

A photograph of a person's hand holding a blue diameter tape against a tree trunk in a forest. The tape is a white ruler with blue handles, used for measuring tree diameter. The background is a dense forest with green foliage.

CONCEPTOS DASOMÉTRICOS EN LOS INVENTARIOS FITOSOCIOLÓGICOS

**José Imaña Encinas
Javier Jiménez Péres
Alba Valéria Rezende
Christian Rainier Imaña
Otacílio Antunes Santana
Milton Serpa de Meira Júnior**

2014

Dasometria: especialidad de la Ingeniería Forestal que trata de la mensura (mediciones) en el árbol y/o en rodales o bosques.

Inventario forestal: especialidad de la Ingeniería Forestal que trata de los procedimientos o métodos de muestreo para la descripción cuantitativa y cualitativa de un área boscosa.

Fitosociología: ciencia que refleja el complejo planta, suelo y clima envolviendo los fenómenos inter específicos que se relacionan con la vida de las plantas dentro de unidades sociales vegetales.



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DPTO. ENGENHARIA FLORESTAL



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

CONCEPTOS DASOMÉTRICOS EN LOS INVENTARIOS FITOSOCIOLÓGICOS

José Imaña-Encinas
Javier Jiménez Péres
Alba Valéria Rezende
Christian Rainier Imaña
Otaclíio Antunes Santana
Milton Serpa de Meira Junior

2014



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DPTO. ENGENHARIA FLORESTAL



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

Copyright © 2009 by José Imaña-Encinas
Universidade de Brasília, Brasil – 2009
1ª edición impresa en portugués: 2009
2ª edición digital en español: 2014

El total o parte de esta obra podrá ser reproducida
desde que fuese citada correspondientemente

FICHA CATALOGRÁFICA

Imaña-Encinas, José

I31 Conceptos dasométricos en los inventarios fitosociológicos /
José Imaña-Encinas, Javier Jiménez Péres, Alba Valeria Rezende,
Christian Rainier Imaña, Otacílio Antunes Santana, Milton Serpa
de Meira Junior. – Brasilia, Brasil / Linares, México : Universidade
de Brasilia / Universidad Autónoma de Nuevo León, 2014
82p. : il. ; 16 x 22 cm

ISBN 978-85-87599-36-0

1. Mensura forestal. 2. Muestreo. 3. Dendrometria. 4.
Ingeniería forestal medición. I. Jiménez Péres, Javier. II.
Rezende, Alba Valéria. III. Imaña, Christian Rainier. IV. Santana,
Otacílio Antunes. V. Meira Junior, Milton Serpa. VI. Título.

CDU – 581.5

Patrocinador



Fundação de Tecnologia Florestal e Geoprocessamento

junio de 2014

PRESENTACIÓN

La fitosociología se transformó recientemente en una de las especialidades de mayor relevancia en la ciencia de la Ecología. A pesar de existir en la literatura latino americana un significativo número de publicaciones que tratan de los diversos temas relacionados con la fitosociología, se percibe que aún existe bastante espacio para perfeccionar correspondientes conceptos y pertinentes criterios de muestreo fitosociológico y respectivo análisis de datos, específicamente cuándo se trata de estudios y levantamientos vegetales de las formaciones boscosas.

Fundamentado en ese contexto el presente documento fue elaborado con la intención de presentar a los investigadores que desarrollan estudios relacionados con la vegetación natural arbórea, conceptos de medición dasométrica, orientados especialmente para las evaluaciones de la dinámica y de la estructura espacial en estudios de la vegetación forestal nativa.

Principalmente en las últimas dos décadas varios investigadores se dedicaron e incentivaron el desarrollo de estudios sobre la fitosociología en los diversos biomas latino americanos, mostrando el enorme potencial de investigación que se encuentran en las diversas regiones de América Latina.

Expresamos nuestro agradecimiento al *Servicio Forestal Brasileño* que patrocinó la edición impresa de esta obra en 2009 y a la *Fundación de Tecnología Forestal y Geoprocesamiento - FUNTEC* por la actual edición digital.

José Imaña-Encinas
Javier Jiménez Péres
Junio de 2014

DEDICATORIA

A nuestros familiares, colegas y amigos
por todo lo que nos aconsejaron
y acompañaron con la realización de esta obra;
a nuestros hijos muy en especial, dándoles ejemplo de vida
para proyectarlos sabiamente en el futuro profesional;
y a las nuevas generaciones de ingenieros y técnicos forestales
para que mantengan nuestros bosques
en el rígido principio de la sostenibilidad.

Sumario

	página
Introducción	1
Definiciones de muestreo	15
Variables dasométricas	30
Conceptos de la curva especie – área	50
Parámetros fitosociológicos	64
Regeneración natural	70
Ejemplo metodológico	74
Citaciones bibliográficas	81

Introducción

Se define que una comunidad vegetal es el conjunto de poblaciones con relaciones intra e inter específicas resultantes de la acción de los diversos factores ambientales que inciden sobre las especies vegetales en un determinado local o sitio. En ese sentido las estructuras vegetales que se repiten en una misma comunidad vegetal pueden ser de cierta forma similares, sin embargo nunca idénticas, aún más cuando las comunidades vegetales son consideradas en grandes áreas. En ese principio los componentes de un sistema que inciden sobre la vegetación y su correspondiente medio ambiente, se desarrollan paralelamente pudiendo presentar combinaciones de una infinidad de expresiones ecológicas. La finalidad de este documento fue concentrar conocimientos en algunos procedimientos de la mensura forestal con el intuito de orientar conceptos dasométricos que puedan subsidiar correspondientes estudios de la ecología cuantitativa como cualitativa de las comunidades vegetales, especialmente las arbóreas y herbáceas.

Aceptando y reconociendo la inmensa complejidad de los procesos y desarrollos que se producen en la naturaleza, existe naturalmente un rígido orden estratégico, impuesto por las intrínsecas interacciones, inter e intra relaciones de los elementos naturales que la componen. Por tanto, es posible estructurar la sistematización y la organización del pertinente conocimiento de las comunidades vegetales. En ese sentido la correspondencia que pueda existir entre la vegetación y el medio ambiente y la similitud entre los tipos de vegetación, permiten estructurar y agrupar sistemáticamente las unidades de la vegetación.

En esos conceptos podrán existir diversos objetivos para interpretar la correspondiente vegetación o una de sus interrelaciones con el medio ambiente. Entre los inúmeros estudios que consideran la vegetación como elemento de observación, en el presente documento se procurará restringir conceptos y metodologías de medición de variables dasométricas orientadas fundamentalmente a la interpretación de la fitosociología y la fitocenología.

La fitosociología de acuerdo con Oosting (1956) y Harper (1977) es la ciencia que trata de las comunidades vegetales envolviendo el estudio de todos los fenómenos que se relacionan con la vida de las plantas dentro de las unidades sociales, retratando el complejo: vegetación, suelo y clima. La expresión fitosociología deriva de los vocablos *phyto* = *planta* y *sociología* = *estudio social de grupos*. Consecuentemente la fitosociología presupone la existencia de comunidades de plantas que por ella pueden ser interpretadas en su origen, estructura, clasificación y sus inherentes relaciones con el medio ambiente.

A la fitocenología se la define como la ciencia que se dedica específicamente al estudio de la cobertura vegetal (Oosting, 1956). Una particularidad de esta especialidad es que en ella puede ser usada los principios y correspondientes cálculos estadísticos.

En la mayoría de los estudios donde se considera la vegetación, probablemente el número de especies es el atributo más utilizado para describir principalmente la taxocenología, una vez que por ella se permite ofrecer una información segura de su correspondiente diversidad. Entiéndase por diversidad vegetal al número de especies (*riqueza vegetal*) y sus abundancias

(*ecuabilidad*) en una comunidad o hábitat. De acuerdo con Whittaker (1967) se distinguen tres tipos de diversidad vegetal: ***diversidad alfa*** que es relativa a una determinada área, ***diversidad beta*** que se refiere a la diversidad de hábitats mostrando la evidencia en las diferencias de la composición de las especies en diferentes medios o hábitats; ***diversidad gama*** que se relaciona con los paisajes, es decir a la diversidad vegetal de grandes áreas. Simplemente al número de especies en la diversidad vegetal, la fitosociología la denominará de riqueza de especies y su correspondiente abundancia describirá su pertinente distribución. En ese sentido existirá un específico gradiente de similitud de especies relacionadas a un área (universo de observación).

Los índices de diversidad vegetal tradicionales como Shannon y Simpson, combinan el número de especies encontradas con los denominados "evenness" (*abundancias relativas de las especies*), sin embargo son dependientes del tamaño de la muestra (número de individuos) y del modelo de muestreo, lo que obliga asumir especiales cuidados en su interpretación pertinente.

El ***índice de Shannon-Wiener*** (H'), también conocido simplemente como índice de Shannon (Shannon y Weaver, 1949), asume que los individuos vegetales sean escogidos al azar de un conjunto infinitamente grande, y en el sentido de que todas las especies vegetales estén representadas en la muestra (Kent, 2011). Este índice es bastante usado en estudios donde se comparan comunidades vegetales. Es un índice no paramétrico de medida de la diversidad de especies y su cálculo se fundamenta en la abundancia proporcional de las especies. Su determinación se la realiza por la fórmula:

$$H' = -\sum (p_i \cdot \ln p_i)$$

donde p_i es la estimativa de la proporción de individuos (i) encontrados en la especie " i ";

\ln = logaritmo neperiano o logaritmo natural de base e ;

Σ = suma de todos los " i " especies de la muestra.

Si en una muestra el valor real de p_i es desconocido, su estimativa será obtenida por:

$$p_i = \frac{n_i}{N}$$

donde n_i = número de individuos de la especie " i ";

N = número total de individuos de la muestra.

El valor del índice de Shannon generalmente varia de 1,5 a 3,5 y raramente ultrapasa el valor de 4 (Margalef, 1958)

El **índice de Simpson** (D) proporciona la probabilidad de que dos individuos vegetales escogidos de un mismo conjunto, pertenecen invariablemente a dos especies diferentes (Magurran, 1988). Es un índice predominantemente dependiente de la abundancia de las especies, siendo que su fórmula de cálculo está dada por

$$D = \sum p_i^2$$

donde p_i = cantidad de individuos de la especie i .

Cuando la comunidad vegetal es finita, el cálculo debe ser realizado por la expresión

$$D = \sum \frac{n_i \cdot (n_i - 1)}{N \cdot (N - 1)}$$

donde n = número de individuos de la especie i ;

N = número total de individuos que ingresaron en la muestra.

A medida que crece D disminuye la proporción de la diversidad, demostrando así que este índice establece más peso a la abundancia de especies, siendo poco sensible a la correspondiente riqueza de especies. En contra posición el índice de Shannon presenta mayor peso a la riqueza de especies de que a la abundancia.

La riqueza de especies invariablemente es influenciada por la intensidad del muestreo sin ofrecer ningún peso a la abundancia de especies. Es en ese sentido que el tamaño de la muestra se debe determinar de acuerdo a la naturaleza de las observaciones. En la mayoría de los casos es preferible usar un grande número de muestras (parcelas) pequeñas al contrario de un pequeño número de parcelas grandes. Tómese en cuenta que para la comparación pertinente de la diversidad entre áreas será necesario considerar que las áreas sean del mismo tamaño muestral.

Mismo que aparentemente se presentan totalmente diferentes los valores de la riqueza de especies, el Índice de Shannon (H') y el Índice de Simpson (D) son básicamente diferentes en relación al peso en que ellos dan para las especies raras. En el caso de la riqueza de especies el peso es máximo cuándo las especies raras poseen el mismo peso que las especies comunes. En el caso del Índice de Shannon el peso es intermediario y para el Índice de Simpson el peso de especies raras es pequeño.

Se puede generalizar esa concepción usando los perfiles de diversidad (Figura 1) conocidos en la literatura como Serie de Hill (Hill, 1973), dada por:

$$N_a = \left(\sum_n^{i=1} p_i^a \right)^{1/(1-a)}$$

donde; N_a = valor del índice de diversidad para el parámetro a ($a \geq 0, a \neq 1$) vale decir cuándo $a = 0$ corresponde a N_a = riqueza de especies (S).

Para confirmar el enunciado basta substituir en la fórmula a por 0. De manera semejante cuándo a tiende a 1 ($a = 0,999$) se expresará $N_a = \exp(H')$. Cuándo $a = 2$, N_a = será el inverso del índice de la dominancia de Simpson ($1/D$). Siguiendo en ese contexto se puede calcular los índices de diversidad para $a = 3, 4, 5$ etc. Estos índices funcionan de manera muy semejante a los Índices de Shannon y Simpson.

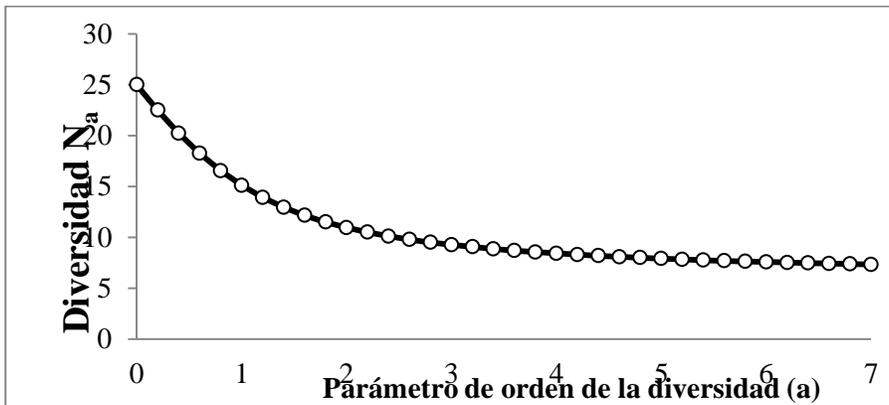


Figura 1. Perfil de diversidad de Hill

Además de considerar la diversidad de especies se hace imprescindible conocer la similitud de las composiciones vegetales entre los diversos sitios, comunidades y hábitats, que son interpretados por los llamados índices de similitud. Entre ellos se destacan tres índices:

Índice de Jaccard (C_j)

Considera tanto datos cuantitativos como cualitativos con la finalidad de comparar la composición vegetal de grandes áreas, como también determinar la similitud de parcelas de muestreo. Llevando en cuenta la abundancia de especies, su cálculo se lo realiza por:

$$C_j = \frac{a}{a+b+c}$$

donde: C_j = índice de similitud de Jaccard;

a = número de especies comunes en ambas parcelas o áreas;

b = número de especies únicas de la parcela o área 1;

c = número de especies únicas de la parcela o área 2.

