



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

Centro de Investigaciones en Ecosistemas

“Estimación del contenido de carbono en la
biomasa leñosa muerta para diferentes
clases de cobertura vegetal y uso del suelo:
el caso de la región Purépecha,
Michoacán”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE

MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

(BIOLOGÍA AMBIENTAL)

P R E S E N T A

ING. JOSÉ LUIS NAVARRETE PÉREZ NEGRÓN

DIRECTOR DE TESIS: DR. OMAR RAÚL MASERA CERUTTI

MORELIA, MICHOACÁN

FEBRERO, 2006



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas

Tesis Digitales

Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICATORIA

A mi Madre Rosa María Pérez Negrón Campuzano y a mi Padre José Luis Navarrete Melchor, por su eterno e incondicional apoyo y al más grande de todos los Maestros que he tenido y tendré....

...Ni seáis llamados maestros; porque uno es vuestro Maestro, el Cristo.

Mat. 23:10.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) y a la Dirección General de Estudios de Posgrado (DGEP) por las becas otorgadas durante mis estudios de posgrado y que hicieron posible la realización de esta tesis.

A la Universidad Nacional Autónoma de México por haberme permitido ser parte de ella y llevar por siempre sus colores en el corazón.

Al M. en C. Gonzalo Cortez Jaramillo por haberme puesto en el camino de la ciencia.

Al c. Dr. José de Jesús Alfonso Fuentes Junco, por sus sabios consejos y orientación académica y económica.

Al Dr. Gerardo Bocco Verdinelli como parte de mi comité tutorial y del jurado examinador por sus sugerencias y comentarios de éste trabajo y por su apoyo económico a través del proyecto PAPIIT No. IN101900 “Geomorfología y Paisaje en el Parque Nacional del Pico de Tancítaro”.

A mi tutor Dr. Omar Masera Cerutti por la dirección de esta tesis por todos sus consejos, enseñanzas, correcciones y sugerencias a lo largo de éste trabajo.

Al Dr. Alejandro Velázquez Montes como parte de mi comité tutorial y del jurado examinador por sus sugerencias, apoyo y comentarios a la presente.

Al c. Dr. José Antonio Benjamín Ordóñez Díaz, por su amistad, apoyo y ayuda incondicional a lo largo de la realización de todo el proyecto.

Al Dr. Diego Pérez Salicrup, como parte del jurado examinador por sus enseñanzas, sugerencias, apoyo y comentarios de éste trabajo.

Al Dr. Bernardus Hendricus Jozeph de Jong, como parte del jurado examinador por sus sugerencias y comentarios de la presente tesis.

A la Biol. Gabriela Guerrero Pacheco por su ayuda incondicional en la elaboración de los mapas utilizados para este trabajo.

A la M. en C. Maribel Nava Mendoza del laboratorio de biogeoquímica de suelos, que amablemente me brindó ayuda para el secado de las muestras.

A la M. en C. María Luisa Herrera Arroyo, M. en C. Nidia Pérez Nasser y a la asistente de lab. Dolores Lugo del laboratorio de ecología genética y molecular por su apoyo en el procesamiento de las muestras.

Al M. en C. René David Martínez Bravo, Jaime Navia (GIRA, A.C.), Juan Velarde y equipo, Ing. José Ventura Pérez Camargo, como parte del proyecto CONACyT 32715-N titulado: “Dinámica de emisiones de carbono a nivel regional, en un ecosistema templado del centro de México”, que proporcionó datos indispensables para la realización de esta tesis.

A los Biólogos: Maria Erika Tapia Medina, Luis Giovanni Ramírez Sánchez y M. en C. Francisco Sánchez Espinoza, por su valiosa ayuda en la toma de datos de campo.

Al Biol. Luis Francisco Aviña Cervantes por su revisión en estilo y forma de la presente tesis así como también al Dr. Alan Watson Forster y la M.C. Carolina Palacios Guevara.

A mis compañeros de laboratorio por su apoyo y amistad:

Alejandro Flamenco, Adrián Ghilardi Álvarez, Sandro Cervantes Núñez, María Guadalupe García Burgos, Cynthia Armendáriz Arnez, Quetzalcoatl Orozco Ramírez, Alfredo Fuentes Gutiérrez, Carlos Anaya Merchant. Así mismo a todos y cada uno de mis compañeros del CIEco y a toda su planta de Investigadores y trabajadores por todos sus consejos, enseñanzas y amistad.

CONTENIDO

CAPÍTULO	PÁGINA
DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTOS.....	ii
RESUMEN.....	iii
INDICE DE CUADROS.....	ix
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. El Cambio Climático.....	1
1.1.1. Consecuencias e impactos esperados.....	1
1.1.2. Gases de efecto invernadero (GEI).....	3
1.2. El ciclo del carbono: El papel de los bosques.....	3
1.3. Almacenes de carbono.....	6
1.4. El carbono en la biomasa leñosa muerta.....	7
2. OBJETIVOS e HIPÓTESIS.....	9
2.1. Objetivo general.....	9
2.2. Objetivo particular.....	9
2.3. Hipótesis (nula).....	9
3. ANTECEDENTES.....	10
3.1. Introducción.....	10
3.2. Conceptos básicos sobre la biomasa leñosa muerta o madera muerta.....	11
3.3. Definición y características de la madera muerta.....	12
3.4. El valor de la madera muerta.....	13

3.5. Microhábitats.....	13
3.6. Aves, murciélagos y otros vertebrados.....	14
3.7. Arroyos y cuerpos de agua.....	14
3.8. La sucesión de la descomposición.....	14
4. MÉTODOS.....	16
4.1. Descripción del área de estudio.....	16
4.2. Selección de los sitios de muestreo.....	17
4.3. Determinación de las clases de cobertura vegetal y uso del suelo..	18
4.4. Estrategia de muestreo en campo.....	20
4.5. Obtención de muestras en campo.....	22
4.5.1. Método para el muestreo de la biomasa leñosa muerta.....	23
4.6. Procesamiento de muestras.....	23
4.6.1. Medición de la densidad.....	23
4.6.1.1. Método de muestreo en campo para la determinación de las densidades.....	24
4.6.2. Estimación del volumen de la madera muerta.....	25
4.6.3. Cálculo de la biomasa.....	26
4.6.4. Cálculo del contenido de carbono.....	27
5. RESULTADOS.....	28
5.1. Densidades por estado de descomposición.....	28
5.1.1. Densidades por sub-región.....	32
5.1.2. Análisis general de densidades por estado de descomposición.....	34
5.2. Estimación del contenido de carbono.....	40

6. DISCUSIÓN.....	47
6.1. Estimación de las densidades para la biomasa leñosa muerta.....	47
6.2. Biomasa.....	48
6.3. Carbono.....	50
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	53
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	57
9. ANEXOS.....	61
Anexo A) Comparación de medias de tratamientos con la prueba de Tukey (<i>Pinus</i> , Uruapan).....	61
Anexo B) Comparación de medias de tratamientos con la prueba de Tukey (<i>Quercus</i> , Uruapan).....	61
Anexo C) Comparación de medias de tratamientos con la prueba de Tukey (<i>Pinus</i> , Pátzcuaro).....	62
Anexo D) Comparación de medias de tratamientos con la prueba de Tukey (<i>Quercus</i> , Pátzcuaro).....	62
Anexo E) Comparación de medias de tratamientos con la prueba de Tukey (<i>Pinus</i> , Meseta).....	63
Anexo F) Comparación de medias de tratamientos con la prueba de Tukey (<i>Quercus</i> , Meseta).....	63
Anexo G) Comparación de medias de tratamientos con la prueba de Tukey (<i>Pinus</i> , Tancítaro).....	64
Anexo H) Comparación de medias de tratamientos con la prueba de Tukey (<i>Quercus</i> , Tancítaro).....	64
Anexo I) Comparación de medias de tratamientos con la prueba de Tukey (<i>Abies</i> , Tancítaro).....	65
Anexo J) Comparación de medias de tratamientos con la prueba de Tukey (<i>Pinus</i> FRESCO, entre subregiones).....	65
Anexo K) Comparación de medias de tratamientos con la prueba de Tukey (<i>Pinus</i> INTERMEDIO, entre subregiones).....	66
Anexo L) Comparación de medias de tratamientos con la prueba de Tukey (<i>Pinus</i> PODRIDO, entre subregiones).....	66
Anexo M) Comparación de medias de tratamientos con la prueba de Tukey (<i>Quercus</i> FRESCO, entre subregiones).....	67
Anexo N) Comparación de medias de tratamientos con la prueba de Tukey (<i>Quercus</i> INTERMEDIO, entre subregiones).....	67
Anexo O) Comparación de medias de tratamientos con la prueba de Tukey	

(<i>Quercus</i> PODRIDO, entre subregiones).....	68
Anexo P) Comparación de medias de tratamientos con la prueba de Tukey análisis general de densidades (P, Q & A) FRESCO.....	68
Anexo Q) Comparación de medias de tratamientos con la prueba de Tukey análisis general de densidades (P, Q & A) INTERMEDIO.....	69
Anexo R) Comparación de medias de tratamientos con la prueba de Tukey análisis general de densidades (P, Q & A) PODRIDO.....	69
Anexo S) Prueba de comparaciones múltiples de valores de probabilidad biomasa por clase (Mediana).....	70
Anexo T) Prueba de comparaciones múltiples de valores de probabilidad biomasa por clase (Media).....	70
Anexo U) Prueba de comparaciones múltiples de valores de probabilidad carbono por clase (Mediana).....	71
Anexo V) Prueba de comparaciones múltiples de valores de probabilidad carbono por clase (Media).....	71
Anexo X) Forma y disposición de los transectos dentro de cada sitio de muestreo.	72
Anexo Z) Medición y cálculo del volumen de la madera muerta (Fórmula de Huber: Vol. = A.B.2 x long.).....	72

RESUMEN

Actualmente la deforestación y la degradación forestal son factores importantes para el cambio climático global, puesto que son la segunda fuente de emisiones netas de CO₂ a la atmósfera después del sector energético. Además generan grandes problemas locales y regionales, como el incremento de la erosión y el abatimiento de los mantos acuíferos, entre otros. Sin embargo, bajo estrategias de conservación, restauración y manejo sustentable de los bosques, éstos pueden ayudar a mitigar el cambio climático. La Madera muerta es a menudo un componente significativo del contenido de carbono del ecosistema forestal, contando con un 10 – 20% de la biomasa viva en un bosque maduro.

En este estudio se estimó la densidad de la madera muerta bajo tres estados de descomposición: fresco, intermedio y podrido. Se analizó madera de tres géneros distintos: *Abies*, *Pinus* y *Quercus*, y se aplicaron análisis de varianza a las 270 muestras obtenidas. Se encontró diferencias altamente significativas entre los distintos tratamientos o estados de descomposición con valores medios de densidad (gr/cm³) para *Pinus* de: 0.420±0.014 fresco, 0.332±0.010 intermedio y 0.255±0.014 podrido. Los valores para *Quercus* fueron de: 0.589±0.019 fresco, 0.456±0.017 intermedio y 0.258±0.013 podrido y finalmente para *Abies* 0.538±0.040 fresco, 0.500±0.040 intermedio y 0.318±0.039 podrido.

Se determinó el contenido de carbono de la madera muerta en siete clases de uso del suelo y cobertura vegetal; encontrándose diferencias altamente significativas entre ellas, con valores de la mediana (tC/ha) para las distintas clases de uso del suelo de: Bosque de pino: 4.0±1.1, Bosque de pino - encino: 2.9±2.4, Bosque de encino: 1.7±4.0, Matorral subtropical: 3.0±2.0, Agricultura de cultivos permanentes: 0.2±0.1, Bosque de oyamel: 14.8±3.8, y Plantación Forestal: 2.3±1.5.

ABSTRACT

Currently deforestation and forest degradation are important factors in the climatic change, as these are the second source of net emissions of CO₂ to the atmosphere after the energy sector. Moreover they produce large local and regional problems, such as an increase in erosion and an exhaustion of groundwater. However, conservation, restoration and sustainable management of forests, can help to mitigate climate change. Dead wood is often a significant component of forestry ecosystem's carbon content, amounting to 10 – 20% of the living biomass of a mature forest.

In this study we estimated the density of dead wood under three decomposition states: sound, intermediate, and rotten. Three different genres were analyzed: *Abies*, *Pinus* and *Quercus*; we applied analysis of variance to 270 samplings. We found highly significant differences between the density of each state with average means (gr/cm³) for *Pinus*: 0.420±0.014 sound, 0.332±0.010 intermediate and 0.255±0.014 rotten, for *Quercus*: 0.589±0.019 sound, 0.456±0.017 intermediate and 0.258±0.013 rotten and finally for *Abies* 0.538±0.040 sound, 0.500±0.040 intermediate and 0.318±0.039 rotten.

We estimated the carbon content of dead wood in seven land-use and land cover classes. We found highly significant differences between them, with values of median (tC/ha) for the different land use classes of: pine forest: 4.0±1.1, pine – oak forest: 2.9±2.4, oak forest: 1.7±4.0, scrublands: 3.0±2.0, fruit plantations: 0.2±0.1, fir forest: 14.8±3.8, and reforestation: 2.3±1.5.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. El cambio climático

Nuestro planeta está experimentando una serie de cambios alarmantes, uno de ellos y quizás el más importante de todos es el cambio climático, producto del rápido aumento de los gases de efecto invernadero (dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, clorofluorocarbonos y ozono) a partir de la revolución industrial (Goudie, 1990; IPCC, 1990).

1.1.1. Consecuencias e impactos esperados

En todos los escenarios de emisiones que proyecta el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (por sus siglas en inglés: IPCC) se prevé que tanto las concentraciones de CO₂ como la temperatura media de la superficie de la tierra y el nivel del mar, aumenten durante el siglo XXI.

En los distintos escenarios que plantea el Informe Especial sobre Escenarios de Emisiones (IEEE), la concentración proyectada de CO₂ en el año 2100 oscila entre 540 y 970 ppm, comparada con cerca de 280 ppm que habían en la época preindustrial, y cerca de 368 ppm en el año 2000 (IPCC, 2001).

Las proyecciones que utilizan los escenarios de emisiones del IEEE en una gama de simulaciones climáticas dan como resultado un aumento de la temperatura media de la superficie de la tierra de 1.4 – 5.8 °C en el periodo 1990 – 2100. Esta cantidad es de 2 a 10 veces superior al valor central del calentamiento observado durante el siglo XX, y es muy probable que la velocidad proyectada del calentamiento no tenga precedentes durante, al menos, los últimos 10,000 años, de acuerdo con datos paleoclimáticos (Cuadro 1).

Cuadro 1. Resumen de las alteraciones en el planeta provocadas por el cambio climático (Cuadro modificado del IPCC, 2001).

Cambios en la atmósfera, clima y sistema biológico terrestre durante el siglo XX	
Indicador	Cambios observados
Indicadores de concentración	
Concentración atmosférica de CO ₂	288 ppm durante el periodo 1000 – 1750 a 368 ppm en el año 2000 (31 ± 4 % de aumento).
Intercambio en la biosfera terrestre de CO ₂	Fuente acumulada de unas 30 Gt C entre los años 1800 y 2000, pero sumidero neto de unos 14 ± 7 Gt C durante el decenio de 1990.
Concentración atmosférica de CH ₄	700 ppb durante el periodo 1000 – 1750 a 1.750 ppb en el año 2000 (aumento del 151 ± 25 %).
Concentración atmosférica de N ₂ O	270 ppb durante el periodo 1000 – 1750 a 316 ppb en el año 2000 (aumento del 17 ± 5 %).
Concentración troposférica de O ₃	Aumento del 35 ± 15 % entre los años 1750 – 2000, con variaciones según las regiones.
Concentración estratosférica del O ₃	Una disminución en los años 1970 – 2000, con variaciones según la altitud y latitud.
Concentraciones atmosféricas de HFC, PFC y SF ₆	Aumento en todo el mundo durante los últimos 50 años
Indicadores meteorológicos	
Temperatura media mundial de la superficie	Aumento de $0.6 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$ en el siglo XX; la superficie de la Tierra se ha calentado más que los océanos (muy probable).
Temperatura en la superficie del Hemisferio Norte	Aumento durante el siglo XX más que en otro siglo de los últimos 1000 años; el decenio de 1990 ha sido el más cálido del milenio (probable).
Temperatura diurna de la superficie	Disminución en el periodo 1950 – 2000 en las zonas terrestres; las temperaturas mínimas nocturnas han aumentado el doble de las temperaturas máximas diurnas (probable).
Días calurosos / índice de calor	Aumento (probable).
Días de frío / heladas	Disminución en casi todas las zonas terrestres durante el siglo XX (muy probable).
Precipitaciones continentales	Aumento en un 5 – 10% en el siglo XX en el Hemisferio Norte (muy probable), aunque han disminuido en algunas regiones (como en África del Norte y occidental y partes del Mediterráneo).
Precipitaciones fuertes	Aumento en latitudes medias y altas en el Norte (probable).
Frecuencia e intensidad de las sequías	Aumento del clima seco estival y las consiguientes sequías en algunas zonas (probable). En algunas regiones, como en partes de Asia y África, parecen haberse acentuado la frecuencia e intensidad de las sequías en los últimos decenios.
Indicadores físicos y biológicos	
Media mundial del nivel del mar	Aumento a una velocidad media anual de 1 a 2 mm durante el siglo XX.
Duración de las capas de hielo en ríos y lagos	Disminución de unas 2 semanas en el siglo XX, en las latitudes medias y altas del Hemisferio Norte (muy probable).
Extensión y espesor del hielo marino en el Ártico	Disminución en un 40 % en los últimos decenios desde finales del verano a principios del otoño (probable) y disminución de su extensión en un 10 – 15 % desde el decenio de 1950, en primavera y verano.
Glaciares no polares	Retiro generalizado durante el siglo XX.

Capa de nieve	Disminución de su extensión en un 10 % desde que se registran observaciones por satélite en los años 1960 (muy probable)
Permafrost	Fusión, calentamiento y degradación en las zonas polares, subsolares y regiones montañosas.
Fenómenos asociados con El Niño	Mayor frecuencia, persistencia e intensidad durante los últimos 20 – 30 años, en relación con los últimos 100 años.
Época de crecimiento	Aumento de 1 a 4 días por decenio durante los últimos 40 años en el Hemisferio Norte, especialmente en las latitudes altas.
Área de distribución de plantas y animales	Desplazamiento de plantas, insectos, pájaros y peces hacia los polos o hacia altitudes más altas.
Cría, floración y migración	Adelanto de la floración, la llegada de las primeras aves, la época de cría y la aparición de los insectos en el Hemisferio Norte.
Decoloración de arrecifes de coral	Aumento de la frecuencia, especialmente durante los fenómenos asociados con El Niño.
Indicadores Económicos	
Pérdidas económicas relacionadas con fenómenos meteorológicos	Aumento de las pérdidas mundiales, ajustadas a la inflación, en un orden de magnitud durante los últimos 40 años. Una parte de la tendencia ascendente está vinculada a factores socioeconómicos, y otra parte, a factores climáticos.

1.1.2. Gases de efecto invernadero (GEI)

Muchos de estos gases tienen tiempos de vida o residencia en la atmósfera que van desde decenas hasta cientos de años, por lo que los cambios en las concentraciones en la atmósfera responden lentamente a los cambios que se dan en las tasas de emisión (Goudie, 1990; IPCC, 1990).

De todos estos gases el CO₂ es, posiblemente, el componente atmosférico más importante y más afectado por las actividades humanas. De acuerdo con las predicciones de los modelos climáticos globales, cerca del 55% del calentamiento predicho para el presente siglo se debe al CO₂, 20% a los clorofluorocarbonos y el 25% restante al metano y al óxido nitroso. Mediciones recientes han mostrado un incremento de CO₂ de 25% en poco más de 100 años (0.25% anual), (Jaramillo, 1994).

1.2. El ciclo del carbono: El papel de los bosques

El uso de combustibles fósiles y el cambio de uso de suelo son las dos principales causas a nivel mundial de la emisión neta de CO₂ a la atmósfera relacionadas con el

cambio climático global (Mintzer, 1992; citado por Ordóñez, 1999), lo que está provocando un aumento en la cantidad de carbono atmosférico de 3 a 5 Gt C/año (Bolin et al., 1986; Newman, 1993).

Para México este fenómeno es de suma importancia, ya que nuestro país se encuentra entre los 20 países con mayores emisiones de GEI (con una contribución mundial anual del 1.45% de las emisiones totales; IPCC, 1995) y además se encuentra en las regiones más vulnerables a los impactos asociados al cambio climático por sus condiciones socioeconómicas y bioclimáticas particulares.

Los bosques son de incalculable valor para la humanidad, no sólo proporcionan carbón, celulosa, madera y otros productos, sino que regulan las condiciones climáticas de nuestro medio ambiente.

En la naturaleza, los ciclos del carbono se llevan a cabo entre 3 principales reservorios globales: la atmósfera, la biosfera terrestre y los océanos. El carbono es también almacenado en forma de carbonatos en rocas y sedimentos, pero estos ciclos toman escalas de tiempo muy largas, si no son perturbados por el hombre. Los intercambios naturales totales de carbono entre la atmósfera y la biosfera terrestre son de alrededor de 60 GtC anualmente (productividad primaria neta), mientras que los intercambios naturales totales de carbono entre la atmósfera y los océanos son cerca de 90 GtC.

Los océanos contienen por mucho, el sumidero más grande de carbono, entre 38 y 40,000 GtC, predominantemente en la forma de carbono inorgánico disuelto. La biosfera terrestre contiene el siguiente sumidero más grande de carbono, contando con aproximadamente 2,200 GtC, en la vegetación y superficie de los suelos (suelos con una profundidad de 100 cm). La atmósfera almacena una pequeña cantidad de carbono con alrededor de 760 GtC (Schimel et al., 1996).

Se cree que en tiempos postglaciares, el ciclo del carbono ha estado en un estado de equilibrio dinámico: a pesar de los inmensos movimientos del carbono entre la atmósfera, los océanos y la biosfera terrestre, los totales en cada uno de los 3 reservorios han permanecido mas o menos constantes a lo largo del tiempo (Matthews et al., 2000).

La vegetación absorbe el CO_2 de la atmósfera a través de la fotosíntesis y lo libera de nuevo a través de la respiración (Figura 1). La cantidad anual total de CO_2 absorbido (cerca de 120 billones de toneladas de carbono o 120 GtC –gigatoneladas-) es conocida como la productividad primaria gruesa. Las pérdidas de carbono por respiración reducen a la mitad la captura total de carbono; la producción primaria neta de las plantas es de alrededor de 60 GtC. Este enorme proceso de respiración puede ser observado en la atmósfera, donde las concentraciones de CO_2 descienden durante las estaciones de crecimiento (primavera y verano) y se incrementan de nuevo durante los meses más fríos cuando el crecimiento de las plantas se reduce grandemente. Al mismo tiempo las pérdidas de carbono de los ecosistemas ocurren continuamente debido a la descomposición de la materia orgánica por parte de los microorganismos del suelo. Estas pérdidas además reducen la productividad de los ecosistemas cerca de 10 GtC globales.

Finalmente, las pérdidas adicionales de carbono ocurren como el resultado de varios disturbios, incluyendo tormentas, fuego, cosecha y deforestación. La producción neta final de la materia orgánica en los ecosistemas es aproximadamente de 0.7 GtC/año, o menos del 1 por ciento de la productividad primaria neta (Steffan et al., 1998).

