

Universidad Autónoma de Chiriquí

Facultad de Ciencias Naturales y Exactas

Escuela de Biología

Descomposición de hojarasca de dos especies arbóreas del bosque tropical de montaña, Reserva forestal ENEL Green Power de Fortuna, Chiriquí y Bosque protector Palo seco, Bocas del toro, Panamá.

Elaborado por:

Troetsch Diana 4-742-1035

Victoria Yamileth 4-742-616

Profesor asesor de tesis:

M.Sc. Pedro A. Caballero Ruíz

Profesores co-asesores:

M.Sc. Cornelio Franco

M. Sc. Marcos Tem

Opción de tesis. Sometida a consideración de la Comisión de tesis para optar al título de Licenciadas en Ciencias Ambientales y Recursos Naturales

Chiriquí, República de Panamá

2012

DEDICATORIA

En primer lugar dedico este trabajo a Dios, ya que sin sus bendiciones no hubiese podido culminar esta etapa.

A mi madre Isabel González, que con su amor y apoyo incondicional me ha acompañado a lo largo de toda mi vida, a mi papá y hermanos por brindarme todo el apoyo para iniciar y terminar mis estudios universitarios. A mis profesores y asesores, ya que sin conocimientos y consejos hubiese sido aun más difícil todo el camino hasta finalizar este trabajo y por supuesto a mi compañera incondicional Yamileth, por ser no solo mi compañera de tesis sino mí mejor amiga.

Diana C. Troetsch G.

Dedico este trabajo a Dios por brindarme la oportunidad y la dicha de la vida, al brindarme los medios necesarios para culminar esta etapa, ya que sin él no hubiera podido.

A toda mi familia que me acompaño a lo largo del camino, brindándome la fuerza necesaria para continuar, especialmente a mi mamá.

A Diana, mi compañera de tesis, por su apoyo y buenos consejos.

A Luis, gracias por haber estado en los momentos más difíciles y por todo el apoyo que me brindaste a lo largo de mi carrera.

Yamileth Y. Victoria G.

Roberto fern y fern 132
RJ JT 132

AGRADECIMIENTOS

Nuestra gratitud está dirigida primeramente a Dios porque sin él nada es posible, por habernos dado su bendición a lo largo de la realización de este proyecto y por habernos iluminado cuando más lo necesitamos.

A todos nuestros profesores que a lo largo de nuestra carrera siempre estuvieron allí, brindándonos su apoyo, compartiendo sus conocimientos y sus experiencias para llegar así, a ser mejores profesionales cada día.

A nuestra principal Asesora de tesis del Instituto de Investigaciones Tropicales Smithsonian, Dra. Kelly Andersen, gracias por todo su apoyo incondicional por sus consejos para hacer todo bien y llegar hasta el final de la meta.

A nuestro asesor de la Universidad, profesor Pedro Caballero, gracias por su tiempo y apoyo, por haber estado siempre disponible para nuestras consultas aunque estuviese ocupado en ocasiones, sin su ayuda nada de esto fuera posible.

A nuestros Co- Asesores, profesor Marcos Tem y profesor Cornelio Franco, agradecemos toda su ayuda incondicional, sus significativos aportes a nuestro trabajo de graduación ya que sin ellos no hubiésemos terminado de manera exitosa nuestro proyecto.

A todo el personal de la Reserva Enel Green Power, por habernos ayudado de una u otra manera, también a nuestros compañeros de fortuna Carmen, Jonathan, Luis y en especial Arturo Morris, por toda su ayuda brindada, sus referencias y buenos consejos para realizar un buen trabajo.

ÍNDICE GENERAL

Página de presentación	
Dedicatoria.....	i
Agradecimientos.....	ii
Índice general.....	iii
Índice de figuras.....	vi
Índice de cuadros.....	vii
Resumen.....	viii
1. Introducción.....	1
2. Revisión de literatura	
2.1. Descomposición de hojarasca.....	3
2.1.1. Análisis de patrones.....	3
2.2. Descomposición como proceso ecosistémico.....	7
2.2.1. Efectos de la materia orgánica sobre las propiedades físicas del suelo.....	8
2.2.2. Efectos de la materia orgánica sobre las propiedades químicas del suelo	9
2.2.3. Efectos de la materia orgánica sobre las propiedades biológicas del suelo	10
2.3. Bosques nubosos de montaña.....	11
3. Objetivos	
3.1. Objetivo general.....	14
3.2. Objetivos específicos.....	14
4. Hipótesis.....	15

5. Metodología	
5.1. Área de estudio	16
5.1.1 Parcela permanente Alto Frío.....	19
5.1.2. Parcela permanente Hornito.....	20
5.1.3. Parcela permanente Honda A.....	21
5.1.4. Parcela permanente Palo Seco.....	22
5.2. Técnicas de muestreo.....	23
5.2.1. Instalación de trampas	23
5.2.2. Colecta de hojarasca	24
5.2.3. Instalación de bolsas de descomposición.....	24
5.2.4. Colecta de bolsas de descomposición	25
5.2.5. Procesado del material colectado	25
5.3. Análisis estadístico	28
6. Resultados y discusión	
6.1. Tasa de descomposición entre parcelas y especies.....	29
6.2. Análisis de factores bióticos y abióticos (macrofauna, precipitación, calidad de la hojarasca, suelo y temperatura), que influyeron en el proceso de descomposición en el experimento realizado	
6.2.1. Influencia del factor biótico (macrofauna), en el proceso de descomposición.....	33
6.2.2. Influencia de factores abióticos en el proceso de descomposición	
6.2.2.1 Precipitación.....	35
6.2.2.2. Calidad de la hojarasca.....	36
6.2.2.3. Temperatura.....	39
6.2.2.4. Nivel de amonio (NH ₄).....	41

8. Conclusiones.....	43
9. Recomendaciones.....	45
10. Bibliografía.....	47
11. Anexos.....	50
12. Glosario.....	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización de las parcelas en la Reserva Forestal ENEL Green Power (Provincia de Chiriquí) y Bosque Protector Palo Seco (Provincia de Bocas del Toro), Panamá.....	16
Figura 2. Parcela permanente Alto Frio	19
Figura 3. Parcela permanente Hornito	20
Figura 4. Parcela permanente Quebrada Honda A	21
Figura 5. Parcela permanente Palo Seco	22
Figura 6. Disposición de canastas de colecta de hojarasca	24
Figura 7. Disposición de bolsas de descomposición en las parcelas a estudiar	25
Figura 8. Instalación de bolsas de descomposición	26
Figura 9. Colectas de bolsas de descomposición	26
Fig.10. Lavado de las muestras de hojarasca	27
Fig.11. Secado de las muestras de descomposición	27
Fig.12. Pesado de las muestras de la hojarasca	27
Fig.13. Pérdida de masa en la hojarasca de <i>O. mexicana</i> y <i>M. melinoniana</i> , en cuatro parcelas en Bosque de montaña	31
Figura 14. Tasa constante de descomposición por día (k), de dos especies (<i>O. mexicana</i> y <i>M. melinoniana</i>), en cuatro parcelas de la Reserva Forestal Fortuna y bosque protector Palo seco, Panamá	38
Figura 15. Tasa constante de descomposición de hojarasca de <i>O. mexicana</i> y <i>M. melinoniana</i> en relación a la cantidad de NH_4 disponible en suelo y la temperatura en cuatro parcelas	41

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Promedio de porcentaje de masa final y la tasa constante (k) de descomposición de la hojarasca de <i>O. mexicana</i> y <i>M. melinoniana</i> , en cuatro parcelas de la Reserva Fortuna y Bosque protector Palo seco y el promedio por especie dentro de las parcelas, letras diferentes significa que los valores que los valores son diferentes entre los sitios.....	30
Cuadro 2. Resultados de un ANOVA comparando la masa final (%) de las dos especies, (<i>O. mexicana</i> y <i>M. melinoniana</i>), en las parcelas.....	32
Cuadro 3. Ubicación de las parcelas de investigación y las características ambientales de las parcelas.....	36
Cuadro 4. Características de las especies (<i>O. mexicana</i> y <i>M. melinoniana</i>).....	37
Cuadro 5. Correlaciones entre el porcentaje de masa perdida y la tasa constante (k) de descomposición con las variables del suelo y ambientales en las cuatro parcelas	40

RESUMEN

Con el fin de determinar las diferencias en las tasas de descomposición de dos especies arbóreas y su relación con diferentes factores bióticos y abióticos, en un bosque de montaña, se realizó un experimento del proceso de descomposición durante nueve meses, en la Reserva Forestal Enel Green Power de Fortuna, Chiriquí y el Bosque Protector de Palo Seco, Bocas del Toro, Panamá. Se midió la tasa de descomposición de la hojarasca de dos especies arbóreas, *Oreomunnea mexicana* y *Micropholis melinoniana*, en cuatro parcelas, empleando para esto, la técnica de bolsas de descomposición. La descomposición de la hojarasca se determinó como la pérdida de biomasa a través del tiempo, con relación al peso inicial. La especie de *O. mexicana* mostró la tasa de descomposición más alta con respecto a la de *M. melinoniana*, de igual manera, la tasa de descomposición más alta entre las parcelas, se dio en la parcela de Palo seco y la más baja en la parcela de Alto frío. Se analizaron diferentes factores, bióticos y abióticos, que participan en el proceso de descomposición de la hojarasca. De igual manera, se determinó la calidad de la hojarasca, midiendo así, la cantidad de N y C/N de ambas especies, dando como resultado 37.32 % C/N en *O. mexicana* y 35.09 % C/N para *M. melinoniana*.

Palabras claves: *Oreomunnea mexicana*, *Microphollis melinoniana*, tasa constante de descomposición, hojarasca.

1. INTRODUCCION

El proceso de descomposición consiste en una serie de procesos físicos y químicos por medio de los cuales la hojarasca se reduce a sus constituyentes químicos elementales (Aerts 1997). Constituye uno de los procesos más importantes en los ecosistemas, por su aporte de nutrientes al suelo (Aber y Melillo 1991); por su repercusión en el presupuesto global de carbono, debido a la cantidad de este elemento que es regresada a la atmósfera (como consecuencia de la respiración de los desintegradores, Aerts 1997) y porque a través de la propia cadena de desintegradores fluye una cantidad importante de energía que, dependiendo del estado sucesional del sistema, puede acumularse en mayor o menor medida en el suelo como mantillo y humus. La descomposición consta de cuatro etapas (Singh y Gupta 1977): trituración, que es el fraccionamiento de los tejidos, lixiviación, que se refiere a la pérdida de compuestos más solubles por medio de corrientes de agua, catabolismo, que es la transformación que realiza la microflora de los compuestos orgánicos a su forma orgánica.

La descomposición de la hojarasca es un proceso vital en los ecosistemas boscosos, pues permite el retorno de los nutrientes a las plantas y organismos edáficos, al determinar la acumulación de carbono y nutrientes, así como la tasa y la frecuencia de la liberación de los mismos (Harmon *et al.* 1999). Los estudios realizados hasta el momento han demostrado que se presentan cambios en algunas variables microclimáticas ambientales y edáficas, como la temperatura y la humedad (Kapos 1989, Williams-Linera 1990). Esto sugiere que la descomposición de hojarasca puede verse alterada por modificaciones en el

microclima de la hojarasca, lo que a su vez afectaría la fauna edáfica y los microorganismos involucrados en el proceso.

En general, la producción de hojarasca y su descomposición figuran entre los procesos de transferencia de nutrientes más estudiados. Esto se debe no solo al papel tan importante que juegan como fuente inmediata de nutrientes para el ecosistema, sino también a su relativa facilidad de estudio. Las tasas de reciclaje se pueden estimar, en el campo, cuantificando la pérdida de peso de la hojarasca encerrada en saquitos confeccionados para tal fin, operación que se lleva a cabo a intervalos regulares de tiempo (Montagnini *et al.* 1993, Byard *et al.* 1996).