Índice de Sørensen (C_s)

También conocido como coeficiente de Dice, es un estadístico utilizado para comparar la similitud de dos muestras. Es un índice cualitativo de la comunidad vegetal que se fundamenta en la presencia o ausencia (coeficiente binario) de especies comparadas en dos sitios o parcelas diferentes, proporcionando un peso mayor en las especies comunes y un peso bastante menor para las especies exclusivas, a través de la expresión matemática:

$$C_s = \frac{2a}{2a+b+c} \quad \text{o} \quad C_s = \frac{2a}{(b+c)} \cdot 100$$

donde: a = número de especies comunes en ambas parcelas o áreas

b = número de especies de la parcela o área 1

c = número de especies de la parcela o área 2.

Índice de Czekanowski (Sc)

Su interpretación puede ser tanto para datos cuantitativos como cualitativos. Su valor es obtenido por medio de la siguiente expresión matemática:

$$S_c = \frac{2 \cdot \sum \min(x_i, y_i)}{\sum (x_i + y_i)}$$

donde: x_i, y_i = abundancias de la especie i de ambas parcelas o áreas

$[\min (x_i, y_i)]$ = suma de los mínimos valores de abundancia de la especie i de ambas parcelas o áreas que se presentan en las dos parcelas o áreas comparativas

Los valores resultantes del cálculo para los tres índices informados deben variar entre 0 y 1 (similitud total). Valores superiores a 0,5 indican elevada similitud entre las comunidades vegetales (Kent, 2011).

Estudios que realizan observaciones de la diversidad y similitud de las áreas o sitios, probablemente también efectuarán interpretaciones de la correspondiente distribución espacial de las especies.

En ese sentido el coeficiente de la **distancia euclidiana** (D_{ij}) permite identificar la similitud de las especies en dos diferentes áreas en función de su estructura y composición. Este coeficiente se fundamenta en los principios de las propiedades euclidianas de un triángulo isósceles que dice: el cuadrado de la hipotenusa es igual a la suma de los cuadrados de los dos lados opuestos de ese triángulo. Si dos especies X e Y se presentan en dos parcelas (1 y 2) la distancia euclidiana (Se) entre esas dos especies estará definida por el correspondiente espacio geométrico de ocupación, calculado a través de la fórmula:

$$Se = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}$$

Para más de dos especies la fórmula se transforma en:

$$D_{ij} = \sqrt{(x_{ik} - y_{ik})^2}$$

donde: D_{ij} = distancia euclidiana entre las parcelas "i" y "j"

x_{ik} = abundancia k de las especies en la parcela 1

y_{ik} = abundancia k de las especies en la parcela 2

Es en ese contexto que el número de especies que ingresan en los muestreos permiten comparar en primera instancia, localidades o sitios diferentes, muy importantes en los estudios de la biodiversidad y de la biología de la conservación. Para tanto, será necesario recorrer a conceptos dasométricos para dar coherente interpretación de los resultados obtenidos de la fitosociología, fitocenología y del propio inventario forestal.

Consecuentemente, la fitosociología y la fitocenología estudian la descripción de comunidades vegetales analizando su desarrollo, su distribución espacial y las inter-relaciones que en ella puedan existir, como la similitud y los patrones espaciales de una especie o de un conjunto de especies relacionados a los elementos ambientales. Para cualquier objetivo del estudio de la fitosociología y de la fitocenología son presentados a seguir, conceptos dasométricos, sus categorías de análisis, métodos y técnicas de obtención de correspondientes datos brutos (naturales) que permitan inferir respuestas a los pertinentes objetivos o problemas propuestos.

Los estudios considerados por la fitosociología envuelven normalmente tres fases fundamentales: la analítica, sintética y la sintaxonómica. La fase analítica considera la dimensión de la superficie del levantamiento (inventario) y las características del sitio correspondiente (local donde las plantas crecen). Las parcelas de muestreo deben estar situadas en superficies florísticamente representativas de una unidad fitofisionómica, de un mismo relieve

superficial y de una misma unidad geomorfológica. Esta fase en términos dasométricos corresponde al denominado inventario forestal piloto, incluyendo en él, necesariamente, la lista de los pertinentes elementos florísticos.

En la fase analítica de los levantamientos o inventarios fitosociológicos deben ser consideradas las características: abundancia o densidad, dominancia o área basal, y la sociabilidad de las especies vegetales. La **abundancia o densidad** se refiere al número de individuos de una especie que habita en una determinada parcela o unidad de muestreo, pudiendo ser expresada en valores porcentuales de la parcela. La **dominancia** se refiere a la superficie ocupada por los individuos en determinada unidad de área, interpretada por el área basal. El área basal son los m^2/ha (metros cuadrados por hectárea) ocupados hipotéticamente por las superficies de los troncos si estos fuesen cortados a la altura de 1,30 m del suelo. La **sociabilidad** indica si los individuos de una especie se encuentran aislados o están formando mono-culturas. En la fase sintética es calculada la **frecuencia** que corresponde a la presencia de especies en los inventarios, que también puede ser determinada en valores porcentuales por unidad de superficie. Finalmente en la fase sintaxonómica se establece la jerarquía fitosociológica.

Una vez definido el objetivo de cualquier estudio que considere el levantamiento de la vegetación, el procedimiento siguiente será especificar detalladamente las variables dasométricas que serán objeto de medición en el campo para que posteriormente sean analizadas y permitan obtener los parámetros (resultados) correspondientes. Variables de mensura son los datos dasométricos de campo que serán obtenidos. Entre las variables dasométricas, las principales se refieren a los diámetros y alturas

de los individuos arbóreos y al número de individuos por unidad de área.

A la comunidad vegetal se la entiende como el conjunto de individuos de varias especies, y una población estará definida como el conjunto de individuos de una misma especie. Definida la comunidad o la población de la vegetación que será estudiada y sus respectivas variables dasométricas, la fase siguiente corresponderá en determinar el sistema de muestreo y la forma de obtención de los datos de campo. Se debe considerar en este sentido la existencia de una etapa de abstracción y una otra consecuente de interpretación.

El modelo de obtención de los respectivos datos de campo (etapa de abstracción) deberá estar necesariamente justificado por la hipótesis del trabajo. La etapa de interpretación de los resultados (obtención de los correspondientes parámetros) consistirá en el entendimiento de la relación de la vegetación con los factores ambientales, su distribución y su temporalidad, formulados en la hipótesis. El pertinente estudio atenderá sus objetivos establecidos por la clareza en la formulación de la problemática y por su correcta selección de resultados obtenidos de una coherente interpretación de sus parámetros, en relación a la pregunta formulada.

Se deben evitar diseños o modelos metodológicos que en la fase de la interpretación y elaboración de resultados requieran el retorno al campo, o con el intuito de querer mejorar la eficiencia de las informaciones o perfeccionar u optimizar la información solicitada. Normalmente la tentativa de mejorar los datos obtenidos de los modelos de muestreo ineficientes solo producirá pérdida de tiempo y costos adicionales. Solo en el caso de estar

trabajando con inventarios pilotos será necesario retornar a los trabajos de campo para alcanzar la precisión requerida o intensidad de muestreo pre establecida. También no es recomendado el uso de complejos modelos de muestreo que podrán dificultar la correspondiente interpretación paramétrica.

Se debe procurar obtener resultados incuestionables por los cuales se tengan correspondientes parámetros con las claridades suficientes y fundamentadas en conceptos ampliamente reconocidos por la comunidad científica. En la obtención de coherentes resultados es posible y en ese sentido se recomienda utilizar todas las leyes y principios de la estadística descriptiva. Pocos métodos que hoy en día están plenamente reconocidos, no utilizan la estadística, sin embargo de alguna forma están fundamentados en principios matemáticos. Los métodos informales que consideran la experiencia e intuición del investigador solamente serán aceptados desde que el área de estudio sea muy bien conocida por parte del investigador. Los resultados de esos métodos informales realizados en un mismo local por otros investigadores nunca podrán ser comparados debido a la existencia natural de la subjetividad de algún factor o elemento de decisión.

Los métodos formales necesariamente quedarán parcial o integralmente fundamentados en técnicas estadísticas y en ese sentido sus resultados podrán ser comparables desde que la metodología empleada esté claramente detallada. Frecuentemente los procesos formales precisan en algún momento de procedimientos informales, una vez que la vegetación y sus diversas inter-relaciones con el medio ambiente aún no puedan ser descritas matemáticamente. En los métodos formales son normalmente empleados procesos numéricos para el

correspondiente análisis de los datos de campo. Varios de esos datos pueden ser considerados cuantitativos o cualitativos. Por ejemplo una medida de abundancia, que podría ser la cobertura, densidad, frecuencia, etc. de una especie, se constituye en un dato cuantitativo. La presencia o ausencia de una especie ya es considerada como un dato cualitativo. En ese sentido la fitosociología y la fitocenología podrán trabajar tanto con un conjunto de datos cuantitativos como también con datos cualitativos, separada o simultáneamente.

Otra característica de los datos brutos de la vegetación es que se debe considerar su correspondiente atributo. Se entiende por atributos de la vegetación a las categorías de las plantas que las constituyen. Las comunidades vegetales se diferencian y se caracterizan por la presencia de determinadas categorías, ausencia de otras y por la cantidad o abundancia relativa de cada una de ellas. De acuerdo con Whittaker (1967), las plantas son clasificadas en árboles, lianas, arbustos, epífitas, hierbas y talófitas. Consecuentemente en los estudios fitofisionómicos serán empleados atributos estructurales y funcionales y en los estudios florísticos serán usados los atributos taxonómicos.

Los atributos y las variables de medida de un conjunto de datos permitirán estructurar matrices primarias, que cuando colocadas en tablas de dos entradas podrán representar valores correlacionados entre parcelas/atributo, por ejemplo. De forma simplificada cada columna podrá presentar valores de la parcela y las líneas el correspondiente atributo. Estas matrices son bastante utilizadas en los cálculos de los índices de similitud.

Las plantas de forma generalizada están clasificadas en categorías florísticas y fisionómico-estructurales. La literatura

muestra que en la mayoría de los estudios fitosociológicos fueron utilizadas las categorías florísticas, y en el análisis de regiones extensas y poco conocidas florísticamente fueron empleadas categorías fisionómico-estructurales. Entre las categorías florísticas la más usada es aquella que considera las especies. Ejemplos clásicos de las categorías fisionómicas estructurales se encuentran en las primeras descripciones de la vegetación latino americana realizada en el siglo XIX. La descripción o comparación de la presencia o ausencia de las categorías vegetales consideradas, corresponde a un análisis cualitativo, y la abundancia de las categorías presentes permitirá el análisis cuantitativo. En el análisis de las categorías podrán ingresar conceptos y definiciones de las formas de vida y de las formas de crecimiento (Raunkiaer, 1934) de las plantas.

Independientemente del estudio ser fisionómico o florístico, fundamentado en datos cuantitativos o cualitativos usando modelos formales o informales, en la correspondiente presentación de los parámetros calculados, existirá la necesidad de que estos sean sistematizados en gráficos, matrices, tablas e índices, para sus correspondientes comparaciones y pertinentes interpretaciones. Para eso se entiende la urgencia necesaria de determinar previamente el modelo de muestreo para que la dasometría pueda obtener coherentes y consistentes valores de las variables definidas.

Definiciones de Muestreo

La técnica del muestreo en la práctica dasométrica se presenta en dos aspectos: por la apuración de la muestra y por el levantamiento de la muestra. La apuración muestral consiste en recoger información parcial de una población pudiendo ser incluida posterior en su análisis con nuevas preguntas o quesitos de interés para la investigación correspondiente. El levantamiento muestral considera la apuración total de una parte de la población sin posibilidad de incluir posteriormente variables que puedan ser analizadas. En ese sentido para ambos casos se debe fijar el tamaño de la muestra y establecer el método de selección de la muestra.

Entiéndase por población a la colección de unidades individuales que poseen una o más características comunes, que se las pretende estudiar. Por ejemplo: supóngase un rodal de árboles adultos de la especie *Pinus*. Se decide medir el DAP a partir de 10 cm. Consecuentemente, la población estará constituida solamente por todos los árboles que tengan un DAP igual o mayor al establecido. En ese sentido se define la población de DAP's y no de todos los árboles del rodal. Árboles que no alcanzaron tener un DAP de 10 cm en esa ocasión, definitivamente no podrán ingresar en el proceso de muestreo y no serán considerados en esa población. En ese sentido se define que una población tendrá un conjunto infinito o finito de individuos que serán medidos, desde que cada uno de ellos tenga la variable considerada. Con esa característica, la muestra estará constituida por un limitado conjunto de individuos de esa población.

Consecuentemente, en los levantamientos forestales y fitosociológicos realizados por muestreo las estimativas de los diversos parámetros de una población son obtenidas por la medición de una fracción de la población inventariada. El verdadero valor de una característica es un valor que evidentemente existe en la naturaleza. En ese contexto, por la evaluación de un número adecuado de muestras se puede estimar su estadística correspondiente. Suponiendo que se tenga una centena de datos de DAP, se podrá estimar e identificar con mucha coherencia y eficiencia el correspondiente DAP medio (estadístico) de la población observada.

Es impracticable y completamente anti económico efectuar mediciones en todos los árboles de un rodal o área forestal, o medir todas las plantas a partir de determinado tamaño en una población o comunidad vegetal. Inclusive el solo enumerar el total de los individuos de un rodal se hace un proceso impracticable. Por esa razón, se debe seleccionar un conjunto de unidades de muestra a fin de analizar en ellas todos los individuos que la componen. Consecuentemente, la muestra es una pequeña fracción de la comunidad vegetal que se analiza. Sin embargo, es el total de la población que se desea conocer o a ella hacer inferencia pertinente. En ese sentido, la muestra debe ser siempre representativa de la población para que se pueda inferir su resultado a toda la población. La precisión de las estimativas de los parámetros analizados y de los resultados obtenidos dependerá consecuentemente y directamente de la definición del método de muestreo, del tamaño y correspondiente distribución de las unidades de muestra, de la variabilidad natural de la población y de las variables seleccionadas a ser medidas.