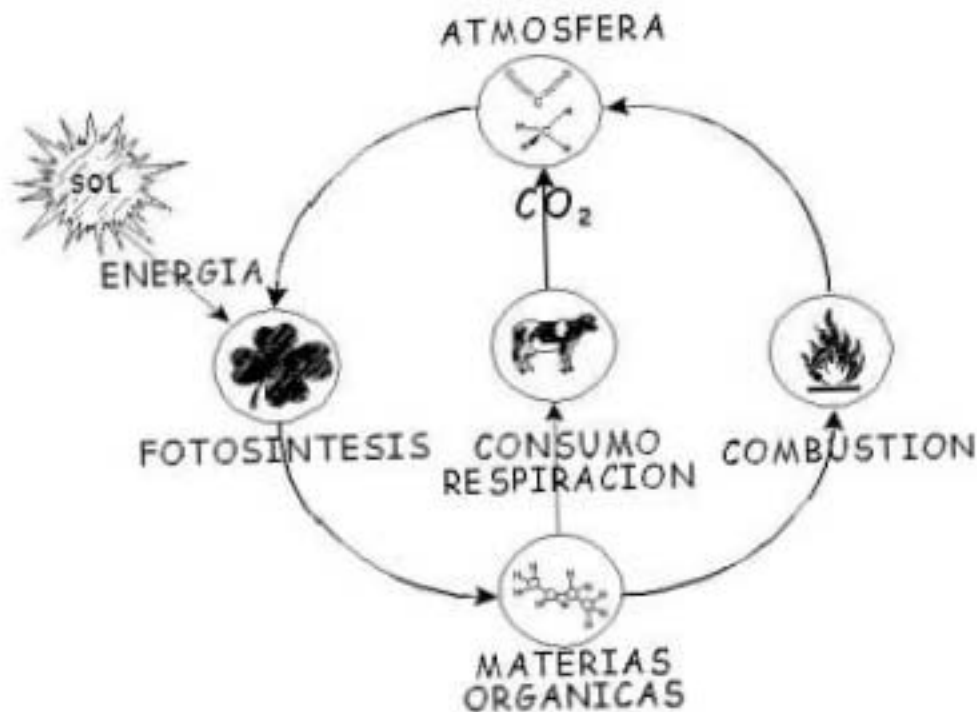


Figura 1. El ciclo del carbono (Ordóñez, 1999)

1.3. Almacenes de carbono

Los principales almacenes de carbono en los ecosistemas forestales son la vegetación (que comprende hierbas, arbustos y el follaje, ramas, raíces y tronco del árbol), la materia orgánica sobre el suelo (que comprende el mantillo y la madera muerta que es el objeto de éste estudio) y el suelo (humus). La cantidad de carbono almacenado en éstos se está reduciendo rápidamente por los procesos de deforestación y degradación de los ecosistemas forestales. Para proponer estrategias viables dirigidas a la mitigación del cambio climático es imprescindible, por un lado, conocer la dinámica del carbono en los ecosistemas forestales y por otra, las modificaciones a los flujos de C derivadas de los patrones de cambio de uso de suelo. Un primer paso indispensable para lograr este objetivo, es contar con la información básica sobre los contenidos de carbono en los diferentes almacenes del ecosistema (Figura 2).

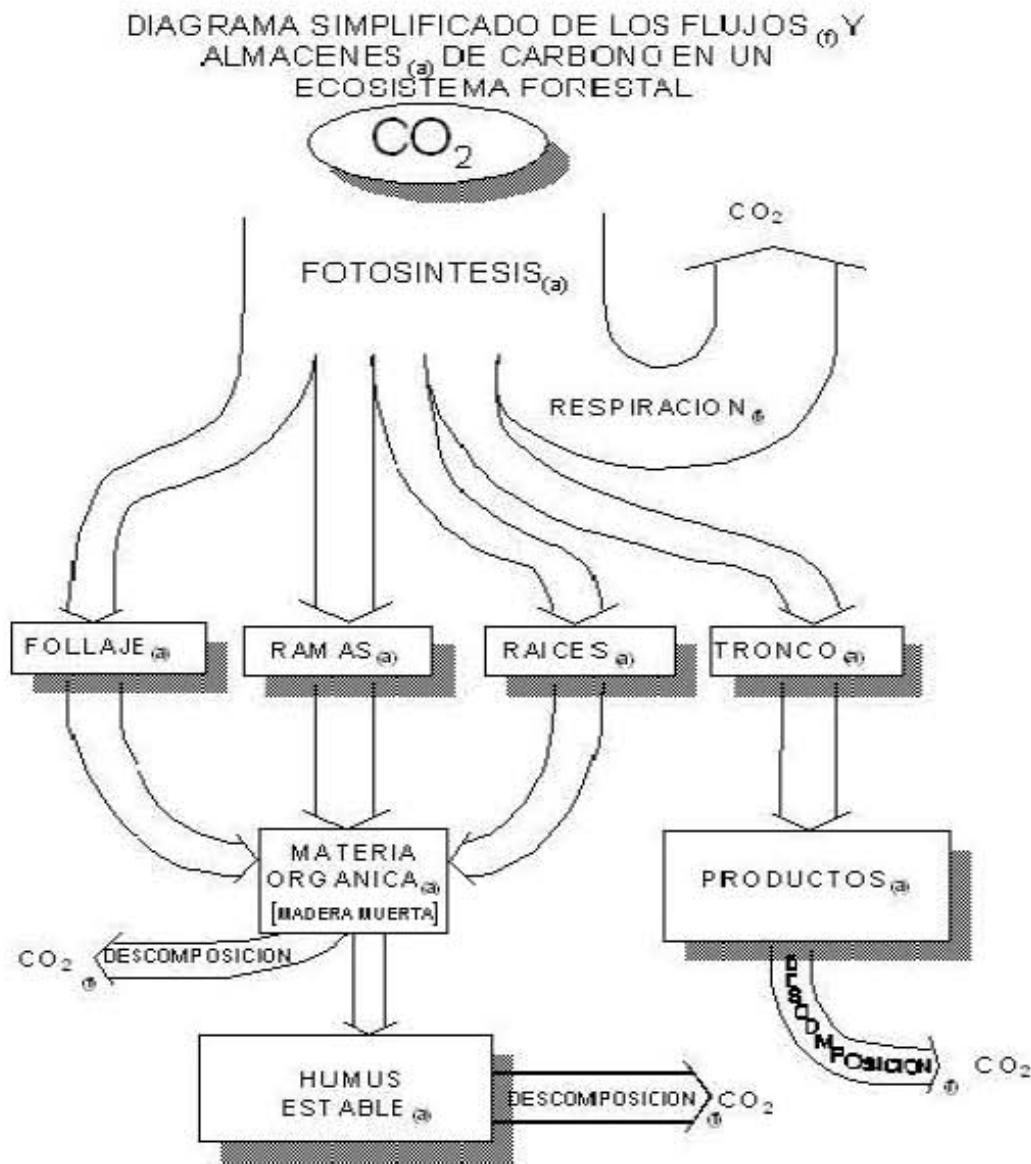


Figura 2. Flujos y almacenes de carbono (Ordóñez, 1999)

1.4. El carbono en la biomasa leñosa muerta

La estimación del contenido de carbono en la biomasa leñosa muerta en zonas sujetas a presiones por el cambio de uso de suelo como la zona bajo estudio, combinado con otros estudios paralelos de biomasa aérea, mantillo, raíces y suelo; permitirían conocer la dinámica de los flujos y almacenes de carbono y el potencial de la zona para la captura de carbono y de esta manera realizar en un futuro, un plan de manejo integral de las zonas afectadas, para el aprovechamiento sustentable de sus recursos contribuyendo de esta manera a la mitigación del cambio climático.

Este estudio formó parte de un proyecto orientado a determinar el contenido total de carbono para las distintas clases de uso del suelo de la Región Purépecha denominado: “Dinámica de emisiones de carbono a nivel regional, en un ecosistema templado del centro de México” CONACyT (32715-N) el cual fue llevado a cabo por personal académico del Laboratorio de Bioenergía del Centro de Investigaciones en Ecosistemas de la Universidad Nacional Autónoma de México. Como parte del estudio se realizó un muestreo de almacenes de carbono en las diferentes clases de uso de suelo de la Región. Asimismo, se generó una base de datos sobre madera muerta que fue ordenada y analizada por el autor de la presente tesis. Como tarea adicional se realizó un muestreo y análisis de los valores de densidad de madera muerta.

En este estudio, se analizan las densidades de la madera muerta por estado de descomposición y género como una primera parte de la investigación, posteriormente se analiza el contenido de carbono en la biomasa leñosa muerta para diferentes clases de cobertura vegetal y uso del suelo en la región Purépecha, del estado de Michoacán de Ocampo.

2. OBJETIVOS e HIPÓTESIS

2.1. Objetivo general:

Realizar una estimación a nivel regional del contenido de carbono en la biomasa leñosa muerta asociado a las diferentes clases de cobertura vegetal y uso de suelo en la región Purépecha del Estado de Michoacán.

2.2. Objetivo particular:

Realizar una estimación de las densidades de la madera muerta de los principales géneros (*Pinus*, *Quercus*, *Abies*), por estado de descomposición de la misma: fresco, intermedio y podrido.

2.3. Hipótesis (nula):

Para el objetivo general:

No existen diferencias significativas en el contenido de carbono en la biomasa leñosa muerta para las diferentes clases de cobertura vegetal y uso de suelo en la región Purépecha del estado de Michoacán.

Para el objetivo particular:

No existen diferencias significativas en las densidades de la madera muerta de los principales géneros (*Pinus*, *Quercus*, *Abies*), por estado de descomposición de la misma: fresco, intermedio y podrido.

2. OBJETIVOS e HIPÓTESIS

2.1. Objetivo general:

Realizar una estimación a nivel regional del contenido de carbono en la biomasa leñosa muerta asociado a las diferentes clases de cobertura vegetal y uso de suelo en la región Purépecha del Estado de Michoacán.

2.2. Objetivo particular:

Realizar una estimación de las densidades de la madera muerta de los principales géneros (*Pinus*, *Quercus*, *Abies*), por estado de descomposición de la misma: fresco, intermedio y podrido.

2.3. Hipótesis (nula):

Para el objetivo general:

No existen diferencias significativas en el contenido de carbono en la biomasa leñosa muerta para las diferentes clases de cobertura vegetal y uso de suelo en la región Purépecha del estado de Michoacán.

Para el objetivo particular:

No existen diferencias significativas en las densidades de la madera muerta de los principales géneros (*Pinus*, *Quercus*, *Abies*), por estado de descomposición de la misma: fresco, intermedio y podrido.

3. ANTECEDENTES

3.1. Introducción

La madera muerta en los bosques juega un papel importante en el funcionamiento de esta clase de ecosistemas, ya que es un componente crítico del hábitat, tanto para vertebrados, como invertebrados y para el bosque mismo (Thomas, 2002). Sin embargo, hoy en día, se conoce poco sobre las densidades de la madera muerta por grado de descomposición así como las transformaciones asociadas a los cambios de uso del suelo.

Elton (1966) describe brevemente el papel de la madera muerta como un componente crítico del hábitat: "Cuando uno camina a través de los limpios y libres suelos de los bosques, producto de los modernos manejos silvícolas, es difícil creer que la madera muerta y caída proporcione una de las dos o tres fuentes más grandes para las especies animales en los bosques, y si los troncos o los árboles muertos ligeramente en estado de descomposición son removidos, el sistema completo es gravemente empobrecido de quizás mas de un quinta parte de su fauna". La madera muerta es muy importante para la ecología del manejo forestal. Tiene importantes implicaciones en la descomposición de los restos de madera en los ciclos minerales, la inmovilización de nutrientes (Fogel y Cromack, 1977; Sarasola y Vera, 1998; MacMillan y otros 1977), y la fijación de nitrógeno (Cornaby y Waide 1973; Sarasola y Vera, 1998). Es conocido que los troncos frecuentemente sirven como sustrato, para las hifas fungales, rizomorfos y esporocarpios (Ausmus y otros 1975, Cromack y otros 1975).

Harvey y otros (1976), han demostrado el papel de los troncos caídos como sitios para la colonización de hongos ectomicorrízicos que ayudan en la sobrevivencia de varias especies de árboles. Los hongos ectomicorrízicos han mostrado que ayudan en los procesos de fijación de nitrógeno (MacMillan y otros 1977). Cromack y otros (1975), Maser y otros (1978), Miller y Halls (1969), y Trappe y Maser (1976) han identificado asociaciones de hongos con madera muerta como una importante fuente de alimentos para la fauna silvestre tanto de vertebrados como invertebrados. Earlier, Graham (1925), Kimmey y Furniss (1943), y Savely (1939) han notado que los troncos caídos

provén varios atributos para el hábitat de la vida salvaje, dependiendo del estado de descomposición de éstos.

3.2. Conceptos básicos sobre la biomasa leñosa muerta o madera muerta

La madera muerta comprende madera en pie y tirada sobre el suelo, y es un componente significativo del ecosistema forestal, contando a menudo con un 10 – 20% de la biomasa viva en un bosque maduro (Muller y Liu, 1991; Harmon et al., 1993; Delaney et al., 1998), lo cual tiende a ser ignorado en muchos inventarios forestales de carbono (Brown, 2001).

En los ecosistemas forestales la cantidad de madera muerta varía ampliamente, desde bosques jóvenes casi sin ésta, hasta bosques maduros con una abundante cantidad de este recurso. En un bosque del sur de Francia sujeto a explotación, la cantidad de madera muerta fue de 1.4 tms/ha*, aunque muchos bosques templados de Europa y Norteamérica pueden contener de 2.3 a 9,1 tms/ha, de madera muerta, con un promedio de 5 tms/ha donde la edad promedio de los árboles es de 150 – 200 años (Christensen, 1997 citado por Delgado y Pedraza, 2002), mientras que en un estudio reciente realizado en los bosques templados y de coníferas de los Estados Unidos se encontró un valor medio de 7 tms/ha de biomasa leñosa muerta (Smith et al. 2003 citado por la E.P.A. U.S. 2004).

Autores como Herrera (et al. 2001) señalan que: “La descomposición lenta de la madera muerta en los bosques hace que este compartimiento del bosque almacene carbono durante mucho tiempo y sea un sumidero a largo plazo (Lugo & Brown 1992, Delaney et al. 1998). Además, la cantidad acumulada de este material en bosques primarios, es generalmente alta como lo encontrado por autores como Saldarriaga (1994) y Álvarez (1993) en la Amazonia, con valores de entre 25 y 26 tms/ha, lo cual significa un porcentaje alto de la biomasa total del bosque (9.90 % y 9.34 %, respectivamente).”

* tms = Toneladas de materia seca

En un estudio realizado en bosques tropicales primarios y secundarios en Colombia, se encontró un promedio de 6.068 t/ha de biomasa en madera muerta que equivalen a 2.817 tC/ha para bosques primarios, y de 2.022 tms/ha de biomasa lo que equivale a 0.911 tC/ha para bosques secundarios (Herrera et al. 2001).

En un bosque ribereño de Uruguay se encontró un aporte anual de 7.30 a 8.40 tms/ha de necromasa aérea, de la cual entre el 16 y 26% corresponden a ramas y ramillas que nos da un aporte de entre 1.168 y 1.932 tms/ha de biomasa leñosa muerta (Sarasola y Vera, 1998).

3.3. Definición y características de la madera muerta

En este trabajo se utiliza el término de madera muerta, para estar acorde con los conceptos manejados por la gran mayoría de autores que escriben sobre el tema. El término madera muerta, implica según Cowan (2004) un estado estático, sin la consideración para el proceso de descomposición y la diversidad de formas de vida involucradas.

La madera muerta es quizás más importante para el ecosistema arbóreo que los árboles vivos (Cowan, 2004). Los árboles muertos y la madera en estado de descomposición juegan un papel vital en el funcionamiento y productividad de ecosistemas arbóreos a través de efectos en la biodiversidad, almacenamiento de carbono, ciclos en los nutrientes del suelo (Sarasola y Vera, 1998), flujos de energía, procesos hidrológicos y regeneración natural de los árboles (Humphrey *et al*, Life in the Deadwood, citado por Cowan, 2004), este es el punto ahora generalmente reconocido, pero esto no ha sido siempre el caso. Las generaciones de manejadores forestales en todo el mundo, que han cortado árboles y removido la biomasa leñosa muerta, nos han dejado una enorme escasez, que tomará décadas en ser remplazada.

Los números son bastante asombrosos, sólo considerando los invertebrados que existen y dependen en la madera muerta como hábitat, alrededor de 1700 especies en Inglaterra, que representan el 6% del total de la fauna inglesa. El factor preocupante es que el 40% está en la lista de especies escasas o amenazadas (Cowan, 2004).

Hay 2 distintos tipos de hábitats de madera muerta, el primero está asociado a árboles muertos en pie mientras que el segundo es encontrado dentro de troncos y ramas, donde la descomposición ha formado cavidades al interior del durámen de éstas.

Estudios realizados en bosques templados de Norte América y en otras partes sugieren que en un bosque natural sano, la madera muerta, puede abarcar aproximadamente hasta el 30% de la biomasa leñosa total (Puplett, 2004).

3.4. El valor de la madera muerta

La madera muerta es extremadamente importante para la salud del bosque, y esto esta siendo cada vez más reconocido por conservacionistas. No solo es un aspecto del proceso del ciclo de nutrientes, proveyendo una estable y lenta fuente de liberación de nitrógeno, sino que además juega un significativo papel en el almacenamiento de carbono. Los troncos caídos pueden además incrementar la estabilidad del suelo dentro del bosque (Puplett, 2004).

3.5. Microhábitats

Los árboles muertos en pie así como los muertos sobre el suelo, proveen una enorme serie de microhábitats. Existe un asombroso rango de organismos saproxílicos que incluyen: hongos, líquenes, invertebrados, musgos y aves, muchos de ellos con requerimientos muy específicos, y algunos otros especialistas exclusivamente en un particular microhábitat. Un sobresaliente 40% de la vida silvestre en los bosques dependen de este recurso del ecosistema forestal.

3.6. Aves, murciélagos y otros vertebrados

Un tercio de todas las aves de los bosques, anidan en hoyos o cavidades en árboles muertos, y grandes árboles huecos proveen sitios de perchas, ideales para especies de aves como carpinteros y búhos. En los bosques de la Caledonia, Escocia, por lo menos 10 de sus 15 especies de murciélagos usan los huecos de los árboles para perchas de verano e invierno. Las aves de presa o rapiña frecuentemente utilizan tocones o troncos sobre el suelo como puntos de observación y vigía para caza (Puplett, 2004).

3.7. Arroyos y cuerpos de agua

La madera muerta de tamaño grande proveniente de los árboles en las orillas de los arroyos, juega un papel vital en la creación de diversos nichos ecológicos dentro de ríos y arroyos. Por ejemplo los troncos caídos sobre los arroyos pueden proveer refugio para peces, así como también crear charcos y depósitos de grava los cuales son usados para desovar. Los diques que forma la biomasa leñosa muerta, recogen y acumulan partículas del bosque más finas como ramas y hojas, proveyendo de esta manera alimentos para peces e invertebrados. Reduciendo la velocidad del cauce de un arroyo, la madera muerta también ayuda a reducir la erosión del suelo y la regulación del anegamiento (Puplett, 2004).

3.8. La sucesión de la descomposición

Se ha dicho, que hay más vida en un árbol muerto que en uno vivo, y estudios en el Pacífico Noroeste de los Estados Unidos confirman esto. En el tronco de un árbol vivo hay alrededor de un 5% de células vivas por volumen. Mientras que en uno muerto puede haber alrededor del 40%, mayormente compuesta por hongos y bacterias fijadoras de nitrógeno, de las cuales ambas son cruciales para la salud del bosque.

En la madera muerta, es típico el patrón de descomposición, el cual es en su mayor parte el resultado de la colonización por otros organismos. Cuando un árbol muere, la corteza de los árboles es invadida y penetrada hasta llegar al cambium por escarabajos barrenadores (*Escolitidae*) generalmente acompañados con hongos y de allí hasta la albura que es invadida por estos últimos, tanto los escarabajos como los

hongos están comprendidos entre los colonizadores tempranos de la madera muerta, y usan los contenidos celulares del cambium y la albura. Éstos, rápidamente atraen depredadores y parásitos incluyendo arañas, escorpiones y avispas, así como también permiten que más hongos penetren. Los hongos estimulan el trabajo de descomposición del menos nutritivo duramen, con las hifas del micelio que penetran el tejido de la madera y permiten la entrada de otros organismos.

Algunos escarabajos especialistas en bosques escoceses como los “longhorns” (*Cerambycidae*) son encontrados en estados tempranos de la descomposición de la madera y son nuevamente seguidos por depredadores y escarabajos que se alimentan de la materia orgánica. Milpiés, ácaros y termitas son asociados al estado medio de descomposición de la madera y en el estado tardío la madera puede ser usada incluso por pequeños mamíferos. La fase de humificación es el estado final de descomposición, en el cual insectos saproxílicos son remplazados por organismos del suelo. La mayoría de estos organismos, se alimentan de bacterias y hongos microscópicos que convierten la madera en humus.

Esto es en esencia la finalización del ciclo, en el cual los nutrientes que han estado almacenados dentro del árbol por décadas, regresan al suelo. El alto contenido en resina en algunas coníferas significa que los troncos de pino se descomponen más lentamente que aquellos de otras especies de densidad de la madera baja y que no contienen resina, como es el caso de los pinos escoceses en relación a los abedules. La madera proveniente de los pinos puede proveer un hábitat para las especies asociadas con la madera muerta por décadas, ya que toma más de 40 años a estos pinos el descomponerse en su totalidad, debido a su alto contenido de resina, y los tocones pueden llegar a durar hasta 100 años (Puplett, 2004).

4. MÉTODOS

4.1. Descripción del área de estudio

La región Purépecha (Figura 3), ubicada en el estado de Michoacán, constituye un sitio ideal para este tipo de estudios. Dotada con un acervo importante de los bosques templados altamente diversos y productivos, la región experimenta una disminución alarmante de la cobertura y calidad de sus recursos forestales (Masera *et al.*, 1998). La región Purépecha objeto de éste estudio, se conforma de 16 municipios los cuales son: Quiroga, Tzintzuntzan, Pátzcuaro, Salvador Escalante, Tingambato, Erongarícuaro, Nahuatzen, Cheran, Paracho, Uruapan, Nuevo San Juan, Tancítaro, Charapan, Chilchota, Los Reyes y Tangancícuaro.

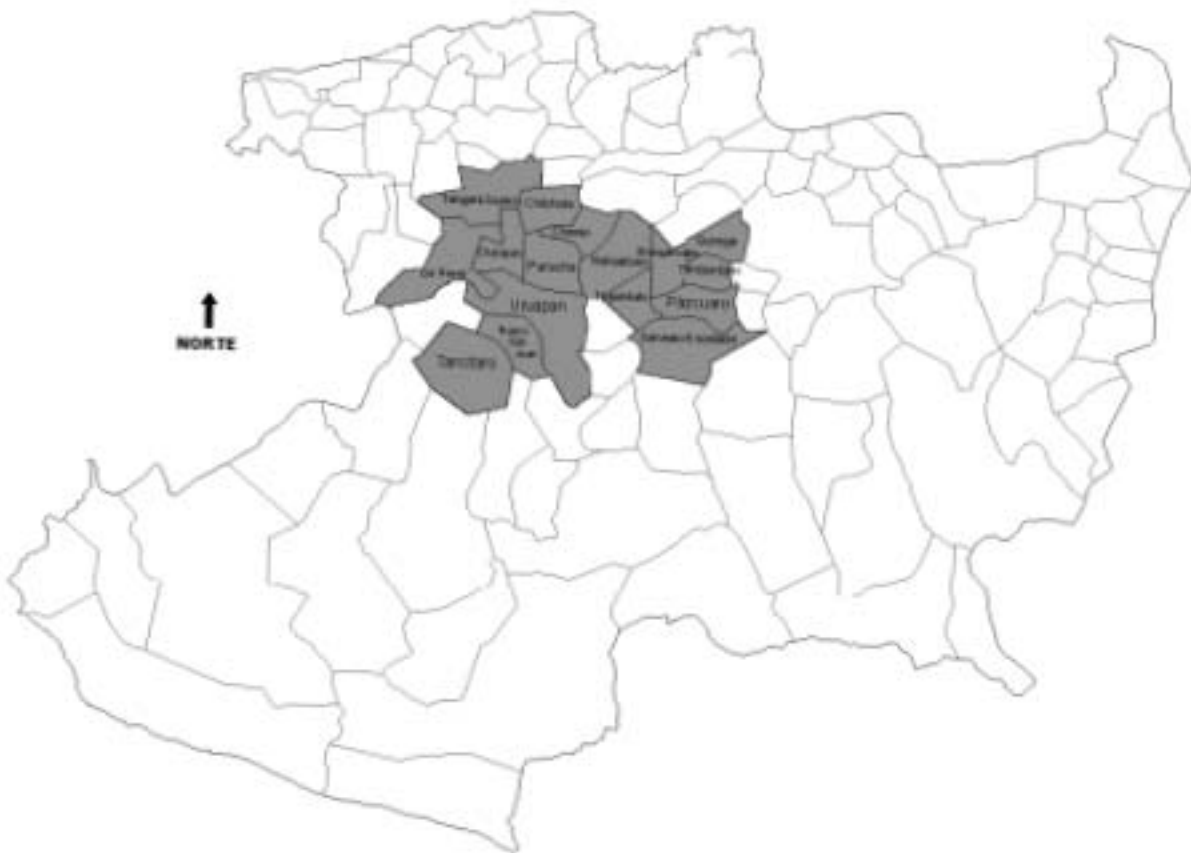


Figura 3. Municipios de la región Purépecha

El área de estudio contiene una población de 588,666 habitantes según el censo del Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI, 1991) y una superficie aproximada de 481,711 hectáreas (INEGI, 1990).

