., G., Castaño-Meneses, y B.E. Mejía-Recamier. 2000. 12 Collembola., Biodiversidad, Taxonomía y Biogeografía de Artrópodos de México: Hacia una Síntesis de su Conocimiento, Volumen II, III Grupos de Hexapoda, En Llorente Bousquets, J.E., González Soriano, E. & Papavero, N. México, 2000, p.249-264.
- Palacios-Vargas, J.G., J.C., Simon Benito, y J. Panigua Nucamendi. 2009. Especies nuevas de Americanura (Collembola: Neanuridae) de América Latina. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 80: 431-443.
- Palmer, M. W. 1990. The estimation of species richness by extrapolation. *Ecology*, 71: 1195-1198.
- Petersen, H., y M. Luxton. 1982. A comparative analysis of soil fauna populations and their role in decomposition processes. *Oikos* 39: 287–388.
- Pfeiffer, W.J. 1996. Litter Invertebrates. En: Reagan, D.P y R.B. Waide (Ed) *The Food Web of a Tropical Rain Forest*, pp.138-147.
- Ponge, J.F., G., Vannier, P., Arpin, y J.F. David. 1986 Caractérisation des humus et des litières par la faune du sol intéreît sylvicole. *Revue Forestière Française* 38, 509–516.
- Poole T.B. 1964. A study of the distribution of soil Collembola in three small areas in a coniferous woodland, *Pedobiologia* 4, 35–42.
- Rusek, J. 1998. Biodiversity of Collembola and their functional role in the ecosystem. *Biodiversity and Conservation.* 7, 1207–1219.
- Rusek, J. 2002. Do we have *Cryptopygus* representatives (Collembola: Isotomidae) in Europe?. *Pedobiologia* 46: 320-310.

- Samalot-Roque, B. 2006. Diversidad de Collembola (Hexapoda) Asociados a *Rhizophora mangle* en manglares de Puerto Rico. Tesis de maestría Universidad de Puerto Rico, Mayagüez, Puerto Rico.
- Soto-Adames, F. N. 1988a. Nuevos dicirtómidos de Puerto Rico (Insecta: Collembola:Dicirtomidae). *Caribbean Journal of Science*, 24: 60-70.
- Soto-Adames, F. N. 1988b. Revisión de la familia Actaletidae Börner, 1902 (Insecta:Collembola). *Caribbean Journal of Science*, 24: 161-196.
- Soto-Adames, F. N. 2000. Phylogeny of Neotropical *Lepidocyrtus* (Collembola: Entomobryidae): first assessment of patterns of speciation in Puerto Rico and phylogenetic relevance of some subgeneric diagnostic characters. *Systematic Entomology*, 25: 485-502.
- Soto-Adames, F. N. 2002. Four new species and new records of springtails (Hexapoda:Collembola) from the U.S. Virgin Islands and Puerto Rico, with notes on the chaetotaxy of *Metasinella* and *Seira*. *Caribbean Journal of Science*, 38:77-105.
- Soto-Adames, F.N., J.-A., Barra, K., Christiansen, y R. Jordana. 2008. Suprageneric Classification of Collembola Entomobryomorpha., *Annals of the Entomological Society of America*, 101 (3): 501-513.
- Takeda, H. 1987. Dynamics and maintenance of collembolan community structure in a forest soil ecosystem. *Researches on Population Ecology* 29: 291–346.
- Verhoef, H.A. 1981. Water balance in Collembola and its relation to habitat selection; water content, haemolymph osmotic pressure and transpiration during an instar. *Journal of Insect Physiology*. 27: 755–760.
- Villalobos, F. 1990. Collembola del Noreste de México. *Folia Entomológica Mexicana*. 80 5-29pp.
- Wadsworth, F.H. 1950. Notes on the climax forests of Puerto Rico and their destruction and conservation prior to 1990. *Caribbean. Forester*. 11: 38–56.
- Wallwork, J.1970. Ecology of soil Animals. Ed. Mc Graw-Hill. London, 283p.
- Wardle, D.A. 2002. Communities and Ecosystems Linking Aboveground and Belowground Components. Princeton University Press, Princeton, 392 pp.
- Wardle, D.A., R.D., Bardgett, J.N., Klironomos, H., Seta"la", W.H., van der Putten, y D.H. Wall, D.H. 2004. Ecological linkages between aboveground and belowground biota. *Science* 304, 1629–1633.
- Wolcott, G. N. 1950. The insects of Puerto Rico. *Journal of Agriculture of University of the Puerto Rico*. 32:1-975.