Por la teoría del muestreo es posible obtener estimativas con alto grado de precisión y a un costo relativamente bajo. Una muestra puede ser inclusive el conjunto de unidades de muestreo o la propia parcela de observación desde que fuese representativa de la población. Como ya fue mencionado, la población es el conjunto de individuos que poseen la variable de medida seleccionada o el atributo a ser analizado que permitirá inferir parámetros para el total de la población. Parámetros son los resultados pertinentes o constantes encontrados que permiten caracterizar la población como un conjunto.

Las comunidades vegetales están constituidas por un conjunto variable de especies con mayor o menor grado de interrelación y con una abundancia también variable ordenadas en cierto patrón espacial, con correspondencia a una distribución de frecuencias. En ese sentido los individuos de una especie en determinada comunidad vegetal pueden estar distribuidos al azar (aleatoriamente), en agregados o en intervalos regulares (Figura 2) dentro de una escala o gradiente de ocupación.



Figura 2. Tipos de distribución natural de la vegetación.

En la distribución aleatoria o al azar cada individuo (punto) en el área ocupada por la especie debería tener la misma probabilidad de ocupación. Vale decir que, considerando parcelas

de tamaños iguales alocadas aleatoriamente en la región del estudio, la distribución del número de individuos (abundancia) por unidad de observación debe seguir los preceptos de la distribución de Poisson. En ese principio la variancia relativa (variancia / media) será igual a la unidad.

Cuando los individuos se encuentran agrupados, se trata del patrón agregado. En ese caso la variancia relativa debe ser mayor a 1, o sea, la variancia del número de individuos será mayor que la media aritmética. En esos casos, los individuos se concentran en grandes cantidades y en pocas unidades de observación o parcelas de muestreo.

En el caso del patrón regular, la variancia relativa es menor que 1, una vez que los individuos deben estar distribuidos más uniformemente por las unidades de observación.

La variancia de un conjunto de datos es definida como el cuadrado del desvío padrón (s) siendo representada por el símbolo s^2 . El desvío padrón también es conocido por error padrón o desviación estándar. Se debe distinguir entre el desvío padrón de una muestra y el de una población, en ese sentido simbólicamente s^2 representa la variancia de una muestra y σ^2 la de una población. Se deduce, consecuentemente, que la variancia es una medida de dispersión o de la variabilidad que permitirá interpretar las curvas de distribución o la correspondiente serie de frecuencia de los datos colectados que se localizan naturalmente alrededor de un valor central.

Cuando la variación o dispersión real es determinada a partir del desvío padrón se la denomina de dispersión absoluta. Si la dispersión absoluta es el desvío padrón y el valor central es la

media aritmética, a la dispersión de datos se la denomina de coeficiente de variación (*CV*) o de dispersión y se la expresa por la fórmula:

$$CV = \frac{s}{\bar{x}} \quad \text{o} \quad CV = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100 \quad (\text{en valor porcentual})$$

Específicamente el *CV en %* es consecuentemente una medida de la variabilidad relativa, y también es utilizado para comparar la variabilidad de o entre dos o más distribuciones.

El cálculo porcentual del coeficiente de variación (*CV*) es bastante utilizado en los estudios fitosociológicos, para expresar la variabilidad del valor de la variable dasométrica de un conjunto de datos. Por ejemplo, en una parcela podrán ser medidas las variables dasométricas como los diámetros (*DAP* o *D_{base}*) o la altura del árbol o del individuo vegetal. El *DAP* será medido a 1,30 m del suelo y el *D_{base}* se refiere al diámetro a 0,30 m del suelo. En la parcela deberían estar incluidos, en el caso de los diámetros, individuos con diámetros mayores (valores altos o gruesos) e individuos con diámetros menores, de valores bajos (delgados). El valor % del *CV* de los diámetros mostrará esa característica. Coeficientes de Variación próximos de 100 representarán poblaciones completamente heterogéneas y valores próximos de 1 indicarán poblaciones homogéneas.

Otro cálculo que se hace necesario es el de determinar el correspondiente Intervalo de Confianza (*IC*), cuyo resultado interpretará que el valor medio verdadero quedará localizado en ese intervalo. Por ejemplo: el valor medio calculado del *DAP* fue de 25 cm y su *IC* es igual a más o menos 3 cm. Consecuentemente el valor de la media verdadera estará localizada entre 22 y 28 cm.

Ese resultado inclusive se lo podrá identificar considerando su probabilidad de acierto cuando será multiplicado el valor del intervalo de confianza por el correspondiente valor tabular de la tabla de probabilidades.

Supóngase medir los correspondientes diámetros de los troncos de todas las plantas de una determinada parcela de muestreo. Para efectuar el correspondiente cálculo del CV y del Intervalo de Confianza (IC) de la variable dasométrica, se podrá seguir con el siguiente procedimiento:

a) media de la parcela (media de los diámetros):

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$$

x_i = valores del diámetro

n = número de observaciones

El valor medio de la parcela corresponde a la media aritmética, apropiada para identificar el valor central de una distribución normal. Además de la media aritmética podrá ser necesario identificar la moda, que es el valor más frecuente de una distribución de datos. La mediana, otra medida de posición central, expresa que a partir de ella los datos inferiores son iguales en peso a los datos posteriores. En ese contexto, también será frecuente indicar la correspondiente amplitud de esa población de datos, vale decir los correspondientes valores extremos.

b) variancia de la parcela (s^2):

$$s^2 = \frac{\sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n}}{n-1}$$

La variancia expresa en términos medios en cuánto los valores observados (medidos) varían en relación a su propio valor medio calculado. Esta misma definición es también válida para el desvío padrón, con la diferencia de que la variancia tiene su unidad elevada al cuadrado y en el desvío padrón la unidad es la misma de la base de datos.

c) desvío padrón (s):

$$s = \sqrt{s^2}$$

Es en sí la media aritmética de los desvíos tomados en valor absoluto, siendo que su suma siempre será igual a cero.

d) error padrón de la estimativa ($s_{\bar{y}}$):

$$s_{\bar{y}} = \sqrt{\frac{s^2}{n} \cdot f}$$

También es denominado de error padrón de la media, expresa la precisión del levantamiento de los datos brutos (inventario forestal o levantamiento fitosociológico) determinando como medida de la variabilidad al error de la variación de las medias. Identifica, consecuentemente, la precisión del levantamiento de las variables de campo. El factor f puede ser desconsiderado caso el levantamiento fuese a ser realizado en poblaciones infinitas.

e) error padrón porcentual ($s_x\%$):

$$s_x\% = \left(\frac{s_x}{\bar{y}}\right) \cdot 100$$

f) factor de corrección para poblaciones finitas (f):

$$f = 1 - \frac{n}{N}$$

si f es menor que 0,98, se está trabajando con poblaciones finitas;

si f es mayor a 0,98 se trata de una población infinita (la muestra es muy pequeña en relación al total de la población donde f puede ser despreciado y eliminado).

En los estudios fitosociológicos se considera al conjunto de valores unitarios de la fracción experimental como población finita cuándo en el proceso de muestreo el número de unidades de muestreo (n) es igual o superior al 2% del número total de las unidades de muestra. Población infinita cuando ese número es inferior al 2% del número total de las unidades de muestreo.

g) intervalo de confianza (IC):

$$IC = P[\bar{x} - (s_x \cdot t_\alpha) \leq \mu \leq \bar{x} + (s_x \cdot t_\alpha)] = 1 - \alpha$$

P = probabilidad

μ = media verdadera

t_α = t de Student (valor tabulado)

Considerando cualquier tipo de comunidad vegetal o de una fitofisionomía no será posible enumerar y medir todos los individuos en ella presentes. Por esa razón es que la fitosociología y la fitocenología hacen uso de parcelas de muestreo con la finalidad de "estimar" el valor de los parámetros requeridos de la población. Mismo siendo posible localizar, enumerar y medir cada uno de los individuos de cierta comunidad vegetal no se podría obtener el valor exacto del parámetro requerido. Esa información ciertamente no sería la más útil o la más representativa que la derivada del muestreo. El error cometido en ese tipo de

levantamiento, denominado de censo, seguramente se tendrá la misma proporcionalidad de acierto que en los levantamientos por muestreo.

Muestras, por tanto, son conjuntos de unidades parciales o parcelas, y, consecuentemente, son partes proporcionales o subconjuntos de una comunidad vegetal. Las parcelas o unidades de muestra pueden asumir diversos tamaños y formas (Cochran, 1962) conforme fuesen definidas por el investigador o por la finalidad de atender resultados esperados de investigación. Importante será definir el concepto de la población que será considerada. Supóngase que se pretende medir todos los árboles con diámetros superiores a 5 cm. Como ya fue mencionado, la población estará en consecuencia constituida por todos los individuos arbóreos que tengan esa característica. Por tanto, árboles con diámetros inferiores a 5 cm no harán parte de esa población. Para esa situación y en ese caso, se considera la población arbórea al conjunto de individuos que tengan diámetros superiores de 5 cm.

Una parcela o unidad de muestra es consecuentemente una porción de la comunidad vegetal y en esa unidad básica es que serán realizadas las correspondientes mediciones u observaciones. Esta unidad deberá poseer una fracción mínima representativa de la vegetación a ser observada y medida, funcionando como muestra del perfil o espejo de la vegetación.

Una manera práctica de identificar si una parcela o unidad de muestreo puede ser considerada representativa de la población es a través del coeficiente de variación. Ese CV debe presentar un alto valor, superior a 60%. Valores inferiores indican que esa población tiende a ser homogénea, característica indeseable para

inferir la variabilidad del parámetro observado. Es probable que aumentando considerablemente el tamaño de la unidad muestral pueda variar la característica de homogeneidad de esa población.

En cada unidad básica se podrán obtener las medidas de la variable dasométrica considerada y ofrecer el correspondiente parámetro que puede ser por ejemplo: la media aritmética, desvío padrón, coeficiente de variación, etc. Para que cada una de esas posibles parcelas de muestreo puedan permitir realizar inferencias estadísticas (extrapolar los resultados para el total de la población o el total de la comunidad vegetal), será necesario que la parcela atienda las leyes de la probabilidad estadística. Serán conseguidos los requisitos básicos probabilísticos se cada una de las parcelas tendrá la misma probabilidad de ser escogida para el estudio en cuestión.

El tamaño o intensidad del muestreo (n) para la correspondientes poblaciones están dadas por las fórmulas:

$$n = \frac{t^2 \cdot s^2}{E^2} \therefore n = \frac{t^2 \cdot cv^2}{E\% ^2} \quad \text{poblaciones infinitas}$$

$$n = \frac{t^2 \cdot s^2}{E^2 + \frac{t^2 \cdot s^2}{N}} \therefore n = \frac{t^2 \cdot CV^2}{E\% ^2 + \frac{t^2 \cdot CV^2}{N}} \quad \text{poblaciones finitas}$$

donde: t = valor obtenido de las tablas de Student, considerando los grados de libertad de la población y la probabilidad de acierto;
 s^2 = variancia;
 E = error absoluto de muestreo;
 cv = coeficiente de variación;
 N = número total de las parcelas de muestreo;
 $E\%$ = error relativo admisible de muestreo.

Dependerá de los objetivos del estudio el escoger el tamaño y forma de la parcela de muestreo y del propio método de muestreo (aleatorio, estratificado, sistemático, etc.).

Las parcelas de muestreo pueden ser clasificadas en instantáneas y permanentes. Parcelas instantáneas o temporarias son aquellas utilizadas apenas una vez, siendo necesarias cuándo los trabajos son considerados de reconocimiento o están en nivel piloto. Parcelas permanentes requieren estar bien identificadas una vez que en ellas se procederá con mediciones continuas en periodos pre establecidos en los mismos individuos. Estas parcelas son importantes para el monitoreo permanente de las variables en estudios que consideran la dinámica de las poblaciones vegetales. Parcelas permanentes deben ser necesariamente identificadas por medio de su posición o localización geográfica.

Independientemente de la forma y tamaño de la parcela de muestreo se recomienda que las mismas puedan ser identificables, permitiendo la ejecución del proceso de la validación de los árboles medidos y de sus variables de medición. Para tanto, se recomienda hacer uso de procedimientos correspondientes de la posición geográfica, para la cual podrán ser utilizados los instrumentos que se presentan a seguir.

Posición geográfica

Corresponde a la exacta localización en coordenadas geográficas del objeto que se mide, que puede ser parcela, árbol (Figura 3) etc. Para América Latina las coordenadas deben ser procesadas prioritariamente en el sistema SAD 98 (South America Datum 1998), en grados, minutos y segundos de latitud sur y longitud oeste. El instrumento más utilizado para esa finalidad es el GPS. En la última generación de GPS's comerciales que

actualmente están en el mercado, el error de localización corresponde a menos de 1 metro.

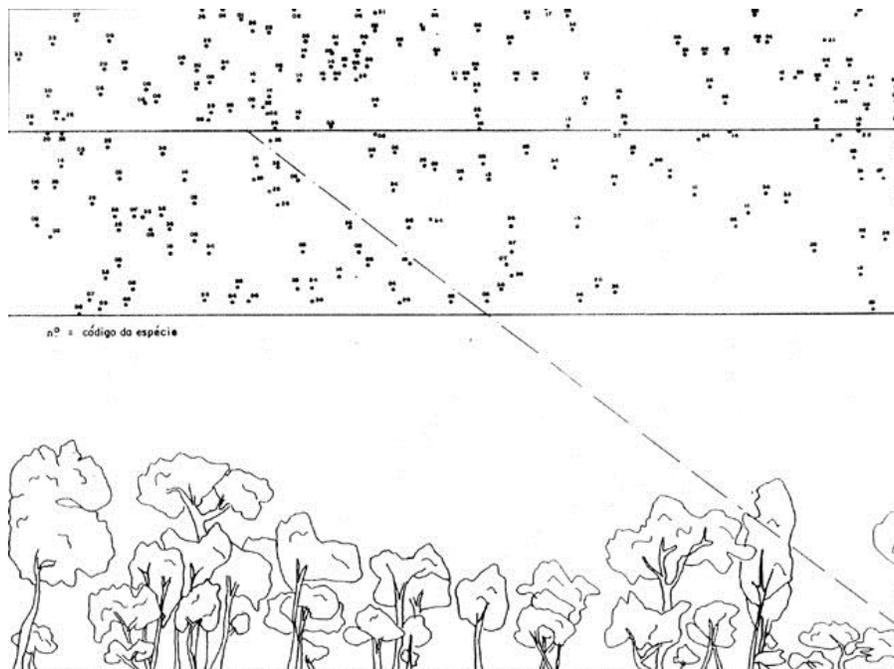


Figura 3. Gráfico de una distribución espacial

GPS (Global Positioning System)

Es un rastreador de 8 a 12 satélites que trabaja como receptor de señales de los satélites específicos para esta finalidad, que pueden ser usados para localización de objetos y para la navegación. La captación de las señales normalmente de 4 satélites permite la obtención precisa de una posición fija tridimensional, ofreciendo las correspondientes coordenadas geográficas.