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Descomposición de Hojarasca

La descomposición de hojarasca es la vía de entrada principal de los nutrientes al suelo y es básica en el reciclado de la materia orgánica y los nutrientes (Vitousek *et al.* 1994, Aerts & De Caluwe 1997). Este proceso regula la cantidad y contenido bioquímico de la materia orgánica producida en un ecosistema (Aber & Melillo 1991) y es responsable de la formación de sustancias húmicas que contribuyen a la calidad/fertilidad del suelo (Berg & Mc-Claugherty 2008). La descomposición de la hojarasca está controlada por tres factores principales: el clima, la calidad de la hojarasca y la abundancia de organismos degradadores de la misma (Lavelle *et al.* 1993, Coûteaux *et al.* 1995 Aerts 1997). En sentido muy amplio, la descomposición incluye mecanismos físicos, químicos y biológicos que transforman la materia orgánica dentro de formas cada vez más estables

2.1.1. Análisis de patrones

El clima es el principal factor que regula el proceso de descomposición, el cual actúa conjuntamente con las características químicas, dureza y grosor de la hojarasca, la propia fauna desintegradora y finalmente, con las características del suelo que favorecen la actividad de los desintegradores, tales como la porosidad, aireación y contenido de materia orgánica (Couteaux *et al.* 1995).

Lavelle *et al.* (1993), propusieron un modelo que identifica los siguientes factores determinantes en el proceso de descomposición: los factores climáticos (particularmente los regímenes de temperatura y precipitación); las propiedades

físicas del suelo; las características químicas del recurso y la regulación biológica a través de las interacciones entre macro y microorganismos del suelo. Aunque Anderson y Swift (1983) demostraron que hay grandes traslapamientos entre las tasas de descomposición entre bosques templados y tropicales, hay variaciones que son más grandes dentro de los sitios que resaltan la importancia de factores biológicos y edáficos locales (Lavelle *et al.* 1993); por ejemplo, en bosques templados, la forma de vida, el hábito deciduo o perennifolio e incluso la coloración de la hojarasca, pueden explicar la variabilidad en la disminución del peso del tejido a lo largo de la descomposición (Cornelissen 1996). Analizado de ésta manera, el coeficiente de descomposición (k), que indica la relación caída de hojarasca/acumulación, varía de 0.5 en los bosques templados, a 2.0 en las selvas tropicales. Dicho de otra manera, las tasas de fraccionamiento de la materia orgánica en las selvas tropicales oscilan entre un 2 y 5% por año (Brown y Lugo 1982; Golley 1983); por otro lado, la descomposición en los bosques templados es mucho más lenta, con valores entre 0.4 y 1% por año (Golley 1983). Estas diferencias pueden atribuirse principalmente a las altas temperaturas y humedad constante que existen en las zonas tropicales, condiciones que propician la lixiviación de los compuestos más solubles, así como también el establecimiento de la fauna desintegradora que fraccionará el material y de la microflora que será la principal responsable de la mineralización (Kiffer *et al.* 1982).

Meentemeyer (1978) propuso que la evapotranspiración actual y el contenido de lignina controlan en mayor medida las tasas de descomposición en los ecosistemas terrestres, demostrando que el control de la evapotranspiración

actual sobre la descomposición ocurre a través de un efecto indirecto en la química de la hojarasca. Golley (1983) a partir de los datos de Meentemeyer (1978), demostró que existe una relación lineal entre la hojarasca en descomposición y la evapotranspiración actual anual que va desde los sistemas árticos hasta las selvas tropicales. Recientemente Aerts (1997) demostró que la evapotranspiración actual predice de mejor manera las constantes de descomposición de la hojarasca (expresada como valores de k). Por ello, la evapotranspiración actual, la cual es tres veces más alta en la región tropical húmeda con respecto a los bosques templados, puede ocasionar tasas de descomposición hasta cuatro veces mayores en las primeras, como lo hemos mencionado anteriormente.

La caída y descomposición de la hojarasca muestran patrones temporales que reflejan variaciones ambientales en los vientos, temperatura, y principalmente en la distribución de la precipitación. En los ecosistemas con una estación seca, bien o poca definida (como en las selvas tropicales húmedas), la caída de hojarasca es máxima durante ese período (Golley 1983; Álvarez-Sánchez y Guevara 1993) y su descomposición es más rápida en el siguiente período húmedo (Madge 1965), alcanzando tasas de descomposición hasta 30% más altas en éstos períodos de humedad (Álvarez-Sánchez y Becerra 1996).

La relación C/N se ha considerado como un índice de la calidad de la hojarasca que permite predecir la descomposición (Heal, Anderson y Swift 1997). Esto es, si hay más concentración de C y muy poca de N en la hojarasca en descomposición, se producirá menos N disponible en el suelo que podrá ser inmovilizado por la microbiota desintegradora, y por lo tanto habrá menos N para

ser asimilado por las plantas; por el contrario, con un índice más pequeño (es decir, más concentración de N), el N inmovilizado será menor y estará más disponible para las plantas. Vitousek *et al.* (1994) y Thompson y Vitousek (1997), por ejemplo, observaron que la disponibilidad de N limita la descomposición.

Las concentraciones de N, P, la tasa C/N, la concentración de lignina y las tasas lignina/N y lignina/P, tienen un valor menos predictivo en la descomposición de hojarasca (Meentemeyer 1978). En las selvas tropicales, sin embargo, la amplia diversidad de especies y la variación ínter específica en la concentración de nutrientes, ligninas y polifenoles, determinan que en estos ecosistemas el contenido de nutrientes y el tipo de materia orgánica en la hojarasca está fuertemente relacionado con la velocidad de su descomposición (Meentemeyer 1978, Cuevas y Medina 1988, Palm y Sánchez 1990), de este modo se les puede considerar como buenos predictores del proceso, pues además en general tienen altas concentraciones de N y bajas tasas de lignina/N en la hojarasca (Heal *et al.* 1997, Scowcroft 1997) además los nutrientes más móviles (K, P) declinan rápidamente al inicio de la descomposición y el N se puede acumular (Cornejo *et al.* 1994, Torres, datos no publicados).

Así mismo al ser la fracción foliar la mayor proporción de la hojarasca en las selvas tropicales (hasta alrededor de un 68%, según Alvarez-Sánchez y Guevara 1993), se favorece notablemente el crecimiento y reproducción de los hongos y las bacterias, lo que a su vez repercute en un mayor transporte y dispersión por diversos integrantes de la meso y macrofauna quienes diseminan sus propágulos al fragmentar las hojas (Lavelle *et al.* 1993).

Finalmente la descomposición puede también ser inhibida cuando los microorganismos por alguna razón física quedan incluidos en microagregados del suelo y no tienen contacto con el sustrato a descomponer (Lavelle *et al.* 1993). Además, Vitousek y Sanford (1986), demostraron que los patrones de ciclaje de nutrientes provenientes de la descomposición, dependen finalmente de la cantidad y tipo de arcillas minerales, ya que estas pueden cubrir los sustratos orgánicos a través de la absorción de moléculas orgánicas o por el secuestro de la materia orgánica y de los nutrientes entre capas de arcilla de filosilicatos (Lavelle *et al.* 1993).

Uno de los intereses que ha existido históricamente a nivel mundial en los estudios de descomposición, ha sido el de tratar de ajustar a modelos las tasas de descomposición para darle un mayor rigor a los datos, así como también para poder predecir en el corto y mediano plazo el proceso. En éste sentido, Ezcurra y Becerra (1987), realizaron un experimento en condiciones controladas de laboratorio utilizando las hojas de especies arbóreas de un Bosque Mesófilo. Su principal interés, fue probar el ajuste de modelos matemáticos derivados por ellos mismos del exponencial negativo simple y del doble exponencial negativo, los cuales fueron propuestos anteriormente por Jenny *et al.* (1949), Olson (1963) y Bunnell y Tait (1974), respectivamente.

2.2. La descomposición como proceso ecosistémico

La descomposición constituye un proceso ecosistémico de importancia comparable a la producción primaria (Moorhead *et al.* 1996). De hecho, un ecosistema necesita básicamente sólo productores y descomponedores para existir indefinidamente (Brock 1984). Así, la descomposición completa los ciclos

biogeoquímicos iniciados por los procesos fotosintéticos o quimiosintéticos. Por otro lado, la visión más o menos clásica del proceso de descomposición como etapa final en las cadenas tróficas liberando nutrientes inorgánicos se ha visto modificada en los últimos años a raíz de los descubrimientos sobre el papel que los microorganismos heterotróficos (hongos y bacterias) desempeñan en el reciclado de la materia orgánica e inorgánica. Los estudios en Ecología Microbiana, según, (Azam y Cho 1987) presuponen que una gran cantidad de la producción primaria no es consumida directamente por herbívoros sino que es aprovechada por los microorganismos heterotróficos convirtiéndose en biomasa microbiana (Lowell y Konopka 1985). Los microorganismos actúan de vínculo de unión entre los procesos de producción primaria y secundaria, propician la reintroducción de compuestos inorgánicos en el sistema y producen biomasa microbiana susceptible de servir como alimento a organismos detritívoros.

2.2.1. Efectos de la materia orgánica sobre las propiedades físicas del suelo.

La materia orgánica desempeña un papel importante en la estructura, aireación y capacidad del suelo para sostener el agua, y ofrece un medio favorable para el crecimiento de raíces y para la captación de nutrimentos. El humus, la fracción más estable de la materia orgánica, forma asociaciones de enlaces con partículas de arcillas, las cuales incrementan la agregación del suelo y la formación de microporos, lo que mejora la estructura del suelo (Vaast y Snoeck 1999).

Los contenidos de materia orgánica y de N en los suelos están determinados, en primer lugar, por el clima y la vegetación y en segundo lugar,

por factores locales como el relieve, material parental del suelo, tipo y duración de la explotación de los suelos y por otras características físicas y microbiológicas (Fassbender y Bornemiza 1987).

El contenido porcentual de materia orgánica en la primera capa del suelo es alto con respecto a las capas subsiguientes. Díaz-Romeu (1970) mostró que los valores del contenido de la materia orgánica del horizonte A en suelos tropicales, varían en un promedio del 2% al 5%, siendo los valores máximos del 6% en suelos asociados a cenizas volcánicas. En el horizonte B, salvo excepciones como la de los suelos derivados de cenizas volcánicas, la disminución de la materia orgánica es notoria por la acumulación de restos orgánicos y la actividad de los microorganismos en los primeros decímetros del suelo (Fassbender 1993).

Otra característica importante de la materia orgánica es la presencia de cobertura en el suelo promoviendo la deposición de sedimentos y disminuyendo las pérdidas de suelo por acción del agua de escorrentía y el viento. Se ha calculado que estas pérdidas pueden llegar a ser de 0.5 t ha⁻¹ en suelos cubiertos (Noa *et al.* 1987), mientras que en suelos libre de vegetación o limpios se pueden alcanzar valores hasta de 130 t ha⁻¹ (CIAT 1998). Además se reduce la evaporación del agua del suelo ya que actúa como un colchón que conserva la humedad (Cubero 1994).

2.2.2. Efectos de la materia orgánica sobre las propiedades químicas del suelo

La materia orgánica de los abonos verdes tiene una serie de efectos positivos en el suelo, como hacer que los nutrientes estén más disponibles para

los cultivos. Los abonos verdes pueden desempeñar un papel importante en la restauración de los suelos degradados. Su utilización puede resultar en un incremento de la fertilidad del suelo tanto de su conservación sino de la recuperación del mismo.

Los árboles a través de su sistema radicular profundo, pueden absorber nutrientes de zonas más profundas, donde no llega el área radicular de los cultivos. Los nutrientes, almacenados en raíces, troncos, ramas y hojas al descomponerse son liberados al suelo para ser tomados por los cultivos. De esa manera, otros nutrientes como fósforo, potasio, calcio y magnesio pueden aumentar sus concentraciones en la capa arable del suelo (Alegre y Rao 1996). La utilización de plantas como enmiendas además conlleva a una liberación gradual de nutrientes, especialmente N, P y S y al aumento del carbono en el suelo (Kass 1996). Con este propósito generalmente son utilizadas especies leguminosas, por su alto contenido de N y por su disponibilidad de absorción por los cultivos (Giller y Wilson 1991). El empleo de material vegetal como abono verde puede adicionalmente ayudar a la disminución de la acidez, debido al aporte de bases del suelo (Young 1989) y/o porque la materia orgánica añadida actuaría como regulador impidiendo cambios bruscos en el pH (Kass 1996). Las adiciones de materia orgánica poseen adicionalmente la capacidad de favorecer la formación de complejos órgano-minerales en el suelo, principalmente con micronutrientes, lo cual evita su lixiviación (Sánchez 1981). Por otra parte en la materia orgánica se encuentra la mayor cantidad de N, así como cantidades considerables de fósforo y de micronutrientes (boro, zinc, etc).