Conforme al sistema de clasificación de Köppen modificado por García (1988), presenta un clima templado con dos grupos principales, los templados húmedos y subhúmedos (Cb(w2) (w) y C(m)(w)) y los calientes subhúmedos, desde (A)Cb(w2)(w) hasta (A)Ca(wo)(w). Existe una precipitación anual variable de entre 700 hasta 2,000 mm en los lugares más altos, una frecuencia de heladas entre 20 y 40 días anuales y una frecuencia de granizadas de 3 días al año. Hay una variedad de suelos volcánicos y los que dominan el área son profundos y de texturas medias.

La vegetación en la región consiste de bosque de oyamel (Madrigal, 1982; Caro, 1987), bosque de pino (Madrigal, 1982; Caro, 1987) y bosque mesófilo de montaña (Cruz, inédito). Caballero *et al.*, (1992), incluyen además, el matorral de *Baccharis*, el matorral xerófilo y los pastizales inducidos. La vegetación es representativa de los bosques templados del centro y sur del país.

4.2. Selección de los sitios de muestreo

Dentro del estudio general sobre contenidos de C totales por clase de uso de suelo en la región Purépecha se hizo una estratificación por conjunto de municipios realizándose un muestreo anidado a fin de tener sitios que resultaran representativos del área de estudio en su conjunto. La estrategia de muestreo consistió en los siguientes pasos:

Con base principalmente en los límites municipales, fisiográficos y de cambios del uso del suelo se establecieron cuatro estratos, que por comodidad llamaremos “sub-regiones”: Pátzcuaro, Meseta, Uruapan y Tancítaro (Cuadro 2);

Cuadro 2. Estratificación de la región Purépecha y criterios para delimitarla.

Criterios		Subregión	Municipios
Fisiografía	Cambios dominantes del uso del suelo		
Cuenca lacustre	Tierras con cubierta boscosa que se cambiaron a uso agrícola y posteriormente se abandonaron y hoy presentan una regeneración natural, existe una veda forestal permanente.	Pátzcuaro	Pátzcuaro, Quiroga, Tzintzuntzan, Erongarícuaro y Villa Escalante.
Meseta	Tierras que originalmente estaban cubiertas de bosques que actualmente son agrícolas.	Meseta	Tangancícuaro, Chilchota, Paracho, Nahuatzen, Charapan y Los Reyes.
Vertiente del Balsas	Tierras que originalmente estaban cubiertas de bosque y ahora hay plantaciones y huertos.	Uruapan	Uruapan, Tingambato, Ziracuaretiro y Taretan.
Volcán del Tancítaro	Tierras con cobertura forestal que se están transformando a plantaciones.	Tancítaro	Peribán, Nuevo San Juan Parangaricutiro y Tancítaro.

4.3. Determinación de las clases de cobertura vegetal y uso del suelo

Una vez delimitados los estratos se procedió a clasificar la imagen de satélite, a fin de identificar las diferentes clases de cobertura vegetal y uso del suelo y posteriormente seleccionar los posibles sitios de muestreo.

Se tomó como base el mapa del Inventario Nacional Forestal (INF) del mismo año y a la misma escala, identificando las mismas clases de cobertura vegetal y uso del suelo (CV y US). Para los fines de este estudio dichas clases (21) fueron reagrupadas en 15 clases (Cuadro 3). Se realizó la verificación de campo mediante 83 puntos de control para corroborar la clasificación de la imagen. Desde el punto de vista de los almacenes de carbono, se consideró importante analizar las diez primeras clases de cobertura vegetal y uso del suelo, de las quince clases obtenidas.

Cuadro 3. Clases de cobertura vegetal y uso del suelo

Clases en este estudio	Siglas	Clases del INF (2000)
Agricultura	AGR	Agricultura de humedad Agricultura de temporal con cultivos anuales
Agricultura de cultivos permanentes	FRU	Agricultura de temporal con cultivos permanentes y semipermanentes
Bosque de encino	BE	Bosque de encino
Bosque de pino	BP	Bosque de pino
Bosque de pino – encino	BPE	Bosque de pino – encino (incluye encino – pino) Bosque mesófilo de montaña
Bosque de oyamel	OY	Bosque de oyamel (incluye ayarín y cedro)
Bosque con vegetación secundaria	BVS	Bosque de pino con vegetación secundaria arbustiva y herbácea Bosque de encino con vegetación secundaria arbustiva y herbácea Bosque de pino - encino (incluye encino - pino) con vegetación secundaria
Matorrales	MAT	Matorral sub tropical Matorral sub tropical con vegetación arbustiva y herbácea.
Plantación Forestal	REF	Plantación forestal
Pastizal	PAS	Pastizal inducido
Área sin vegetación aparente	ASV	Área sin vegetación aparente
Asentamientos humanos	AH	Asentamientos humanos
Cuerpos de agua	CA	Lago de Pátzcuaro Lago de Zirahuén
Otros	OTR	Agricultura de riego (incluye riego eventual)
Sin clasificar	SC	Selva baja caducifolia y subcaducifolia con vegetación secundaria arbustiva y herbácea; Popal y Tular

*Clases de CV y US a las que no se les realizó una cuantificación del contenido de carbono.

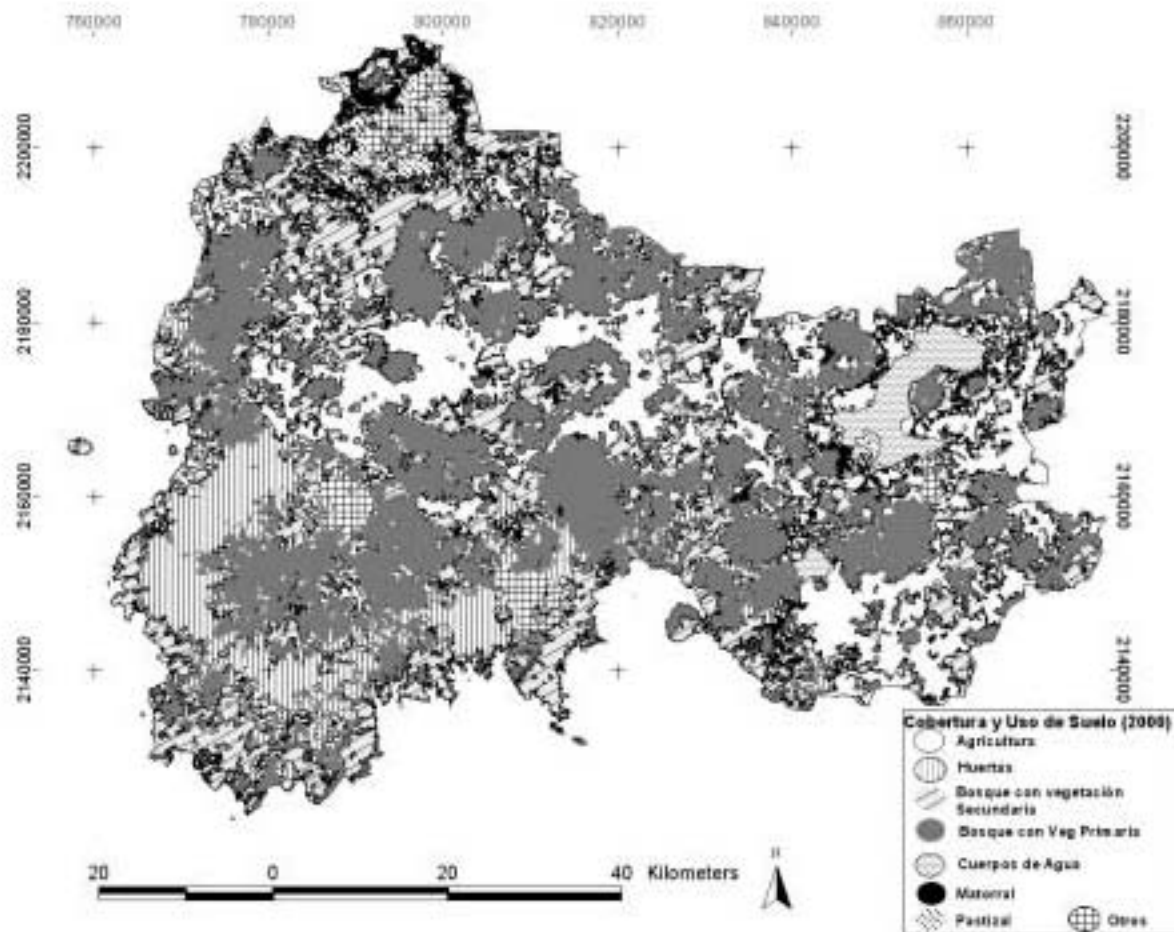


Figura 4. Mapa de vegetación de la región Purépecha (Elaboró: Gabriela Guerrero Lab. Bioenergía CIECO-UNAM)

4.4. Estrategia de muestreo en campo

Una vez identificadas las clases de uso del suelo, se procedió a seleccionar los sitios de muestreo en las subregiones (Cuadro 4). Para ello se consideraron cuatro premisas: 1) tener una superficie mínima de cuatro hectáreas para poder identificar claramente la clase en estudio en la imagen de satélite; 2) que en la vecindad de los sitios estuvieran representadas el mayor número de clases de CV y US; 3) acceso y cercanía al sitio, y 4) tener el permiso del propietario o la comunidad, para realizar el muestreo.

En total se seleccionaron 83 sitios, de los cuales 48 corresponden a las diferentes clases de bosques, 10 a la clase agrícola, 9 a frutales, 9 a matorrales, 5 a reforestación y 2 a pastizales (Cuadro 4).

Cuadro 4. Sitios de muestreo en las diferentes subregiones

Subregión	Clase de cobertura vegetal y uso del suelo										
	AGR	FRU	BE	BP	BPE	OY	BVS	MAT	PAS	REF	Total
Uruapan	1	1	2	3	2		1	3		1	14
Tancítaro	4	8	3	8	5	6	2	3	1	2	42
Meseta	4		2	6	2			1			15
Pátzcuaro	1		1	2	3			2	1	2	12
Total	10	9	8	19	12	6	3	9	2	5	83

Ubicación de los sitios de muestreo

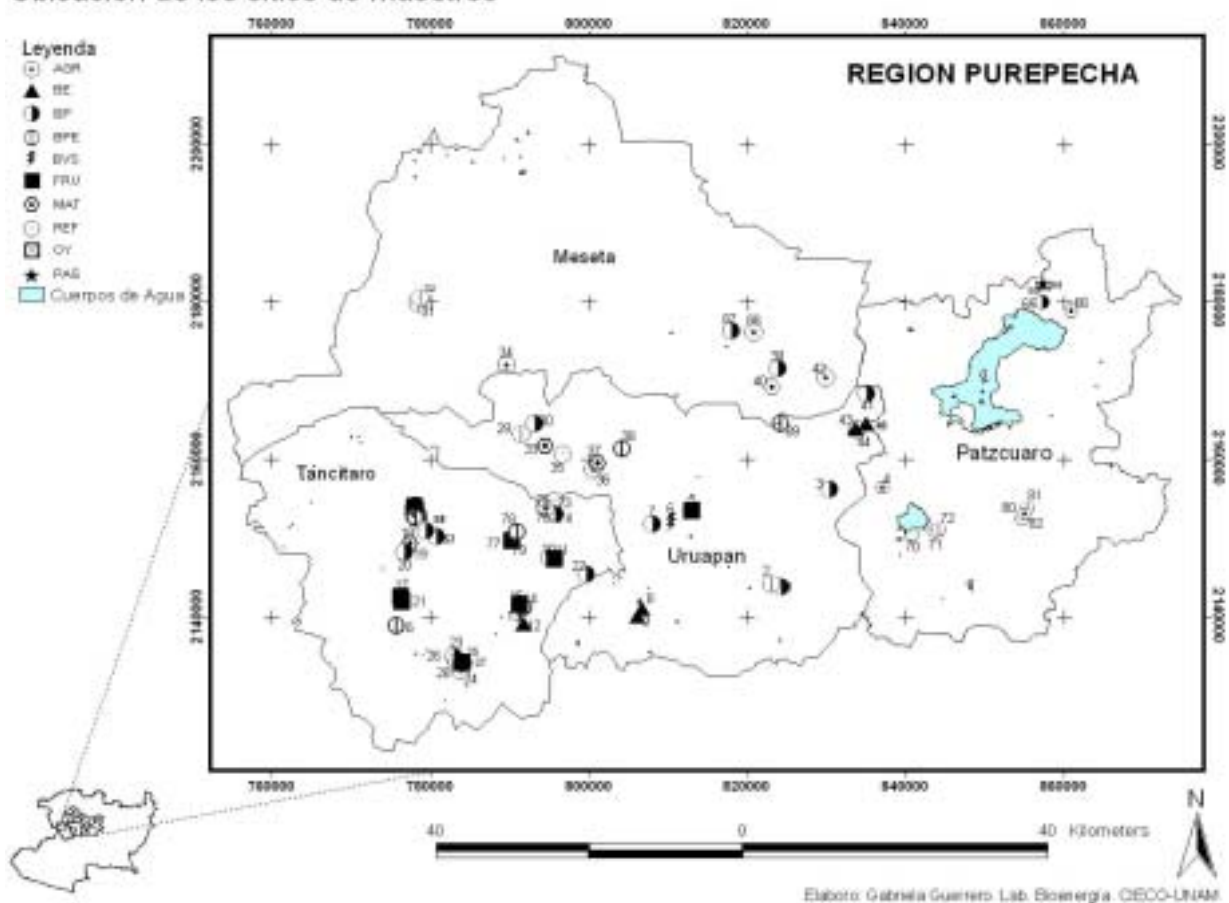


Figura 5. Mapa de los sitios de muestreo “región Purépecha”

4.5. Obtención de muestras en campo

Para los muestreos en campo se emplearon los procedimientos desarrollados por Ordóñez (2001) que permiten en una misma salida obtener datos para materia muerta, biomasa aérea, mantillo y suelo. En cada sitio se establecieron 3 círculos, y en cada círculo se toman datos para el cálculo del contenido de carbono en biomasa aérea (ramas, hojas, tronco), mantillo, suelo y finalmente el objetivo del presente, que es la biomasa leñosa muerta en cinco transectos; lo que sumado nos da el contenido total de carbono en éste ecosistema.

En el sitio elegido, se estableció aleatoriamente un punto que sirvió de centro para el primer círculo (A) de 1000m²; En la circunferencia del círculo interior de 500m² se establecieron los 3 cuadros de 50cm. x 50cm. para la colección de mantillo y suelo (Figura 6).

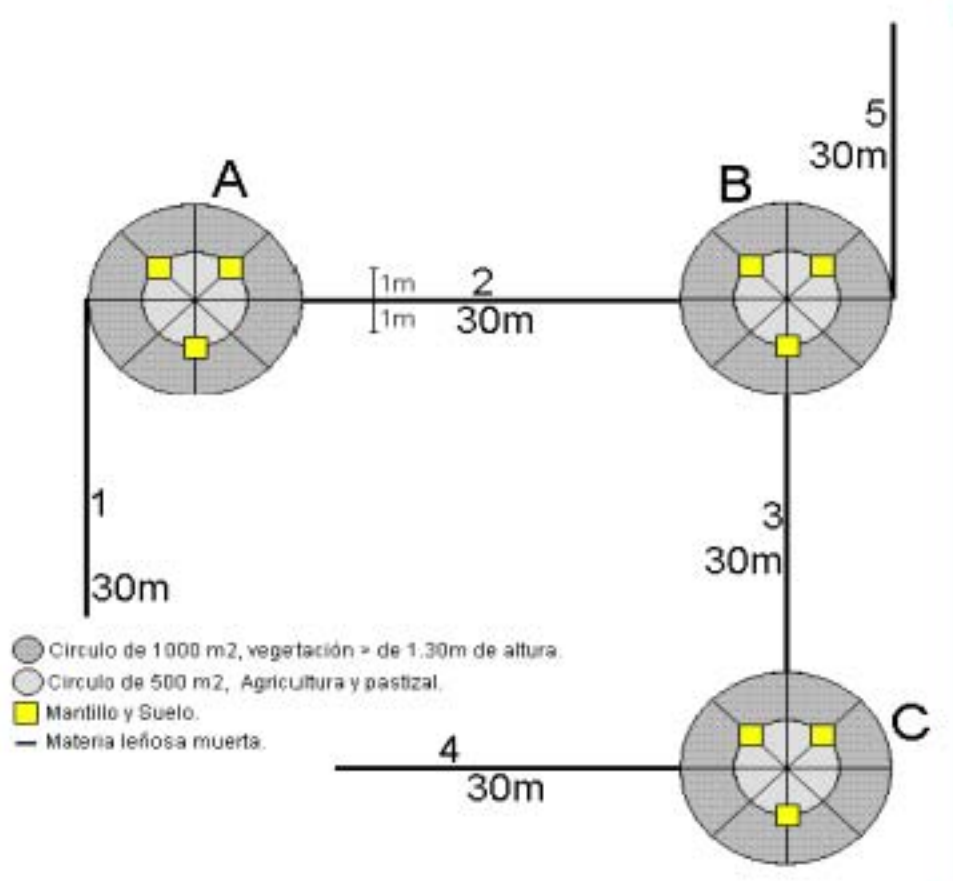


Figura 6. Forma y disposición de los sitios de muestreo (Ordóñez, 2001)

Al completar el levantamiento de muestras se procedió a establecer el siguiente círculo (B) separado 30m. Del primero por un transecto donde se recoge información sobre materia leñosa muerta (Figura 6). En el segundo círculo se realizaron las mismas actividades que en el primero, al terminar se trazó otro transecto de 30 m. En cuya parte final se ubicó la circunferencia del tercer círculo (C) donde se procedió de la misma manera que en los círculos anteriores.

4.5.1. Método para el muestreo de la biomasa leñosa muerta

Se establecieron cinco transectos planares en cada una de las clases de cobertura vegetal y uso del suelo del presente estudio. Cada transecto fue de 30 metros, colocados como indica la figura 10; se midió la biomasa leñosa que se encontró bajo la línea del transecto; de 0 a 2 metros se midió toda la biomasa leñosa de 2.5 cm de diámetro; de 0 a 5 metros se midieron los diámetros de toda la biomasa leñosa de entre 2.6 y 7.5 cm de diámetro y de 0 a 30 metros se midieron y registraron los diámetros de toda la biomasa leñosa con diámetros mayores a 7.6 cm. Paralelo a esto se tomaron datos del estado de la madera para lo cual se utilizaron tres criterios, los cuales fueron: fresco, intermedio y podrido (Brown *et al*, 2000 y Ordoñez 2002).

4.6. Procesamiento de muestras

4.6.1. Medición de la densidad

La experiencia muestra que tres medidas de densidad son suficientes – **fresco, intermedio y podrido** – para determinar en que clase de densidad entra cada pieza de madera muerta; ésta será golpeada con un machete, si el machete no se hunde con facilidad (rebota), esta será clasificada como fresca; si el machete se hunde parcialmente en la pieza y hay algo de pérdida de madera, entonces será clasificada como intermedio; si el machete se hunde en la pieza y hay más pérdida de madera, y ésta es desmoronadiza, entonces será clasificada como podrida (Brown *et al*, 2000. IPCC, 2003. Harmon *et al*, 1996).

4.6.1.1. Método de muestreo en campo para la determinación de las densidades

Se hizo un muestreo al azar simple (Hush, Millar y Beers 1971, citados por Carrillo 1989), en el cual previamente se eligieron los sitios a muestrear tomando en consideración de que se quería eliminar la incertidumbre de si la muestra tomada ya en un muy avanzado estado de descomposición, pertenecía o no al género deseado. Cada sitio donde se tomaron las muestras al azar fue previamente identificado como una masa forestal pura, del género en cuestión, en cada Subregión se eligió al menos un municipio para tomar las muestras de la madera a ser determinada su densidad y de esta manera quedaron conformados los sitios:

Cuadro 5. Sitios de muestreo para la toma de datos de las densidades

Subregión	Municipios	Sitio	Descripción
Uruapan	Tingambato	1.- “PEMEX” a) PhII 2-1 b) QhpIV 2- 1- 2	a) Pino domina a otras hojosas con una espesura del 21 al 40% con un rango de altura para el pino de 11 a 20 m y hojosas 1 a 10m. b) Encino domina a otras hojosas y al pino con una espesura del 61al 80% con un rango de altura para el encino de 11 a 20 m, hojosas 1 a 10 m y pino de 11 a 20 m.
Pátzcuaro	Quiroga	2.- “El Tigre” a) Ph III 2-1 b) QhI1-1	a) Pino domina a otras hojosas con una espesura del 41 al 60% con un rango de altura para el pino de 11 a 20 m y hojosas 1 a 10 m. b) Encino domina a otras hojosas con una espesura del 0 al 20% con un rango de altura para el encino y hojosas de 1 a 10 m.
Meseta	Paracho	3.- “Paracho” a) P I1 b) QI1	a) Pino con una espesura de 0 al 20% con un rango de altura de 1 a 10 m. b) Encino con una espesura de 0 al 20% con un rango de altura de 1 a 10 m.
Tancítaro	Peribán, Nuevo San Juan Parangaricu- tiro y Tancítaro	4.- “Tancítaro” a) Pq III 2-1 b) Qhp IV 2- 2- 2 c) A III 2	a) Pino domina a encino con una espesura del 41 al 60% con un rango de altura para el pino de 11 a 20 m y encino de 1 a 10m. b) Encino domina a otras hojosas y al pino con una espesura del 61al 80% con un rango de altura para el encino, hojosas y pino de 11 a 20 m. c) Oyamel con una espesura del 41 al 60% con un rango de altura de 11 a 20m.

En cada sitio se tomaron 10 muestras por cada estado de descomposición de la madera (Brown et al 2000): fresco, intermedio y podrido dando un total de 30 muestras por cada género, pino, encino y oyamel éste último con representación únicamente en Tancítaro, las muestras consistieron en discos que variaron desde 1 hasta 4 centímetros de diámetro con un grosor del disco de entre 1 y 1.5 centímetros de longitud, sin embargo se ha notado por experiencia propia que los diámetros de las muestras no deben ser menores a 2 cm. Ya que diámetros menores a esto producen un mayor número de sesgos, recomendándose como óptimo un diámetro de 3 centímetros.

Cada muestra se obtuvo usando un serrucho o sierra eléctrica cortando el disco y midiendo el diámetro y el grosor promedio, después cada disco fue depositado de manera individual en una bolsa de plástico para garantizar la integridad de la muestra, después ya en el laboratorio se transfirió cada muestra a una bolsa de papel y se secó a una temperatura constante de 80°C (Brown et al 2000) durante tres días hasta que su peso se volvió constante.

Después se calculó la densidad dividiendo el peso seco entre el respectivo volumen para cada muestra. Se obtuvieron un total de 270 muestras.

4.6.2. Estimación del volumen de la madera muerta

Para la estimación del volumen de la madera muerta se utilizó la fórmula (IPCC, 2003) del método 1 de las 2 opciones para la estimación del volumen que se proponen; las cuales consisten en:

Método 1 – Cuando se espera que la cantidad de biomasa de la madera muerta, sea menor al 15%: un método para eficientar el tiempo es el método de intercepto de líneas, y es recomendable el usar al menos 100m de longitud de la línea, generalmente dividida en dos secciones de 50m a través del centro de la intercepción. Cada pieza es además clasificada dentro de varias clases de densidad. Los diámetros de todas las piezas de madera que interceptan la línea son medidas y el volumen por

hectárea es calculado para cada clase de densidad, de la siguiente manera (IPCC, 2003):¹

ECUACIÓN PARA EL CÁLCULO DEL VOLUMEN DE LA MADERA MUERTA SOBRE EL SUELO

$$\text{Volumen (m}^3\text{/ha)} = \pi^2 * \sum [(d1^2 + d2^2 \dots \dots dn^2)/8L]$$

Donde: d1, d2, dn = diámetro de cada pieza que intercepta la línea en centímetros, y
L = La longitud de la línea en metros (100 m recomendado)* (Harmon and Sexton, 1996).

* En éste trabajo se utilizaron longitudes de línea para la fórmula del método 1 (IPCC, 2003) de 10, 25 y 150 m con variaciones entre 10 y 185 m dependiendo de la cantidad de volumen de cada uno de los 3 tramos (0 – 2, 0 – 5 y 0 – 30m) de cada uno de los 5 transectos.

4.6.3. Cálculo de la biomasa

El cálculo de la biomasa se determinó multiplicando el volumen (Anexo Z), por las densidades obtenidas para cada estado de descomposición de la madera:

- Volumen = $0.7854 (\text{Diámetro promedio de cada muestra})^2 \times (\text{la longitud promedio de cada muestra})$
- Biomasa = Vol. x Densidad
- Densidad = Peso seco / Vol.