Dependiendo del local de trabajo y de las momentáneas condiciones atmosféricas, el error de posicionamiento puede variar de 1 a 15 metros. Existiendo en el aparato una antena DGPS el error puede disminuir para 2 cm. El GPS (Figura 4) además de ofrecer directamente, sin necesidad de cálculos adicionales, las correspondientes coordenadas geográficas y el Datum, también indica la correspondiente altitud en metros sobre el nivel del mar, y el fuso horario en relación al meridiano de Greenwich.



Figura 4. GPS

Actualmente pueden ser encontrados GPS's con programas glonass topográfico (sistema de navegación) que funcionan con la tecnología de bluetooth (envío de datos en tiempo real).

Brújula

El funcionamiento de una brújula está en función de los puntos cardenales (Figura 6) o rosa de los vientos (N=norte, S=sur, L=este, W=oeste). La aguja magnética de cualquier tipo de brújula siempre marcará el norte magnético (Figura 5) que es diferente del norte geodésico. Los 360 grados constantes en el

instrumento, divididos en 4 cuadrantes de 90° cada uno, permiten identificar la orientación geodésica y los meridianos geográficos del globo terrestre. Además de la aguja magnética y los grados la graduación situados en el borde circular del instrumento (Figura 5), la brújula permite determinar el llamado azimut o dirección geográfica, muy usado en la determinación de la localización de los árboles sobre todo en parcelas permanentes (Figura 3).

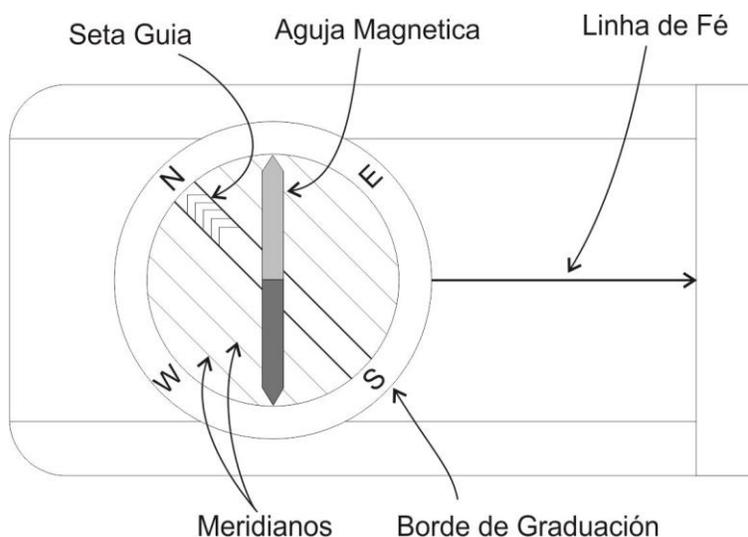


Figura 5. Componentes de indicación geodésica de una brújula

Además del norte magnético existe el norte geográfico o geodésico (verdadero) que este último siempre debe estar indicado en los mapas. La diferencia entre esos dos nortes se denomina de declinación magnética o inclinación geográfica. Trabajando con mapas aún se deben considerar las cuadrículas UTM que no siempre coinciden con los meridianos geográficos. En el caso de transferir parcelas de campo para las imágenes de satélite será necesario efectuar las correspondientes correcciones.

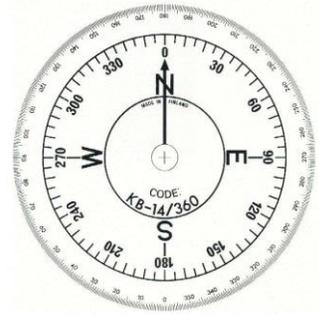


Figura 6. Brújula geodésica y rosa de los vientos

Variables Dasométricas

La dasometria es la especialidad de la ingeniería forestal que trata de la determinación y/o estimación de las dimensiones de variables de medida en individuos arbóreos (Imaña-Encinas, et al., 2002).

Para la dasometria el árbol, arbusto o planta, es tratado como un ente numérico y, como tal, debe ser considerado como unidad unitaria de cálculo (Imaña-Encinas, 2011). Tomando como ejemplo, los fustales o troncos de los árboles, la dasometria no identifica si el individuo pertenece a las coníferas, latifoliadas o palmeras. Interesa si el individuo lleva el valor mínimo de la variable dasométrica considerada, que podrá ser, por ejemplo, el valor igual o mayor a 5 cm del diámetro de la base del tronco, tomado a 0,30 m de altura del suelo.

Cuando se trata de medir una variable, primeramente será necesario seleccionar la unidad de medida en función de la cual se expresará su magnitud. Tanto en el Brasil como en México y en casi todos los países latino americanos el sistema de medida adoptado es el métrico decimal (*Metric Convention*). Además de este sistema existe el sistema el medida inglesa utilizado en varios países asiáticos y de lengua inglesa, que se hace necesario conocer su correspondencia al sistema métrico decimal (Cuadro 1). En la mensura forestal algunas medidas quedaron consideradas como clásicas y en ese sentido se presenta a seguir la correspondiente tabla de conversión de esas magnitudes.

Cuadro 1. Factores de conversión

Equivalencia en longitud:		Equivalencia en volumen:	
1 centímetro	0.3937 pulgadas	1 centímetro cúbico	0.061 pulgada cúbica
1 metro	3.2808 pies	1 metro cúbico	35.3145 pies cúbicos
1 metro	1.0936 yardas	1 metro cúbico	423,7 pies de tabla
1 metro	39.37 pulgadas	1 litro	61.0250 pulgadas cúbicas
1 quilómetro	0.6214 millas	1 litro	0.2642 galón (US)
1 pulgada	2.54 centímetros	1 litro	0.0353 pie cúbico
1 pulgada	0.083 pies	1 litro	1000 centímetros cúbicos
1 pie	0.3048 metro	1 pulgada cúbica	16.3871 centímetros cúbicos
1 pie	12 pulgadas	1 pulgada cúbica	0.0163 litro
1 yarda	0.9144 metros	1 pie cubico	0.02832 metro cúbico
1 yarda	36 pulgadas	1 galón (US)	3.785 litros
1 yarda	3 pies	1 pie de tabla	0.00566 metro cúbico
1 milla	1.6093 quilómetros	1 cuerda (90 pés ³)	2.549 metros cúbicos
1 milla	1760 yardas		
1 milla	5280 pies	Equivalencia en masa:	
1 cadena	66 pies	1 quilo	2.2046 libras
1 cadena	792 pulgadas	1 tonelada métrica	1.102 tonelada curta
1 cadena	22 yardas	1 tonelada métrica	0.9842 tonelada larga
1 cadena	20.1168 metros	1 tonelada métrica	1000 quilos
1 tonelada métrica	2204.6 libras		
		1 libra	0.4536 quilo
Equivalencia en área:		1 tonelada corta	0.9072 tonelada métrica
1 centímetro cuadrado	0.155 pulgada ²	1 tonelada larga	1.016 tonelada métrica
1 metro cuadrado	10.764 pies ²	1 tonelada larga	2240 libras
1 quilómetro cuadrado	0.3861 milla ²		
1 quilómetro cuadrado	100 hectáreas		
1 hectárea	0.003861 milla ²	Otras equivalencias:	
1 hectárea	2.471 acres	1 metro ² /ha	4.356 pies ² /acre
1 hectárea	10000 metros ²	1 metro ³ /ha	14.2913 pies ³ /acre
1 pulgada ²	6.4516 cm ²	1 pé ² /acre	0.2296 metro ² /hectárea
1 pie ²	0.0929 metros ²	1 pie ³ /acre	0.0699 metro ³ /hectárea
1 milla ²	2.59 quilómetros ²		
1 milla ²	259 hectáreas		
1 milla ²	640 acres		
1 acre	0.4047 hectárea		

Considerando la magnitud de esas unidades de medida se presentan a seguir las variables dasométricas más utilizadas en los estudios fitosociológicos y de la fitocenología.

Diámetro del árbol

DAP (diámetro a la altura del pecho = 1,30 m del suelo)

CAP (circunferencia a la altura del pecho = 1,30 m del suelo)

Los diámetros y circunferencias se consideran medidas fundamentales en la fitosociología y en la fitocenología que permiten efectuar principalmente las estimaciones del área basal. En los levantamientos fitosociológicos las medidas más típicas del diámetro del árbol son el diámetro a la altura del pecho (1,30 m del suelo) abreviado como *DAP* (Figuras 7 y 9) y el diámetro en la base del tronco (a aproximadamente 20 a 30 cm del suelo), denominado de D_{base} . En forma análoga es medida la circunferencia. Para efectos prácticos el *DAP* y el D_{base} son equivalentes respectivamente con las circunferencias *CAP* (circunferencia a la altura del pecho) y C_{base} (circunferencia en la base del tronco). Los valores correspondientes pueden ser transformados por medio de la fórmula:

$$DAP = CAP/\pi \text{ o } CAP = DAP \cdot \pi$$

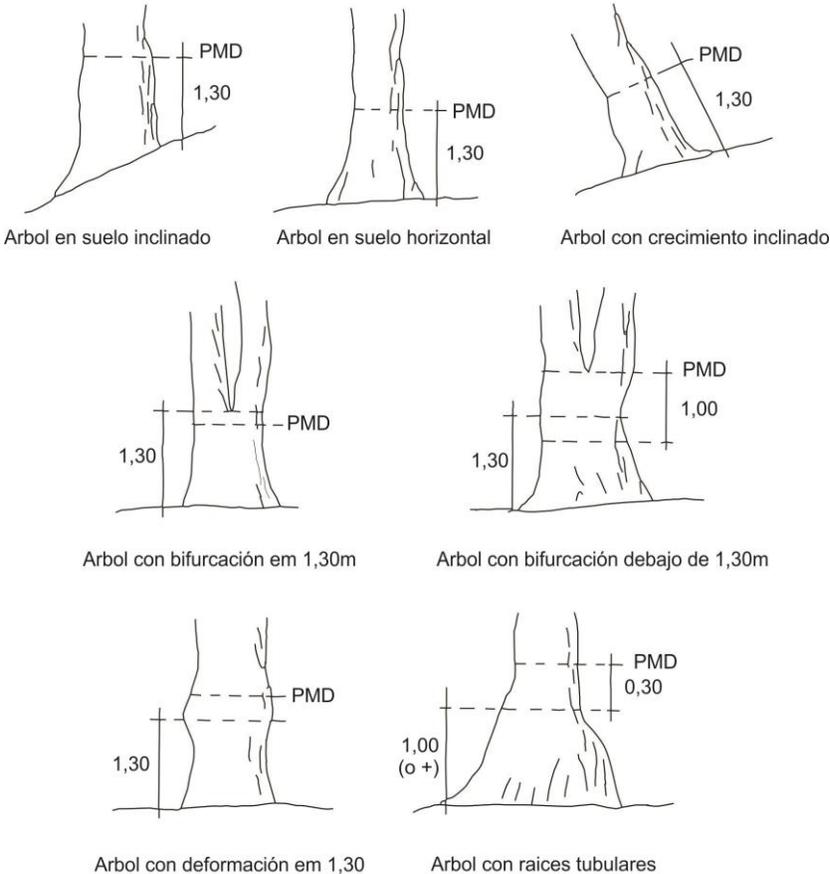
$$D_{base} = C_{base}/\pi \text{ o } C_{base} = D_{base} \cdot \pi$$

siendo π igual a 3,1416.

En la Figura 7 se muestra las posibles situaciones de medición del *DAP*. El punto de medida del diámetro (PMD) debe seguir rigurosamente las indicaciones contenidas en la correspondiente figura.

Para disminuir el error de la medida de los diámetros en troncos no circulares la obtención de los datos (valores) de campo medidos deben ser efectuados siguiendo siempre un azimut pre

definido, por ejemplo: todos los diámetros serán medidos en la dirección de 35 grados. El diámetro de todos los árboles de determinada parcela debe ser medido consecuentemente en la misma dirección geográfica.



PMD = Punto de Medida del Diámetro

Figura 7. Punto de medida del DAP

En casos especiales cuando el árbol presenta características atípicas de crecimiento, el punto de medición del *DAP* (PMD) debe ser considerado conforme se presenta en la Figura 7.

Se puede considerar o eliminar la corteza (*C*) del valor de la medición del diámetro. En el caso del *DAP* será indicado por *DAPs/c* (sin corteza) cuando se elimina el valor de la corteza. Existen ocasiones que se hace necesario medir el *DAP* sin corteza, en cuyo caso se debe medir la espesura (*EC*) o grosor de ésta efectuando la reducción correspondiente:

$$DAP_{c/c} = DAP_{s/c} + 2 EC$$

$$DAP_{s/c} = DAP_{c/c} - 2 EC$$

El grosor de la corteza puede ser medida con una regla común (escolar) que tenga unidades milimétricas. En el mercado de equipos y material forestal es posible encontrar instrumentos específicos para este tipo de medición, como el extractor de corteza y el martillo medidor de corteza (Figura 8).

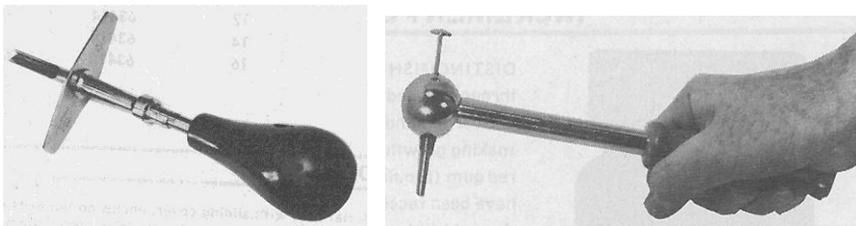


Figura 8. Instrumentos para medir la corteza del árbol en pie.