2.2.3. Efectos de la materia orgánica sobre las propiedades biológicas del suelo

El aporte de materia orgánica supone una adición de alimentos y energía para los microorganismos y demás flora responsable de llevar adelante los ciclos bioquímicos en la naturaleza, bien por la mejora de las condiciones físico-químicas del suelo o bien por el aporte de microorganismos beneficiosos en sí o por activación de los más favorables en detrimento de los patógenos. No obstante con la flora que se adiciona al terreno pueden entrar algunos macro y microorganismos indeseables.

La materia orgánica presenta efectos directos e indirectos sobre la disponibilidad de nutrientes para el crecimiento vegetal. Para servir como fuente de N, P, y S a través de su mineralización por los microorganismos del suelo, la materia orgánica influye el aporte de nutrientes desde otras fuentes. Por ejemplo la materia orgánica se requiere como fuente de energía para la fijación bacteriana de N, por lo tanto la cantidad de N₂ molecular fijado por los fijadores libres será influenciada por la cantidad de energía disponible en la forma de carbohidratos (Silva *et al.* 1992).

Material vegetal como residuos de cultivos, hojarasca, residuos de podas incorporados al suelo, son determinantes para la actividad de los microorganismos, ya que constituyen una fuente importante de energía para su crecimiento (Da Costa 1995), representando un 1-5% del C y N y hasta 19% del P orgánico (Meléndez 2003). El crecimiento de la biomasa microbiana en los residuos aumenta el 25 % movimiento de la materia orgánica del suelo, a través de reacciones concurrentes de inmovilización, mineralización y estabilización.

Estos procesos fundamentales ayudan a mantener el ciclo de nutrición de las plantas y es importante para la conservación de la materia orgánica del suelo a largo plazo, a través de la producción de precursores de sustancias húmicas. La formación de sustancias orgánicas estabilizadoras de la estructura del suelo depende, principalmente, de la incorporación de residuos y de las prácticas de manejo de suelos (Voroney *et al.* 1989).

2.3. Bosques Nubosos de Montaña

Los bosques nublados, nubosos o de neblina son aquellos ecosistemas forestales que se hallan en contacto casi permanente con la nubosidad atmosférica. La denominación de bosques nublados no se considera un término científico y tampoco corresponde a un ecosistema específico. Representa más bien una variada combinación de diversos factores climáticos y vegetativos (Brown y Vallejo 1996). Los bosques nublados, representan a escala mundial uno de los ecosistemas más amenazados y con tendencia acelerada a desaparecer por el proceso de universal de conversión de bosques a otros usos de tierra (Agudelo 1997).

En términos de macroclima el factor más importante asociado a estos bosques es la frecuencia de neblinas, a veces de carácter persistente. La alta nubosidad afecta no solo la precipitación sino también otros elementos climáticos como la temperatura, humedad relativa, evaporación, cantidad y calidad de luz, además de procesos fisiológicos (Agudelo 1997). A nivel microclimático, existe una elevada humedad relativa del aire (neblina), la cual es captada por dichos bosques ya que constituyen barreras vivas a la circulación de las nubes; este

proceso se denomina precipitación horizontal u oculta o lluvia del bosque, la cual agrega cantidades importantes de agua al ciclo hidrológico.

Aunque varía mucho de un sitio a otro, estudios realizados en Puerto Rico, Honduras y otros países tropicales indican que la precipitación horizontal puede representar desde un 2% hasta 45% de la precipitación total (Weaver 1972, Bruijnzeel 1990, Stadtmuler y Agudelo 1990). La precipitación horizontal ocurre en días sin lluvia, razón por la cual estos bosques juegan un papel muy significativo en el régimen hídrico, especialmente durante los períodos secos donde reducen la tasa de evotranspiración (Zadroga 1981), además de ser ecosistemas muy frágiles y de biodiversidad única.

La deforestación de los bosques nublados puede ocasionar pérdidas sustanciales de agua en las cuencas, ello debido al ingreso adicional de este elemento al bosque por el proceso de precipitación horizontal (Agudelo 1997). Debido a esto, al proteger los bosques nublados se está asegurando la producción de agua de buena calidad y la regulación temporal de flujo, ya que su presencia evita la erosión de los suelos, la remoción de sedimentos y el control parcial de las inundaciones (Stadtmuler 1987).

3. Objetivos

3.1. Objetivo General:

- Estudiar las diferencias en las tasas de descomposición de la hojarasca de dos especies arbóreas en cuatro parcelas con características diferentes, en la Reserva Forestal Fortuna, Chiriquí y el Bosque Protector Palo Seco, Bocas del Toro, Panamá.

3.2. Objetivos específicos:

- Determinar si las tasas de descomposición de las especies de *Oreomunnea mexicana* y *Micropholis melinoniana*, varían entre las parcelas con diferentes tipos de suelos, nutrimentos y los factores abióticos (altitud, humedad relativa, temperatura y precipitación).
- Comparar el grado de descomposición entre la hojarasca de las especies de *Oreomunnea mexicana* y *Micropholis melinoniana* cada dos meses.
- Identificar los factores bióticos (organismos descomponedores), en el proceso de descomposición de la hojarasca.
- Comparar factores bióticos (microfauna), que participan en el proceso de descomposición de la hojarasca entre las parcelas.

4. Hipótesis:

Ho: La tasa de descomposición de la hojarasca no está controlada por los niveles de nutrientes presentes en los suelos.

Ha: La tasa de descomposición de la hojarasca está controlada por los niveles de nutrientes presentes en los suelo.

Ho: La tasa de descomposición no está controlada por los niveles de nutrientes en la hojarasca.

Ha: La tasa de descomposición está controlada por los niveles de nutrientes en la hojarasca.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Área de estudio

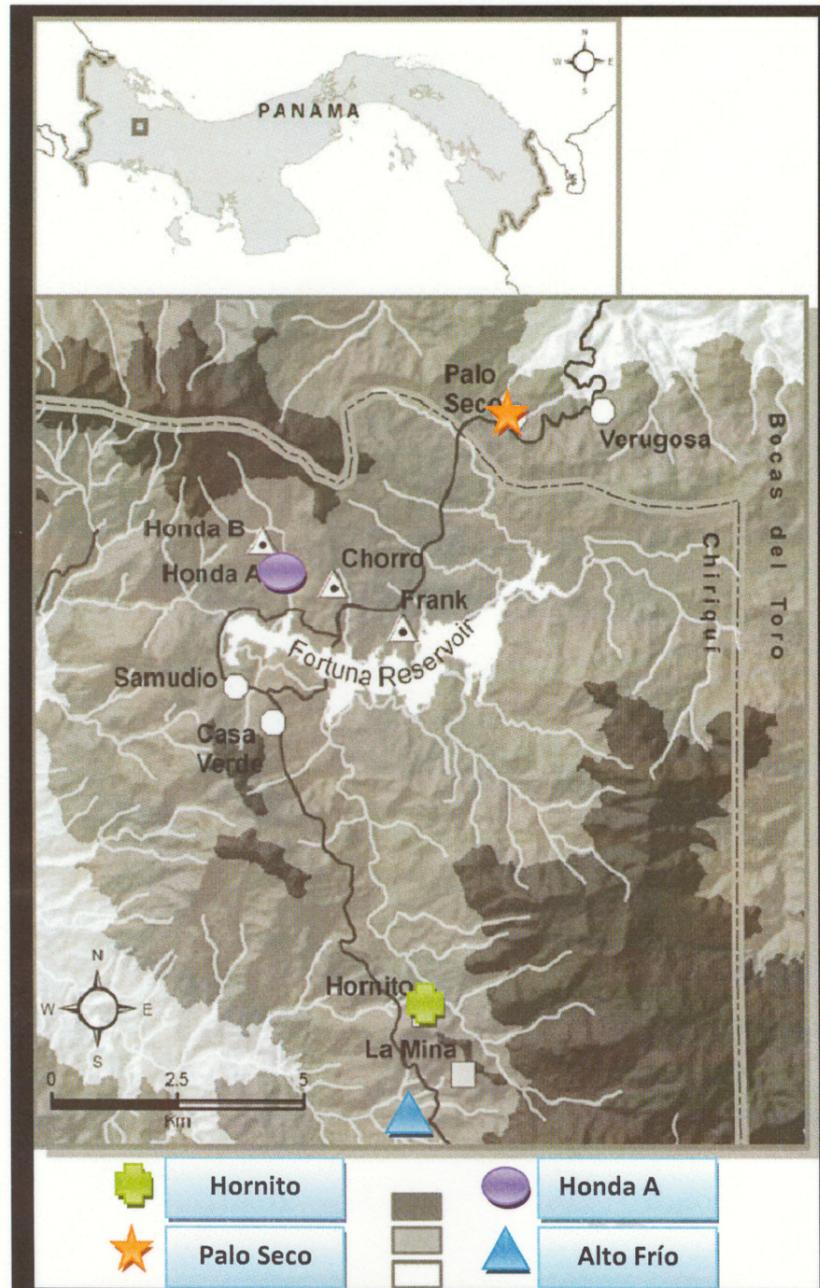


Fig.1. Localización de las parcelas en la Reserva Forestal ENEL Green Power (Provincia de Chiriquí) y Bosque Protector Palo Seco (Provincia de Bocas del Toro), Panamá, (Andersen *et al.* 2010).

La Reserva Forestal ENEL Green Power, tiene su origen en la construcción del Proyecto Hidroeléctrico Fortuna, en 1976. La Reserva protege los suelos contra la erosión hídrica, evitando la sedimentación del embalse. Los bosques de esta reserva forestal se localizan en la Zona de Vida Bosque pluvial premontano (premontano húmedo) y Bosque Pluvial Montano Bajo, observándose una alta incidencia de nubosidad. Los terrenos de la reserva se localizan en la Cordillera Central, provincia de Chiriquí, por encima de los 2 000 msnm. (Mendieta 2005). Las condiciones ambientales (altura, temperatura y nubosidad) favorecen la presencia de especies de plantas endémicas, diferentes a las observadas en las tierras bajas. Se encuentra a 8°40'26" N y 82°12'51" O; ubicada en los distritos de Gualaca y Boquete de la provincia de Chiriquí. Posee una temperatura media de 20° C, (máxima de 27 °C y mínima de 10 °C). Tiene alta humedad relativa debido a los efectos de sotavento y de la cortina de precipitación formada por las altas montañas de la cordillera central, con un régimen de lluvia regido por la vertiente del Atlántico con precipitación superior a 4000 mm/año. Se han registrado especies de flora como, *Alfaroa costaricensis*, *Oreomunnea mexicana*, *Ficus* sp., *Micropholis melinoniana*, *Pouteria* sp y la palma endémica de la reserva *Chamaedorea verucunda*.

El Bosque Protector Palo Seco, ubicado en la provincia de Bocas del Toro, posee una extensión de 254 445.88 hectáreas fue creado mediante Decreto Ejecutivo N° 25 del 28 de septiembre de 1983, publicado en Gaceta Oficial 19 943 de 24 de noviembre de 1983. El área forma parte del conjunto de áreas protegidas situadas en las tierras altas de Panamá, junto con el Parque Internacional La Amistad, la Reserva Forestal Fortuna y el Parque Nacional

Volcán Barú. Sus variados hábitats sirven de refugio a una gran diversidad de especies de flora y fauna, incluyendo numerosas especies endémicas de tierras altas. El relieve del Bosque Protector Palo Seco se debe a la cordillera central, que recorre la mitad occidental del país, de oeste a este, con altitudes mayores a los 3 000 msnm. En la región se localizan cuencas hidrográficas de importancia, como la de los ríos Changuinola, Chico, Chiriquí Viejo, Cricamola y Fonseca que se incluyen entre los más caudalosos del país.