Wray, D.L. 1953. New Collembola from Puerto Rico, *Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico* 37 (2):140-150.

Zaitsev, A.S., Chauvat, M., Pflug, A., y V. Wolters. 2002. Oribatid mite diversity and community dynamics in a spruce chronosequence. *Soil Biology and Biochemistry*. 34: 1919–1927.

Zimmerman, J.K., Aide, T.M., Rosario, M., Serrano, M., y L. Herrera. 1995. Effects of land management and a recent hurricane on forest structure and composition in the Luquillo Experimental Forest, Puerto Rico. *Forest Ecology and Management*. 77: 65–76.

## Apéndices

Apéndice 1. Número de individuos de cada especie dentro de cada biotipo.

genero	especie	Castilla		Palma		Bambú		total
		H	TC	H	TC	H	TC	
<i>Brachystomella</i>	<i>agrosa</i>	880	0	593	0	245	0	1718
<i>Pseudachorutes</i>	<i>parvulus</i>	490	15	48	46	20	27	88
<i>Arlesia</i>	<i>albipes</i>	10	14	6	83	1	6	120
<i>Neotropiella</i>	<i>silvestrii</i>	54	0	150	0	34	0	238
<i>Americanura</i> *	<i>interrogator</i> *	12	0	107	0	213	1	333
<i>Onychiurus</i>		1231	2	258	0	599	0	2090
<i>Mesaphorura</i> *	<i>yosii</i> *	13	0	48	0	221	0	282
<i>Hemisotoma</i>	<i>thermophila</i>	239	9	193	81	23	3	548
<i>Isotomodes</i> *		27	0	48	0	0	0	75
<i>Folsomina</i> *	<i>onychiurina</i> *	382	0	445	0	402	0	1229
<i>Folsomides</i>	<i>centralis</i>	352	0	449	0	43	0	844
<i>Folsomides</i>	<i>parvulus</i>	279	2	380	0	180	0	841
<i>Isotomiella</i>	<i>minor</i>	8770	6	7697	4	4152	1	20630
<i>Isotomurus</i> *		0	7	139	11	2	0	159
<i>Dicranocentrus</i>	<i>marias</i>	262	11	325	24	43	8	673
<i>Heteromurtella</i>	<i>tihuiensis</i>	95	3	229	1	27	0	355
<i>Entomobrya</i>	<i>longisetae</i>	95	8	269	4	24	8	408
<i>Lepidocyrtus</i>	<i>distinctus</i>	17	2	115	0	0	0	134
L.	<i>caprilesi</i>	76	25	19	8	10	3	141
L.	<i>dispar</i>	173	160	102	154	23	73	685
L.	<i>griseolus</i>	65	0	197	0	0	0	262
L.	<i>nigrosetosus</i>	89	4	482	29	8	1	613
L	sp.	9	0	0	0	1	0	10
<i>Pseudosinella</i>	<i>biungiculata</i>	329	0	442	0	49	0	820
<i>Camphylothorax</i>	<i>sabanus</i>	268	240	147	112	87	94	948
<i>Trogolaphysa</i>	<i>geminata/jataca</i>	268	26	416	32	95	25	862
<i>Trogolaphysa</i>	nr. <i>geminata</i>	10	4	15	7	5	1	42
<i>Salina</i>	<i>tristani</i>	8	18	11	19	11	26	93
<i>Cyphoderus</i>	<i>inaequalis</i>	462	11	581	0	85	0	1139
<i>Collophora</i>	<i>quadrioculata</i>	41	10	22	7	4	1	85
<i>Ptenothix</i>	<i>borincana</i>	1	0	1	2	1	13	18
<i>Calvatomina</i>	<i>rufescens</i>	122	53	236	77	107	30	625
<i>Calvatomina</i>	n.sp1	1	17	2	0	18	26	64
<i>Calvatomina</i>	n.sp2	17	13	1	2	2	0	35
<i>Neelus</i> *	<i>murinus</i> *	234	1	562	0	229	0	1026
								38791
Total de especies		34	24	34	19	32	18	35