De tal modo que obtenemos la biomasa por cada línea de muestreo expresada en peso por unidad de superficie lo que sumado nos da el total por sitio:

$$B_{bm} = \sum V_i * d_i \tag{1}$$

¹ El método 2 se aplica cuando se espera que la cantidad de biomasa de la madera muerta, sea mayor al 15%: Cuando la cantidad de madera muerta sobre el suelo del bosque es esperada que sea alta y variablemente distribuida, es recomendable el hacer un inventario completo de la madera muerta (IPCC, 2003). Cada pieza es también clasificada dentro de su respectiva clase de densidad y entonces el volumen (Anexo Z) es sumado para cada clase de densidad (Harmon and Sexton, 1996), utilizando las fórmulas referidas en el Anexo Z (Brown *et al*, 2000 y Ordoñez 2002):

donde V_i y d_i son los volúmenes y densidades de cada fragmento de madera muerta muestreado en campo.

A su vez

$$V_i = (d_{\text{promi}}^2 * l_{\text{promi}}) * 0.7854 \quad y \quad (2)$$

d_{promi} se obtuvo de acuerdo al estado de descomposición (fresco, intermedio o podrido) y el género del fragmento (*Pinus*, *Quercus* o *Abies*).

4.6.4. Cálculo del contenido de carbono

Finalmente para el cálculo del contenido de carbono por sitio, multiplicamos la biomasa total por cada repetición, de su correspondiente clase de uso de suelo, de cada uno de los 3 estados de descomposición (fresco, intermedio y podrido), por el contenido de carbono en materia seca (kg C/kg materia seca) cuyo valor va de 0.45 a 0.50 (Ajtay *et al.*, 1997 y Buringh, 1984. citado por Ordóñez, 1999) utilizando como valor final para esta tesis el de 0.50 que es el sugerido actualmente por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, 2003).

$$C_{bm} = B_{bm} \times 0.5 \quad (\text{tC/ha}) \quad (3)$$

5. RESULTADOS

5.1. Densidades por estado de descomposición

Se obtuvieron un total de 270 muestras de las cuales se estimaron las densidades promedio por estado de descomposición y género, con valores que variaron entre 0.420 y 0.538 para el estado fresco, 0.332 y 0.500 para el intermedio y finalmente 0.255 y 0.318 para el podrido entre los 3 géneros (Cuadro 5.1.A).

**Cuadro 5.1.A. Medias finales de las densidades
por estado de descomposición (gr/cm³)**

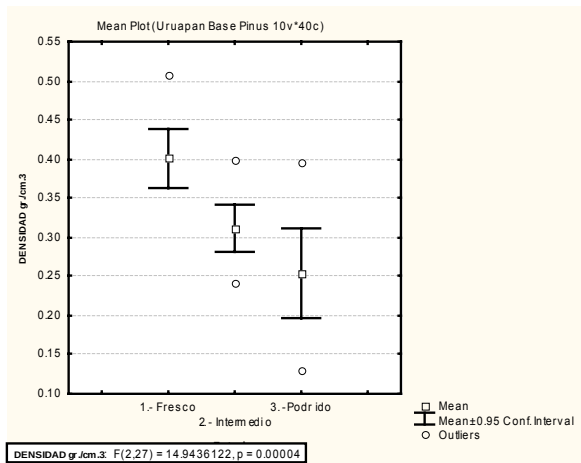
GENERO	FRESCO	INTERMEDIO	PODRIDO
<i>PINUS</i>	0.420±0.014	0.332±0.010	0.255±0.014
<i>QUERCUS</i>	0.589±0.019	0.456±0.017	0.258±0.013
<i>ABIES</i>	0.538±0.040	0.500±0.040	0.318±0.039

Se aplicó un análisis de varianza de clasificación simple o una vía, por medio de los programas de cómputo, Microsoft Excel y Statistica 6, en los cuales se analizaron cada uno de los sitios, para determinar si había diferencias significativas entre los distintos tratamientos aplicados; una vez hecho esto, se hizo una comparación de medias de tratamientos con la prueba de Tukey para saber cuáles tratamientos diferían entre sí y cuales no (obsérvese, referencia de gráfica al final de cada análisis):

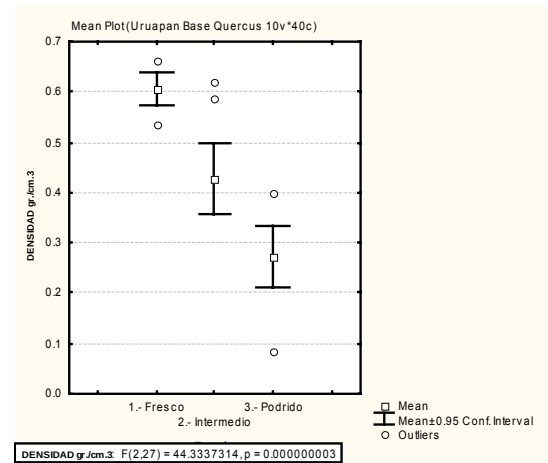
Como un primer punto, se quería saber si existían diferencias significativas entre las densidades de los 3 distintos estados de descomposición de la madera muerta (Fresco, intermedio y podrido) para cada género bajo estudio (*Pinus*, *Quercus* y *Abies*), para cada una de las 4 subregiones (Uruapan, Pátzcuaro, Meseta y Tancítaro) para lo cual se realizaron los análisis correspondientes. Se demostró que no solo existen diferencias entre las densidades de los distintos estados de descomposición de la madera, sino que además son altamente significativas. (Tres tratamientos: Estados de descomposición, con 10 repeticiones cada uno Cuadro 5.1.B)

Cuadro 5.1.B. Cuadro resumen de resultados de los análisis de varianza de las densidades por estado de descomposición (gr/cm³)

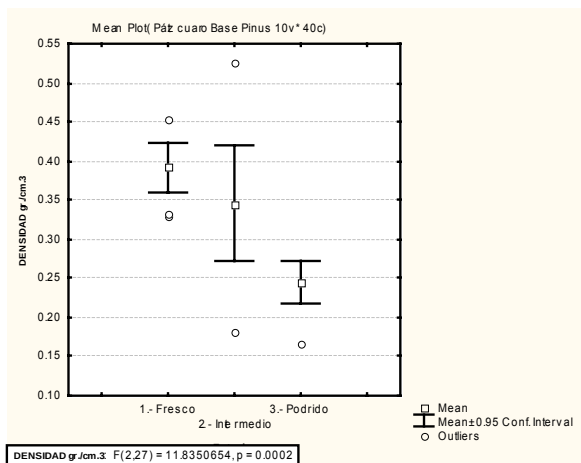
SUBREGION	GÉNERO	TRATAMIENTOS (ESTADO DE DESCOMPOSICIÓN)	PRUEBA DE HIPÓTESIS	RESULTADOS GRÁFICOS
URUAPAN	<i>Pinus</i>	- Fresco - Intermedio - Podrido	$F_{2,27} = 14.943$; $P < 0.01$	(Gráfica 1, Prueba de Tukey, Anexo A)
	<i>Quercus</i>	- Fresco - Intermedio - Podrido	$F_{2,27} = 44.333$; $P < 0.01$	(Gráfica 2, Prueba de Tukey, Anexo B)
PÁTZCUARO	<i>Pinus</i>	- Fresco - Intermedio - Podrido	$F_{2,27} = 11.835$; $P < 0.01$	(Gráfica 3, Prueba de Tukey, Anexo C)
	<i>Quercus</i>	- Fresco - Intermedio - Podrido	$F_{2,27} = 29.794$; $P < 0.01$	(Gráfica 4, Prueba de Tukey, Anexo D)
MESETA	<i>Pinus</i>	- Fresco - Intermedio - Podrido	$F_{2,27} = 7.721$; $P < 0.01$	(Gráfica 5, Prueba de Tukey, Anexo E)
	<i>Quercus</i>	- Fresco - Intermedio - Podrido	$F_{2,27} = 11.940$; $P < 0.01$	(Gráfica 6, Prueba de Tukey, Anexo F)
TANCÍTARO	<i>Pinus</i>	- Fresco - Intermedio - Podrido	$F_{2,27} = 25.420$; $P < 0.01$	(Gráfica 7, Prueba de Tukey, Anexo G)
	<i>Quercus</i>	- Fresco - Intermedio - Podrido	$F_{2,27} = 42.558$; $P < 0.01$	(Gráfica 8, Prueba de Tukey, Anexo H)
	<i>Abies</i>	- Fresco - Intermedio - Podrido	$F_{2,27} = 8.794$; $P < 0.01$	(Gráfica 9, Prueba de Tukey, Anexo I)



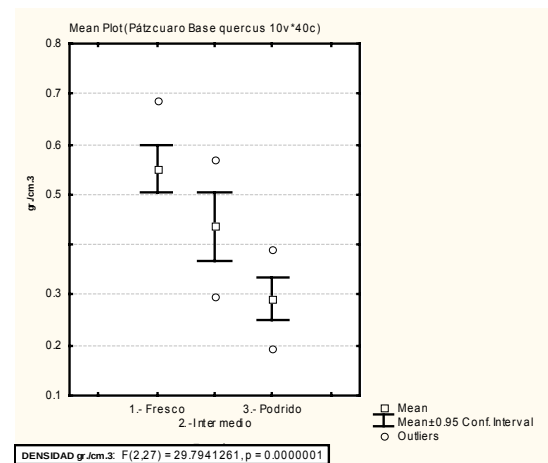
Gráfica 1. Análisis de Varianza.



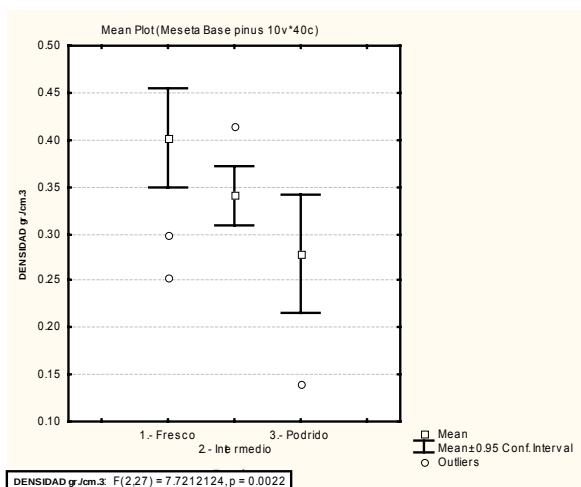
Gráfica 2. Análisis de Varianza.



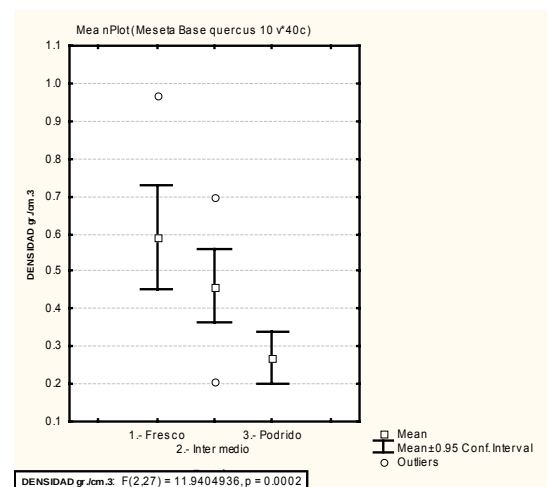
Gráfica 3. Análisis de Varianza.



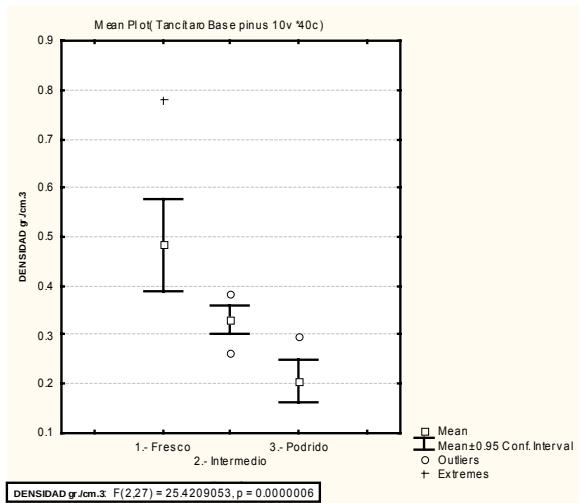
Gráfica 4. Análisis de Varianza.



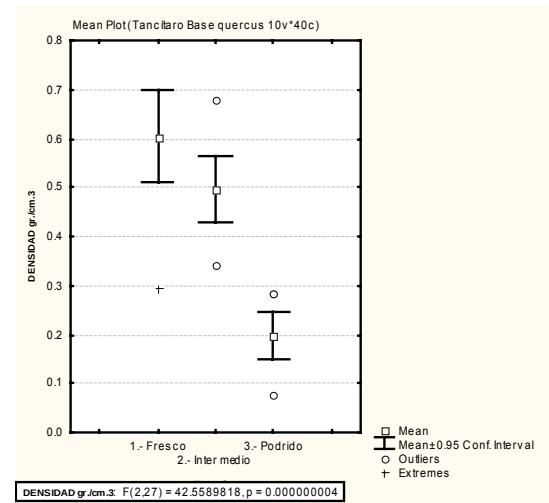
Gráfica 5. Análisis de Varianza.



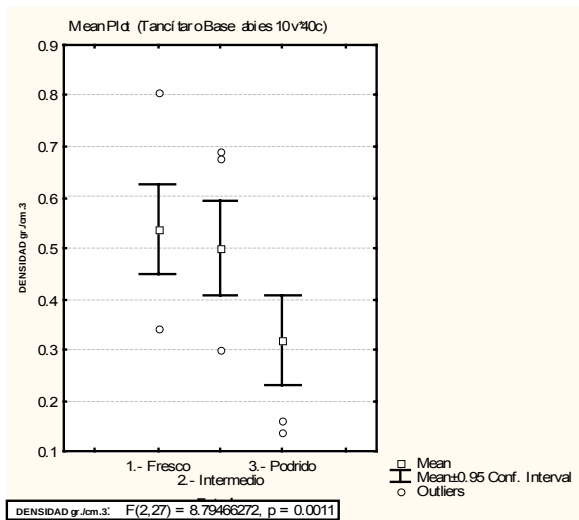
Gráfica 6. Análisis de Varianza.



Gráfica 7. Análisis de Varianza.



Gráfica 8. Análisis de Varianza.



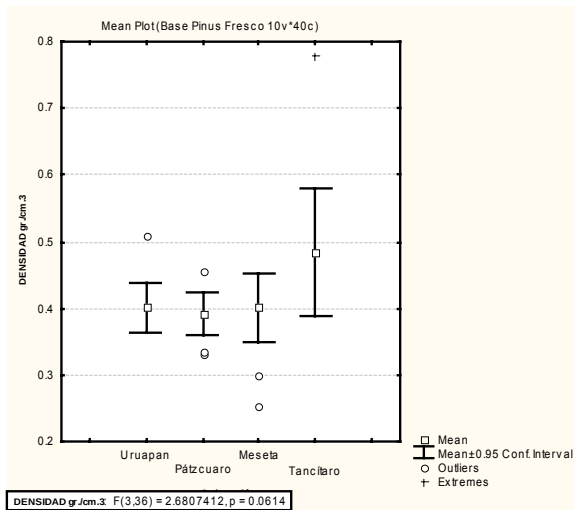
Gráfica 9. Análisis de Varianza.

5.1.1. Densidades por sub-región

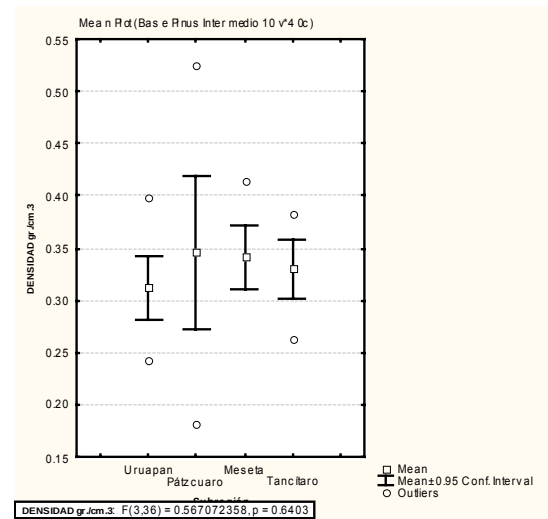
Se realizó un Análisis de Varianza para saber si existían o no diferencias significativas entre las densidades de un mismo género y estado de descomposición entre las distintas subregiones bajo estudio (Uruapan, Pátzcuaro, Meseta y Tancítaro). Los resultados de la prueba demostraron que no existen diferencias entre las densidades de los distintos géneros analizados (cuatro tratamientos con 10 repeticiones cada uno) entre las cuatro subregiones como se puede apreciar en el siguiente cuadro:

Cuadro 5.1.C. Cuadro resumen de resultados de los análisis de varianza de las densidades por subregión

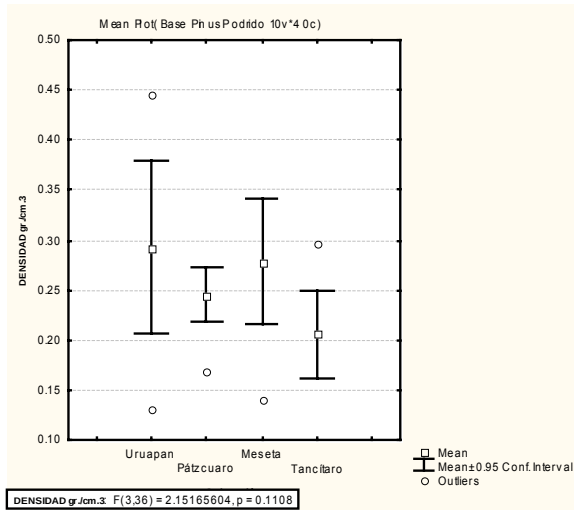
GÉNERO / ESTADO DE LA MADERA, densidad gr/cm ³	TRATAMIENTOS (SUBREGIONES)	PRUEBA DE HIPÓTESIS	RESULTADOS GRÁFICOS
<i>Pinus Fresco</i>	• Uruapan • Pátzcuaro • Meseta • Tancítaro	$F_{3,36} = 2.680; P > 0.05$	(Gráfica 10, Prueba de Tukey, Anexo J)
<i>Pinus Intermedio</i>	• Uruapan • Pátzcuaro • Meseta • Tancítaro	$F_{3,36} = 0.567; P > 0.05$	(Gráfica 11, Prueba de Tukey, Anexo K)
<i>Pinus Podrido</i>	• Uruapan • Pátzcuaro • Meseta • Tancítaro	$F_{3,36} = 2.151; P > 0.05$	(Gráfica 12, Prueba de Tukey, Anexo L)
<i>Quercus Fresco</i>	• Uruapan • Pátzcuaro • Meseta • Tancítaro	$F_{3,36} = 0.425; P > 0.05$	(Gráfica 13, Prueba de Tukey, Anexo M)
<i>Quercus Intermedio</i>	• Uruapan • Pátzcuaro • Meseta • Tancítaro	$F_{3,36} = 0.743; P > 0.05$	(Gráfica 14, Prueba de Tukey, Anexo N)
<i>Quercus Podrido</i>	• Uruapan • Pátzcuaro • Meseta • Tancítaro	$F_{3,36} = 2.714; P > 0.05$	(Gráfica 15, Prueba de Tukey, Anexo O)



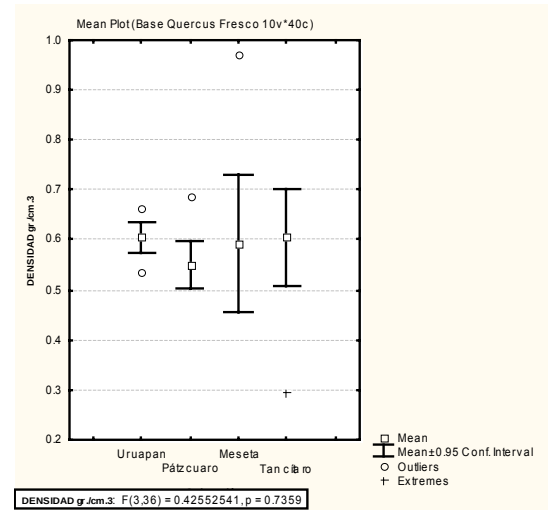
Gráfica 10. Análisis de Varianza.



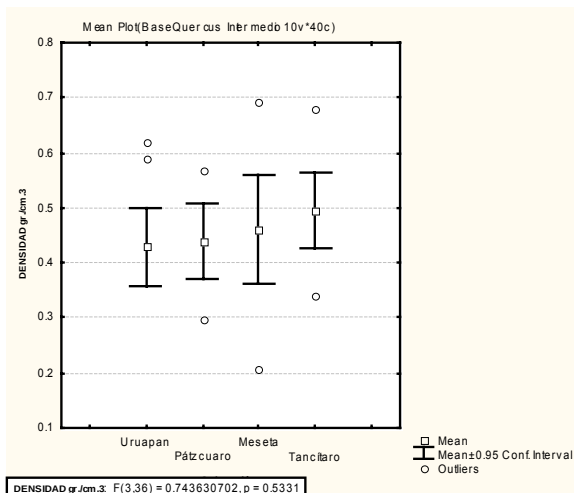
Gráfica 11. Análisis de Varianza.



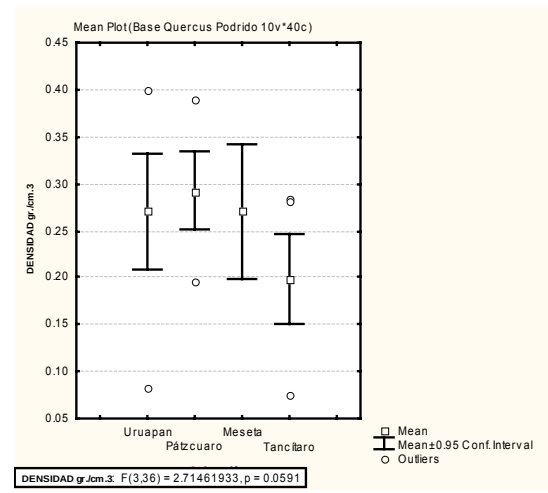
Gráfica 12. Análisis de Varianza.



Gráfica 13. Análisis de Varianza.



Gráfica 14. Análisis de Varianza.



Gráfica 15. Análisis de Varianza.

De los 2 puntos anteriores como conclusión final, se puede afirmar que para la región Purépecha, podemos utilizar valores únicos de densidad para cada género (*Pinus* y *Quercus*) para cada uno de sus respectivos estados de descomposición de la madera muerta (fresco, intermedio y podrido), ya que no se presentan diferencias significativas entre subregiones para cada caso.

5.1.2. Análisis general de densidades por estado de descomposición

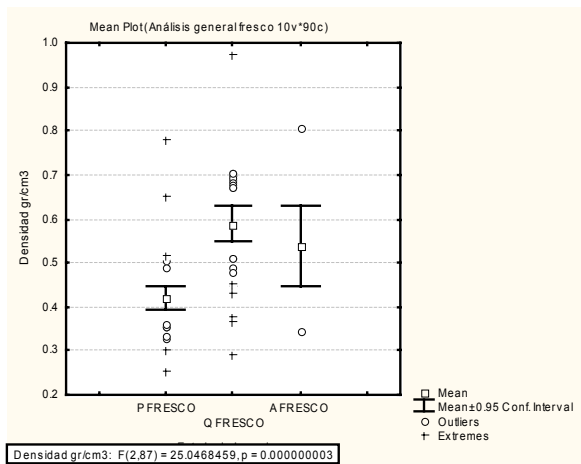
Se realizaron análisis de varianza a los 3 géneros arbóreos de este estudio (*Pinus*, *Quercus* y *Abies*), para determinar si existían o no diferencias significativas entre éstos géneros, para cada estado de descomposición de la madera muerta (Fresco, Intermedio y Podrido).

Se realizaron 3 tratamientos para cada estado de descomposición que consistieron en cada uno de los géneros, con 40 repeticiones (10 por subregión) para *Pinus*, y *Quercus*; y solo 10 para *Abies*, ya que éste solo tuvo representación, en la subregión de Tancítaro.