Entre las especies de flora registradas en esta zona boscosa se pueden mencionar: jira (*Socratea exorrhiza*), jirote (*Iriartea deltoidea*), cedro (*Cedrela odorata*), bateo (*Carapa guianensis*), almendro (*Dipteryx panamensis*), palo de buba (*Jacaranda copaia*), laurel (*Cordia alliodora*), mayo blanco (*Vochysia hondurensis*) y criollo (*Minuartia guianensis*). Asimismo, son bastante comunes las lianas, heliconias y orquídeas.

En La Reserva Forestal ENEL Green Power (Chiriquí) y El Bosque Protector Palo Seco (Bocas del Toro), existen 10 parcelas de una hectárea cada una. En estas parcelas el Dr. James Dalling y su personal de botánicos y estudiantes, han hecho inventarios y mapeos de todos los árboles mayores de 5 cm de diámetro y de altura variable. Se han marcado 30 000 árboles e identificado 350 especies (Dalling 2010). Además, estos inventarios indican que la dinámica y la estructura del bosque en Fortuna varían en el tiempo y el espacio, (vertical y horizontalmente). En las parcelas estudiadas, existen tres tipos de suelo (graníticos, toba riolítica y andesita), cuya disponibilidad de nitrógeno y fósforo varía, lo que influye en la estructura del bosque y la composición de especies. Datos obtenidos de estudios previos realizados en las

parcelas, indican que el almacenaje de carbono en los suelos es muy alta, 22-27 toneladas de C/ha. en comparación con 10 toneladas de C/ha. de los bosques de Tierras Bajas (Turner 2009). Los altos niveles de almacenaje de carbono del suelo en la Reserva indican que la producción neta del ecosistema puede ser positiva y refleja una combinación de alto niveles de lluvia (5-12 m/año) y baja cantidades de nutrientes del suelo limitando así el índice de descomposición florística, debido quizás a la poca cantidad de organismos descomponedores.

5.1.1. Parcela permanente Alto Frío: se encuentra ubicada en las coordenadas 8° 39' 15" N, 82° 12' 15" O a una altitud de 1 103 msnm, temperatura media de 20.5 °C, posee suelos con altos niveles de nutrimentos y al igual que Hornito, se caracteriza por ser una de las parcelas más secas de la reserva.



Fig. 2. Parcela permanente Alto Frío

5.1.2. Parcela permanente Hornito: se encuentra ubicada en las coordenadas 8°40'26"N, 82°12'51" O, a una altitud de 1 330 msnm, presenta una precipitación anual de 5 730 mm y una temperatura media de 19.2 °C. Dos especies de la familia Juglandaceae son muy abundantes en ésta parcela, *Alfaroa costaricensis* y *Oreomunnea mexicana*. El dosel del bosque llega a una altura de 30 a 40 m, incluyendo individuos como *Cedrela tonduzii*, *Micropholis melinoniana*, *Pouteria* sp., *Ficus* sp. y muchas otras especies de la familia Lauraceae. El sotobosque esta principalmente compuesto por enredaderas y arbustos o árboles en etapa de crecimiento.



Fig.3. Parcela permanente Hornito

5.1.3. Parcela permanente Quebrada Honda A: está ubicada en las coordenadas 8°45'40" N y 82°14'22 " O, a una altitud de 1 155 msnm, la precipitación anual es de 8 266 mm y temperatura media de 20.2 °C. En esta parcela hay grandes parches en el dosel del bosque que son dominados por *O. mexicana*, que puede representar más de la mitad de los árboles mayores de 10 cm de diámetro del tallo. Además se puede encontrar la inusual planta de maracuyá, *Passiflora edulis* y una pequeña palma del sotobosque, *Chamaedorea verucunda*, endémica de Fortuna. Presenta sotobosque abierto con suelos pobres en nutrientes.



Fig.4. Parcela permanente Quebrada Honda A

5.1.4. Parcela permanente Palo Seco: se encuentra cruzando la división continental de la Reserva de Fortuna en las coordenadas 8°46'43" N, 82°11'53 " O, a una altitud de 878 msnm, su precipitación anual es de 6 374 mm y temperatura media de 21.8 °C. Este sitio cuenta con un dosel de 30 m de altura y es compatible con una comunidad muy diversa de árboles de dosel. Varias especies de palma se producen en este sitio, pero no en otras parcelas, incluida la cubierta y subespecies de dosel *Socratea exorrhiza*, *Warscewiczii crysophila* e *Iriartea deltoidea*. El sotobosque está dominado por palmeras enanas incluyendo *Asterogy nemartiana*, *Reinhardtia gracilis* y *Chamaedorea tepejilote*.



Fig.5. Bosque protector Palo Seco, Bocas del Toro.

5.2. Técnicas de muestreo

Cada parcela está dividida en 25 cuadrantes de 20 x 20 m y cada cuadrante cuenta con 16 subcuadrantes de 5 x 5 m. De los 25 cuadrantes se eligieron 5 de ellos, (esquinas y centro).

5.2.1. Instalación de trampas

El estudio de descomposición de hojarasca se inició, colectando la hojarasca de las especies *Oreomunnea mexicana* y *Micropholis melinoniana*, por medio de canastas o trampas de hojarasca, las cuales fueron colocadas en 13 puntos al azar dentro de las cuatro parcelas a estudiar (Hornito, Quebrada Honda A, Alto Frío y Palo Seco). Las trampas se colocaron con anticipación a nuestro proyecto, ya que eran usadas simultáneamente para otros estudios. Las trampas de hojarasca fueron confeccionadas con tubos de PVC y mallas plásticas rectangulares con orificios de 1.5 X 1.5 mm sujetadas con alambre dulce calibre 16'. Éstas poseen un diámetro de 0.71 m² (1 X 0.71 m), y una profundidad de 10 cm, para evitar que las hojas se salgan (Ramos & Serrano 2010). Debido a que era muy poca la hojarasca colectada con estas trampas, se colocaron 17 trampas adicionales, confeccionadas de malla de tul y fueron colocadas solo en las parcelas de Honda A y Hornito, ya que en éstas parcelas es en donde se encuentran en mayor cantidad los árboles de las especies de *O. mexicana* y *M. melinoniana*. Las trampas de tul fueron colocadas por medio de cuerdas que sujetaban la malla a árboles focales de *O. mexicana* y *M. melinoniana*.

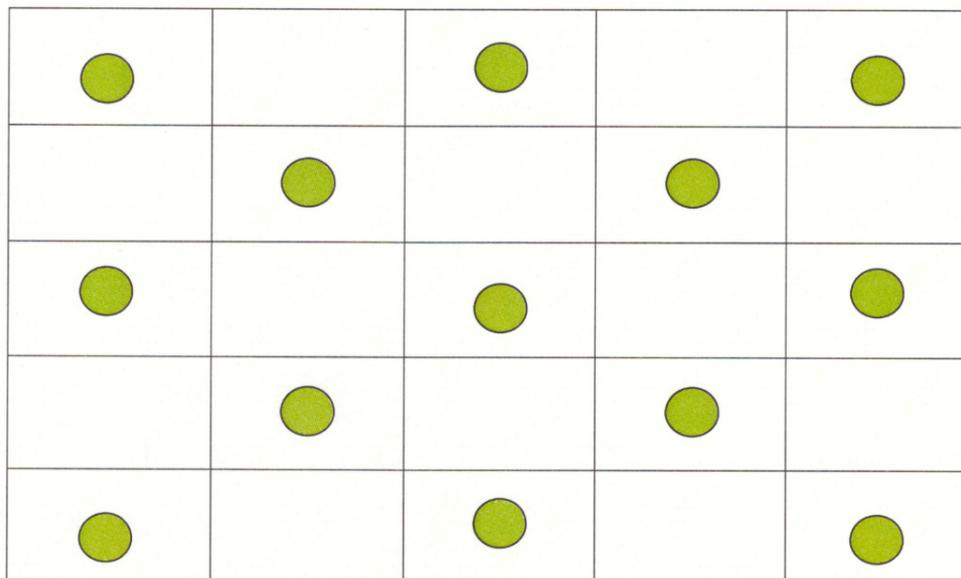


Fig.6. Disposición de canastas de colecta de hojarasca

5.2.2. Colecta de hojarasca

Las colectas de hojarasca se realizaron cada 15 días, iniciando el 30 de julio del 2010, hasta febrero del 2011, solo se utilizó las hojas de dos especies de árboles, *Micropholis melinoniana* y *Oreomunnea mexicana* (500 g de cada especie) se separó manualmente la hojarasca de las dos especies del resto de la hojarasca, hasta obtener 1000 g (500 g de cada especie).

5.2.3. Instalación de bolsas de descomposición

Para el experimento de descomposición se utilizó el método de bolsas de descomposición "*litter bags*", (Caldentey, Ibarra y Hernández, 2001), estas bolsas consistían en cuadrados de 17 cm² y fueron confeccionadas con malla de fibra de vidrio. Se fabricaron 200 bolsas y en cada bolsa se colocaron 5 g de materia seca (hojas) de las dos especies *O. mexicana* y *M. melinoniana*,

previamente colectadas y secadas. Las bolsas fueron llevadas a las cuatro parcelas y se colocaron en cinco puntos dentro de cada una (esquinas y centro), fueron amarradas en grupos de cinco (5) por cada especie y se colocaron directamente sobre el suelo, se fijaron por medio de estacas de madera, para evitar que fueran removidas por animales u otro factor.

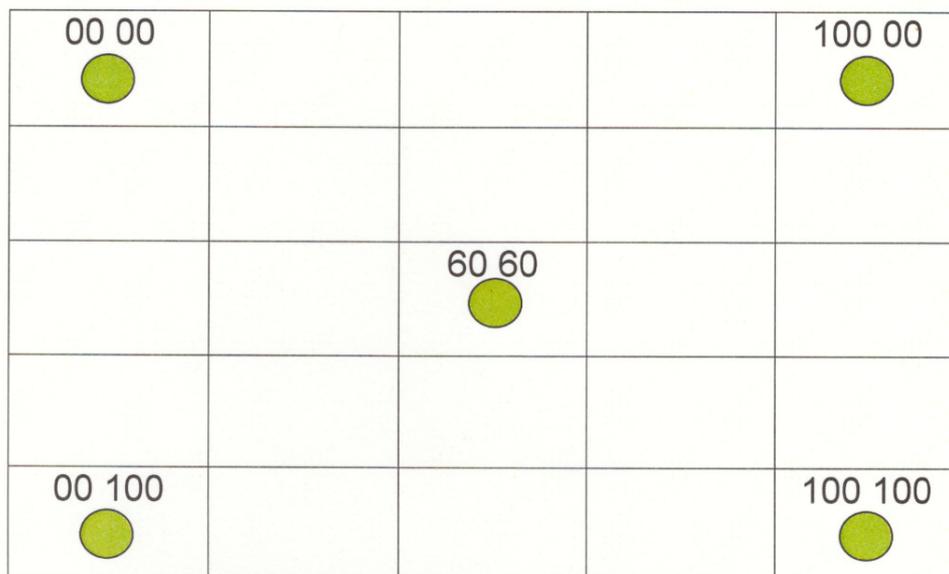


Fig.7. Disposición de bolsas de descomposición en las parcelas a estudiar.

5.2.4. Colecta de bolsas de descomposición

Se eligió al azar una bolsa por cada punto en cada fecha de colecta en los siguientes períodos: 30 días, 90 días, 150 días, 210 días y 270 días, después de colocadas en el campo.

5.2.5. Procesado del material colectado

Luego de la recolección de las bolsas, a la hojarasca remanente se le determinó la población de microfauna mediante la separación manual, posterior a esto, la hojarasca fue lavada con agua destilada, luego fueron colocadas en

bolsas de papel y llevadas al horno de secado de hojas, para después ser pesada y así poder determinar la diferencia de peso entre el peso inicial y el peso final. Una muestra representativa (10 g) de hojarasca de cada especie, *M. melinoniana* y *O. mexicana*, fue enviada al laboratorio de suelo en el Instituto de Investigaciones Tropicales Smithsonian *STRI*, en la ciudad de Panamá, para determinar los principales compuestos químicos de ambas especies.