Entre los instrumentos para medir diámetros y circunferencias del árbol, se destacan:

Cinta métrica

Puede ser utilizada la cinta métrica de costurero, instrumento barato, liviano y de fácil manipulación, que puede ser adquirida a precios muy accesibles. Se recomienda utilizar las unidades métricas, divididas en centímetros. Las cintas métricas de costurero son normalmente de material plástico o tejido resistente y tienen una longitud de 150 cm, consecuentemente el diámetro máximo que puede ser medido con esas cintas es de 47 cm.

La transformación de los valores de la circunferencia en valores de diámetro está dada, como mencionada anteriormente, por la expresión:

$$\text{Diámetro} = \text{circunferencia} / \pi$$

En el caso anterior, $D = 150\text{cm} / 3,1416 = 47,75\text{cm}$.

Para el correcto proceso de medición de la circunferencia, es importantísimo que la cinta métrica quede prácticamente en posición horizontal, como es mostrado en la Figura 9.



correcta



errada

Figura 9. Posicionamiento de la cinta métrica.

Además de esas cintas es posible encontrar en el mercado cintas métricas de 2, 5, 10 hasta 50 metros de longitud.

diámetro además del fácil transporte y correspondiente manipulación.

Forcípula forestal

La forcípula es sin duda el instrumento más utilizado en los levantamientos fitosociológicos al realizarse las mediciones de diámetro. Este instrumento es generalmente construido de un metal leve y está constituido por una regla (barra) graduada y de dos brazos paralelos entre sí y perpendiculares a la regla graduada (Figura 11). Un brazo es fijo y el otro móvil que se desliza a lo largo de la regla graduada. La longitud de la regla, para que fuese de fácil manipulación en el campo, debe ser inferior a 120 centímetros. El mayor diámetro posible de medida será el correspondiente a dos veces la longitud del brazo (brazo = valor del radio), desde que las puntas de los brazos consigan alcanzar (abrazar) la tangencia del tronco a ser medido.

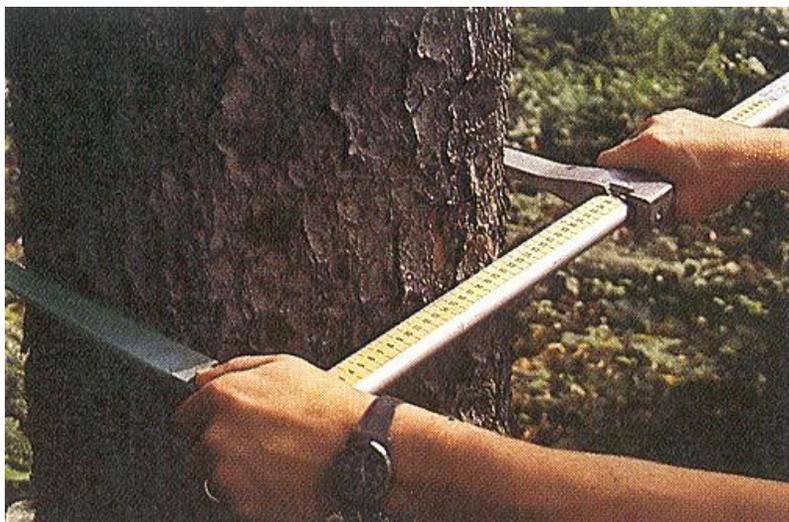


Figura 11. Forcípula forestal

Trinchete diamétrico

El trinchete diamétrico es un instrumento que permite identificar la clase diamétrica a la que pertenece el diámetro medido. Este instrumento es muy útil cuando los árboles presentan diámetros hasta 25 cm. La lectura es directa, identificando apenas la clase diamétrica a la cual el tronco ingresa dentro del trinchete. Para su construcción se debe considerar que la longitud lateral del trinchete debe ser igual o superior al radio del mayor valor de la clase diamétrica respectiva (Figura 12).

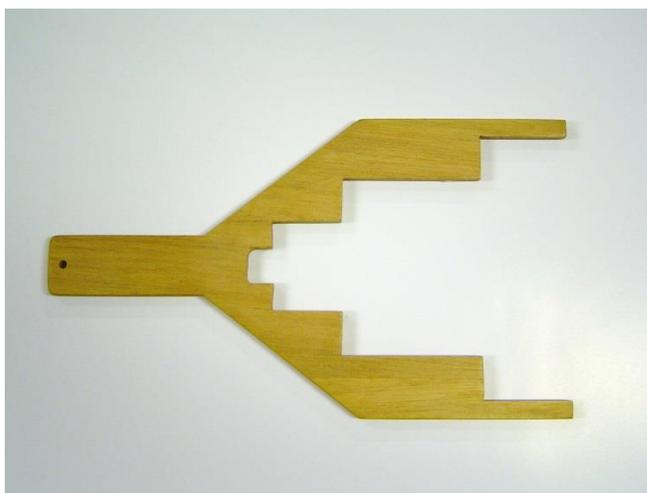


Figura 12. Trinchete diamétrico.

A través del trinchete diamétrico es enumerada y contada la cantidad de individuos arbóreos que ingresan a las clases diamétricas correspondientes. En ese sentido interesa si un tronco pertenece a la clase de 5 a 10 cm, 10 a 15 cm y así sucesivamente. El intervalo de la clase diamétrica generalmente utilizado es de 5 cm. El cálculo del área basal (AB) es realizado por el valor medio del DAP de la clase diamétrica veces el número

(n) de individuos considerados en la clase correspondiente, siguiendo la expresión:

$$AB = (\overline{DAP}^2 \cdot 0,7856) \cdot n$$

Altura del árbol

La altura del árbol es una importante variable dasométrica, necesaria para estimar junto con el diámetro el volumen de madera del árbol y sus componentes (Imaña et al., 2002), así como para conocer e interpretar el proceso de crecimiento del árbol y su incremento volumétrico.

De acuerdo a la parte del árbol que se desea medir se distinguen correspondientes puntos de medida (Figura 13):

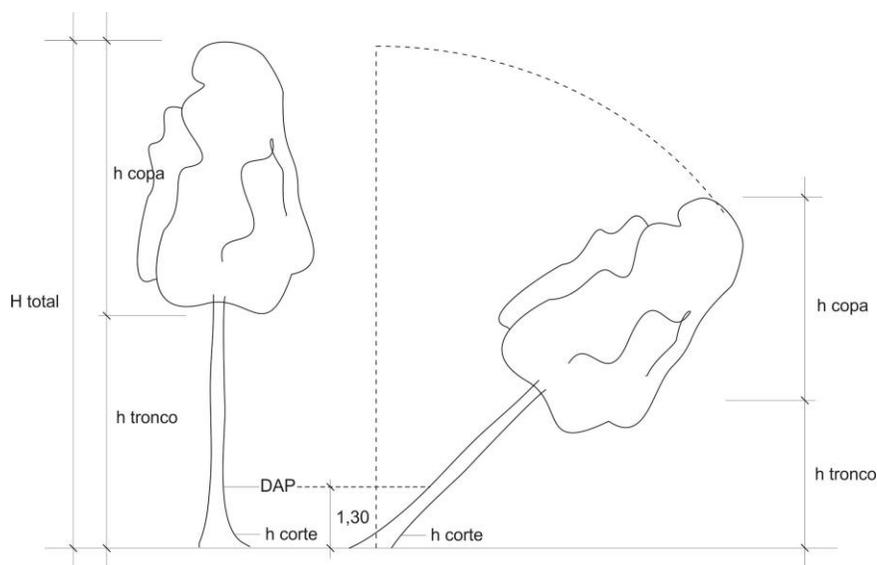


Figura 13. Puntos de medida de la altura de un árbol

- a. altura total (H) del árbol: distancia vertical considerada desde el suelo hasta el ápice de la copa;
- b. altura del fuste o tronco (h_f): distancia vertical que corresponde desde el suelo hasta la base de la copa;
- c. altura comercial (h_c): parte del tronco económicamente aprovechable que corresponde a la distancia desde la altura del corte (normalmente 20 a 30 cm del suelo) hasta la altura donde se encuentra el diámetro mínimo comercial (por ejemplo diámetro comercial = 10 cm);
- d. altura del tocón ($h_{0,3}$): parte que queda en el terreno después del corte aprovechable del árbol, que corresponde normalmente a la distancia desde el suelo hasta una altura de aproximadamente 30 cm;
- e. altura de la copa (h_{cop}) = $H - h_f$.

La literatura describe una gran cantidad de instrumentos y métodos para medir y determinar la variable altura (Bruce y Schumacher, 1950; Chapman y Meyer, 1949; Prodan *et al*, 1997), sin embargo son pocos los difundidos y aceptados en la práctica cotidiana de la mensura fitosociológica, sea por razones de precisión proporcionada por ellos, sea en virtud de las características de construcción y manipulación de los instrumentos, y finalmente por el precio y dificultad de adquisición en los mercados locales.

Entre los instrumentos, para las finalidades de los levantamientos fitosociológicos se destacan:

Vara

Con una vara de longitud superior al largo del brazo del operador, posicionarla de tal forma que coincida con la longitud del brazo extendido. Una vez que la vara está colocada en la posición

horizontal se la debe girar para la posición vertical (Figura 14). El operador se debe alejar del árbol hasta hacer coincidir la altura (longitud vertical) de la vara con la altura del árbol (de la base al ápice de la copa o a un otro punto de interés). De ese punto donde se encuentra el operador se debe medir la distancia horizontal del observador al árbol y en consecuencia se tendrá por semejanza de triángulos la altura del árbol.

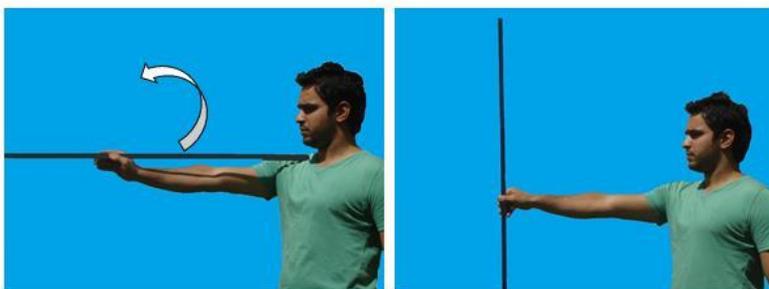


Figura 14. Uso de la vara

Hipsómetros

Son instrumentos de mano que permiten medir ángulos verticales (pendientes o inclinaciones) y en la dasometría las alturas de los árboles, con considerable grado de precisión. Los hipsómetros disponen normalmente de 2 escalas, una para medición de los ángulos de inclinación (en grados o porcentaje) y otra escala para la medida de la altura del objeto (árbol). Esta última escala ya viene calculada para hacer la observación al objeto a una distancia fija previamente definida. Existen dos tipos de hipsómetros: los llamados hipsómetros ópticos y los digitales, que actualmente están siendo bastante utilizados.

Hipsómetros Haga y Blume Leiss

El hipsómetro Haga también es conocido como altímetro Haga (Figura 15). Es un instrumento que utiliza un péndulo que se estabiliza por la gravedad en relación a su peso. Posee una ventana donde aparece la correspondiente escala de lectura, graduada para distancias de 15, 20, 25 y 30 metros, construidas en la base de:

$$H_1 = d \cdot \operatorname{tag} \alpha \quad \text{y} \quad H_2 = d \cdot \operatorname{tag} \beta$$

donde H_1 = lectura superior;
 H_2 = lectura inferior.

Se concluye que la suma de las lecturas proporcionará la altura del árbol:

$$(H = H_1 + H_2).$$



Figura 15. Hipsómetro Haga

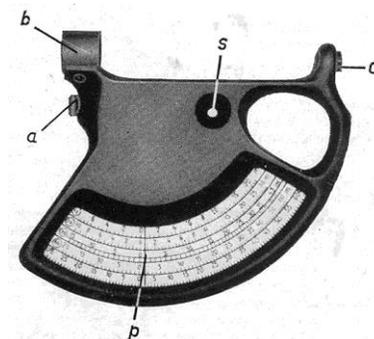


Figura 16. Hipsómetro Blume Leiss

La construcción y manipulación del hipsómetro Blume Leiss sigue los mismos principios que del hipsómetro Haga. La diferencia entre estos dos hipsómetros está en la presentación de las escalas (Figura 16). En el hipsómetro Blume Leiss ellas están visibles en una misma ventana, una debajo de la otra. Las escalas de 15, 20,

25 y 30 metros como la escala de porcentaje están identificadas en un círculo y necesitan para efectuar a su lectura, la liberación del péndulo. La lectura correspondiente sigue la descripción hecha para el hipsómetro Haga. Para mayor precisión la escala de distancias debe ser usada en un valor próximo de la altura del árbol. A estos dos instrumentos se los clasifican como hipsómetros ópticos.

Hipsómetro Vertex

En la nueva generación de los hipsómetros digitales, el Vertex viene acoplado con tecnología Bluetooth, permitiendo transferir datos medidos como las alturas de los árboles para un otro componente electrónico como planillas de cálculo de teléfonos celulares, *tablet's* o *data-record's*. El instrumento permite medir distancias, inclinaciones y alturas. Dependiendo del modelo puede ser usado con sistemas de ultrasonido acoplado con un *transponder* permitiendo así las mediciones de altura de los árboles inclusive en locales de difícil acceso o a través de un denso sotobosque. También pueden ser encontrados en el mercado hipsómetros Vertex que funcionan a laser (Figura 17) con o sin reflector, recomendado para su uso en rodales y bosques menos densos.



Figura 17. Hipsómetro Vertex

Clinómetro de Abney

Es un instrumento utilizado fundamentalmente en trabajos de topografía, destinado a medir ángulos verticales. El instrumento también es conocido como Nivel de Abney (Figura 18). Está compuesto de dos semi círculos graduados: uno en grados de ángulo y un otro en porcentaje. Puede ser usado para medir la altura de los árboles una vez que permite medir ángulos verticales a través de la tag α de los ángulos de visada al visualizar correspondientemente el ápice y la base del árbol.