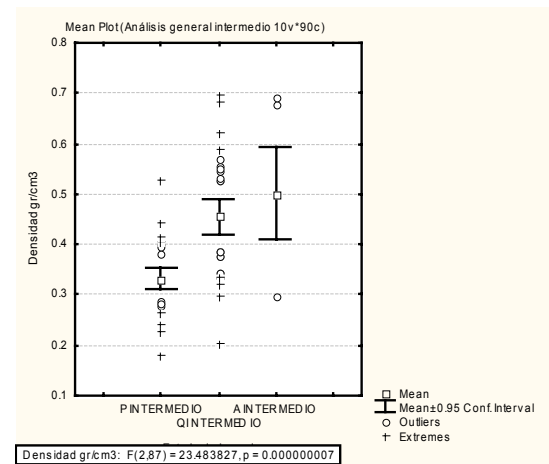
Para el análisis se plantearon las siguientes hipótesis, H_0 : “No existen diferencias significativas entre las densidades de los géneros *Pinus*, *Quercus* y *Abies* de un mismo estado de descomposición entre todas y cada una de las subregiones”. y H_1 : “Existen diferencias significativas entre las densidades de los géneros *Pinus*, *Quercus* y *Abies* de un mismo estado de descomposición”

Cuadro 5.1.D. Cuadro resumen de resultados de los análisis de varianza de las densidades por estado de descomposición

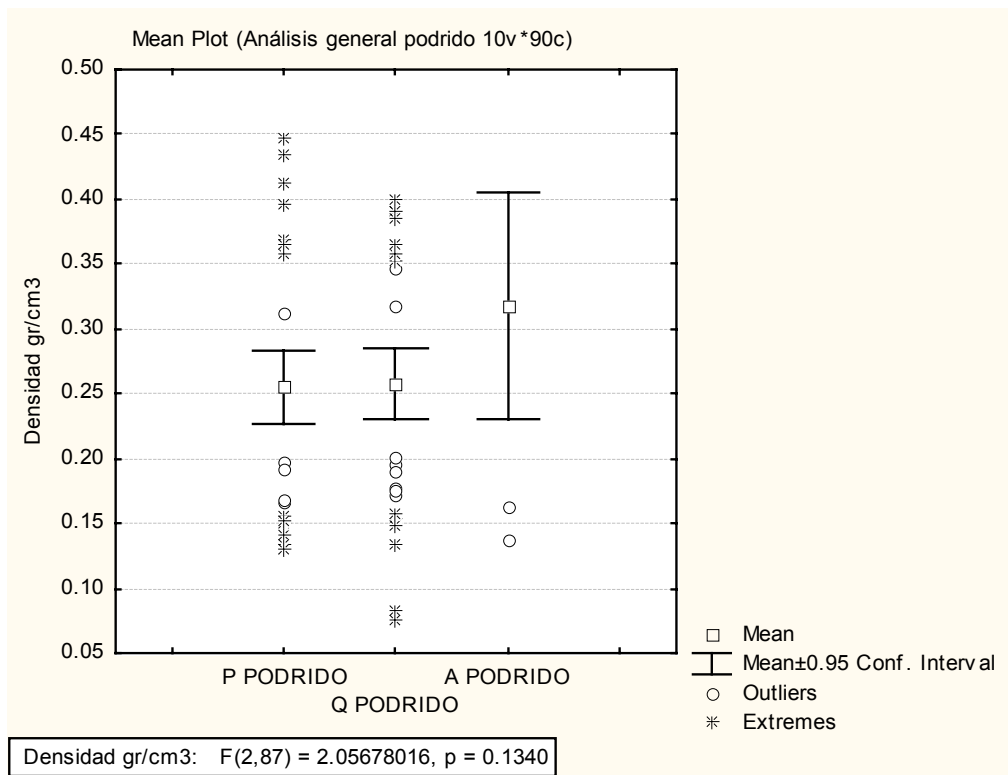
ESTADO DE LA MADERA, densidad gr/cm ³	TRATAMIENTOS (GENEROS)	PRUEBA DE HIPÓTESIS	RESULTADOS GRÁFICOS
FRESCO	• <i>Quercus</i> • <i>Pinus</i> • <i>Abies</i>	$F_{2,87}=25.047; P < 0.01$	(Gráfica 16, Prueba de Tukey, Anexo P)
INTERMEDIO	• <i>Quercus</i> • <i>Pinus</i> • <i>Abies</i>	$F_{2,87}=23.484; P < 0.01$	(Gráfica 17, Prueba de Tukey, Anexo Q)
PODRIDO	• <i>Quercus</i> • <i>Pinus</i> • <i>Abies</i>	$F_{2,87}=2.0568; P > 0.05$	(Gráfica 18, Prueba de Tukey, Anexo R)



Gráfica 16. Análisis de Varianza.



Gráfica 17. Análisis de Varianza.



Gráfica 18. Análisis de Varianza.

De lo anterior se demuestra que para los estados de descomposición fresco e intermedio para los géneros *Pinus* y *Quercus* las densidades de madera muerta son significativamente distintas, no así para *Quercus* y *Abies*; mientras que para el estado de descomposición podrido no se encontraron diferencias significativas en sus densidades, a lo largo de las distintas subregiones donde se realizó el muestreo, a pesar de que provienen de géneros diferentes.

**Cuadro 5.1.E. Resumen de las densidades por estado de descomposición
FRESCO**

<i>Pinus</i>	Fresco (Densidad gr/cm³)
Media	0.420
Error típico	0.014
Mediana	0.414
Moda	NA
Desviación estándar	0.088
Varianza de la muestra	0.008
Curtosis	7.113
Coefficiente de Asimetría	2.027
Rango	0.526
Mínimo	0.252
Máximo	0.778
Suma	16.791
Cuenta	40
Nivel de confianza (95.0%)	0.028

<i>Quercus</i>	Fresco (Densidad gr/cm³)
Media	0.589
Error típico	0.019
Mediana	0.592
Moda	NA
Desviación estándar	0.121
Varianza de la muestra	0.015
Curtosis	1.877
Coefficiente de Asimetría	0.135
Rango	0.678
Mínimo	0.293
Máximo	0.971
Suma	23.561
Cuenta	40
Nivel de confianza (95.0%)	0.039

<i>Abies</i>	Fresco (Densidad gr/cm³)
Media	0.538
Error típico	0.040
Mediana	0.547
Moda	NA
Desviación estándar	0.126
Varianza de la muestra	0.016
Curtosis	1.833
Coefficiente de Asimetría	0.711
Rango	0.464
Mínimo	0.344
Máximo	0.807
Suma	5.376
Cuenta	10
Nivel de confianza (95.0%)	0.090

Cuadro 5.1.F. Resumen de las densidades por estado de descomposición

INTERMEDIO

<i>Pinus</i>	Intermedio (Densidad gr/cm ³)
Media	0.332
Error típico	0.010
Mediana	0.326
Moda	NA
Desviación estándar	0.062
Varianza de la muestra	0.004
Curtosis	1.576
Coeficiente de Asimetría	0.460
Rango	0.343
Mínimo	0.182
Máximo	0.525
Suma	13.289
Cuenta	40
Nivel de confianza (95.0%)	0.020

<i>Quercus</i>	Intermedio (Densidad gr/cm ³)
Media	0.456
Error típico	0.017
Mediana	0.451
Moda	NA
Desviación estándar	0.108
Varianza de la muestra	0.012
Curtosis	-0.115
Coeficiente de Asimetría	0.196
Rango	0.489
Mínimo	0.205
Máximo	0.695
Suma	18.248
Cuenta	40
Nivel de confianza (95.0%)	0.035

<i>Abies</i>	Intermedio (Densidad gr/cm ³)
Media	0.500
Error típico	0.040
Mediana	0.493
Moda	NA
Desviación estándar	0.128
Varianza de la muestra	0.016
Curtosis	-0.743
Coeficiente de Asimetría	0.167
Rango	0.392
Mínimo	0.299
Máximo	0.692
Suma	5.000
Cuenta	10
Nivel de confianza (95.0%)	0.092

Cuadro 5.1.G. Resumen de las densidades por estado de descomposición
PODRIDO

<i>Pinus</i>	Podrido (Densidad gr/cm³)
Media	0.255
Error típico	0.014
Mediana	0.243
Moda	NA
Desviación estándar	0.087
Varianza de la muestra	0.008
Curtosis	-0.434
Coefficiente de Asimetría	0.512
Rango	0.317
Mínimo	0.130
Máximo	0.447
Suma	10.217
Cuenta	40
Nivel de confianza (95.0%)	0.028

<i>Quercus</i>	Podrido (Densidad gr/cm³)
Media	0.258
Error típico	0.013
Mediana	0.270
Moda	NA
Desviación estándar	0.084
Varianza de la muestra	0.007
Curtosis	-0.554
Coefficiente de Asimetría	-0.236
Rango	0.324
Mínimo	0.076
Máximo	0.400
Suma	10.317
Cuenta	40
Nivel de confianza (95.0%)	0.027

<i>Abies</i>	Podrido (Densidad gr/cm³)
Media	0.318
Error típico	0.039
Mediana	0.348
Moda	NA
Desviación estándar	0.122
Varianza de la muestra	0.015
Curtosis	-1.433
Coefficiente de Asimetría	-0.260
Rango	0.333
Mínimo	0.138
Máximo	0.472
Suma	3.178
Cuenta	10
Nivel de confianza (95.0%)	0.087

5.2. Estimación del contenido de carbono

Se aplicaron pruebas de normalidad a los datos por cada clase y se pudo observar que éstos no se distribuían de manera normal, por tal motivo, las pruebas estadísticas más apropiadas para este tipo de situaciones son las no paramétricas (Fowler & Cohen, 1999; Infante & Zárate, 2000) usando como medida de tendencia central, a la mediana.

En el cuadro 5.2.A. se presenta el contenido de carbono por hectárea por clase de uso del suelo. Se puede observar que la clase con menor contenido de carbono es la agricultura de cultivos permanentes (FRU) con 0.2 tC/ha, seguida por los bosques de encino y la reforestación (entre 1.7 y 2.3 tC/ha), los bosques de pino-encino y los matorrales (entre 2.9 y 3 tC/ha), el bosque de pino (BP) (4.0 tC/ha) y finalmente el bosque de oyamel (OY) con 14.8 tC/ha. Se observa una tendencia en el incremento en el contenido de carbono de la madera muerta de la clase de agricultura de cultivos permanentes a las clases con bosques más conservados.

Cuadro 5.2.A. Resumen del contenido de carbono por hectárea en la madera muerta por clase de uso de suelo (tC/ha).

CLASE DE USO DE SUELO							
MEDIANA tC/ha	FRU	BE	REF	BPE	MAT	BP	OY
	Agricultura de cultivos permanentes	Bosque de Encino	Plantación forestal	Bosque de Pino - Encino	Matorral Subtropical	Bosque de Pino	Bosque de Oyamel
	0.2±0.1	1.7±4.0	2.3±1.5	2.9±2.4	3.0±2.0	4.0±1.1	14.8±3.8

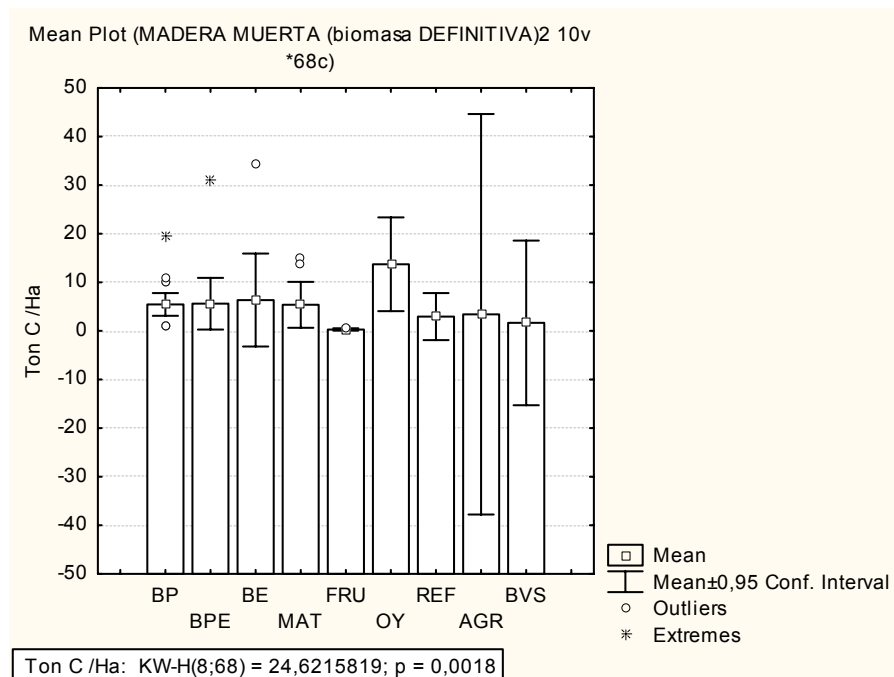
Para determinar si había diferencias significativas entre las distintas clases, se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal – Wallis análisis de varianza de clasificación simple o una vía, por rangos (Siegel & Castellan, 1988), por medio del programa STATISTICA 6, en el cual se analizaron cada una de las clases de cobertura vegetal y uso del suelo. Una vez hecho esto, se hizo una prueba de comparaciones múltiples de valores de probabilidad para saber cuales tratamientos diferían entre sí y cuales no (obsérvese, referencia de gráfica al final de cada análisis):

Para el análisis de los datos se plantearon las siguientes hipótesis nulas, H_0 :

“No existen diferencias significativas en el contenido de carbono en la biomasa leñosa muerta para las diferentes clases de cobertura vegetal y uso de suelo en la región Purépecha del estado de Michoacán.”

Los resultados de la prueba demostraron que existen diferencias significativas entre las distintas clases de cobertura vegetal y uso de suelo (cuadro 5.2.B. y en la Gráfica 19). Por lo anterior se rechaza la H_0 y se acepta la H_1 :

“Existen diferencias significativas en el contenido de carbono en la biomasa leñosa muerta para las diferentes clases de cobertura vegetal y uso de suelo en la región Purépecha del estado de Michoacán.”



Gráfica 19. Prueba no paramétrica de Kruskal – Wallis análisis de varianza de clasificación simple o una vía, por rangos.

Una vez que se ha rechazado la hipótesis nula y aceptado la hipótesis alternativa se procedió a determinar cuáles eran las clases que difieren entre sí, para lo cual se le aplicó a los datos una prueba de comparaciones múltiples de valores de probabilidad. Se encontró que la clase que difiere entre las demás es la de agricultura de cultivos permanentes (FRU), con respecto a las de bosque de oyamel (OY), bosque de pino (BP) y bosque de pino – encino (BPE); en todas las demás clases no se encontraron diferencias con respecto al contenido de carbono entre ellas como se puede observar en el Cuadro 5.2.C. y en los Anexos U y V).

Cuadro 5.2.B. Prueba de Kruskal-Wallis

Kruskal-Wallis ANOVA by Ranks; tC/ha (MADERA MUERTA (biomasa DEFINITIVA)2) Independent (grouping) variable: CLASE Kruskal-Wallis test: H (8, N= 68) =24,62158 p =0,0018		
CLASES	Valid N	Sum of Ranks
BP	19	756
BPE	12	444
BE	8	256
MAT	8	305
FRU	7	40
OY	6	330
REF	4	116
AGR	2	56
BVS	2	43

Cuadro 5.2.C. Prueba de comparaciones múltiples de valores de probabilidad

Multiple Comparisons p values (2-tailed); tC/ha (MADERA MUERTA (biomasa DEFINITIVA)2) Independent (grouping) variable: CLASE Kruskal-Wallis test: H (8, N= 68) =24,62158 p =0,0018									
	BP R:39.789	BPE R:37.000	BE R:32.000	MAT R:38.125	FRU R:5.7143	OY R:55.000	REF R:29.000	AGR R:28.000	BVS R:21.500
BP		1,000000	1,000000	1,000000	0,003498	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
BPE	1,000000		1,000000	1,000000	0,031631	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
BE	1,000000	1,000000		1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
MAT	1,000000	1,000000	1,000000		1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
FRU	0,003498	0,031631	1,000000	1,000000		0,000269	1,000000	1,000000	1,000000
OY	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	0,000269		1,000000	1,000000	1,000000
REF	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000		1,000000	1,000000
AGR	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000		1,000000
BVS	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	

Cuadro 5.2.D. Resumen de los contenidos de carbono por hectárea por cada clase de cobertura vegetal y uso del suelo

BP	tC/ha
Media	5,5
Error típico	1,1
Mediana	4,0
Desviación estándar	4,8
Varianza de la muestra	23,3
Curtosis	2,8
Coefficiente de Asimetría	1,5
Rango	18,7
Mínimo	0,9
Máximo	19,6
Suma	103,6
Cuenta	19,0
Nivel de confianza (95.0%)	2,3

BPE	tC/ha
Media	5,6
Error típico	2,4
Mediana	2,9
Desviación estándar	8,4
Varianza de la muestra	70,1
Curtosis	9,9
Coefficiente de Asimetría	3,1
Rango	30,4
Mínimo	0,8
Máximo	31,3
Suma	67,2
Cuenta	12,0
Nivel de confianza (95.0%)	5,3

BE	tC/ha
Media	6,3
Error típico	4,0
Mediana	1,7
Desviación estándar	11,4
Varianza de la muestra	131,0
Curtosis	7,3
Coefficiente de Asimetría	2,7
Rango	33,7
Mínimo	0,6
Máximo	34,3
Suma	50,8
Cuenta	8,0
Nivel de confianza (95.0%)	9,6

Cuadro 5.2.D (continuación). Resumen de los contenidos de carbono por hectárea por cada clase de cobertura vegetal y uso del suelo

MAT	tC/ha
Media	5,4
Error típico	2,0
Mediana	3,0
Desviación estándar	5,6
Varianza de la muestra	31,7
Curtosis	-0,1
Coefficiente de Asimetría	1,3
Rango	14,0
Mínimo	0,9
Máximo	14,9
Suma	43,0
Cuenta	8,0
Nivel de confianza (95.0%)	4,7

FRU	tC/ha
Media	0,3
Error típico	0,1
Mediana	0,2
Desviación estándar	0,3
Varianza de la muestra	0,1
Curtosis	1,9
Coefficiente de Asimetría	1,5
Rango	0,7
Mínimo	0,1
Máximo	0,8
Suma	2,0
Cuenta	7,0
Nivel de confianza (95.0%)	0,2

OY	tC/ha
Media	13,7
Error típico	3,8
Mediana	14,8
Desviación estándar	9,2
Varianza de la muestra	84,7
Curtosis	-1,2
Coefficiente de Asimetría	0,0
Rango	24,0
Mínimo	2,3
Máximo	26,3
Suma	82,2
Cuenta	6,0
Nivel de confianza (95.0%)	9,7

Cuadro 5.2.D (continuación). Resumen de los contenidos de carbono por hectárea por cada clase de cobertura vegetal y uso del suelo

REF	tC/ha	*AGR	tC/ha	*BVS	tC/ha
Media	2,9	Media	3,4	Media	1,6
Error típico	1,5	Error típico	3,2	Error típico	1,3
Mediana	2,3	Mediana	3,4	Mediana	1,6
Desviación estándar	3,0	Desviación estándar	4,6	Desviación estándar	1,9
Varianza de la muestra	9,3	Varianza de la muestra	21,0	Varianza de la muestra	3,6
Curtosis	0,4	Curtosis	-	Curtosis	-
Coefficiente de Asimetría	1,0	Coefficiente de Asimetría	-	Coefficiente de Asimetría	-
Rango	6,9	Rango	6,5	Rango	2,7
Mínimo	0,2	Mínimo	0,2	Mínimo	0,3
Máximo	7,1	Máximo	6,7	Máximo	3,0
Suma	11,8	Suma	6,8	Suma	3,3
Cuenta	4,0	Cuenta	2,0	Cuenta	2,0
Nivel de confianza (95.0%)	4,8	Nivel de confianza (95.0%)	41,2	Nivel de confianza (95.0%)	16,9

* Para las clases **AGR** (Agricultura de humedad – temporal, con cultivos anuales) y **BVS** (Bosque templado, con vegetación secundaria arbustiva y herbácea) los valores de las medias y medianas no pueden ser tomados como valores representativos para esas clases, ya que sólo se hicieron 2 sitios por cada uno.

6. DISCUSIÓN

6.1. Estimación de las densidades para la biomasa leñosa muerta

Se hizo una revisión exhaustiva de la literatura, con el fin de encontrar valores de referencia de las densidades por diferentes estados de descomposición para la madera muerta. Para muestras en fresco (Cuadro 6.1.A.), se pudieron comparar los valores obtenidos con los reportados por distintos autores (González, 1989; Razo, 1990; Ramos, 1999; Martínez, 1999), encontrándose semejanzas. Desafortunadamente, no se encontraron estudios de caso sobre el cálculo de las densidades para los estados intermedio y podrido recomendados por diversos autores (Brown and Delaney, 2000. IPCC, 2003. Harmon and Sexton, 1996).

**Cuadro 6.1.A.² Medias de las densidades por género,
de muestras tomadas en FRESCO (gr/cm³)**

AUTOR	<i>PINUS</i>	<i>QUERCUS</i>
González, 1989	0.475	0.74
Razo, 1990		0.993
Martínez, 1999	0.598	
Ramos, 1999		0.888
Dietz, 1975	0.370	0.580
Rijsdijk & Laming, 1994	0.440	
Este estudio	0.420	0.589

Los valores más bajos obtenidos para este estudio con respecto a los reportados por otros autores, se deben a que los otros aunque la madera sea relativamente “fresca”, esta ya esta muerta y ya ha comenzado el gradual proceso de descomposición.

² El Cuadro 6.1.A. Presenta resultados de las densidades de madera en fresco de los géneros *Pinus* y *Quercus* de distintos autores y es solo con fines didácticos, comparando esas densidades en FRESCO con la de los géneros de este estudio en el estado fresco de la madera MUERTA.

Al no encontrarse diferencias significativas entre las densidades de un mismo género y estado de descomposición entre las distintas subregiones bajo estudio (Uruapan, Pátzcuaro, Meseta y Tancítaro), se puede afirmar que para la Región Purépecha, podemos utilizar los mismos valores de densidad respectivos para cada género (*Pinus* y *Quercus*) para cada uno de sus respectivos estados de descomposición de la madera muerta (fresco, intermedio y podrido). Podemos entonces confiar en que los valores de densidad encontrados en el género *Pinus* del municipio de Peribán (por citar un ejemplo) con un estado de la madera intermedio, serán similares a los del municipio de Pátzcuaro para el mismo género y estado de descomposición.

En el análisis de varianza de las densidades de los tres géneros arbóreos de este estudio (*Pinus*, *Quercus* y *Abies*), se determinó que si existen diferencias y que además son altamente significativas entre las densidades de los géneros *Pinus* y *Quercus* de un mismo estado de descomposición; no así entre los géneros *Quercus* y *Abies* ya que no presentaron diferencias para fresco y para intermedio, entre todas y cada una de las subregiones. Lo anterior no es el caso para el estado de descomposición podrido, ya que no se encontraron diferencias significativas en sus densidades, a lo largo de las distintas subregiones donde se realizó el muestreo, a pesar de que provienen de géneros distintos. Esto es bastante interesante, ya que al parecer, la madera de estos tres géneros al entrar a la categoría de podrida, pierde sus propiedades físico-mecánicas, características de cada género, para comportarse de una manera similar en este estado de descomposición.

6.2. Biomasa

En este estudio se encontró un valor medio de la biomasa en la madera muerta de 9.1 tms/ha con una alta variabilidad. Esto concuerda con autores como Christensen, 1997 citado por Delgado y Pedraza, 2002, Muller y Liu, 1991; Harmon et al., 1993; Delaney et al., 1998, quienes indican que la cantidad de madera muerta en los bosques, es altamente variable, ya que depende de la edad, composición, estructura, de los rodales mismos y de más factores climáticos de cada zona en particular.

Se puede observar que los resultados de este estudio son comparables con los de otros estudios de biomasa contenida en bosques templados de América del Norte y Europa. Cuadro 6.2.A.

También se puede observar que el valor encontrado para el Matorral subtropical (6 tms/ha), es muy similar a los encontrados por autores como Herrera (2001), en la amazonia colombiana en bosques tropicales primarios y secundarios (6 y 2 tms/ha), y Maass et al (2002) en el bosque tropical caducifolio de la estación biológica de Chamela, Jalisco con 5.6 tms/ha. Cuadro 6.2.A.