**Apéndice 2 Lista de especies de Collembola de Puerto Rico. A. Orden Poduromorpha. B. Orden Entomobryomorpha C. Ordenes Neelipleona y Symphypleona. , grupos con \* son marinos o asociados a medios marinos, incluyendo manglares.**

**A. Orden Poduromorpha**

Familia	Género	Especie	Reportado en P.R.	
Hypogastruridae	Ceratophysella	denticulata	Mari Mutt, 1982	
	*Paraxenylla	affiniformis	Samalot-Roque, 2006	
	Xenylla	grisea	Heatwole y Levins, 1973	
		malayana	Samalot-Roque, 2006	
		portoricensis	da Gama, 1976	
		welchi	Wolcott, 1950; Samalot-Roque, 2006	
		yucataana	da Gama, 1976	
Odontellidae	Odontella	sp.1	Mari Mutt, 1977, 1982	
Brachystomellidae	Brachystomella	agrosa	Wray, 1953; Presente trabajo	
		baconaensis	Samalot-Roque, 2006	
*Friesidae	Friesea	josei	Palacios-Vargas, 1986	
		magnicornis	Palacios-Vargas, 1986	
Neanuridae	Americanura	interrogator	Presente trabajo	
	Arlesia	albipes	Mari Mutt, 1977; Samalot-Roque, 2006; Presente trabajo	
	Neotropiella	silvestri	Mari Mutt, 1977; Presente trabajo	
	Pseudachorutes	parvulus	Samalot-Roque, 2006; Presente trabajo	
	*Pseudanurida	sawayana	Christiansen y Bellinger, 1988	
	Paranura		nr. anops	Mari Mutt, 1982
			nr. quadrilobata	Mari Mutt, 1982
nr. illina			Mari Mutt, 1982	
Onychiuridae	Onychiurus	cunhai	Samalot-Roque, 2006	
		subcadaverinus	Mari Mutt 1982 (como fimetarius)	
		sp.	Presente trabajo	
	Protaphorura	nr. encarpata	Mari Mutt 1982	
		nr. hera	Palacios-Vargas y Díaz, 1995	
Tullbergiidae	Tullbergia	sp	Mari Mutt, 1982	
	Mesaphorura	yosii	Presente trabajo	