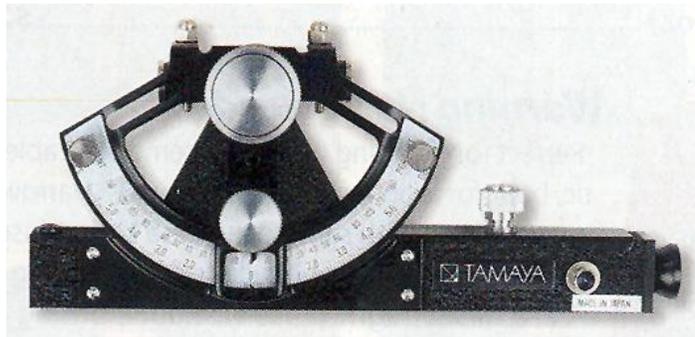


Figura 18. Clinómetro de Abney

Conociendo la distancia reducida es posible calcular la altura del árbol por medio de la expresión:

$$H = L_1 \pm L_2$$

$$L_1 = L \cdot \text{tag } \alpha$$

$$L_2 = L \cdot \text{tag } \beta$$

donde: H = altura y L = distancia reducida.

Caso la lectura sea efectuada en la escala de % la fórmula será:

$$H = \frac{L}{100}(L_1 \pm L_2)$$

donde: H = altura del árbol

L = distancia entre el observador y el árbol

L_1 = lectura en el ápice del árbol

L_2 = lectura en la base del árbol.

Regla métrica

Para los árboles de pequeño y medio porte, con alturas inferiores a 6 m se pueden usar reglas métricas, desde aquellas usadas en tiendas de tejidos (reglas de 1 metro) hasta las reglas o varas telescópicas o de encaje usadas en trabajos topográficos.

Altura de la regeneración natural

Los individuos jóvenes de un rodal forman la estructura de la regeneración o sucesión natural en un proceso biológico de equilibrio natural. Normalmente la regeneración o sucesión natural está compuesta por algunas centenas hasta millares de individuos distribuidos en áreas relativamente pequeñas. Esos individuos para los objetivos de la mensura forestal pueden ser clasificados en clases de altura, normalmente en intervalos de 50 centímetros hasta la clase con altura superior a 2 m y DAP inferior a 5 cm. Esos individuos serán medidos por reglas cuyas escalas deberán estar identificadas en clases de altura, cuyos intervalos normalmente estarán pintados por colores fuertes para mejorar la visualización de la clase correspondiente.

Área basal

Entiéndase por área basal la superficie del corte horizontal hipotético en el tronco de un árbol, realizado a 1,30 m del suelo. Si todos los árboles de un rodal fuesen cortados en esa misma altura se obtendrá teóricamente la suma de todas esas áreas

transversales cortadas que en su conjunto formarán una superficie denominada de área basal de ese rodal o bosque.

En la dasometria el área basal de un árbol está representada por la letra "g" y el área basal de un rodal o bosque por "G". Supóngase que "g" se aproxima del área del círculo, en ese caso su determinación de cálculo será en función del *DAP* o *CAP*, de acuerdo con las fórmulas:

$$\begin{aligned} g &= DAP^2 \cdot \pi/4 & g &= CAP^2 / 4\pi \\ g &= DAP^2 \cdot 0,7854 & g &= CAP^2 \cdot 0,0796 \end{aligned}$$

la unidad de medida de g es en centímetros cuadrados y de G en metros cuadrados.

Una vez que en los levantamientos fitosociológicos la hectárea es la unidad de referencia clásica, G estará representada por metros cuadrados por hectárea (m²/ha). El área basal por hectárea es consecuentemente una medida de la densidad de una comunidad vegetal.

Barra de Bitterlich

La barra de Bitterlich consiste de una vara de madera o de metal que tenga una longitud de 1 metro, manteniendo en una de sus extremidades una placa en la forma de U (herradura) con una abertura de 2 centímetros (Figura 19). La barra de Bitterlich permite obtener el área basal en un rodal sin medir las áreas transversales, o sea, sin tomar las correspondientes medidas de diámetro de los árboles individuales.

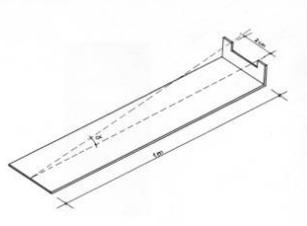


Figura 19. Barra de Bitterlich.

El operador manteniendo la barra horizontalmente en la altura del ojo efectúa alrededor de sí un giro completo de 360° observando a través de la placa (formando así un ángulo constante de visión) todos los árboles a la altura de 1,30 m. Deberán ser contados todos los árboles cuyo *DAP* sea mayor o igual a la abertura de la placa.

Analizando este procedimiento existen apenas tres posibles situaciones: el ángulo producido será menor que el ancho del árbol observado, consecuentemente el *DAP* será mayor que el ángulo α . El árbol en este caso será contado. El ángulo producido será igual al ancho del árbol observado, consecuentemente el *DAP* es igual al ángulo α . El árbol en esta situación cuenta como una mitad; el ángulo producido será mayor que el ancho del árbol observado, consecuentemente el *DAP* será menor que el ángulo α . El árbol en este caso no ingresa en el conteo correspondiente.

El principio de Bitterlich indica que el número de árboles con *DAP* igual o superior al ángulo constante (α), vistos desde un punto fijo del rodal, es proporcional a su área basal por hectárea. En otras palabras, el número de árboles contados con *DAP* igual o mayor al ángulo de visión ofrecerá directamente el área basal en m^2/ha . Fueron contados seis árboles, el área basal será de $6 \text{ m}^2/\text{ha}$.

Medidor del área basal

En el mercado, principalmente en el norte americano, existen varios instrumentos simples y baratos que permiten determinar el área basal en el principio de Bitterlich, como indicado anteriormente. Entre esos instrumentos están el tubo de Panamá, el medidor de área basal (Figura 20) y los prismas basimétricos.



Figura 20. Medidor de área basal

Relacópico de Espejo

Es un instrumento que fue idealizado por el Prof. Walter Bitterlich (Austria) y colocado en el mercado en 1942. Este instrumento revolucionó los conceptos de medición de la época y hoy en día es considerado el instrumento más completo para las finalidades de la mensura dasométrica. El instrumento permite medir con alto grado de precisión: el área basal, las alturas del tronco y árboles, diámetros a diversas alturas del tronco además del *DAP* y distancias horizontales. Se recomienda procurar la bibliografía específica para proceder correctamente con la manipulación del instrumento. El instrumento internamente trae bandas de numeración y de medidas ajustadas a la declividad del terreno. El relascópico de espejo (Figura 21) también es conocido como relascópico de Bitterlich.



Figura 21. Relascópio de espejo o de Bitterlich

Observando a través del visor del instrumento se detecta una línea horizontal que divide en dos su correspondiente área circular o campo de visión. La parte inferior muestra las diversas escales y bandas de medición (Figura 22) y la parte superior la visión del propio rodal o bosque. Los procedimientos de medida deberán ser procurados en la bibliografía pertinente, no se explica en este documento por considerar que esas metodologías precisan de conocimientos específicos que en este documento no fueron tratados ni mostrados.

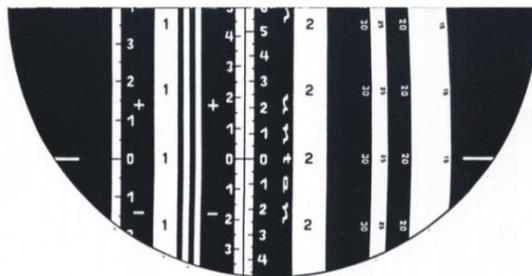


Figura 22. Bandas y escalas de medida del relascópio

Conceptos de la Curva Especie-Área

Los métodos para estimar la riqueza de especies y la estructura de una población vegetal se los puede dividir en dos grupos: los métodos paramétricos y los no paramétricos.

Los métodos paramétricos parten de la premisa sobre la población y asumen que los datos colectados queden de alguna forma acompañando la distribución normal de esa población. Entre los modelos paramétricos normalmente utilizados para estimar la riqueza vegetal específica están las funciones de acumulación, como la logarítmica, exponencial y la ecuación de Clench (Kershaw y Looney, 1985; Sobrerón y Llorente, 1993). Los modelos paramétricos más utilizados que permiten medir e interpretar la estructura de la vegetación, son de las series geométrica y logarítmica, y de la distribución log-normal.

Los modelos no paramétricos no asumen cualquier distribución, ni series de presupuestos "a priori" que fuesen ajustados a determinados modelos. En ese sentido su cálculo es bastante más simple y son relativamente efectivos. Entre los modelos no paramétricos usados para la determinación de la riqueza de especies y que están plenamente aceptados por la comunidad científica, están los modelos de Chao (Chao, 1984), que pueden ser procesados por los programas *EstimateS* y *Past*, los mismos que pueden ser obtenidos gratuitamente en las siguientes direcciones electrónicas:

<http://viceroy.eeb.uconn.edu/estimates/EstimateSPages/EstSUsersGuide/EstimateSUsersGuide.htm>

<http://folk.uio.no/ohammer/past>

El concepto de área mínima se relaciona directamente a la homogeneidad florística y espacial de la vegetación. En ese sentido, surge la definición de que en una superficie menor al área mínima no se podría interpretar la homogeneidad de la comunidad vegetal correspondiente. La literatura no registra métodos matemáticos que puedan definir esa homogeneidad y en ese sentido los investigadores escogen subjetivamente áreas que supuestamente caracterizan o representan a la vegetación que será objeto de estudio. En esos levantamientos fitosociológicos una selección intuitiva de parcelas de muestreo fundamenta la supuesta homogeneidad de esa vegetación. Empíricamente se puede afirmar que áreas pequeñas registran pocas especies vegetales y a medida que esas áreas fuesen aumentando las posibilidades de registrar más especies son evidentes.

Surge así la necesidad de construir la curva colectora de especies, que en la literatura también es conocida como curva especie – área (Figura 22). Para su construcción se delimita una parcela pequeña de superficie conocida que puede ser preferencialmente de formato cuadrado o rectangular. En ella deben ser observados – medidos, todos los individuos vegetales con las características o variables dasométricas previamente definidas. Por ejemplo: árboles con DAP mínimo de 5 cm. Medidos u observados, o bien simplemente identificar todos los individuos arbóreos en correspondientes especies, se obtiene el pertinente número de especies ocurrentes en esa parcela, número que será considerado en un banco de datos, tipo MS-Excel.

En una segunda parcela de igual tamaño (Figura 21) se procederá exactamente con la misma descripción de la parcela anterior. Con la segunda parcela el área de muestreo queda duplicada en relación a la superficie de la primera parcela. De esa

segunda parcela serán incluidas en el banco de datos apenas las especies que no aparecieron anteriormente. La tercera parcela tendrá su superficie duplicada en relación a las dos anteriores, la cuarta parcela en un proceso semejante también tendrá su área de ocupación en doble a la anterior y así sucesivamente. En cada nueva parcela apenas serán incluidos en el banco de datos las especies que no aparecieron en las parcelas anteriores. Ese procedimiento se repite hasta que el número de especies nuevas disminuya al mínimo o quede sin aumento de valor. En este sistema las parcelas deben quedar contiguas unas de las otras, como se muestra en la Figura 23.

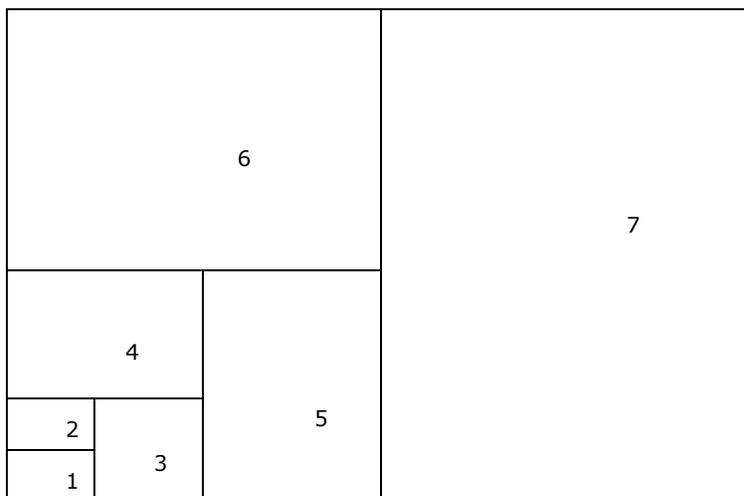


Figura 23. Modelo de muestreo para la definición del área mínima

Empíricamente queda demostrado que el número de especies en una unidad de muestreo pequeña también será pequeña. A medida que se aumenta el tamaño de la superficie de muestreo se aumentará naturalmente el correspondiente número de especies. Al principio drásticamente y cada vez con menor

intensidad hasta llegar a una situación que el número de especies no aumenta más con el correspondiente aumento de la superficie de muestreo. Esa tendencia se refleja en diversos gráficos de interpretación de la riqueza florística.

En los trabajos de levantamientos fitosociológicos se torna común la aceptación de varias parcelas del mismo tamaño situadas aleatoriamente en el área del estudio. En este tipo de disposición de parcelas de muestreo se evidencia que no se considera el patrón de distribución de las especies. Específicamente en los patrones aleatorio y agregado se podrá producir un grave error de interpretación sobre la densidad (número) de las especies.

Las curvas colectoras de especies o curvas especie – área permiten:

- a) dar confiabilidad a los inventarios biológicos posibilitando su comparación;
- b) ofrecer una mejor planificación del trabajo de muestreo;
- c) extrapolar el número de especies observadas para el total de especies que podrían estar presentes en grandes áreas continuas.

En la construcción de una curva colectora de especies es importante decidir la manera de cómo cuantificar el esfuerzo (intensidad) de muestreo. El número de especies es prácticamente proporcional al tamaño del muestreo y por lo tanto es imprescindible definir claramente el tipo de unidad de muestreo que será utilizado (Soberón y Llorente, 1993). Definida la unidad de muestreo, la curva representará el acúmulo de las especies representando el correspondiente incremento en el número de especies que serán adicionadas.