Cuadro 6.2.A. Valores de la biomasa en la madera muerta reportados por otros autores (tms/ha)

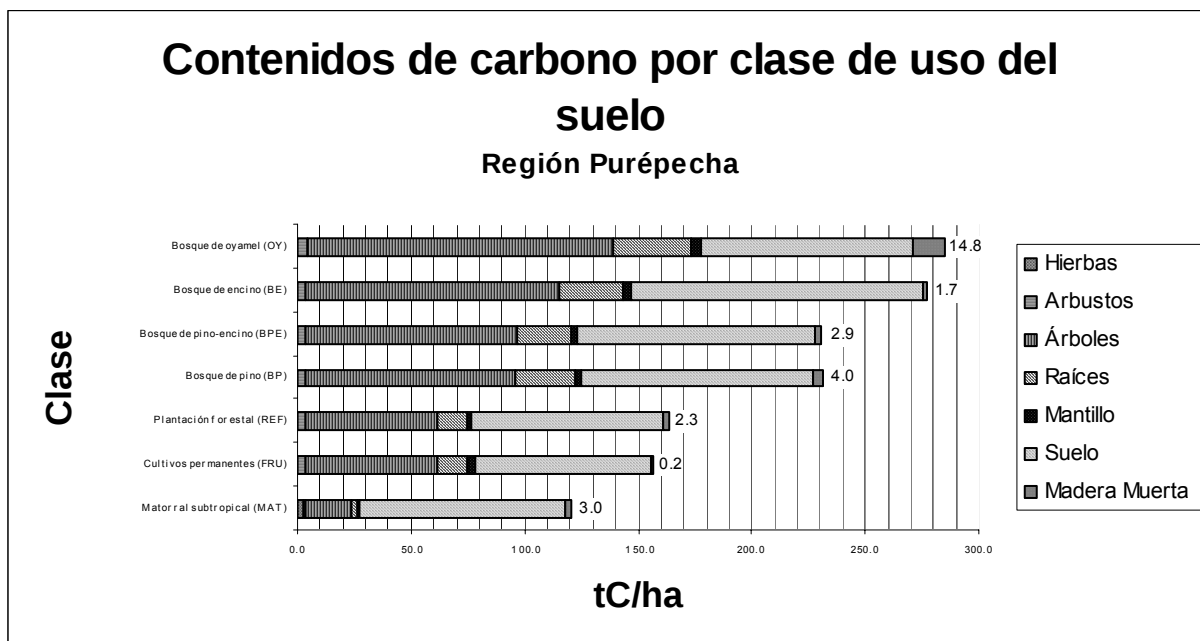
Lugar / Tipo de bosque	BIOMASA (tms/ha)	AUTOR
Francia, Bosque templado	1.4	Christensen, 1997 (Citado por: Delgado y Pedraza, 2002)
Europa y Norteamérica Bosques templados (con una edad promedio de 150 a 200 años)	de 2 a 9, con un promedio de 5	Christensen, 1997
E.U. Bosques templados y de coníferas	7	Smith et al. 2003
México, Bosque templado	6.8	Navarrete, 2004
Colombia –Venezuela, Bosque tropical lluvioso	25	Saldarriaga, 1994 (Citado por: Herrera et. al. 2001)
Colombia, Bosque inundable	26	Álvarez, 1993 (Citado por: Herrera et. al. 2001)
Colombia, Bosques tropicales primarios y secundarios	6 y 2 respectivamente	Herrera et al. 2001
Uruguay, bosque Ribereño	1.2 y 1.9	Sarasola y Vera, 1998
México, Bosque tropical caducifolio	5.6	Maass et al. 2002
Bosque Templado	9.1	Este estudio
Matorral subtropical con vegetación arbustiva y herbácea	6	Este estudio
Frutales, Agricultura de cultivos permanentes	0.4	Este estudio

Se destaca también la muy baja cantidad de biomasa de madera muerta presente en la Agricultura de cultivos permanentes o Frutales (0.4 tms/ha) (Anexos S y T). La muy baja cantidad de biomasa leñosa muerta encontrada en las plantaciones de cultivos permanentes, se debe a la constante limpieza de los suelos de las huertas para evitar plagas, incendios y mejorar las condiciones de cosecha dentro de las mismas. Al limitar la cantidad de biomasa que puede ser reintegrada al suelo, se podría provocar un empobrecimiento y compactación gradual de éste, alentando una mayor escorrentía superficial del agua de lluvia, y evitando la infiltración del agua al subsuelo, además, generalmente toda la biomasa o “basura” proveniente de los árboles es quemada, incrementando así las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera.

6.3. Carbono

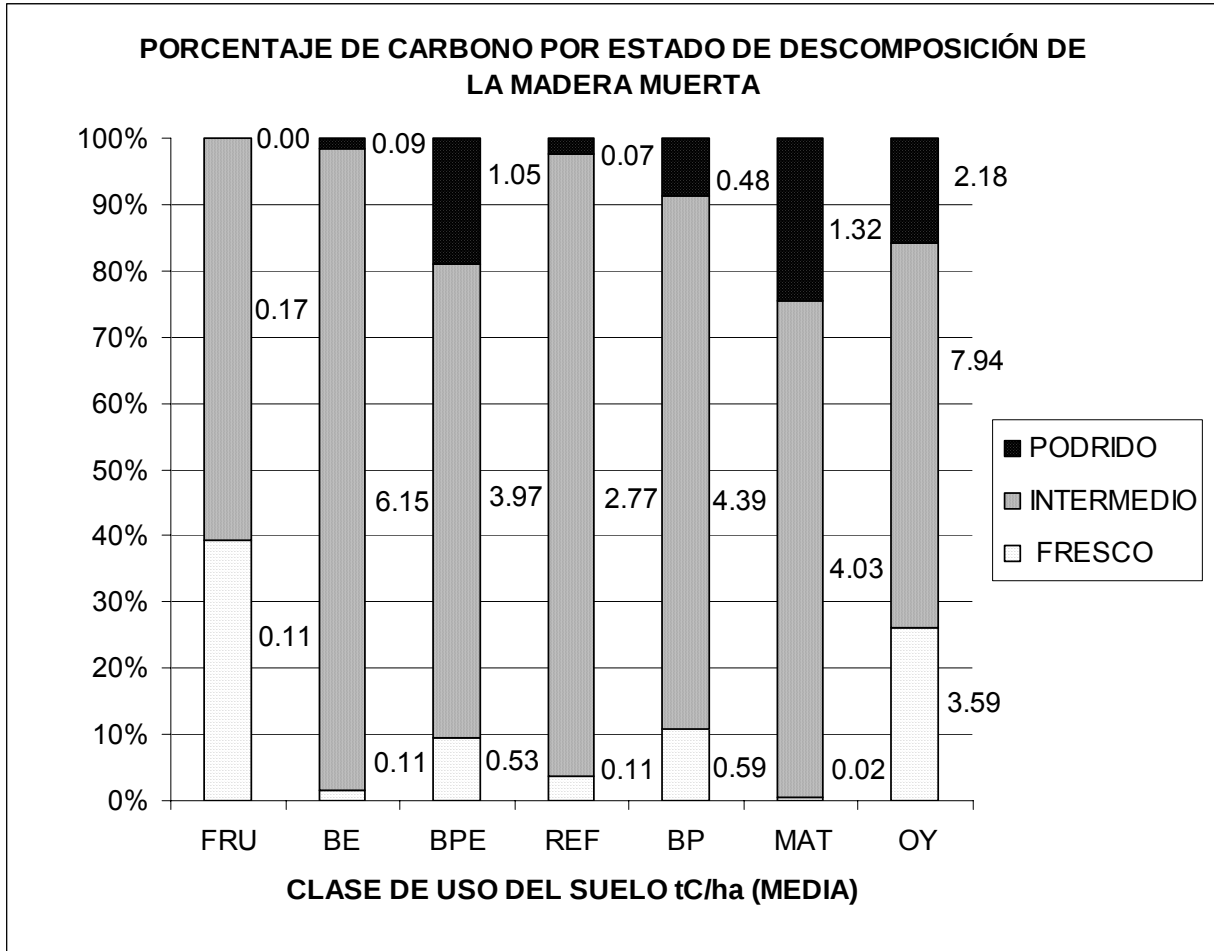
El contenido de carbono por clase de uso del suelo fue muy variable tanto en términos absolutos como en porcentaje con respecto al total de la clase (Gráfica 20). La clase de uso de suelo bosque de oyamel (OY) representó el 5.18%, para matorrales (MAT): 2.44%, para bosque de pino (BP): 1.73%, para plantación forestal (REF): 1.38%, para bosque de pino – encino (BPE): 1.23%, para bosque de encino (BE): 0.59% y finalmente para agricultura de cultivos permanentes (FRU): 0.13%. Estos porcentajes nos dejan clara la tendencia a mayor acumulación de madera muerta a medida de que el grado de conservación de los bosques es mayor como en los casos extremos de las clases bosque de oyamel (OY) con respecto a agricultura de cultivos permanentes (FRU).

Gráfica 20. Contenido total de carbono por clase de cobertura vegetal y uso del suelo en la región Purépecha



Madera Muerta: En el caso de los valores de la madera muerta, se utilizó como medida de tendencia central a la mediana, todos los demás valores están representados por la media (Elaboraron: Ordóñez & Navarrete, 2004).

Se observó una variación en el contenido de carbono por estado de descomposición concentrándose gran parte de éste en la madera en estado de descomposición intermedio, y decreciendo sucesivamente hacia los estados fresco y finalmente en podrido como se puede observar en la Gráfica 21.



Gráfica 21. Porcentaje del contenido de carbono por estado de descomposición de la madera muerta por clase de uso del suelo.

Nota: Los números a la derecha de cada columna indican el contenido de carbono para cada estado de descomposición en tC/ha.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Sobre el método de muestreo para la madera muerta:

- Se recomienda por la experiencia obtenida en campo, en la elaboración de esta tesis y siguiendo los lineamientos recomendados por el IPCC, 2003 y de múltiples autores (Harmon and Sexton, 1996, Brown *et al*, 2000 y Ordoñez 2002), se realicen modificaciones al método de muestreo empleado, con el objetivo de eficientizar el tiempo y los recursos en campo. Específicamente,
 - o Se recomienda que para la toma de datos en campo se utilicen círculos pero que dentro de cada sitio o círculo de muestreo se establezcan 2 transectos cuyas longitudes se puedan dejar a criterio del que levanta la información según sus necesidades de muestreo, recomendándose una longitud total estándar de cada diámetro o transecto dentro del círculo de entre 30 y 35.68m x 2 m de longitud (Anexo X) cada uno, compensados por pendiente, cabe señalar que en el intercepto de las dos líneas cuya longitud es de 2 m, solo se tomen datos una vez y al final de una de las líneas, se compensen esos 2 metros, de modo tal de que el intercepto de ambas líneas de muestreo, forme un ángulo de 90° entre ellas (Brown *et. al.* 2000).
 - o **Para el Método 1** – Cuando se espere que la cantidad de biomasa de la madera muerta, sea menor al 15%: un método para eficientar el tiempo es el método de intercepto de líneas, en el que en cada línea se medirán, absolutamente todos los diámetros mayores a 1 centímetro que la intercepten; Cada pieza es además clasificada dentro de varias clases de densidad. Los diámetros de todas las piezas de madera que interceptan la línea son medidas y el volumen por hectárea es calculado para cada clase de densidad, como se explica en el presente trabajo, utilizando y ajustando la fórmula recomendada por el IPCC, 2003.

- o **Para el Método 2** – Cuando se espere que la cantidad de biomasa de la madera muerta, sea mayor al 15%: Cuando la cantidad de madera muerta sobre el suelo del bosque es esperada que sea alta y variablemente distribuida, es recomendable el hacer un inventario completo de la madera muerta (IPCC, 2003). Cada pieza es también clasificada dentro de su respectiva clase de densidad y entonces el volumen es sumado para cada clase de densidad (Harmon and Sexton, 1996, Brown *et al*, 2000 y Ordoñez 2002). En cada transecto de 30 o 35 metros, colocados como indica el Anexo X); se medirá toda la biomasa leñosa que se encuentre dentro del transecto; de 0 a 2 metros se medirá los diámetros y las longitudes de toda la biomasa leñosa que entre dentro del rango de 1 a 2.5 cm de diámetro; de 0 a 5 metros se medirá y registrará todos los diámetros y longitudes de la biomasa leñosa que entre dentro del rango de entre 2.6 y 7.5 cm de diámetro y de 0 a 30 o 35.68 metros se medirán y registrarán todos los diámetros y longitudes de toda la biomasa leñosa cuyos diámetros sean mayores a 7.6 cm. (Brown *et al*, 2000 y Ordoñez 2002) (Harmon and Sexton, 1996) finalmente para obtener el volumen de las muestras se pueden emplear de acuerdo a las necesidades de tiempo y recursos, las fórmulas estándar para el volumen, como son la de Newton, Huber y Smalian para dicho propósito (Anexo Z).

Sobre los resultados:

- En los análisis de madera muerta para determinar las densidades para cada uno de los tres estados de descomposición considerados en este estudio (fresco, intermedio y podrido) se pudo observar diferencias altamente significativas entre los tres estados de descomposición para cada género. Por lo tanto, se deben usar valores por género como mínimo.
- Para el análisis general de densidades por estado de descomposición, no se pudo tener suficientes réplicas del género *Abies* para el conjunto de la Región Purépecha. Los resultados preliminares sugieren que los valores de densidad de *Abies* para los estados de descomposición fresco e intermedio son similares a los reportados para *Quercus*. Asimismo, para el estado “podrido” los valores de densidad son similares en los 3 géneros considerados en el estudio. Se requiere un mayor tamaño de muestra de *Abies* para confirmar estos resultados.
- Desafortunadamente se tuvieron que eliminar de los análisis de carbono las clases **AGR** (Agricultura de humedad – temporal, con cultivos anuales) y **BVS** (Bosque templado, con vegetación secundaria arbustiva y herbácea) ya que solamente se hicieron 2 sitios por cada uno recomendándose que se amplíe la cantidad de sitios en experimentos y muestreos futuros para estas 2 clases.

- Si bien el contenido de carbono en madera muerta por clase de uso del suelo, puede ser muy pobre, con valores que van de 5.2% para bosque de oyamel a sólo 0.13% en la agricultura de cultivos permanentes, la madera muerta contribuye de manera clave a la dinámica de nutrientes. De hecho este reservorio es clave en las interacciones árbol – descomponedores – suelo, ya que es el vínculo entre la biomasa viva y el almacén de carbono en el suelo. Además tiene un papel vital en el funcionamiento y productividad de ecosistemas forestales a través de efectos en la biodiversidad, ciclos en los nutrientes del suelo, flujos de energía, procesos hidrológicos y regeneración natural de los árboles.
- Existe una creciente necesidad de ofrecer alternativas sustentables de manejo de los terrenos de actitud eminentemente forestal, con el fin de evitar la expansión de la frontera agrícola y conservar los bosques. Estas alternativas deben diseñarse mostrando a las personas que viven directamente del recurso, opciones que garanticen su solvencia económica. Una de estas alternativas, es precisamente el pago por concepto de servicios ambientales como lo es la captura de carbono, que poco a poco irá siendo considerada y revalorada por las sociedades y los actores políticos.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOLIN, B., B.R. DÖÖS. J. JAGER AND R.A. WARRICK, 1986. The Green House Effect. Climate Change and Ecosystems. Ed. John Wiley and Sons.
- BROWN AND DELANEY. 2000. Standard Operating Procedures for Measuring Carbon in Forests and Agriculture Projects Version: 1.00, Winrock International, pp. 25 – 28.
- CABALLERO, J., N. BARRERA, y C. MAPES. 1992. La Vegetación Terrestre. En Plan Páztcuaro 2000. 1a Ed., pp 71-90. México, D.F. Friedrich Ebert Stiftung.
- CARO, R. 1987. Caracterización de la Industria Maderable en el Área de Influencia de la UAF 6: Meseta Tarasca. Tesis. Morelia, México. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
- CARRILLO, E. G. 1989. Apuntes del curso de inventarios forestales. UACH. México. Pp. 10 – 20 y 92 – 150.
- COWAN, A. 2004. Decaying Wood. Recycling within Arboreal Ecosystems. Tree Craft Ltd, specialising in quality tree care: www.treecraft.co.uk/index.html , and ArborEcology Ltd, www.arborecology.co.uk , United Kingdom. <http://www.the-tree.org.uk/EnchantedForest/DecayWood/decayingwood.htm>
- CRUZ, M. Inédito. El Bosque Mesófilo de Montaña de la Región Purépecha, Michoacán: Uso y Estado Actual de la Vegetación. Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias, UNAM, México, D.F.
- DELGADO, L. y PEDRAZA R. A. 2002. La Madera Muerta de los ecosistemas forestales. Foresta Veracruzana 4(2):59 -66. 2002.
- DIXON, R. K., S. BROWN, R. A. HOUGHTON, A.M. SOLOMON, M.C. TREXLER, AND J. WISNIEWSKI, 1994. Carbon Pools and Flux of Global Forest Ecosystems. Science, 263, pp. 185 – 190.
- DIETZ, P. 1975. Dichte und Rindengehalt von Industrieholz. Holz Roh – Werkstoff 33: 135 – 141 (In, Draft IPCC Good Practice Guidance for LULUCF Sector. 2003).
- Draft IPCC Good Practice Guidance for LULUCF Sector. 2003. Chapter 4: Supplementary methods and good practice guidance arising from the Kyoto Protocol. 4.3 LULUCF PROJECTS, Dead wood.
- E.P.A. U.S. 2004. Annexes of the Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990 – 2002. U.S. Environmental Protection Agency Global Warming publications:<http://www.epa.gov/> (Source: Smith et al. 2003)

[http://yosemite1.epa.gov/oar/globalwarming.nsf/UniqueKeyLookup/RAMR5YYK9V/\\$File/Annex%20Table%203-101.txt](http://yosemite1.epa.gov/oar/globalwarming.nsf/UniqueKeyLookup/RAMR5YYK9V/$File/Annex%20Table%203-101.txt)

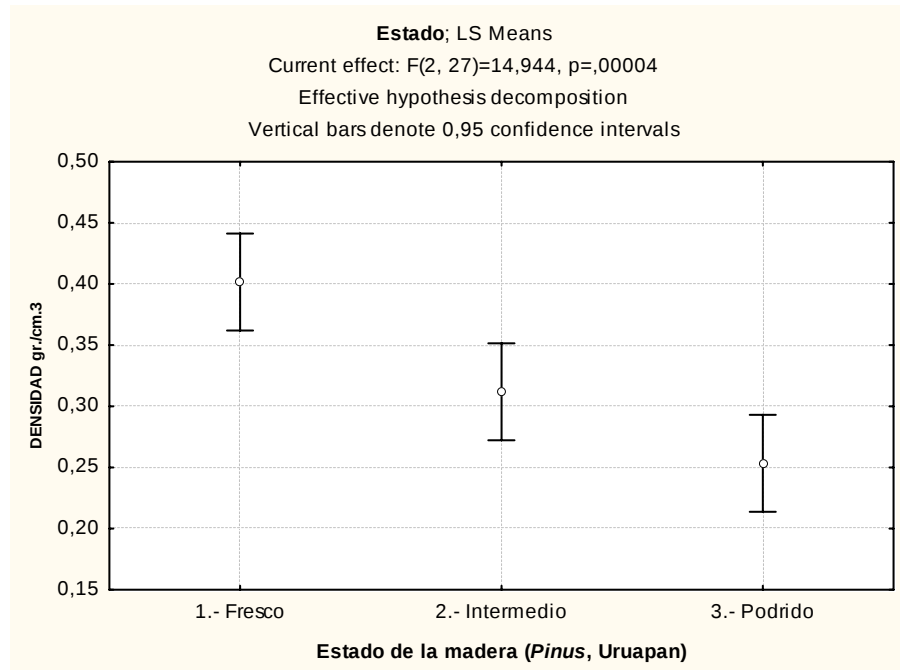
- FOWLER, J. & COHEN, L. 1999. "Estadística Básica en Ornitología", SEO/BirdLife, Madrid España. Pp. 64 - 65, 145.
- GARCIA, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de geografía de la U.N.A.M. México. 252 p.
- GAY, C. Y J. MARTÍNEZ. 1995. Mitigation of emissions of greenhouse gases in México. *Interciencia* 20(6): 336 – 342.
- GONZÁLEZ, M. L. 1989. Análisis de las propiedades físicas y características mecánicas del tablero aglomerado de partícula, elaborado con pino y encino. Tesis de licenciatura U.M.S.N.H. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera, México. p.p. 19 – 20.
- GOUDIE, A., 1990. The Human Impact on the Natural Environment. Basil Blackwell Ltd, Oxford, U.K. 3th Edition. 388 pp.
- HARMON, M.E. SEXTON, 1996. Guidelines for measurements of Woody Detritus in Forest Ecosystems. US LTER Publication No. 20. US LTER Network Office, University of Washington, Seattle, WA, USA.
<http://www.lternet.edu/documents/Publications/woodydetritus/>
- HERRERA, M. A., DEL VALLE, J. I. y ORREGO, S.A. 2001. Biomasa de la vegetación herbácea y leñosa pequeña y necromasa en bosques tropicales primarios y secundarios de Colombia. Medellín Colombia. Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Ciencias Forestales. p.p. 1 -18.
- INFANTE, G. S., ZÁRATE D. G. 2000. Métodos Estadísticos un enfoque interdisciplinario. Edit. Trillas. México. p.p. 55 – 58. 643p.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 1991. XI Censo general de población y vivienda.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 1990. Climate Change 1990. The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment. Cambridge University Press, Cambridge.
- Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC), 1995. Climate Change 1995. The supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment. Cambridge University Press. Cambridge, England.
- Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC), 2001. Cambio Climático 2001: Informe de síntesis. Resumen para responsables de Políticas. Tercer informe

- de evaluación. 24 – 25 de septiembre del año 2001, Wembley, Reino Unido. p.p. 1 -38.
- JARAMILLO V., 1994. El cambio global: Interacciones de la biota y la atmósfera. Ciencias, No. 35 julio – septiembre 1994. México p.p. 1 -11.
- LASHOF, D.A. Y D.R. AHUJA, 1990. Relative Contributions of Greenhouse Gas Emissions to Global Warming. *Nature*, 344:5, p.p. 529 – 531.
- MADRIGAL-SÁNCHEZ, X. 1982. Claves para la Identificación de las Coníferas Silvestres del Estado de Michoacán. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. 100 pp.
- MAGAÑA, R. V. 2004. Cambio Climático: Una visión desde México. Julia Martínez y Adrián Fernández (compiladores), con la colaboración de Patricia Osnaya. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología. www.ine.gob.mx, México. p.p. 17.
- MARTÍNEZ, S. I. 1999. Características anatómicas microscópicas de la madera de 11 especies del género *Pinus* del Municipio de Morelia, Mich. México. Tesis de licenciatura U.M.S.N.H. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera, México. p.p. 7 – 27.
- MAASS, M. MARTÍNEZ-YRÍZAR, A. PATIÑO, C. SARUKHÁN, J. 2002. Distribution and annual net accumulation of above-ground dead phytomass and its influence on throughfall quality in a Mexican tropical deciduous forest ecosystem. *Journal of Tropical Ecology*. Cambridge University Press. UK. 18:821–834.
- MASERA, O. 1995. Carbon mitigation scenarios for Mexican forest: methodological considerations and results. *Interciencia* 20(6): 388 – 395.
- MASERA, O. 1998. Dinámica y uso de los recursos forestales de la región Purépecha. Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropiada.
- MATTHEWS, E. PAYNE, R. ROHWEDER, M. MURRAY, S. 2000. *Pilot Analysis of Global Ecosystems: Forest Ecosystems*, World Resources Institute, Washington D.C. available at <http://www.wri.org/wr2000> pp. 55-56.
- MINTZER, I.M., 1992. *Confronting Climate Change. Risk Implications and Responses*. Cambridge, University Press, Cambridge.
- NAVARRETE, J. L. Inédito. (2004) El aporte en biomasa de la madera muerta, en la vegetación nativa y plantaciones de *Cupressus lindleyi*, en el parque Nacional “Insurgente José María Morelos”, Curso Ecología del Manejo de Recursos Forestales, Centro de investigaciones en Ecosistemas, Universidad Nacional Autónoma de México. Morelia, Michoacán. 9 p.