Fig.8. Instalación de bolsas de descomposición.



Fig.9. Colectas de bolsas de descomposición.



Fig.10. Lavado de las muestras de hojarasca.



Fig.11. Secado de las muestras de hojarasca.

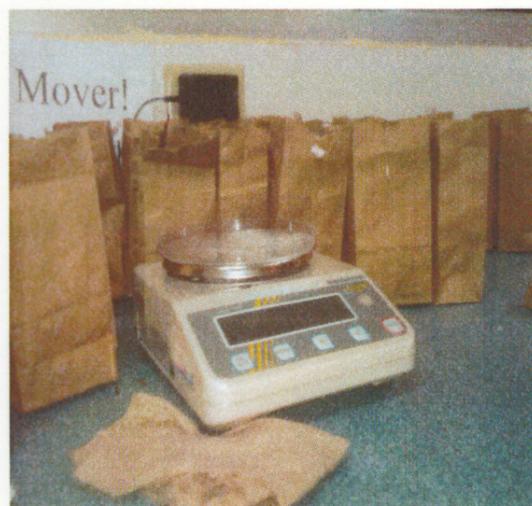


Fig.12. Pesado de las muestras de la hojarasca.

5.3. Análisis estadísticos

Usamos modelos lineales mixtos para analizar las diferencias en la pérdida de masa y las tasas de descomposición dentro de un diseño experimental de parcelas divididas. Pérdida de masa y la constante de descomposición (k) fueron las variables dependientes, las especies y el sitio fueron factores de efectos fijos, y la estructura de bloqueo fue un factor de efectos aleatorios, con una ubicación anidado dentro de la parcela. Además, se utilizó un ANOVA de medidas repetidas para estudiar las diferencias en las tasas de pérdida de masa a través del tiempo para las dos especies en las cuatro parcelas. Las medidas repetidas de ANOVA es necesario para tomar en cuenta de temporal pseudo-replicación y el análisis de varianza de parcelas divididas es necesario para tomar en cuenta la distribución espacial de pseudo-réplica en el diseño experimental.

Para examinar los efectos del suelo y las variables ambientales sobre las tasas de descomposición de la hojarasca, se utilizó momento producto de Pearson pruebas de correlación. Datos sobre el suelo era del Prof. B. Turner y fue recogido en 2008 y 2010 en la misma de 20 x 20 lugares dentro de las parcelas de 1 ha de inventario forestal como el experimento de la descomposición. Elevación se mide con un 60csx de Garmin en la esquina suroeste de cada parcela. Los valores de temperatura se estima a partir del gradiente vertical adiabático ($Y = -0.0059X + 27$) a partir de Cavelier, Solís y Jaramillo (1996).

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Tasas de descomposición entre parcelas y especies

Después de 270 días (9 meses), de instalado el experimento de descomposición, en cuatro parcelas de la Reserva Forestal Fortuna y el Bosque Protector Palo Seco, se observó, que en las dos especies arbóreas estudiadas, (*Oreomunnea mexicana* y *Micropholis melinoniana*), las tasas de descomposición son estadísticamente diferentes entre las parcelas y entre las parcelas por especies, pero no entre las especies.

El mayor porcentaje de descomposición de hojarasca de las dos especies, *O. mexicana* y *M. melinoniana*, lo reportó la parcela permanente de Palo Seco, con un valor promedio de un 80 % de descomposición total de la hojarasca en ambas especies. En las parcelas de Quebrada Honda A y Hornito, no se presentó una diferencia significativa en el porcentaje de descomposición de la hojarasca (41 y 46 % respectivamente); Mientras que la parcela de Alto Frio, mostró el porcentaje de descomposición más bajo, con una descomposición total en las dos especies del 57 %. Las diferencias en las tasas de descomposición de la hojarasca entre las parcelas estudiadas, puede deberse a las características particulares de cada parcela, ya que los patrones de precipitación, temperatura y tipo de suelo varían entre éstas.

En las parcelas de Hornito, Quebrada Honda A y Palo Seco, se observó un promedio de descomposición de la hojarasca de *O. mexicana* similar con respecto a la de la hojarasca de *M. melinoniana*, 46.40 %; 42.40, 39.60 %; 24.40

%, 19.60 %, respectivamente (**cuadro 1**). Sin embargo en la parcela de Alto Frio, se dio una mayor descomposición de *O. mexicana* que *M. melinoniana*, 48.00 % y 66.00 %, respectivamente (**fig.13. y cuadro.1.**). Éstas diferencias en las tasas de descomposición, entre las especies y parcelas puede deberse, a la calidad de la hojarasca de ambas especies y la relación de este factor con respecto al tipo de suelo de las parcelas.

Cuadro. 1. Promedio del porcentaje de masa final y la tasa constante (*k*) de descomposición de la hojarasca de *Oreomunnea mexicana* y *Micropholis melinoniana*, en cuatro parcelas en la Reserva Forestal Fortuna y el promedio por especie dentro de las parcelas. Letras diferentes significa que los valores son diferentes entre los sitios.

Especies	Parcela	Masa final (%)	<i>k</i> (día ⁻¹)
	Alto Frio	57.00 ± 4.71 ^a	0.0022 ± 0.0004 ^a
	Honda	41.00 ± 3.56 ^b	0.0034 ± 0.0003 ^b
	Hornito	46.40 ± 2.12 ^b	0.0029 ± 0.0002 ^b
	Palo Seco	22.00 ± 1.98 ^c	0.0058 ± 0.0004 ^c
<i>Micropholis melinoniana</i>			
	Alto Frio	66.00 ± 3.85 ^a	0.0015 ± 0.0002 ^a
	Honda	39.60 ± 5.88 ^b	0.0036 ± 0.0005 ^b
	Hornito	46.40 ± 2.64 ^b	0.0028 ± 0.0002 ^b
	Palo Seco	19.60 ± 3.31 ^c	0.0063 ± 0.0007 ^c
<i>Oreomunnea mexicana</i>			
	Alto Frio	48.00 ± 6.66 ^a	0.0029 ± 0.0006 ^a
	Honda	42.40 ± 4.62 ^b	0.0033 ± 0.0004 ^b
	Hornito	46.40 ± 3.66 ^b	0.0029 ± 0.0003 ^b
	Palo Seco	24.40 ± 1.94 ^b	0.0053 ± 0.0003 ^b

De acuerdo a los resultados obtenidos, se observó que la mayor pérdida de masa de hojarasca en descomposición, se dio entre los 150-200 días del experimento (**fig.13.**), luego de este período parece darse una estabilización en las tasas de descomposición. Mayores pérdidas de peso en las primeras etapas del proceso de descomposición, han sido asimismo reportadas por Arellano *et al.* (2004) y Goma-Tchimbakala & Bernhard-Reversat (2006). Éstas se producen seguramente, como resultado del desdoblamiento de los compuestos lábiles de la hojarasca. A esta primera etapa siguió una de menor velocidad, quizás ocasionada por la dominancia de materiales de más difícil descomposición.

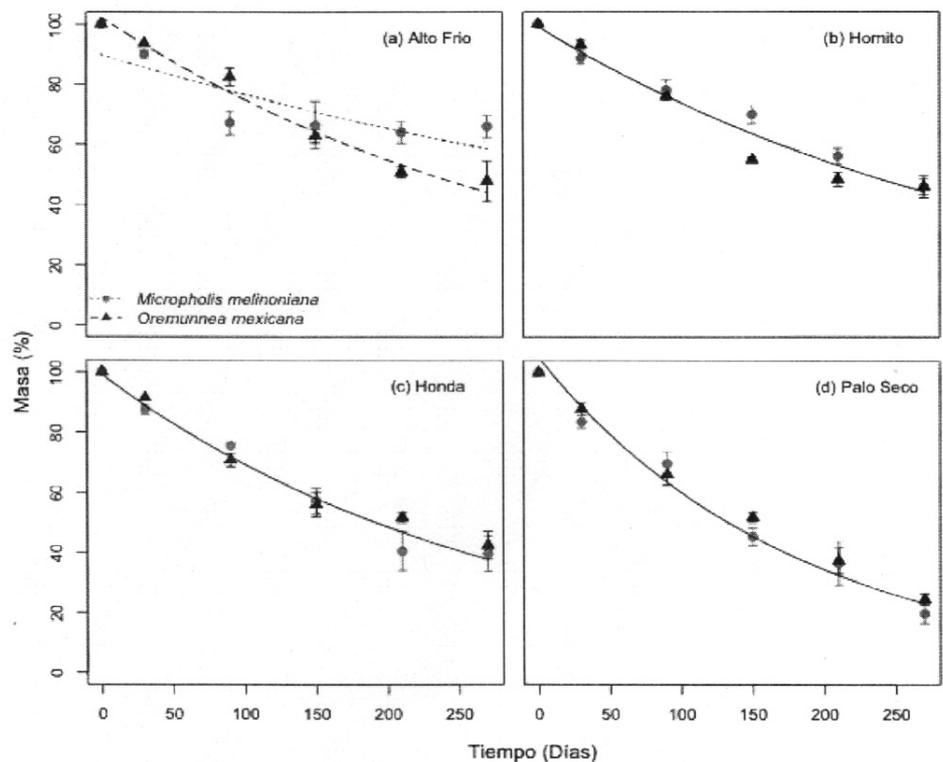


Fig.13. Pérdida de masa en la hojarasca de *O. mexicana* y *M. melinoniana*, en cuatro parcelas en Bosque de montaña. Los símbolos representan los promedios de masa perdida (± 1 error estándar) de *O. mexicana* y *M. melinoniana*. Las líneas estaban ajustados por modelos lineales exponenciales para cada especie separada solamente si había un diferencia estadísticamente significativa entre los dos especies.

A pesar de que las parcelas estudiadas se encuentran a pocos kilómetros de distancia unas de otras, se observaron valores diferentes en las tasas de descomposición, e incluso se observó, que dentro de las parcelas se dieron tasas de descomposición distintas, en los diferentes puntos donde se colocaron las bolsas de descomposición, aunque estas diferencias no fueron estadísticamente significativas.

Cuadro. 2. Resultados de un ANOVA comparando la masa final (%) de las dos especies, (*O. mexicana* y *M. melinoniana*), en las parcelas estudiadas.

Fuente	df	F	P
Parcela	3, 16	16.06	< 0.0001
Especies	1, 16	0.98	N.S.
Parcela x Especies	3, 16	5.57	< 0.01

6.2. ANÁLISIS DE FACTORES BIÓTICOS Y ABIÓTICOS, (MACROFAUNA, PRECIPITACIÓN, CALIDAD DE LA HOJARASCA, SUELO Y TEMPERATURA), QUE INFLUYERON EN EL PROCESO DE DESCOMPOSICIÓN EN EL EXPERIMENTO REALIZADO.