La relación de los datos de campo entre el número de especies y el tamaño de la parcela, debe estar diseñada de modo a representar la curva colectora de especies o curva especie - área, como se muestra en la Figura 24. Cuando la curva se inclina horizontalmente y se encuentra casi paralela al eje x (área de muestreo) significa que el número de las especies se mantiene estable y por lo tanto el punto de la asíntota de la curva corresponderá al tamaño del área de muestreo que representará eficiente y coherentemente el esfuerzo de muestreo o suficiencia de muestreo. Esa determinación cualitativa se considera plenamente confiable para las comunidades vegetales más o menos homogéneas o poco heterogéneas.

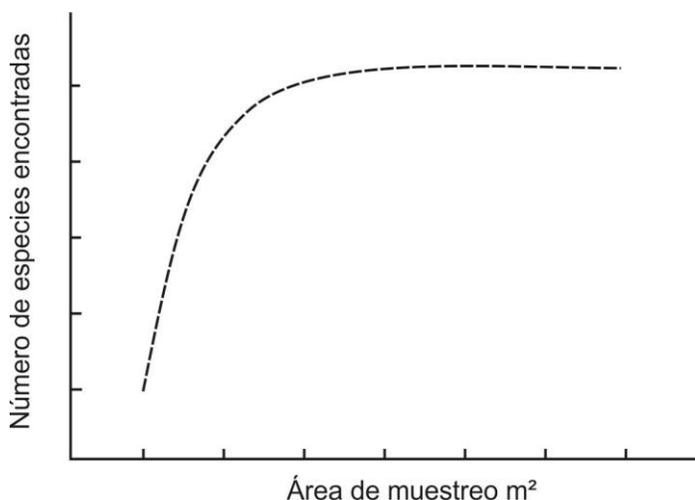


Figura 24. Curva especie - área

Para proceder con coherente interpretación de la suficiencia de muestreo, identificada por la curva especie - área, se hace necesario determinar gráficamente la correspondiente área mínima. Se la obtendrá juntando los puntos extremos de la curva a través de una línea (Figura 25). Posteriormente se debe trazar

una línea paralela en el punto tangencial de la curva. El punto de intersección tangencial corresponderá al punto de inflexión de la curva o punto del comienzo de la asíntota de la curva. El tamaño de la parcela representado por ese punto de inflexión deberá tener un valor próximo del 90% del total de las especies encontradas. En esos casos los índices de diversidad estarán coherentemente interpretados.

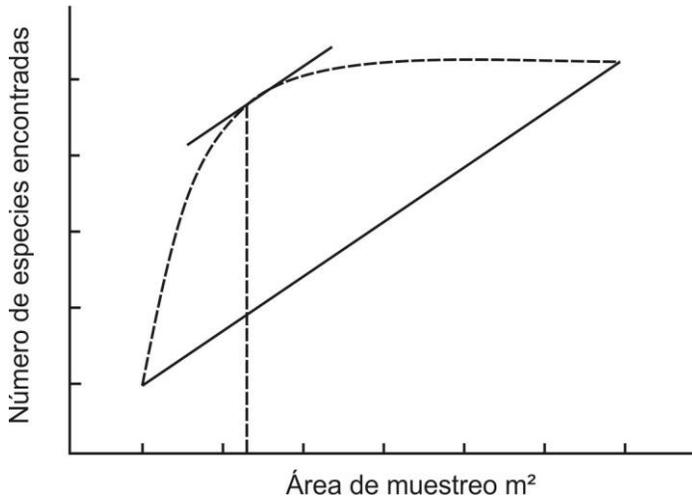


Figura 25. Determinación del punto de la asíntota de la curva especie-área

El ajuste del número de individuos arbóreos (Figura 26) presentes en las parcelas por clase de diámetro puede ser realizado por medio del modelo de Meyer: $Y_j = e^{\beta_0 + \beta_1 \cdot D_j}$ (Meyer, 1952), siendo Y_j el estimador del número de árboles por hectárea en la j -ésima clase de diámetro (DAP); β_0 y β_1 son los coeficientes de la ecuación; D_j el diámetro correspondiente al centro de la j -ésima clase del DAP ; y e la constante de los logaritmos

neperianos. Este modelo permite certificar la significancia estadística ($R^2 > 0,5$; $p < 0,005$) de la distribución de los diámetros de las especies arbóreas y arbustivas por las clases diamétricas, en la curva del "J" invertido. En la Figura 26 se demuestra tratarse de una comunidad auto-regenerativa, por poseer un mayor número de individuos en las tres primeras clases diamétricas (de 5 a 15 cm). En la figura se presenta el formato de representación del ajuste del modelo de Meyer.

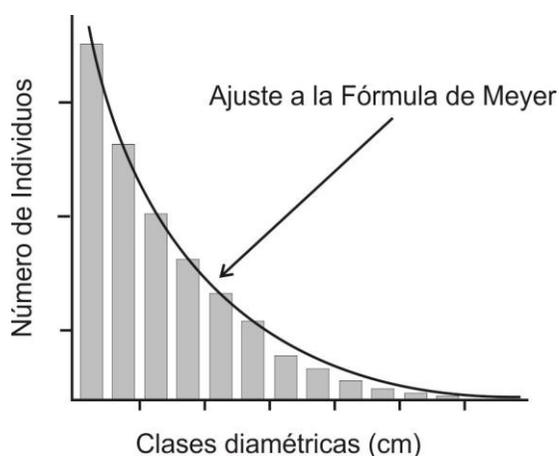


Figura 26. Modelo de Meyer para la distribución de los individuos arbóreos por clases diamétricas.

Un proceso matemático que permite interpretar correctamente el esfuerzo (intensidad) de muestreo es a través del método de Kershaw (Kershaw y Looney, 1985) que también define el tamaño de la parcela. En esa metodología se hace necesario determinar la densidad media sugerida por Kershaw, que es el valor de la media aritmética de las especies (número total de especies dividido por el número de parcelas). Para cada parcela será efectuado el cálculo de la relación densidad media por el área

de la parcela, con la finalidad de obtener un gráfico de una curva semejante a la mostrada en la Figura 24. Este método también será considerado cualitativo cuando el valor calculado deje de fluctuar identificando en esa situación el tamaño ideal de la parcela. Se recomienda trabajar con una parcela de tamaño un poco mayor a la identificada por el proceso matemático. Teóricamente se supone estar trabajando con un margen de seguridad de más menos un desvío padrón de la representatividad de la población considerada.

Una otra forma de identificar la suficiencia de muestreo en una comunidad vegetal es utilizando la metodología de la construcción de la "curva de la media corriente" (Sociedad Botánica del Brasil, 1992). En ese procedimiento se debe calcular la media acumulada de especies por unidad de área (parcela), conforme fue calculado y mostrado en el Cuadro 1. El correspondiente gráfico de la media acumulada de especies identifica también el tamaño ideal de la parcela, a través del punto de la estabilización de la curva (Figura 27).

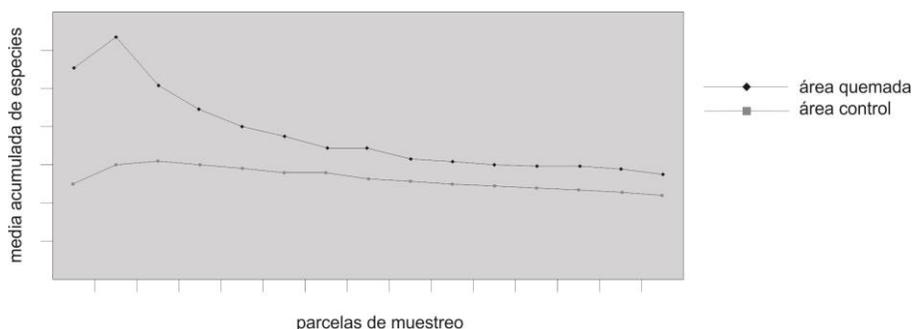


Figura 27. Curva colectora especie – área

Cuadro 1. Datos para la construcción de la curva especie-área (ejemplo numérico).

Parcela	Área (m ²)	Número de spp.	Número de spp acumulado	media spp
1	200	12	12	12,00
2	400	15	15	13,50
3	600	9	15	12,00
4	800	12	16	12,00
5	1000	18	25	13,20
6	1200	15	26	13,50
7	1400	13	27	13,43
8	1600	9	27	12,87
9	1800	17	30	13,33
10	2000	12	31	13,20
11	2200	9	31	12,80
12	2400	9	32	12,50
13	2600	10	33	12,31
14	2800	10	33	12,14
15	3000	14	34	12,27
16	3200	10	36	12,12
17	3400	11	36	12,06
18	3600	11	36	12,00
19	3800	9	36	11,84
20	4000	13	36	11,90
21	4200	11	37	11,86
22	4400	12	37	11,86
23	4600	12	37	11,87
24	4800	10	37	11,79

Los resultados del cálculo efectuado en relación al coeficiente de variación (*CV*) de las variables diámetro (*DAP* y *D_{base}*) deben demostrar satisfactoriamente la representación natural de la variabilidad de la población considerada. Para tanto, los valores del *CV* correspondiente en cada una de las parcelas de muestreo deben quedar bastante próximos entre sí, y de esa

forma permitan interpretar correctamente la pertinente variabilidad existente en las parcelas (Imaña-Encinas, 2002).

Un conjunto de datos puede dar lugar a toda una familia de curvas en función del orden, tamaño y distribución de las áreas de muestreo. En ese contexto adicionalmente se presenta a seguir el proceso matemático que permite identificar la predicción de la riqueza de especies en áreas extensas. Las unidades de muestreo también denominadas como unidades de esfuerzo de la muestra (n) deben estar necesariamente distribuidas aleatoriamente. El número medio de especies (S_n) calculado debe ser estrictamente obtenido de los valores de " n " comprendidos entre 1 y el número total de unidades de muestra, que permitirá obtener la curva ideal. Matemáticamente se la puede expresar por la ecuación de Clench (Soberón y Llorente, 1993):

$$S_n = \frac{a \cdot n}{1 + (b \cdot n)}$$

Si el área a ser estudiada es pequeña y el grupo taxonómico ya es conocido, el total de las especies presentes tendrá una alta probabilidad de que fuese encontrado. En ese caso se recomienda el uso del modelo exponencial negativo:

$$S_n = \frac{a[1^{(-b \cdot n)}]}{b}$$

donde: a = la tasa de incremento de nuevas especies en el comienzo del levantamiento (inventario),
 b = parámetro relacionado con la forma de la curva, estimado por funciones no lineares.

Aprovechando de los datos colectados (número de especies y número de individuos por área) es posible calcular el cociente de mezcla (QM) descrito por Lamprecht (1990), también conocido como cociente de Jentsch, por medio de la fórmula:

$$QM = \frac{S}{n}$$

donde: S = número total de especies;
 n = número de individuos.

Por el cociente de mezcla se deduce la densidad de especies existentes en relación a determinada área de estudio. Una relación que tuviese un $QM = 0,02$ (por ejemplo), traducido en una expresión matemática ($1 / 0,02$) indica una relación de 1:50, correspondiendo a una heterogeneidad florística pequeña, mostrando la existencia de una especie diferente a cada 50 individuos. Lamprecht (1990) menciona que el cociente de mezcla en bosques de la región amazónica queda en la proporción entre 1:3 y 1:7.

En los levantamientos fitosociológicos normalmente son también calculados y determinados los índices de diversidad y la medida de ecuabilidad vegetal. Los índices de diversidad de especies pueden ser comprendidos como descriptores de la estructura de la comunidad vegetal estudiada u observada. Os índices de diversidad ponderan principalmente tanto la presencia de especies como la relación de la abundancia en las comunidades estudiadas. Los índices que permiten la comparación de la diversidad entre las comunidades son el índice de Sorensen, el de Jaccard y el de Czekanowski. Además de estos índices de diversidad están los índices de riqueza específica (especies presentes en la comunidad): de Margalef y de Menhinick. Los índices de Simpson y de Shannon-Wiener se refieren más

específicamente a identificar la diversidad de las especies. Ya las medidas de equitabilidad o equidad vegetal serán tratadas fundamentalmente a través del índice de Pielou. La equidad mide la distribución de la abundancia de las especies, interpretando cómo de uniforme es la comunidad vegetal estudiada.

Índice de Margalef (BD o R_1)

Es una medida para estimar la biodiversidad de una comunidad vegetal (Margalef, 1958) con base en la distribución numérica de los individuos de las diferentes especies en función del número de individuos existentes en la muestra. Su cálculo se realiza por la expresión:

$$BD = \frac{S - 1}{\ln \cdot (N)}$$

donde BD = índice de biodiversidad

S = número de especies presentes

\ln = logaritmo neperiano

N = número total de individuos encontrados

valores inferiores a 2 indican baja biodiversidad

valores superiores a 5 indican alta biodiversidad.

Índice de Menhinick (D_{Mn} o R_2)

Es un índice que identifica la diversidad específica de una comunidad vegetal (Krebs, 1995). Se fundamenta en la relación entre el número de especies y el número total de individuos observados, calculado por la expresión:

$$D_{Mn} = \frac{S}{\sqrt{N}}$$

(simbología, la misma del Índice de Margalef).

Índice de Pielou (J')

Mide específicamente la equitabilidad (Pielou, 1977) de una distribución de abundancia de especies, utilizando la fórmula:

$$J' = \frac{H'}{\ln S} \therefore J' = \frac{H'}{H_{\max}}$$

donde H' = Índice de Shannon - Weaver

\ln = logaritmo de la diversidad máxima (H_{\max})

S = número de especies presentes.

Además de los índices de diversidad y de similitud, muchos estudios fitosociológicos exigirán el cálculo o determinación del patrón de distribución espacial de los individuos de cada especie o de la comunidad vegetal como un todo. En esa situación además de la distancia euclidiana es posible calcular el Índice de Agregación de Payandeh (1990) por la fórmula:

$$P_i = \frac{s^2_i}{M_i}$$

donde: P_i = Índice de Payandeh

s^2 = variancia del número de árboles de la i -ésima especie

M_i = media del número de árboles de la i -ésima especie

Valores de P superiores a 1,5 indican una distribución agregada, P variando entre 1 y 1,5 corresponde a una distribución aleatoria (tendencia de agrupamiento) y P inferior a 1 indica una distribución normal.