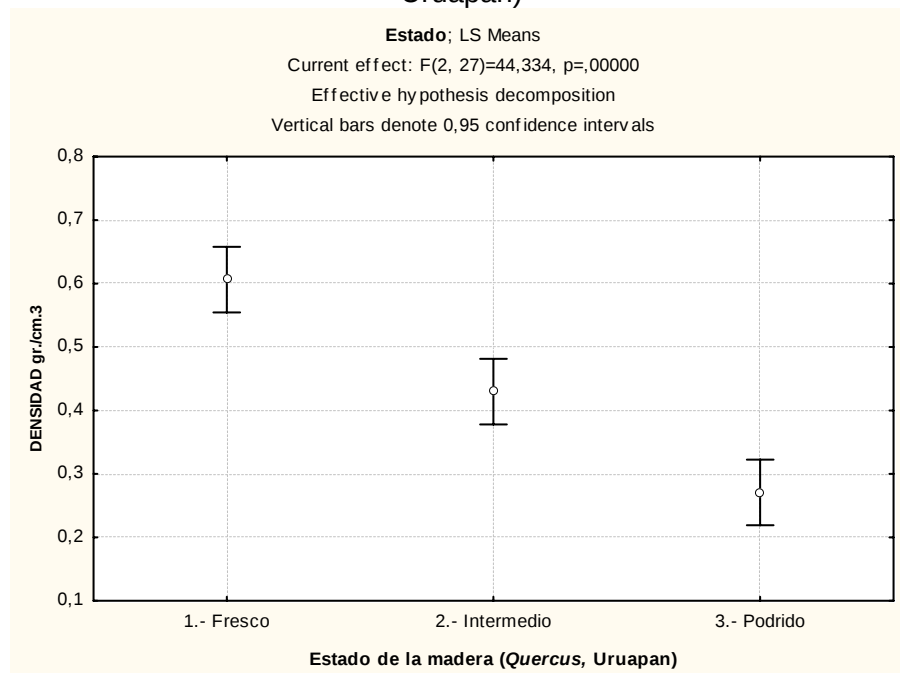
- NEWMAN, E.I. 1993. Applied Ecology, Blackwell Scientific Publications, London, U.K.
- ORDÓÑEZ, J. A. B. De JONG, B. H. J. GARCÍA-OLIVA, F. AVIÑA, F. L. PÉREZ, J. V. GUERRERO, G. and MASERA, O. In process. Carbon content in vegetation, litter, and soil in ten different land-use land-cover classes in Central Highlands of Michoacán, Mexico.
- ORDÓÑEZ, J.A.B. 1999. Captura de Carbono en un bosque templado: el caso de San Juan Nuevo, Michoacán. Instituto Nacional de Ecología. SEMARNAP. México D.F.
- ORDÓÑEZ, J.A.B. 2002. Manual de procedimientos para estimación de biomasa en diferentes almacenes y clases de cobertura vegetal y uso de suelo. Laboratorio de Bioenergía, CIECO, UNAM.
- ORDÓÑEZ, J.A.B. Y O. MASERA. 2001. La captura de carbono ante el cambio climático. *Madera y Bosques* 7(1): 3 – 12.
- PUPLETT, D. 2004. Trees for Life: Restoring the Caledonian Forest, “Dead Wood” http://www.treesforlife.org.uk/tfl.dead_wood.html , Scotland, United Kingdom.
- RAMOS, P. D. 1999. Características y propiedades de la madera de *Quercus elliptica* Nee, del Municipio de Morelia, Mich. México. Tesis de licenciatura U.M.S.N.H. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera, México. 15 p.
- RAZO, H. R. 1990. Estudio del secado de varias especies de maderas nacionales mediante el sistema Moore. Tesis de licenciatura U.M.S.N.H. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera, México. 66 p.
- RIJSDIJK, J. F. LAMING, P. B. 1994. Physical and related properties of 145 timbers. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London.
- SARASOLA, M., VERA, H. 1998. Dinámica de la necromasa, en dos bosques de humedal. Sección Ecológica, Facultad de Ciencias, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay. 1 – 10 p.
- SIEGEL, S., CASTELLAN, N. J. 1988. Nonparametric Statistics for the behavioral sciences, Second edition. Mc. Graw-Hill. New York. p.p. 206 – 216. 399 p.
- SCHIMEL, D. et al. 1996. “Radiative Forcing of Climate Change.” In *Climate Change 1995, Second Assessment Report*. Published for the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press: 65-131.
- STEFFAN, W. et al. 1998. “The Terrestrial Carbon Cycle: Implications for the Kyoto Protocol.” *Science* 280: 1393-1395.

8. ANEXOS

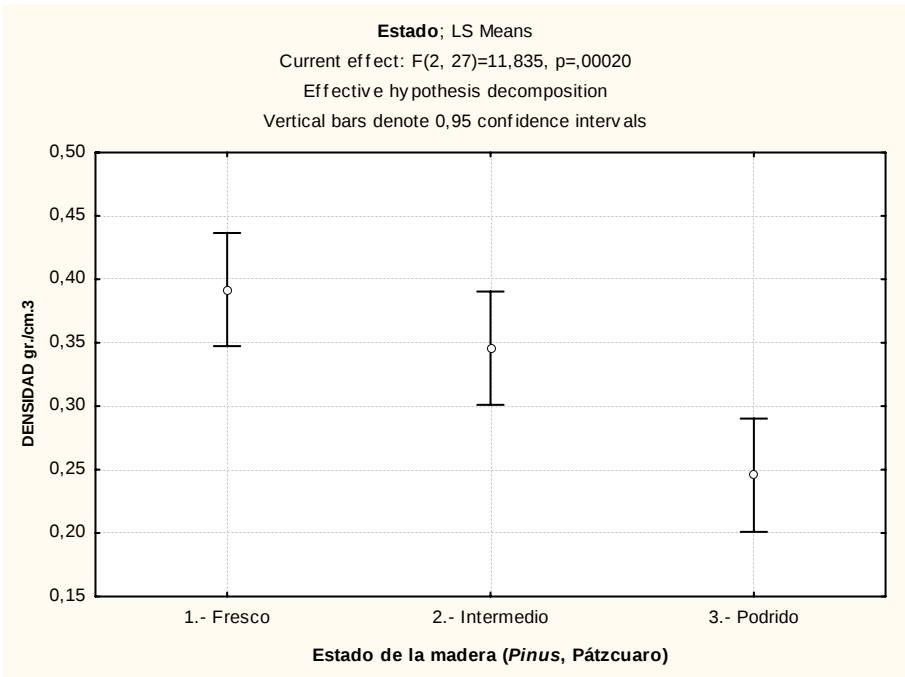
Anexo A) Comparación de medias de tratamientos con la prueba de Tukey (*Pinus*, Uruapan)



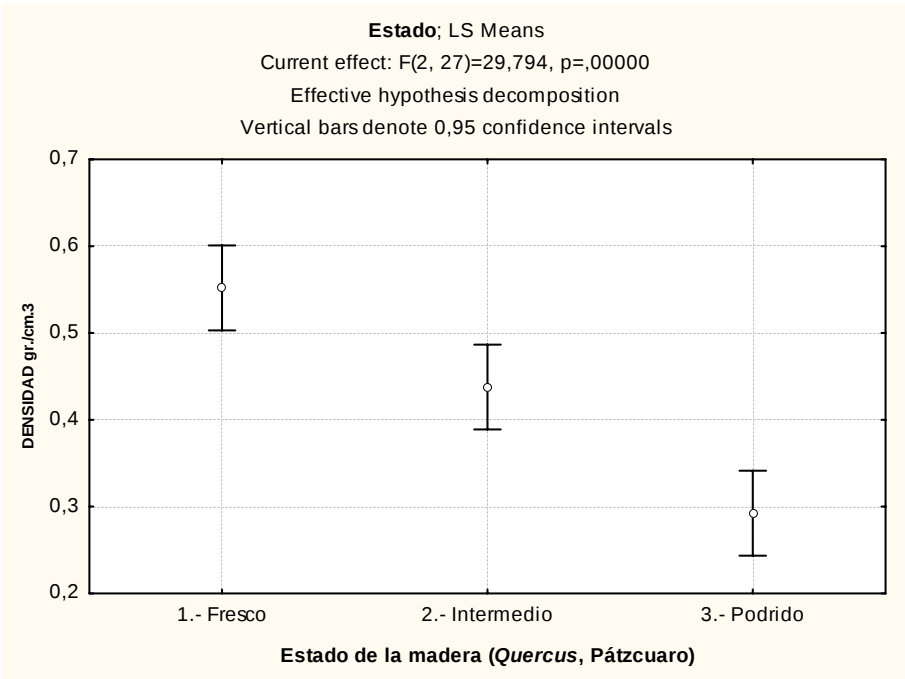
Anexo B) Comparación de medias de tratamientos con la prueba de Tukey (*Quercus*, Uruapan)



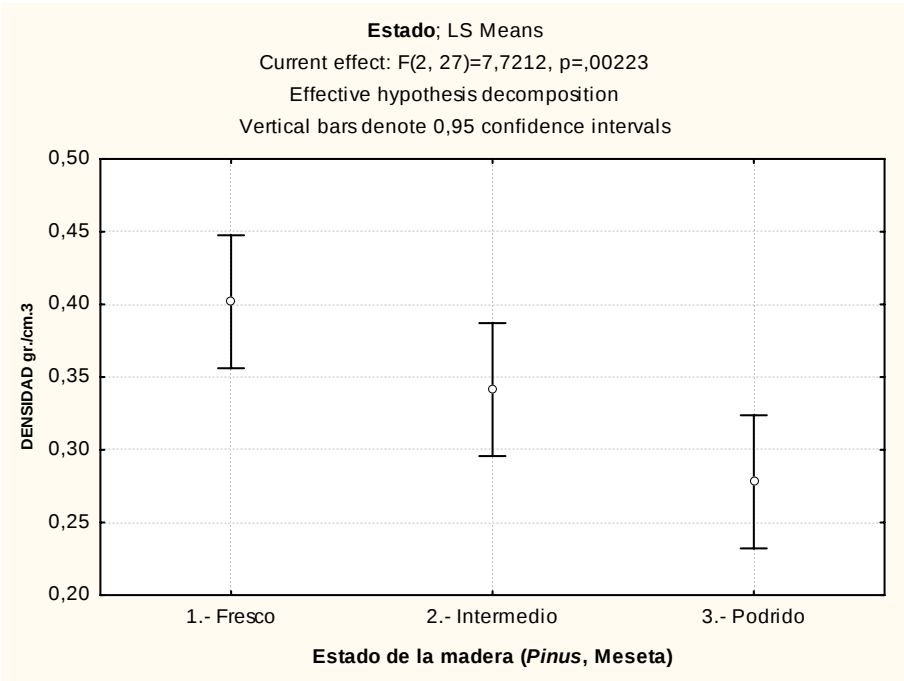
Anexo C) Comparación de medias de tratamientos con la prueba de Tukey (*Pinus*, Pátzcuaro)



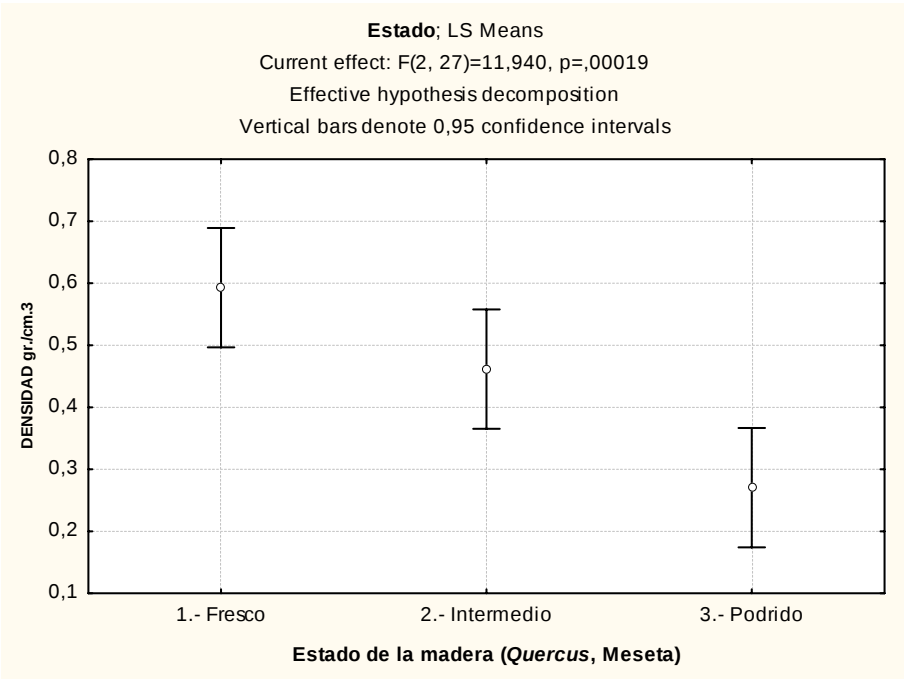
Anexo D) Comparación de medias de tratamientos con la prueba de Tukey (*Quercus*, Pátzcuaro)



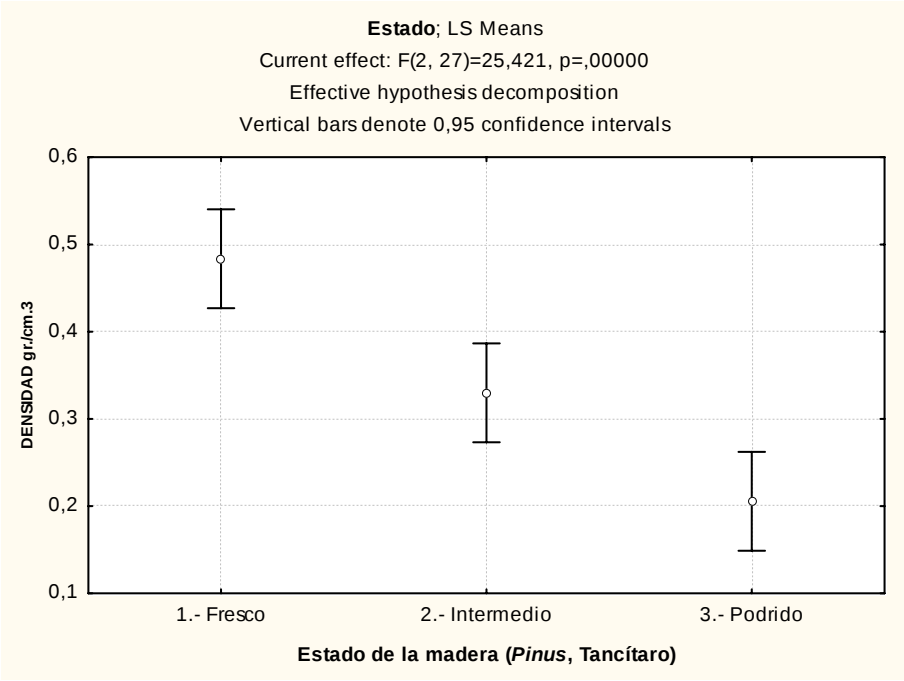
Anexo E) Comparación de medias de tratamientos con la prueba de Tukey (*Pinus*, Meseta)



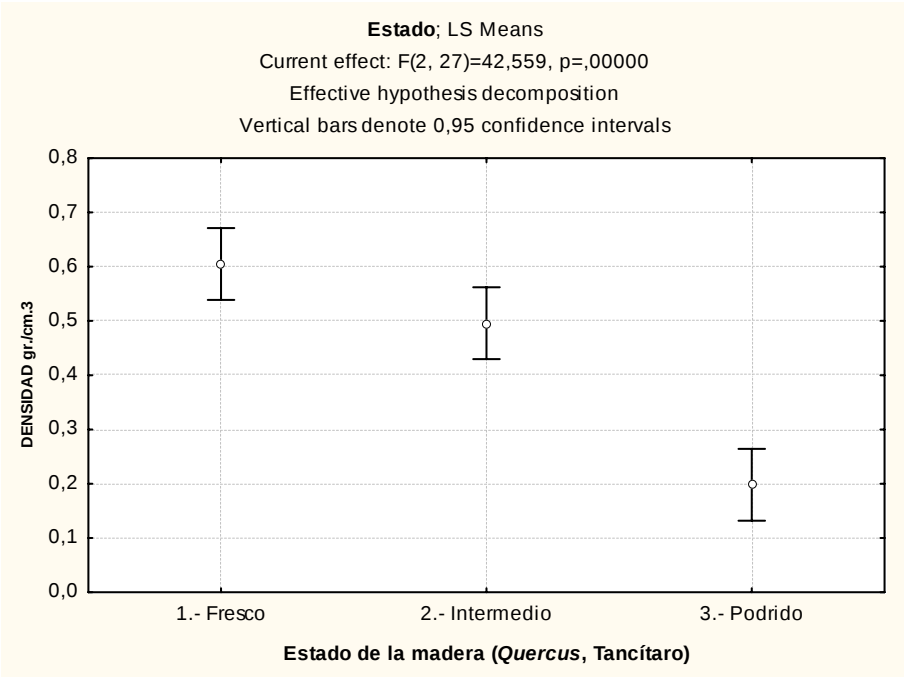
Anexo F) Comparación de medias de tratamientos con la prueba de Tukey (*Quercus*, Meseta)



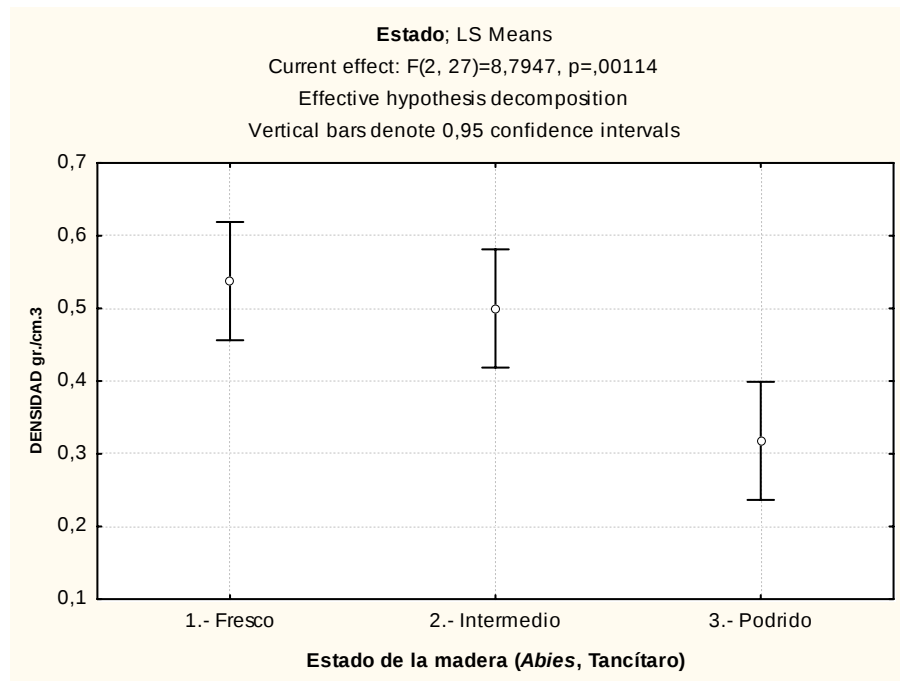
Anexo G) Comparación de medias de tratamientos con la prueba de Tukey (*Pinus*, Tancítaro)



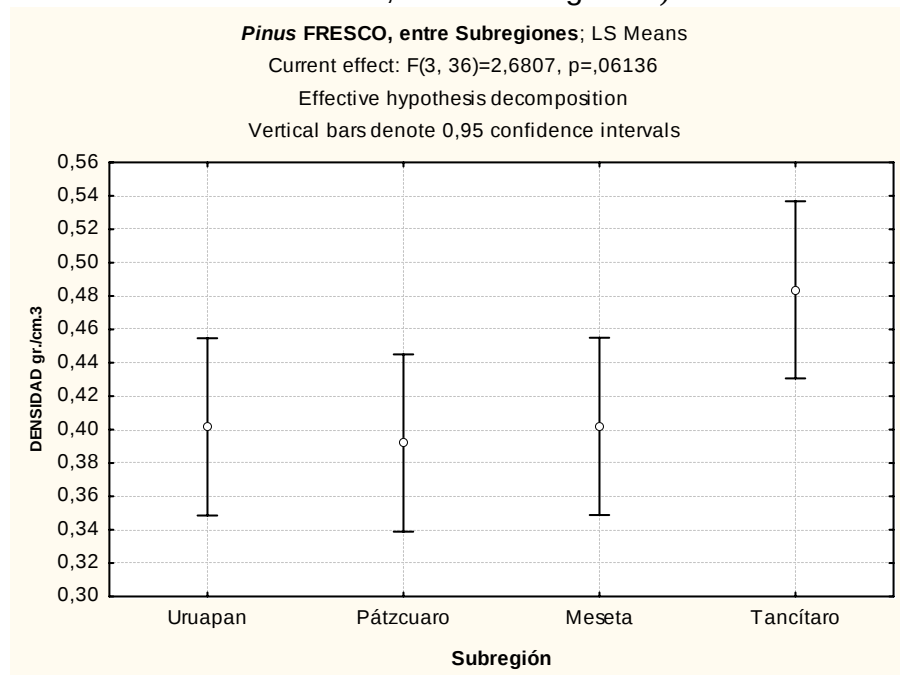
Anexo H) Comparación de medias de tratamientos con la prueba de Tukey (*Quercus*, Tancítaro)



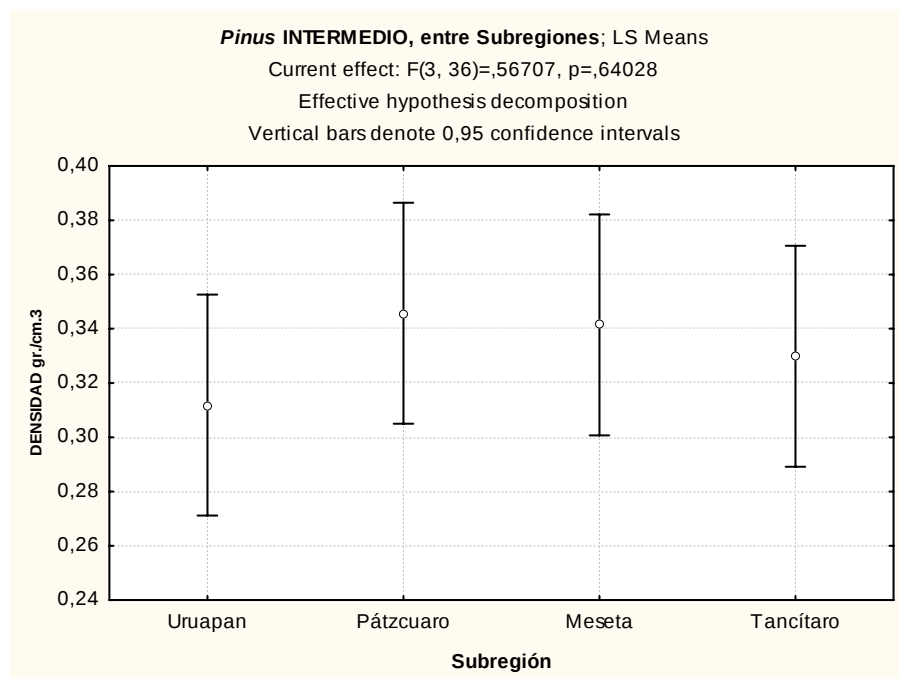
Anexo I) Comparación de medias de tratamientos con la prueba de Tukey (*Abies*, Tancítaro)



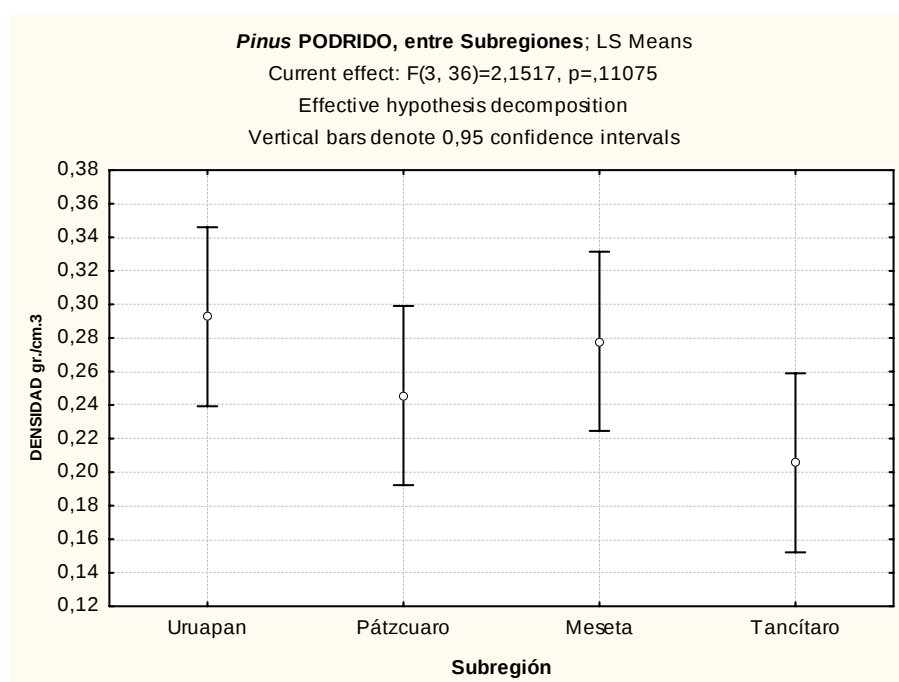
Anexo J) Comparación de medias de tratamientos con la prueba de Tukey (*Pinus* FRESCO, entre subregiones)