6.2.1. Influencia del factor biótico (macrofauna), en el proceso de descomposición.

Al determinar el factor biótico, organismos descomponedores, en las bolsas de descomposición, no se encontró datos suficientes que indiquen una marcada relación, entre la pérdida de masa de la hojarasca en las bolsas de descomposición, con la presencia y actividad de organismos descomponedores. En la separación manual de restos de hojarasca que se realizó a todas las bolsas de descomposición, solo se encontraron dos especies de organismos que participan en el proceso de descomposición, pertenecientes a la macrofauna, la cochinilla de humedad (*Porcellio scaber*) y la lombriz común de tierra (*Lombricus terrestris*). La cantidad de estos organismos en el conteo a todas las bolsas fue muy baja (5 cochinillas y 4 lombrices) y aunque ambas especies son muy importantes en el ciclo de nutrientes, no es posible correlacionar su participación en el proceso de descomposición con el experimento realizado debido a la baja cantidad que se encontraron. Quizás esta poca cantidad de organismos dentro de las bolsas, se deba a que los orificios en la malla con que se fabricaron las bolsas, era muy pequeño y de igual manera no se observó que las bolsas estuvieran rotas al momento de retirarlas del campo. También hay que considerar que los organismos de la macrofauna son organismos móviles lo que

dificulta saber con precisión si al momento de retirar las bolsas del campo estos ya se habían retirado de las mismas, de igual forma no se conoce la densidad de éstos organismo en el área cercana a los puntos donde fueron colocadas las bolsas de descomposición. Es importante mencionar, que la fauna del suelo, que participa en el proceso de descomposición, se agrupa en descomponedores y detritívoros. Los organismos descomponedores son bacterias y hongos que participan en las primeras etapas de la descomposición y consumen principalmente azúcares y aminoácidos (Martius *et al.* 2004). Conforme avanza la descomposición, el proceso es más lento y participan hongos septados especializados, como Ascomycetes, Basidiomycetes y Actinomycetes que pueden degradar las celulosas, la lignina y las proteínas más complejas. Los detritívoros son consumidores que se alimentan del detritus y de las poblaciones de microorganismos asociados a él. En este experimento no se determinó la presencia de hongos ni bacterias, sólo se indicó la presencia de organismos pertenecientes a la macrofauna del suelo. De acuerdo a Maity y Joy (1999), Tian *et al.* (2000) y Zimmer y Topp (2002) los invertebrados del suelo difieren entre los tipos de hojarasca, lo cual también pudo estar relacionado con la abundancia de los invertebrados en cada etapa de descomposición. Por otra parte, los organismos de la macrofauna prefieren los restos vegetales algo descompuestos, con una relación carbono: nitrógeno relativamente baja; (Bastardie y Capowiez 2004). Los restos de especies con contenidos en nitrógeno superiores a 1,4% son ingeridos con facilidad; mientras que aquellos cuyo contenido es inferior a 1%, les resultan menos atractivos. Quizás esta sea una de las razones por las que no se encontró gran cantidad de organismos de

la macrofauna en las bolsas de descomposición, ya que las dos especies arbóreas estudiadas tienen un contenido de nitrógeno inferior al 1.4 %.

6.2.2. Influencia de factores abióticos en el proceso de descomposición

6.2.2.1. Precipitación

Los niveles de precipitación varían entre las parcelas estudiadas (**cuadro.3.**), es mayor en Quebrada Honda con 8266 mm y menor en Hornito con 5730 mm. Los resultados obtenidos nos indicaron, que la parcela de Palo seco, reportó la tasa de descomposición más alta y de igual manera sus niveles de precipitación durante el experimento, estación lluviosa, fueron los más altos entre las parcelas estudiadas, (5185 mm.). Por otro lado la parcela de Alto Frío, que tuvo la tasa de descomposición más baja, es la más seca entre las parcelas estudiadas, aunque no se tienen datos exactos de sus niveles de precipitación. Estas diferencias en las tasas de descomposición, pueden deberse a las diferencias en el régimen de lluvias que existen entre las parcelas; según Couteaux *et al.* 1995, el clima es el principal factor que regula el proceso de descomposición, el cual actúa conjuntamente con las características químicas, dureza y grosor de la hojarasca, la propia fauna desintegradora y finalmente, con las características del suelo que favorecen la actividad de los desintegradores. Estas diferencias climáticas entre las parcelas se observan, principalmente, en la precipitación, ya que en la parcela de Palo Seco hay constantes lluvias durante todo el año al igual que una constante neblina sobre el bosque lo que aporta agua adicional aún en los días en que no llueve (**cuadro.3.**), a diferencia de la Parcela de Alto Frio, que aunque no se tienen datos exactos de precipitación, se

caracteriza por ser una de las parcelas más secas de la Reserva Fortuna. La combinación de Temperatura y precipitación influye en la tasa de descomposición de la hojarasca, en el caso Palo seco, es la que tiene la temperatura y precipitación más alta en la época lluviosa, lo que coincide con la mayor tasa de descomposición de la hojarasca.

Cuadro 3. Ubicación de las parcelas de investigación y las características ambientales de las parcelas. Medidas de precipitación son las promedias para los años 2007-2011 y precipitación de la estación seca incluye los meses de enero-abril. Medidas de precipitación y abundancia de los especies (Datos del Prof. J. Dalling y Kelly Andersen).

Parcela	Latitud (N)	Longitud (W)	Elevación (m asl)	Temp (C)	Precipit anual (mm)	Precipit lluviosa (mmmes ⁻¹)	Precipit estación seca (mm mes ⁻¹)	<i>Oremex</i> abund	<i>Micmel</i> abund
Alto Frio	8°39'15"	82°12'15"	1103	20.5	n/a	n/a	n/a	2	0
Honda	8°45'40"	82°14'22"	1155	20.2	8266	4389	400	59	17
Hornito	8°40'26"	82°12'51"	1330	19.2	5730	4664	210	3	10
Palo Seco	8°46'43"	82°11'53"	878	21.8	6374	5185	435	0	0

6.2.2.2. Calidad de la hojarasca

El análisis foliar que se realizó a la hojarasca seca de ambas especies, indicó que la hojarasca de *O. mexicana* posee un contenido de Nitrógeno menor que en la hojarasca de *M. melinoniana* (**cuadro 4**). La proporción C/N de peso seco fue de 37.32 % en *O. mexicana* y 35.09 % en *M. melinoniana*. Estos datos parecen indicarnos que *M. melinoniana* es la especie con mejor calidad en la hojarasca, debido a que presenta mayor contenido de N con respecto a *O. mexicana*, lo que debería coincidir con la tasa de descomposición más alta,

puesto que la calidad de la hojarasca ha sido considerada por numerosos estudios como buena predictora de la descomposición (Xuluc-Tolosa *et al.* 2003, Ngoran *et al.* 2006, Martínez-Yerizar *et al.* 2007, Prause & Fernández 2007), ya que se han encontrado fuertes relaciones entre la pérdida de peso y algunos indicadores de calidad (v.g. contenido de lignina, fenoles, N, C, P, C/N, C/P, entre otros), es así que la mineralización de un sustrato orgánico generalmente puede ser predicha a partir de su contenido de N y la relación C/N (Torreta & Takeda 1999). Así, en los bosques tropicales, cuando la relación C/N es menor de 25-40 y el contenido de N es mayor que 1.0-2.5%, la mineralización del N y la descomposición de la materia orgánica son rápidas (Seneviratne *et al.* 1998, Torreta & Takeda 1999, Ngoran *et al.* 2006), particularmente cuando los contenidos de lignina son bajos (Ribeiro *et al.* 2002). Sin embargo en este experimento se observó que en promedio la hojarasca de *O. mexicana*, con menos N (1.23%), presentó la tasa de descomposición más alta que la hojarasca de *M. melinoniana* que contiene más N (1.33%).

Cuadro 4. Características de las especies (*O. mexicana* y *M. melinoniana*)

Especie	Tipo micorrizas	Tipo de Frutos	Rango geográfico	Rango Altitudinal msnm	Hojarasca		Hojas frescas			
					C %	N%	C %	N%	$\delta^{13}\text{C}$ per mil	$\delta^{15}\text{N}$ per mil
<i>Oreomunnea mexicana</i>	Ectomicorizas y micorrizas arbusculares	Alados	México a Colombia	1000-1700	45.90	1.23	46.95	1.45	-30.59	-2.37
<i>Micropholis melinoniana</i>	micorrizas arbusculares	Frutos comestible por animal	México a Brasil	650-1500	46.67	1.33	47.13	1.69	-29.40	-2.80

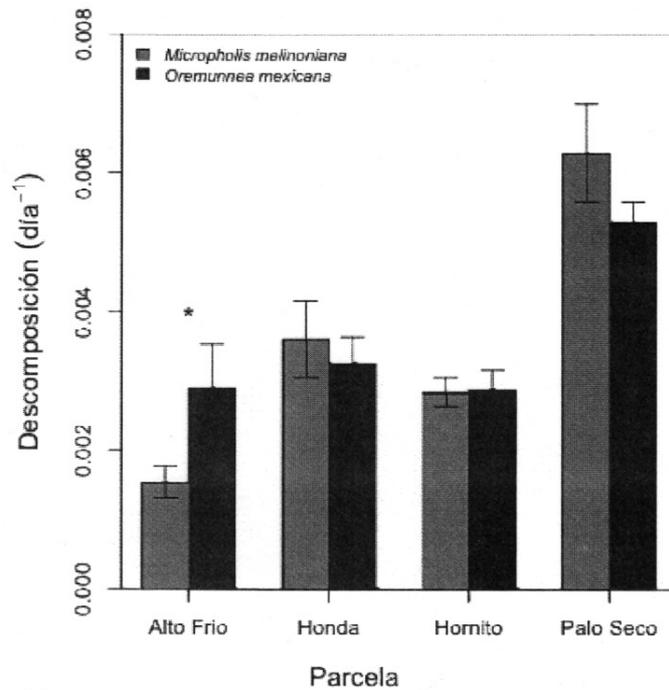


Fig.14. La tasa constante de descomposición por día (k) de dos especies, (*O. mexicana* y *M. melinoniana*), en cuatro parcelas en la Reserva Forestal Fortuna, Chiriquí y el bosque protector Palo Seco, Panamá. Las barras representan los promedios de los especies en cada parcela con barras de error estándar. Los asteriscos indican que el promedio de k está diferente entre las dos especies.

De igual manera, cabe destacar que las dos especies estudiadas sólo presentaron diferencias estadísticamente significativas en las tasas de descomposición de la hojarasca, en la parcela de Alto frío, la que posee la mayor cantidad de N en el suelo entre las parcelas estudiadas. Así que es posible que los fungi saprófitos estén limitados por C y no por N; o también que tenían una mayor capacidad de descomponer la hojarasca de *O. mexicana* ya que ésta se descompuso más rápidamente que la hojarasca de *M. melinoniana*.

6.2.2.3. Temperatura

La tasa de descomposición de la hojarasca, está regulada por la temperatura; la descomposición aumenta 2-3 veces, cada 10° C que se eleva. Esto parece coincidir con los datos obtenidos, ya que la parcela de Palo Seco, presenta la temperatura más elevada entre las parcelas estudiadas y de igual manera, presentó la tasa de descomposición más alta que el resto de las parcelas. Brown *et al.* (1994) plantearon que la temperatura explica el proceso de descomposición, en mayor medida que las precipitaciones, debido a que este factor puede regular las poblaciones de los descomponedores, ya que según Trofymow *et al.* (2002) el decrecimiento de la temperatura reduce la actividad de los organismos descomponedores y la calidad de los materiales orgánicos que se incorporaran al suelo.

Existe una relación entre la altitud y la variación de la temperatura. Williams y Gray (1974) señalan que hay diferencias en el tiempo que tarda la descomposición a diferentes altitudes, debido a la variación de la temperatura. Shanks y Olson (1961) comparan la descomposición de la hojarasca en rodales naturales a diversas altitudes y llegan a la conclusión de que hay una disminución media de la descomposición de casi 2% por 1°C de disminución de la temperatura media. Este resultado es semejante al obtenido por Mikola (1960), quien observa que la descomposición disminuye con el aumento de la latitud. En este experimento entre Palo Seco y Alto Frio la diferencia en la temperatura fue de 1.3°C, y la diferencia en los porcentajes de descomposición

fue de casi 35%, lo que indica que si hay influencia de la temperatura y otros factores en la tasa de descomposición de la hojarasca (**Cuadro 1 y 3**).

Cuadro 5. Correlaciones entre el porcentaje de masa perdida y la tasa constante (k) de descomposición con las variables del suelo y ambientales en las cuatro parcelas. Los valores representan los coeficientes de las correlaciones de Pearson (r) y los valores en letras bolda representan correlaciones significantes ($P < 0.05$).

	% Masa	k (día ⁻¹)
<i>Variables del suelo</i>		
Ph	-0.56	-0.47
Al (cmolc/kg)	0.65	0.58
Ca (cmolc/kg)	-0.54	-0.55
Fe (cmolc/kg)	0.41	0.32
K (cmolc/kg)	-0.20	-0.26
Mg (cmolc/kg)	-0.61	-0.58
Na (cmolc/kg)	0.63	0.58
Resin P (mg/kg)	-0.23	-0.30
NO3 (mg/kg)	-0.28	-0.41
NH4 (mg/kg)	-0.86	-0.82
N inorgánico total (mg/kg)	0.41	0.30
Microbial N (mg/kg)	0.02	-0.10
Microbial P (mg/kg)	-0.19	-0.31
<i>Variables del ambiente</i>		
Elevacion (m asl)	-0.63	-0.73
Temperatura °C	0.63	0.73

6.2.2.4. Nivel de amonio (NH_4^+)

Los resultados obtenidos en este estudio son consistentes con otros en los que se encontró un efecto negativo entre la cantidad de N del suelo y la tasa de descomposición de la hojarasca, **fig.15**. (Fog 1988, Bardgett *et al.* 1999, Carriero *et al.* 2000, Davidson *et al.* 2003, Hobbie 2008).