## B. Orden Entomobryomorpha

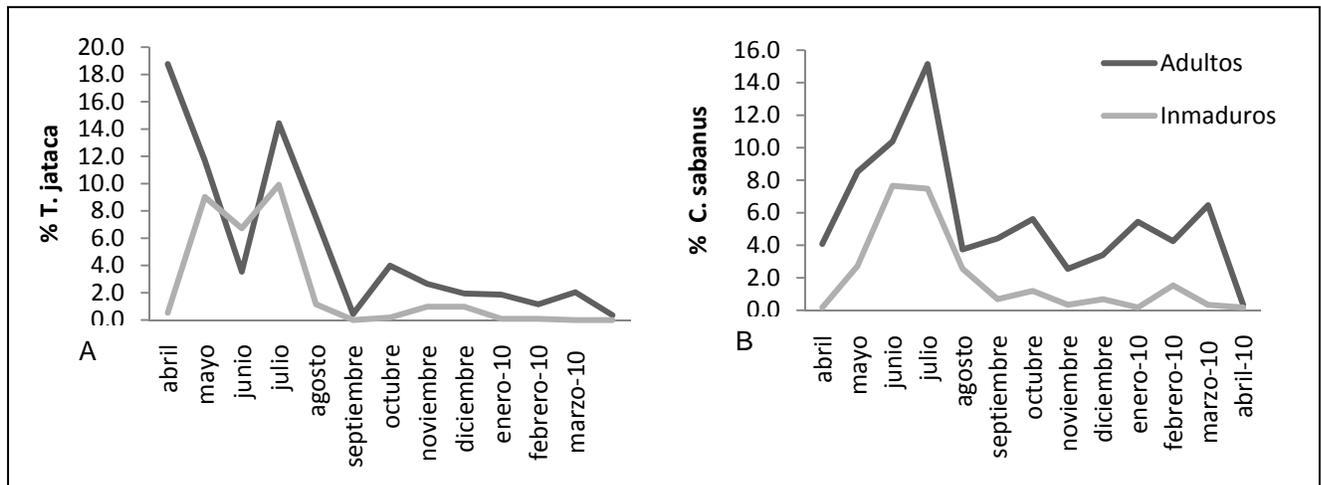
Familia	Género	Especie	Reportado en P.R.	
Isotomidae	*Archisotoma	gourbaultae	Christiansen y Bellinger, 1988 (como interstitialis); Samalot-Roque, 2006	
		interstitialis	Bellinger, 1988	
	*Axelsonia	tubifera	Samalot-Roque, 2006	
	Hemisotoma	thermophila	Mari Mutt 1977, 1982; Presente trabajo	
	Proisotoma	sp.1	Mari Mutt, 1982	
	Folsomina	onychiurina	Presente trabajo	
		candida	Peck, 1974; Mari Mutt, 1982	
	Folsomides	sylvia	Wray, 1953; Mari Mutt 1982	
		centralis	Samalot-Roque, 2006; Presente trabajo	
		parvulus	Mari Mutt 1977, 1982 (como americanus); Samalot-Roque, 2006; Presente trabajo	
		Isotomodes	sp.	Mari Mutt, 1982
			sp.1	Presente trabajo
		Isotomiella	minor	Wray, 1953; Mari Mutt, 1982; Samalot-Roque, 2006; Presente trabajo
		Isotomurus	sp.	Presente trabajo
		*Psammisotoma	dispar	Samalot-Roque, 2006
*Actaletidae	Spinactaletes	bellingeri	Soto-Adames, 1988	
		calcalectoris	Soto-Adames, 1988	
		myoptesimus	Soto-Adames, 1988	
Entomobryidae	Dicranocentrus	celatus	Mari Mutt, 1985	
		marias	Wray, 1953; Mari Mutt 1979, 1982; Presente trabajo	
	Heteromurus	puertoricensis	Mari Mutt, 1979	
		tihuiensis	Mari Mutt, 1985; Presente trabajo	
	Calx	cubensis	Mari Mutt, 1986; Soto-Adames, 2002	
	Entomobrya	longiseta	Soto-Adames, 2002; Presente trabajo.	
	Willowsia	jacobsoni	Mari Mutt, 1981; Samalot-Roque, 2006	
		Seira	*blanca	Mari Mutt, 1986; Soto-Adames, 2002; Samalot-Roque, 2006
			brasilliana	Mari Mutt, 1986
			dowlingi	Mari Mutt, 1986; Samalot-Roque
			steinmetzi	Mari Mutt, 1986
			desapercibida	Soto-Adames, 2002
	Lepidocyrtus		caprilesi	Wray, 1953; Mari Mutt, 1986; Soto-Adames, 2000; Presente trabajo
			distinctus	Mari Mutt, 1986; Soto-Adames, 2000; Presente trabajo
			diminutus	Mari Mutt, 1986; Soto-Adames, 2000
dispar			Mari Mutt, 1986; Soto-Adames, 2000; Presente trabajo	
distintus			Mari Mutt, 1986; Soto-Adames, 2000	
		fimicolus	Mari Mutt, 1989; Soto-Adames, 2000; Samalot-Roque, 2006	