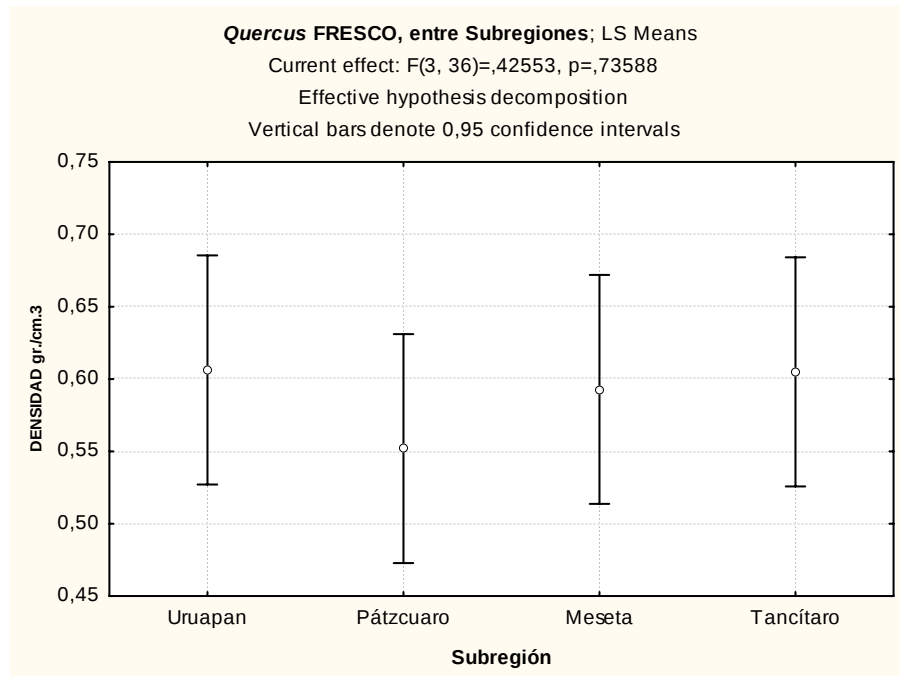
Anexo K) Comparación de medias de tratamientos con la prueba de Tukey (*Pinus* INTERMEDIO, entre subregiones)



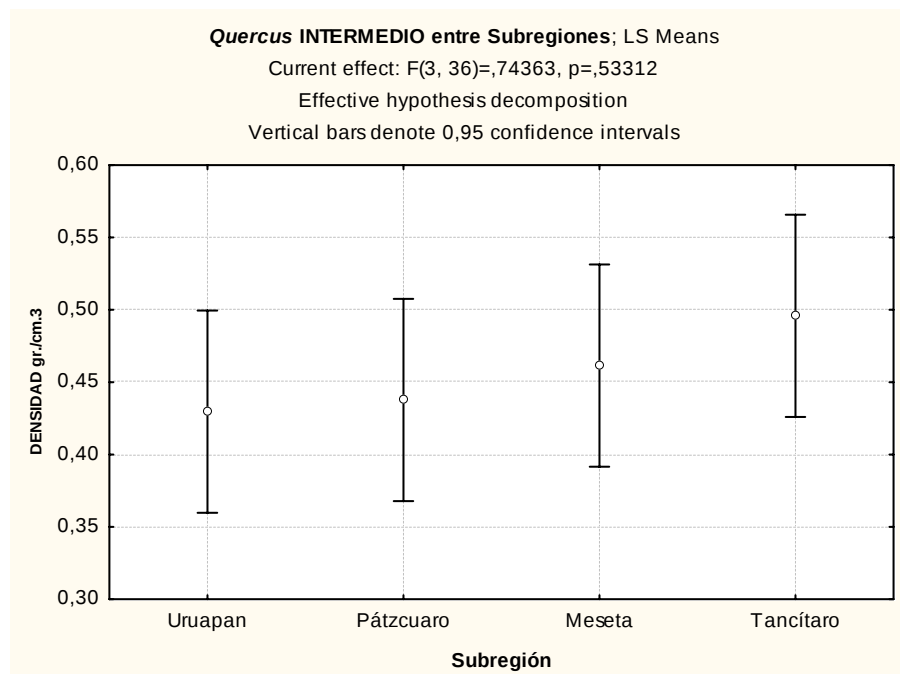
Anexo L) Comparación de medias de tratamientos con la prueba de Tukey (*Pinus* PODRIDO, entre subregiones)



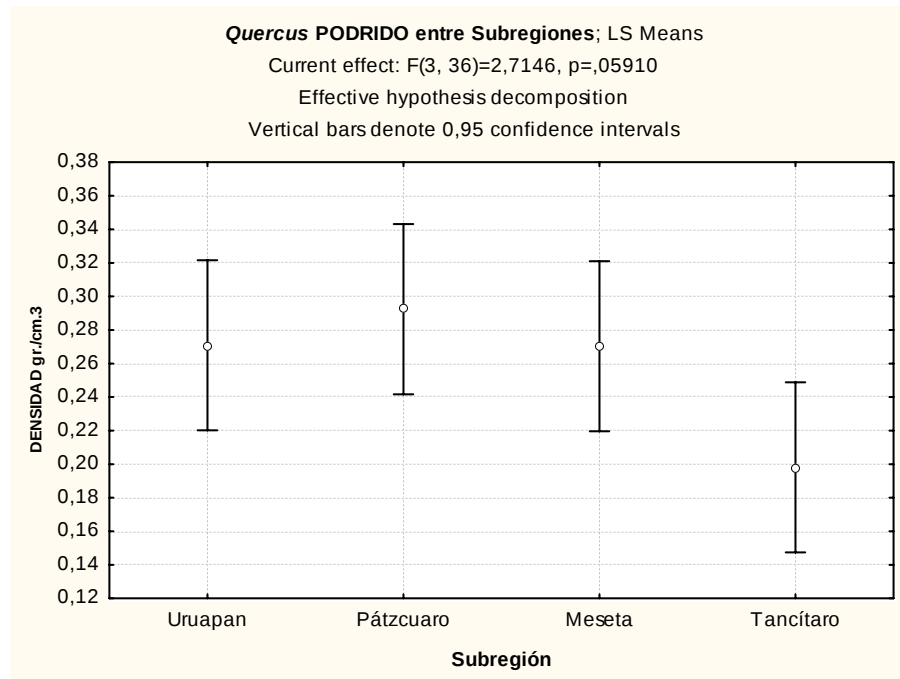
Anexo M) Comparación de medias de tratamientos con la prueba de Tukey (*Quercus* FRESCO, entre subregiones)



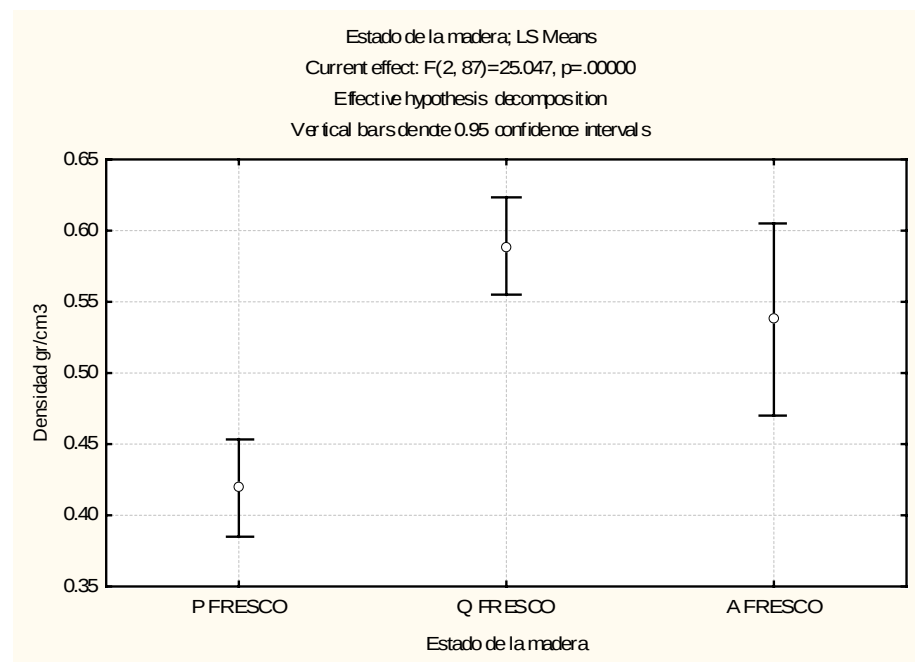
Anexo N) Comparación de medias de tratamientos con la prueba de Tukey (*Quercus* INTERMEDIO, entre subregiones)



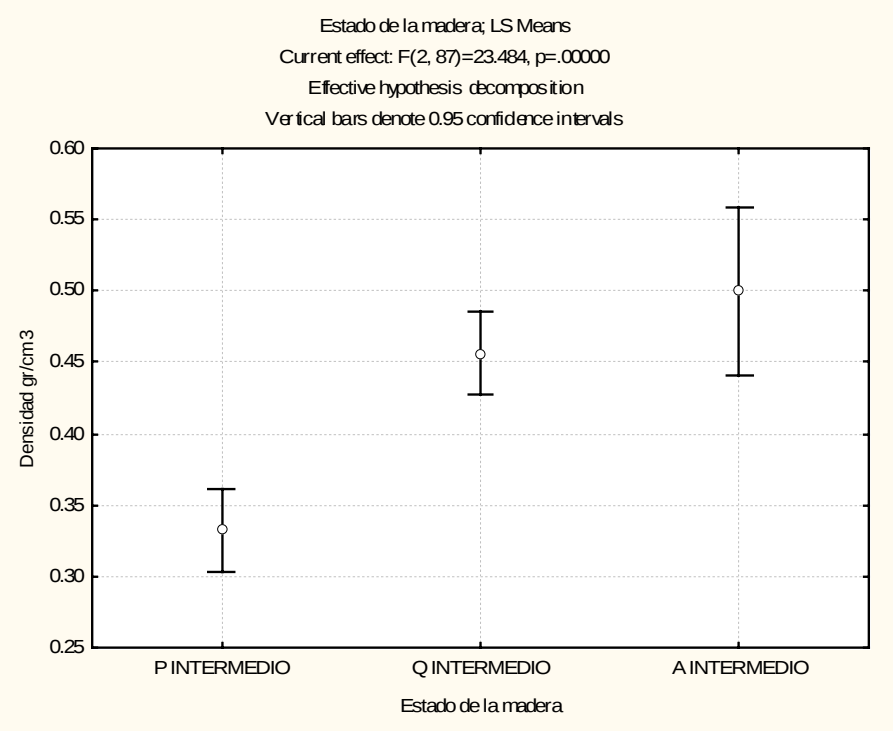
Anexo O) Comparación de medias de tratamientos con la prueba de Tukey (*Quercus* PODRIDO, entre subregiones)



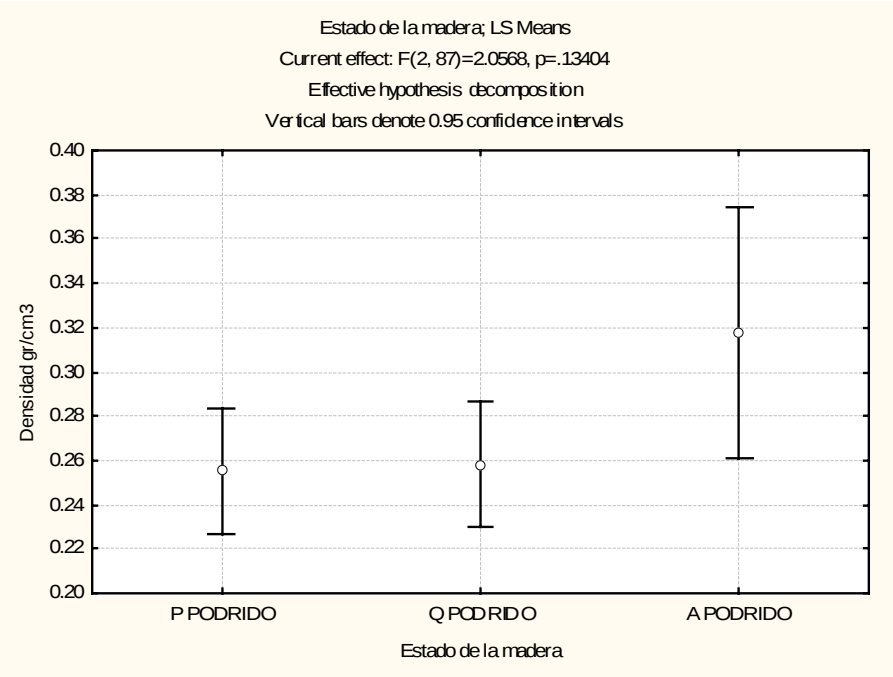
Anexo P) Comparación de medias de tratamientos con la prueba de Tukey análisis general de densidades (*P*, *Q* & *A*) FRESCO



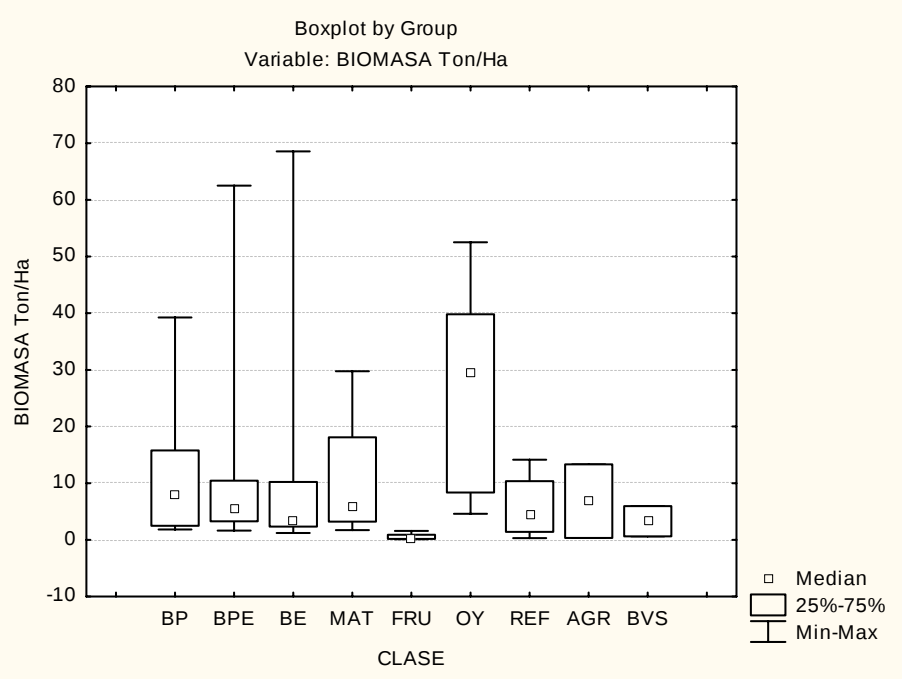
Anexo Q) Comparación de medias de tratamientos con la prueba de Tukey análisis general de densidades (P, Q & A) INTERMEDIO



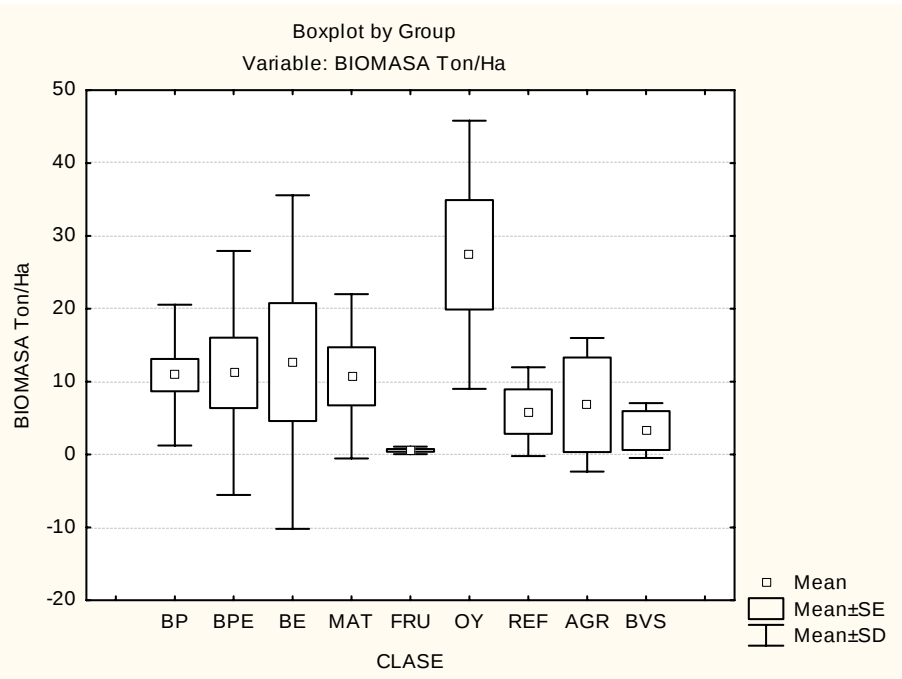
Anexo R) Comparación de medias de tratamientos con la prueba de Tukey análisis general de densidades (P, Q & A) PODRIDO



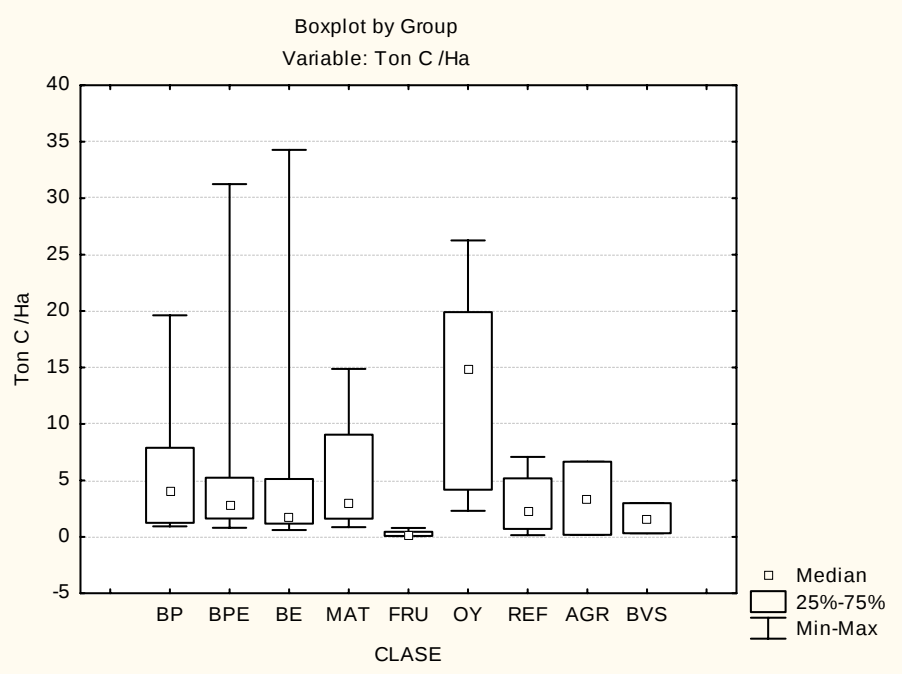
Anexo S) Prueba de comparaciones múltiples de valores de probabilidad biomasa por clase (Mediana)



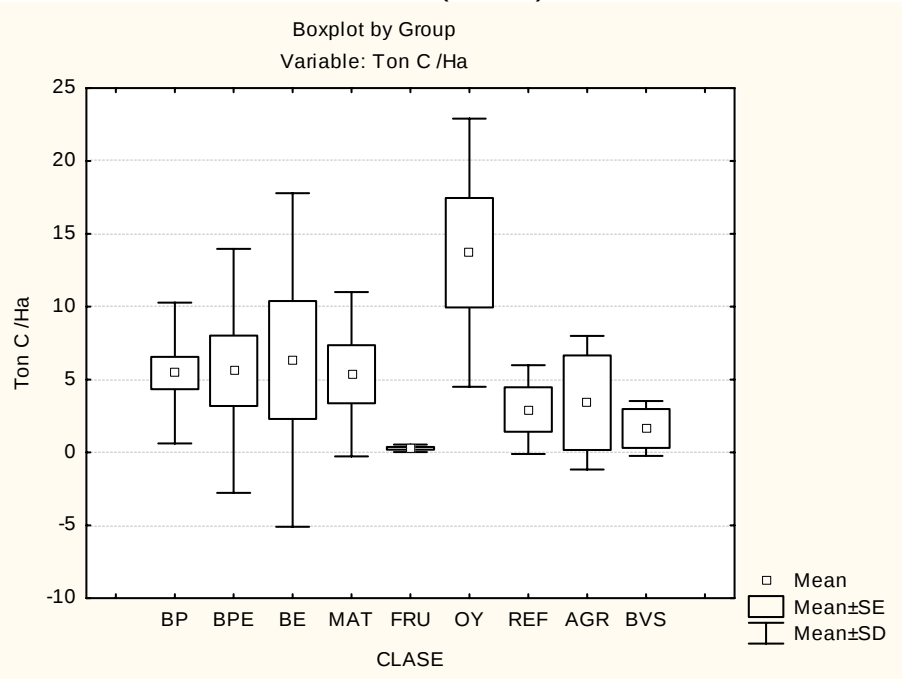
Anexo T) Prueba de comparaciones múltiples de valores de probabilidad biomasa por clase (Media)

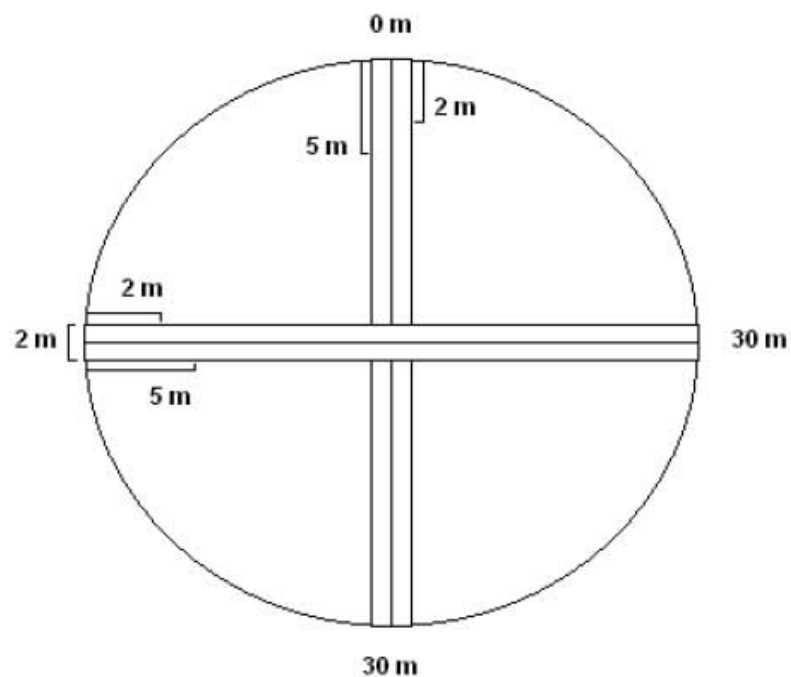


Anexo U) Prueba de comparaciones múltiples de valores de probabilidad carbono por clase (Mediana)



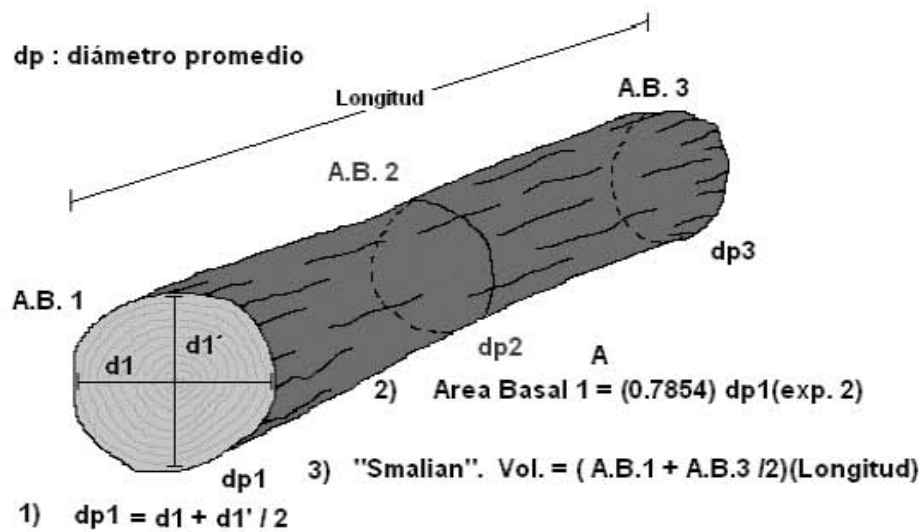
Anexo V) Prueba de comparaciones múltiples de valores de probabilidad carbono por clase (Media)





Anexo X) Forma y disposición de los transectos dentro de cada sitio de muestreo.

MEDICIÓN Y CÁLCULO DEL VOLUMEN DE LA MADERA MUERTA



Anexo Z) Medición y cálculo del volumen de la madera muerta (Fórmula de Huber: Vol. = A.B.2 x long.).