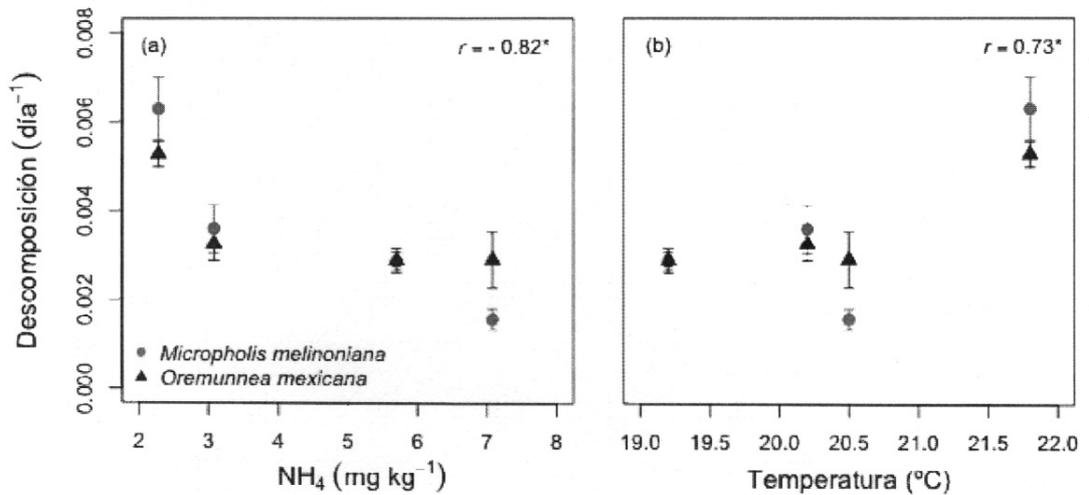


Fig.15. La tasa constante (k) de descomposición de hojarasca de *O. mexicana* y *M. melinoniana* en relación a la cantidad de NH_4 disponible en el suelo y la temperatura en las cuatro parcelas. * $P < 0.05$.

Las comunidades de microbios cambian con el nivel de N disponible en el suelo, y las comunidades en sitios con altos niveles de N tienen menor capacidad para degradar la hojarasca (Bardgett *et al.* 1999, Hobbie 2008). Este efecto parece coincidir con resultados obtenidos en nuestro experimento, puesto que en la parcela de Palo seco, donde se reportó una menor cantidad de N en el suelo, se dio la tasa de descomposición más alta en la hojarasca de la especie con mayor contenido de N (*M. melinoniana*), **fig. 14**.

Por otro lado en la parcela de Alto Frio, donde se encontró la mayor cantidad de N en el suelo entre las parcelas estudiadas, la hojarasca de la especie con menor contenido de N (*O. mexicana*), reportó la tasa de descomposición más alta (**fig.10**).

Así que este fenómeno puede explicar en medida, el efecto negativo del contenido de N en el suelo, en relación a la tasas de descomposición de la hojarasca en los suelos con características similares a los de las parcelas estudiadas.

8. CONCLUSIONES

- El mayor porcentaje de descomposición de hojarasca de las dos especies, *O. mexicana* y *M. melinoniana*, lo reportó la parcela permanente de Palo Seco, con un valor promedio de un 80 %.
- La parcela alto frío presento el porcentaje más bajo de descomposición en ambas especies, con un valor promedio de 57%.
- La especie que presento la mayor tasa de descomposición fue *O. mexicana*.
- El clima, aparte de ser el factor principal que controla la descomposición, modifica notablemente la índole y la rapidez de la descomposición.
- La mayor pérdida de masa de la hojarasca en descomposición se dio en los últimos 150-170 días del experimento.
- Se determinó en el análisis foliar de la hojarasca seca de ambas especies, que *M. melinoniana* posee mayor contenido tanto de nitrógeno como de carbono con relación a *O. mexicana*.
- Las tasas de descomposición son estadísticamente diferentes entre las parcelas y entre las parcelas por especies, pero no entre las especies.
- Con respecto a la macrofauna, solo se encontraron dos especies de organismos que participan en el proceso de descomposición, estos fueron, la cochinilla de humedad (*Porcellio scaber*) y la lombriz común de tierra (*Lombricus terrestris*).
- Ambas especies (macrofauna) son muy importantes en el ciclado de nutrientes, pero no es posible correlacionar su participación en el proceso de descomposición debido a la baja cantidad de organismos que se encontraron.

- No se determinó la participación de hongos ni bacterias en el proceso de descomposición.
- El contenido de Nitrógeno en ambas especies fue inferior a 1.4%.
- La proporción C/N de peso seco fue de 37.32 % en *O. mexicana* y 35.09 % en *M. melinoniana*; lo que nos indica que *M. melinoniana* es la especie con la mejor calidad, para el proceso de descomposición, en la hojarasca.
- La parcela de Palo Seco, presentó la temperatura más elevada entre las parcelas estudiadas y de igual manera, presentó la tasa de descomposición más alta que el resto de las parcelas.
- Con respecto a la relación de amonio en la tasa de descomposición, los resultados de este estudio son consistentes con otros en los que se encontró un efecto negativo entre la cantidad de N del suelo y la tasa de descomposición de la hojarasca.

9. RECOMENDACIONES

- El proceso de descomposición de la hojarasca es vital para el mantenimiento de los diferentes ecosistemas terrestres, es por esto, que se hace necesario seguir profundizando los estudios de este proceso en nuestro país.
- El factor biótico, es determinante en el proceso de descomposición de la hojarasca, sin embargo hay que tomar en cuenta no solo la cantidad de organismos presentes en las bolsas de descomposición, sino también la densidad poblacional de los mismos en el área de estudio. Asimismo, conocer las horas de más actividad de estos organismos.
- Los efectos de temperatura y la precipitación, son grandes indicadores que explican el proceso de descomposición, sin embargo la evotranspiración y la humedad también pueden ser factores decisivos en este proceso, por lo cual sería interesante incluir la medición de estos factores en futuros estudios.
- Para próximos estudios en el proceso de descomposición, recomendamos que los muestreos sean más frecuentes, para así poder determinar de forma más detallada las diferentes tasas de descomposición que se den en un determinado tiempo.

- De igual manera, sería interesante incluir estudios de hongos y bacterias que participan en el proceso de descomposición de la hojarasca, y así poder conocer con más detalle el efecto de éstos organismos en el proceso de la descomposición.

10. BIBLIOGRAFÍA

Aber J.D. y J.M., Melillo. 1991. *Terrestrial Ecosystems*, 2ª Edition. Academic Press, San Diego California. 543 p.p.

Aerts R. 1997. Climate, leaf litter chemistry and leaf litter decomposition in terrestrial ecosystems: a triangular relationship. *Oikos* 79:439-449.

Andersen, K. M., J. W. Dalling, and B. L. Turner. 2009. Soil-based habitat partitioning in understory palms in lower montane forests. *Journal of Biogeography*, doi:10.1111/j.1365-2699.2009.02192.x.

Anderson J.M. e J.S.I Ingram., 1993. *Topical soil biology and fertility: A hand book of methods*. CAB International. Wallingford, Reino Unido. 171 pp.

Arellano, R., J. Paolini, L. Vásquez & E. Mora. 2004. Producción y descomposición de hojarasca en tres agroecosistemas de café en el estado de Trujillo, Venezuela. *Rev. Forest. Venez.* 48: 7-14 p.p.

Azam, F. y Cho, B.C. 1987. Bacterial utilization of organic matter in the sea. En *Ecology of Microbial Communities*. Fletcher, M., T.R.G. Gray, J.G. Jones (Eds). Cambridge University Press. Cambridge. 261-281p.p.

Berg B. y Macclagherty C. 2008. *Plant litter: Descomposición, Humus formation, carbón secuestro*, 2ª edition. Spriger, Berlin. 338 p.p.

Brock, T.C.M. 1984. Aspects of the decomposition of *Nymphoides peltata* (Gmel). *Aquatic Botany* 19:131-156 p.p.

Brown, S.; Anderson, J.M.; Woome, P.L.; Swift, M.J. y Barrios, E. 1994. Soil biological processes in tropical ecosystems. In: *The Biological management of tropical soil fertility*. Edise P.L. Woome and M. J. Swift. TSBF. 120 p.p.

Byard R., K.C., Lewis, F; Montagnini. 1996. Leaf litter decomposition and mulch performance from mixed and monospecific plantations of native tree species in Costa Rica. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 58: 145-155 p.p.

Caldentey, J.; Ibarra, M. & Hernández, J. 2001. Litter fluxes and decomposition in *Nothofagus pumilio* stands in the region of Magallanes, Chile. *Forest Ecology and Management*. 148:145 p.p.

Coûteaux M-M., Bottner P. y Berg B. 1995. Litter decomposition, climate and litter quality. *Trends in Ecology and Evolution* 10:63-66 p.p.

Decaëns, T.; Jiménez, J.J.; Barros, E., Chauvel, A., Blanchart, E., Fragoso, C y Lavelle, P. 2004. Soil macrofaunal communities in permanent pastures derived from tropical forest or savanna. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 103: 301 p.p.

Di Stefano J. y Fournier L. 2004. Caída de hojarasca y tasas de descomposición de las hojas de *Vochysia guatemalensis* en una plantación de 10 años, Tabarcia de Mora, Costa Rica.

Goma-Tchimbakala, J. & F. Bernhard-Reversat 2006. Comparison of litter dynamics in three plantations of an indigenous timber-tree species (*Terminalia superba*) and a natural tropical forest in Mayombe, Congo. *Forest Ecol. Manag.* 229: 304-313 p.p.

Lavelle P., Blanchart E., Martin A., Martin S., Spain A., Toutain F., Barois I. y Schaefer R. 1993. A hierarchical model for decomposition in terrestrial ecosystems: application to soils of the humid tropics. *Biotropica* 25:130-150 p.p.

Littell, R. & J. Rudolf. 2000. SAS for Mixed Models, 2nd Ed. Institute Inc. Cary, North Carolina, United States of America. 254 p.p.

Lowell, C.R. y Konopka, A. 1985. Primary and bacterial production in two dimictic Indiana lakes. *Applied and Environmental Microbiology* 49:485-492 p.p.

Martius, C., Höfer, H., García, M.V.B., Römbke, J. y Hanagarth, W. 2004. Litter fall, litter stocks and decomposition rates in rainforest and agroforestry sites in central Amazonia. En: *Nutrient Cycling in Agroecosystems* Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands. 137 p.p.

McCulloch Ch. E. & S. R. Searle. 2001. Cap1. Generalized, Linear, and Mixed Models. Wiley-Interscience Publication. John Wiley and sons. INC. New York, United States of America. 325 p.p.

Mikola, P. 1960. Comparative experiment on decomposition rates of forest litter in southern and northern Finland. *Oikos*, II:161 – 166 p.p.

Montagnini F., Ramstad K., Sancho F. 1993. Litterfall, litter decomposition, and the use of mulch of four indigenous tree species in the Atlantic lowlands of Costa Rica. *Agroforestry Systems* 23: 39-63 p.p.

Moorhead, D. L., Sinsabaugh, R. L., Linkins, A. E. y Reynolds, J. F., 1996. Decomposition processes: modelling approaches and applications. *The Science of the Total Environment* 183: 137-149 p.p.

Ramírez, N. & A.G., Rocha. 2009. Producción y descomposición de hojarasca en diferentes condiciones sucesionales del bosque de pino-encino en Chiapas, México. Boletín de la Sociedad Botánica de México, Núm. 84, junio, 2009, pp. 1-12. Sociedad Botánica de México, A.C. México

Shanks, R.E. y Olson, J.S. 1961. First year breakdown of leaf litter in southern Appalachian forests. *Sci.*, 134: 194-195 p.p.