Familia	Género	Especie	Reportado en P.R.
		griseolus	Mari Mutt, 1986; Soto-Adames, 2000; Presente trabajo
		ianthinus	Mari Mutt, 1986; Soto-Adames, 2000
		lepargus	Mari Mutt, 1986; Soto-Adames, 2000; Samalot-Roque,2006
		maldonadoi	Mari Mutt, 1986; Soto-Adames, 2000
		nigrosetosus	Folsom, 1927; Mari Mutt, 1986a; Soto-Adames,2000; Samalot-Roque,2006; Presente trabajo
		paracaprilesi	Mari Mutt, 1989; Soto-Adames, 2000
		ramosi	Mari Mutt, 1986; Soto-Adames, 2000
		sp. nov.	Samalot-Roque, 2006
		sp.	Presente trabajo
		vireticulus	Mari Mutt, 1986; Soto-Adames, 2000
	Pseudosinella	biunguiculata	Mari Mutt, 1987; Soto-Adames, 2000; Presente trabajo
		*lahainaensis	Samalot-Roque, 2006
		violeta	Mari Mutt, 1986; Soto-Adames, 2000
	Sulcuncus	borincana	Mari Mutt y Gruia, 1983
		coralia	Mari Mutt y Gruia, 1983
		rapoportii	Mari Mutt y Gruia, 1983
		subfusa	Wray, 1953
Paronellidae	Campylothorax	sabanus	Wray, 1953; Mari Mutt, 1988; Samalot-Roque,2006; Presente trabajo
	Trogolaphysa	geminata	Mari Mutt, 1988; Presente trabajo
		jataca	Wray, 1953;Presente trabajo
		luquillensis	Mari Mutt, 1988
		riopedrensis	Mari Mutt, 1988
		subterranea	Mari Mutt, 1988
	Lepidonella	incerta	Mari Mutt, 1986
	Salina	tristani	Mari Mutt, 1988; Samalot-Roque, 2006; Presente trabajo
		wolcotti	Folsom, 1927; Mari Mutt, 1982, 1988
	Cyphoderus	inaequalis	Wolcott, 1950; Mari Mutt, 1982; Presente trabajo
		similis	Folsom, 1927
*Oncopoduridae	Oncopodura	arecibena	Mari Mutt, 1984

### C. Ordenes Neelipleona y Symphypleona

Familia	Género	Especie	Reportado en P.R.
Collophoridae	Collophora	quadrioculata	Mari Mutt, 1977, 1982; Samalot-Roque,2006; Presente trabajo
Dicyrtomidae	Ptenothrix	borincana	Soto-Adames, 1988; Presente trabajo
		*Dicyrtoma	mangle
	Calvatomina	discolor	Samalot-Roque, 2006
		nymphascopula	Soto-Adames, 1988; Samalot-Roque,2006; Presente trabajo
		rufescens	Soto-Adames, 1988; Samalot-Roque,2006; Presente trabajo
		sp. nov. nr. rossi	Samalot-Roque, 2006
		sp. nov. 1	Samalot-Roque, 2006
		sp. nov. 2	Samalot-Roque, 2006
		sp.1	Presente trabajo
		sp.2	Presente trabajo
Sminthuridae	Sphaeridia	sp. 1	Samalot-Roque, 2006
		sp. 2	Samalot-Roque, 2006
Sminthuridae	Sphyrotheca	aleta	Wray, 1953; Soto-Adames, 2002
	Stenognathriopes	sp. nov.	Samalot-Roque, 2006
Neelidae	Neelides	minutus	Mari Mutt, 1982
	Neelus	murinus	Presente trabajo

**Apéndice 3 Porcentaje de colémbolos adultos e inmaduros capturados a lo largo de 14 meses para las poblaciones de : A. *Trogolaphysa jataca* y B. *Camphylothorax sabanus*.**



Apéndice 4. Curvas de acumulación de especies, para 42 muestras tomadas en cada biotipo. Para hojarasca de **A.** *Castilla elastica*. **B.** *Roystonea borinquena* **C.** *Bambusa vulgaris*. Para trampas de caída instaladas en **D.** *Castilla elastica*. **E.** *Roystonea borinquena* **F.** *Bambusa vulgaris*.