Stadmuller, T. 1987. Los Bosques Nublados en el Trópico Húmedo. UNU, CATIE. Turrialba, Costa Rica. 85 p.p.

Trofymow, J.A., Moore, T., Titus, B., Prescott, C., Morrison, T., Siltanen, M., Smith, S., Fyles, J., Wein, R., Camire, C., Duschene, L., Kozak, L., Kranabetter, M. y Visser, S. 2002. Rates of litter decomposition over 6 years in Canadian forests: influence of litter quality and climate. *Canad. J For Res.* 32:789 p.p.

Vitousek, P.M.; Turner, D.R.; Parton, W.J. & Souford, R.L. 1994. Litter decomposition on the Manua Loa environmental matrix, Hawaii: patterns, mechanisms and models. *Ecology.* 75:418 p.p.

Wetzel, R. G., 1992b. Wetlands as metabolic gates. *Journal of Great Lakes Research* 18: 529-532p.p.

Williams, S.T. y Gray, T.R.G. 1974. Decomposition of litter on soil surface. En *Biology of litter decomposition*. Vol. II, C.H. Dickinson y G.J.E. Pugh, ed. Nueva York, Academic Press. pp. 611-630 p.p.

11. ANEXOS

Cuadro 1. Promedio de masa final de la hojarasca de *O. mexicana* y *M. melinoniana* en Reserva Forestal Fortuna.

Parcela	Especie	Peso inicial	30 días	90 días	150 días	210 días	270 días
Hornito	Oremex	5.0 g	4.7 g	3.8 g	2.8 g	2.4 g	2.3 g
Hornito	Micmel	5.0 g	4.4 g	3.9 g	3.5 g	2.8 g	2.3 g
Alto frío	Oremex	5.0 g	4.7 g	4.1 g	3.1 g	2.5 g	2.7 g
Alto frío	Micmel	5.0 g	4.5 g	3.4 g	3.3 g	3.2 g	3.1 g
Honda A	Oremex	5.0 g	4.6 g	3.5 g	2.8 g	2.6 g	2.1 g
Honda A	Micmel	5.0 g	4.4 g	3.8 g	2.7 g	2.0 g	1.8 g
Palo seco	Oremex	5.0 g	4.4 g	3.3 g	2.6 g	1.7 g	1.2 g
Palo seco	Micmel	5.0 g	4.2 g	3.5 g	2.7 g	1.8 g	1.0 g

Cuadro 2. Masa restante de hojarasca de *O. mexicana* y *M. melinoniana*, Hornito

Parcela	Especie	Código	P. Inicial	30 Días	90 Días	150 Días	210 Días	270 Días
Hornito	Oremex	00.00	5.0 g	4.5 g	3.9 g	2.8 g	2.3 g	2.0 g
Hornito	Oremex	00.100	5.0 g	4.6 g	3.9 g	2.8 g	2.8 g	3.0 g
Hornito	Oremex	100.00	5.0 g	4.7 g	3.6 g	2.9 g	2.3 g	2.1 g
Hornito	Oremex	100,100	5.0 g	4.6 g	3.8 g	2.6 g	2.6 g	2.4 g
Hornito	Oremex	60.60	5.0 g	4.9 g	3.8 g	2.7 g	2.0 g	2.1 g
Hornito	Micmel	00.00	5.0 g	4.2 g	4.1 g	3.9 g	3.2 g	2.1 g
Hornito	Micmel	00.100	5.0 g	4.3 g	3.7 g	3.6 g	2.6 g	2.4 g
Hornito	Micmel	100.00	5.0 g	4.8 g	3.9 g	3.1 g	2.9 g	2.2 g
Hornito	Micmel	100,100	5.0 g	4.4 g	4.4 g	3.7 g	2.7 g	2.1 g
Hornito	Micmel	60.60	5.0 g	4.5 g	3.4 g	3.2 g	2.5 g	2.8 g

Cuadro 3. Masa restante de hojarasca de *O. mexicana* y *M. melinoniana*, Alto frío

Parcela	Especie	Código	P. Inicial	30 Días	90 Días	150 Días	210 Días	270 Días
Alto Frío	Oremex	00.00	5.0 g	4.7 g	4.6 g	3.5 g	2.5 g	2.5 g
Alto Frío	Oremex	00.100	5.0 g	4.7 g	3.8 g	2.9 g	2.4 g	3.1 g
Alto Frío	Oremex	100.00	5.0 g	4.6 g	3.8 g	3.3 g	2.4 g	2.7 g
Alto Frío	Oremex	100,100	5.0 g	4.7 g	4.1 g	3.0 g	2.5 g	2.8 g
Alto Frío	Oremex	60.60	5.0 g	4.7 g	4.3 g	3.0 g	2.9 g	2.2 g
Alto Frío	Micmel	00.00	5.0 g	4.4 g	3.7 g	3.8 g	2.9 g	2.6 g
Alto Frío	Micmel	00.100	5.0 g	4.4 g	3.6 g	3.5 g	3.9 g	3.3 g
Alto Frío	Micmel	100.00	5.0 g	4.7 g	3.3 g	4.0 g	3.2 g	3.6 g
Alto Frío	Micmel	100,100	5.0 g	4.6 g	3.6 g	1.8 g	3.0 g	3.7 g
Alto Frío	Micmel	60.60	5.0 g	4.4 g	2.6 g	3.5 g	2.9 g	3.3 g

Cuadro 4. Masa restante de hojarasca de *O. mexicana* y *M. melinoniana*, Honda A

Parcela	Especie	Código	P. Inicial	30 Días	90 Días	150 Días	210 Días	270 Días
Honda	Oremex	00.00	5.0 g	4.6 g	3.7 g	2.3 g	2.7 g	3.0 g
Honda	Oremex	00.100	5.0 g	4.6 g	3.7 g	2.8 g	2.3 g	2.1 g
Honda	Oremex	100.00	5.0 g	4.5 g	3.5 g	3.2 g	2.7 g	2.0 g
Honda	Oremex	100,100	5.0 g	4.5 g	3.7 g	2.4 g	2.5 g	1.7 g
Honda	Oremex	60.60	5.0 g	4.7 g	3.1 g	3.3 g	2.7 g	1.8 g
Honda	Micmel	00.00	5.0 g	4.4 g	3.7 g	2.8 g	1.2 g	2.1 g
Honda	Micmel	00.100	5.0 g	4.5 g	3.7 g	2.9 g	3.0 g	1.8 g
Honda	Micmel	100.00	5.0 g	4.3g	3.8 g	2.1 g	1.6 g	2.2 g
Honda	Micmel	100,100	5.0 g	4.1 g	3.9 g	3.4 g	2.5 g	1.2 g
Honda	Micmel	60.60	5.0 g	4.6 g	3.8 g	3.1 g	1.8 g	2.9 g

Cuadro 5. Masa restante de la hojarasca de *O. mexicana* y *M. melinoniana*, Palo seco

Parcela	Especie	Código	P. Inicial	30 Días	90 Días	150 Días	210 Días	270 Días
P. Seco	Oremex	00.00	5.0 g	4.7 g	3.4 g	2.8 g	2.4 g	1.4 g
P. Seco	Oremex	00.100	5.0 g	4.5 g	2.6 g	2.6 g	1.8 g	1.0 g
P. Seco	Oremex	100.00	5.0 g	4.5 g	3.6 g	2.3 g	1.3 g	1.5 g
P. Seco	Oremex	100,100	5.0 g	4.2 g	3.3 g	2.6 g	2.3 g	1.1 g
P. Seco	Oremex	60.60	5.0 g	4.1 g	3.6 g	2.6 g	1.5 g	1.1 g
P. Seco	Micmel	00.00	5.0 g	4.0 g	2.9 g	2.6 g	2.3 g	1.4 g
P. Seco	Micmel	00.100	5.0 g	4.2 g	3.8 g	2.5 g	0.7 g	0.5 g
P. Seco	Micmel	100.00	5.0 g	4.0 g	3.8 g	2.1 g	2.4 g	1.1 g
P. Seco	Micmel	100,100	5.0 g	4.6 g	3.8 g	2.3 g	1.2 g	0.7 g
P. Seco	Micmel	60.60	5.0 g	4.1 g	3.1 g	1.8 g	2.5 g	1.2 g



Instalaciones de ENEL Green Power de Fortuna, Chiriquí,



Bolsas de descomposición, Hornito.



Árbol de *Oreumonnea mexicana*, parcela permanente Honda A.



Canastas de colecta de hojarasca, parcela permanente Palo seco.



Bandejas con agua destilada para el lavado de las hojas.



Bolsas de papel para el secado de las hojas de descomposición.

12. GLOSARIO

Abiótico: es un factor climático geológico o geográfico inerte presente en el medio ambiente que afecta a los ecosistemas.

Biomasa: es la energía solar convertida por la vegetación en materia orgánica

Biótico: factores bióticos" o componentes bióticos son los organismos vivos que interactúan con otros seres vivos, se refieren a la flora y fauna de un lugar y a sus interacciones.

Bosques: es una comunidad estrechamente interrelacionada de seres vivos, tanto animales como plantas, que varían en tamaño desde los microorganismos a los grandes árboles.

Carbono: es el elemento constituyente de las distintas sustancias necesarias para la vida de las plantas como hidratos de carbono, lípidos, proteínas, enzimas, hormonas, etc. El carbono en las plantas procede del dióxido de carbono disuelto en la atmósfera por medio de la fotosíntesis.

Descomponedores o desintegradores: son también organismos heterótrofos que consumen materia orgánica muerta y la descomponen hasta sus componentes inorgánicos. Pertenecen a este grupo los necrófagos, que se alimentan de cadáveres; los coprófagos, que se alimentan de excrementos; los saprófagos, que se alimentan de materia podrida; los detritívoros, que se alimentan de detritos; y los mineralizadores o reductores, que reducen los compuestos hasta las formas más sencillas, como las bacterias y los hongos.

Ecosistema: es un sistema natural que está formado por un conjunto de organismos vivos y el medio físico donde se relacionan.

Especies: es un grupo de poblaciones naturales cuyos miembros pueden cruzarse entre sí.

Hojarasca: porción de hojas caídas, pequeñas ramas, semillas y otros restos leñosos que se acumulan en el suelo.

Lignina: constituyente intercelular incrustante o cementante de las células fibrosas de los vegetales. Se concentra en la lámela media y funciona prácticamente como relleno para impartir rigidez al tallo de la planta.

Macrofauna: se trata de organismos excavadores que viven, hibernan y/o se alimentan de otros organismos del suelo. Empero la mayoría de ellos no pueden considerarse como especies propiamente edáficas, si bien pueden llegar a afectar a su estructura, porosidad, etc.

Macronutrientes: se caracterizan por sus concentraciones superiores al 0.1% de la materia seca. Entre ellos se encuentran los principales elementos nutritivos necesarios para la nutrición de las plantas, que son el carbono, el hidrógeno, el oxígeno y el nitrógeno.

Micorrizas: asociación simbiótica, normalmente mutualista, entre ciertos hongos del suelo y las raíces de las plantas.

Nitrógeno: nutriente de gran importancia debido a su presencia en las principales biomoléculas de la materia vegetal; si añadimos que los suelos

suelen soportar un déficit de este elemento, tendremos que, junto al potasio y el fósforo, es uno de los elementos claves en la nutrición mineral. En términos mundiales es el nutriente que más limita las cosechas y por ello, el que más se fertiliza. Tiene implicaciones en la contaminación ambiental por nitratos.

Nutrientes: son cualquier elemento o compuesto químico necesario para el metabolismo de un ser vivo.

Saprófitos: es un organismo heterótrofo vegetal que obtiene su energía de materia orgánica muerta o de los detritos desechados por otros seres vivos, de los cuales extrae los compuestos orgánicos que requiere como nutrientes.

Suelo: parte superficial de la corteza terrestre, biológicamente activa, que tiende a desarrollarse en la superficie de las rocas emergidas por la influencia de la intemperie y de los seres vivos (meteorización).