Es importante indicar que el cálculo de todos estos índices de riqueza y diversidad vegetal son relativamente sencillos en realizarlos y llevan consigo ciertas limitaciones que no pueden ser explicadas matemáticamente, y por esa razón deben ser

adecuadamente bien observados para su correspondiente interpretación (Hurlbert, 1971).

Para estimar coherentemente la diversidad vegetal es necesario que previamente exista un buen conocimiento de la correspondiente composición taxonómica que será realizada por la taxocenosis.

Numerosos índices fueron propuestos que están registrados en la literatura correspondiente, índices para caracterizar la riqueza de las especies y su correspondiente equitatividad (abundancias relativas), denominados de índices de riqueza e índices de equitatividad respectivamente. Los índices que combinan tanto la riqueza y la equitatividad en un solo valor se los denominan de índices de diversidad. Una de las principales características de estos índices es que en su cálculo incluyen un conjunto de variables que identifican: la propia estructura de la comunidad, como la riqueza específica a través del número de especies, la equitatividad que es en sí la abundancia relativa de las especies, la homogeneidad de la propia estructura vegetal de la comunidad observada, donde todas esas observaciones dependerán de la intensidad y tamaño de la muestra.

Parámetros Fitosociológicos

As especies vegetales, principalmente las herbáceas y las arbóreas cuando estas están en ambientes de condiciones ambientales entre sí semejantes forman los llamados mosaicos vegetales que son unidades vegetales más o menos similares, variando en función del tiempo y espacio de crecimiento. Las diferentes condiciones de sitios dan origen a la estructura de los mosaicos vegetales donde las especies ocurren en larga escala geográfica. En ese contexto en cualquier región de la tierra pueden aparecer grandes áreas con condiciones semejantes entre sí en términos de factores ambientales y presión biótica, donde esas condiciones se repiten y el tipo de vegetación también se repite. Es en ese fundamento que la fitosociología es capaz de identificar por sus diversos parámetros una serie de comparaciones coherentes apoyadas y plenamente justificadas en sus conceptos matemáticos estadísticos.

A partir de la aplicación de métodos fitosociológicos es posible realizar una correcta y bien fundamentada evaluación de la vegetación referente apenas al momento del correspondiente levantamiento de datos de campo.

Entre los principales parámetros fitosociológicos (Mueller-Dumbois y Ellenberg, 1974), la literatura consolidó los siguientes:

Densidad (D)

Es la medida que expresa el número de individuos de una cierta especie vegetal por unidad de área que en general será la hectárea.

Densidad absoluta (DA)

Considera el número de individuos de una determinada especie (n_i) dentro del área de observación (A) y es calculada por la fórmula:

$$DA_i = \frac{n_i}{A}$$

Densidad relativa (DR)

Es la relación entre el número de individuos de una especie (n_i) y el número de individuos de todas las especies (N), expresada en valor porcentual, por la fórmula:

$$DR_i = \left(\frac{n_i}{N} \right) \cdot 100 \quad DR_i = \frac{DA_i}{\sum_j^{i=1} DA_j}$$

donde: DA = densidad absoluta;
 n = número de individuos de la especie i ;
 N = número total de individuos.

Otro índice de densidad relativa usado en rodales es el de índice de densidad relativa de Curtis, calculado por la expresión:

$$DR_i = G \cdot D_g^{-0,5}$$

donde: G = área basal en m^2/ha
 Dg = diámetro medio cuadrático en cm.

Frecuencia (F)

Considera el número de parcelas en que determinada especie esté presente. Indica en sí la dispersión media de cada especie y es expresada en valor porcentual. Su definición está dada por la probabilidad de encontrar una especie en una unidad de muestreo, siendo que su valor estimado indicará el número de

veces que la especie ocurre o está presente en un determinado número del total de las unidades de muestreo.

Frecuencia absoluta (FA)

Es la relación entre el número de parcelas en que determinada especie se presenta (P_i) y el número total de parcelas de muestreo observadas (P):

$$FA_i = \left(\frac{P_i}{P} \right) \cdot 100$$

Frecuencia relativa (FR)

Es la relación entre la Frecuencia Absoluta de determinada especie (FA_i) con la suma de las frecuencias absolutas de todas las especies (FA), siendo calculada por la expresión:

$$FR_i = \left(\frac{FA_i}{\sum FA_i} \right) \cdot 100$$

La frecuencia proporciona una información referente a la dispersión de las especies. Especies con elevado número de individuos pueden presentar bajos valores de frecuencia en función de sus individuos que probablemente estén agrupados en manchas, al contrario de otras especies que pueden presentar 100% de frecuencia, desde que sus individuos estén presentes y distribuidos en todas las parcelas de muestreo.

Dominancia (Do)

Está definida como la tasa de ocupación del ambiente por los individuos de una especie. Trabajando en áreas arboladas esa dominancia está representada por el área basal, estimada en función del *DAP*.

Dominancia absoluta (DoA)

Considera el área basal de una especie (G_i) registrada en una determinada área (A), siendo obtenida a partir de la fórmula:

$$DoA_i = \frac{G_i}{A}$$

$$G_i = \sum_{i=1}^{n_i} g_i$$

donde: $g_i = DAP^2 \cdot 0,7854$ $g_i = CAP^2 \cdot 0,0796$
dependiendo si se está trabajando con *DAP* o *CAP*.

Dominancia relativa (DoR)

Es la relación en valor porcentual del área basal total de una especie (G_i) por el área basal total de todas las especies encontradas en el muestreo (G) y es calculada por la fórmula:

$$DoR_i = \left(\frac{G_i}{G} \right) \cdot 100$$

$$DoR_i = \frac{DoA_i}{\sum_j^{i=1} DoA_j}$$

donde: G = sumatoria de las áreas basales individuales

Si los datos de diámetro fueron medidos en la base de los troncos o fustes, las fórmulas indicadas también serán utilizadas informando que se trata de datos recogidos correspondientes al diámetro de base a 0,20 o 0,30 cm de altura del suelo. Las áreas calculadas deberían ser llamadas correctamente de áreas transversales o seccionales a x metros de altura del fuste.

Índice de Valor de Importancia (IVI)

Este índice también denominado de índice de Importancia de Cottam (Cottam, 1949), ordena la lista de especies de forma decreciente el valor de importancia de la especie, encontradas en el área de estudio. El índice revela a través de la acumulación de puntos la pertinente posición fitosociológica de cada una de las especies vegetales en el contexto de la comunidad a la que pertenece. La suma de puntos está dada por los valores relativos encontrados de la densidad, frecuencia y dominancia:

$$IVI_i = DR + FR_i + DoR_i$$

En consecuencia este índice refleja la importancia de la especie en el contexto de la comunidad vegetal estudiada, e identifica su grado de importancia por su posición en la correspondiente lista de especies. A partir del análisis de cada parámetro fitosociológico se puede interpretar si la especie es abundante, si se presenta en una distribución espacial agrupada o dispersa y cuál es su área de ocupación (densidad o área basal) en la comunidad vegetal estudiada. Se debe observar que los parámetros relativos observados aisladamente tanto en ambientes con vegetación densa o esparza pueden presentar resultados muy próximos entre sí.

Índice del Valor de Cobertura (IVC)

Es una medida que también produce informaciones al respecto de la importancia de cada especie dentro de la comunidad vegetal en estudio. En su interpretación se considera solamente los valores relativos de la densidad y de la dominancia por medio de su sumatoria:

$$IVC_i = DR_i + DoR_i$$

Como índice de importancia también se pueden tomar una o más variables de interés, colocando en ellas pesos ponderados de importancia. En el caso de estudios de rendimiento forestal, por ejemplo, la variable área basal será considerada con evidencia la principal y llevará el mayor peso ponderado.

Regeneración Natural

Los conceptos de la regeneración o sucesión natural definen que en cualquier comunidad vegetal las especies se suceden naturalmente en función del tiempo hasta que ellas lleguen a un estado de equilibrio determinado por el clima de la región. Esa sucesión o regeneración natural de especies acontece cuando las plantas individuales o poblaciones vegetales emigran, se interrelacionan y llegan a su muerte dando lugar al establecimiento de nuevas especies en lugar de ellas en el transcurso de un tiempo determinado. Cuando una comunidad vegetal alcanza el estado final de la sucesión o regeneración natural es que consiguió adaptarse plenamente a las condiciones ambientales del lugar formando una composición de especies que en la silvicultura es denominada de estado de climax.

Trabajando con la regeneración natural, los individuos vegetales que ingresan en el estudio fitosociológico normalmente están clasificados en clases de altura de 50 centímetros. En ese sentido se forman hasta cinco clases o fases de establecimiento de la regeneración natural que son las siguientes:

clase A: individuos con altura hasta 0,5 m

clase B: individuos con altura entre 0,5 y 1,0 m

clase C: individuos con altura entre 1,0 y 1,5 m

clase D: individuos con altura entre 1,5 y 2,0 m

clase E: individuos con altura superior 2 m y DAP inferior a 5 cm.

Para la interpretación de parámetros fitosociológicos, es posible determinar:

Valor fitosociológico por clase de altura

Que corresponde en su cálculo porcentual a la división de la abundancia total de la clase de altura por el total de la abundancia. Para poder visualizar mejor los resultados, estos pueden ser divididos por la constante 10.

En el ejemplo siguiente, con los datos del Cuadro 2, su cálculo será:

$$\text{Clase de altura A: } (437 \times 100) / 1673 = 26,12 \text{ (valor relativo) / } 10 = 2,6 \text{ (valor fitosociológico).}$$

Posición fitosociológica (PS)

Es la suma de la multiplicación del número de individuos de la especie identificados en la clase de altura por el correspondiente valor fitosociológico de la clase de altura pertinente.

En el ejemplo siguiente, considerando los datos constantes en el Cuadro 2, su cálculo será:

$$\begin{aligned} \text{Especie A} &= (6 \times 2,6) + (6 \times 2,7) + (3 \times 2,1) + (1 \times 2,4) = 40,5 \\ 40,5 &= \text{posición fitosociológica absoluta (Cuadro 3)} \\ 0,94 &= \text{posición fitosociológica relativa (40,5 \times 100 / 4328)} \end{aligned}$$

Índice relativo de la Regeneración Natural (RN)

Corresponde a la suma del conjunto de valores relativos de la abundancia (Ab), frecuencia (Fr) y clase de altura (CH), divididos por el número 3 (tres parámetros) conforme calculado y mostrado en el Cuadro 3:

$$RN_i \% = \frac{Ab_i \% + Fr_i \% + CH_i \%}{3}$$

donde: $Ab\%$ = abundancia relativa

$$\text{Especie A} = (16 \times 100 / 1673) = 0,96$$

$Fr\%$ = frecuencia relativa

(valor porcentual del número de parcelas en que la especie fue encontrada)

$CH\%$ = clase de altura relativa

$$\text{Especie A} = (16 \times 100 / 4328) = 0,37.$$

Ejemplo metodológico

Cuadro 2. Distribución de la abundancia de especies

Especie	Clase de altura				Total
	A	B	C	E	
Especie A	6	6	3	1	16
Especie B	15	17	17	3	62
Especie C	1	1			2
Especie D	68	58	31	14	171
Especie E	5	10	5	19	39
...					
...					
...					
Totales	437	465	362	409	1673
Valor relativo	26,12	27,79	21,64	24,45	
Valor fitosociológico	2,6	2,7	2,1	2,4	

Valor de Importancia (VI_{RN})

Es determinado por la suma porcentual de la regeneración natural (RN) más la posición fitosociológica relativa ($PS\%$).

En el ejemplo siguiente, considerando los datos constantes en el Cuadro 3:

$$\text{Especie A} = 3,21 + 0,94 = 4,15$$

$$\text{Especie D} = 18,46 + 9,98 = 28,44$$

Consecuentemente por el Valor de Importancia (VI) la especie D será mucho más importante que la Especie A.

Cuadro 3. Parámetros fitosociológicos del cálculo de la regeneración natural

	Posición Fitos.		Ab %	Fr %	CH %	RN %	VI _{RN}
	abs	%					
Especie A	40,5	0,94	0,96	1,88	0,37	3,21	4,15
Especie B	151,8	3,51	3,70	2,28	1,43	7,41	10,92
Especie C	5,3	0,12	0,12	0,75	0,05	0,92	1,04
Especie D	432,1	9,98	10,22	4,29	3,95	18,46	28,44
Especie E	96,0	2,22	5,74	2,28	0,90	8,92	11,14
...							
...							
...							
Totales	4328		100	100	100	100	

Las especies serán posteriormente ordenadas en una lista de orden jerárquico, del mayor al menor Valor del Índice de Importancia (VI). La especie con el mayor valor de este índice será considerada como la principal especie en la correspondiente comunidad vegetal estudiada.

Ejemplo Metodológico

En una superficie de 110 hectáreas fueron seleccionadas de modo aleatorio 10 parcelas de 1000 m² (20 x 50m cada una) totalizando así 10.000 m², correspondiendo a una hectárea de muestreo. En esas parcelas fueron identificados con sus nombres científicos todos los individuos arbóreos que poseían un D_{base} igual o superior a 5 cm. La altura total de los individuos también fue medido en intervalos de 1 metro. En la elaboración de la curva especie - área fue observado, que en el momento en que la curva se estabilizaba (con 94% de las especies en la séptima parcela), el cálculo del error padrón de la media de la variable diámetro era inferior a 10%. El cálculo del error padrón fue de 5,92% y el intervalo de confianza para la media de la densidad fue

$$[P(71,02 \leq \mu \leq 92,98)] = 0,95$$

En ese sentido se consideró que la intensidad de muestreo fue suficiente. La probabilidad de que el valor medio verdadero (μ) esté en ese intervalo es de 95%. La distribución diamétrica fue elaborada considerando intervalos de 5 cm.

Las 54 especies encontradas quedaron distribuidas en 44 géneros y 30 familias botánicas. La densidad encontrada fue de 882 individuos arbóreos (Cuadro 4) produciendo un área basal de 9,53 m²/ha. Un resumen de la tabla de datos se presenta a seguir:

Cuadro 4. Parámetros fitosociológicos encontrados

<i>Especie</i>	<i>DA</i> n/ha	<i>DR</i> %	<i>FA</i> %	<i>FR</i> %	<i>DoA</i> m ² /ha	<i>DoR</i> %	<i>IVI</i> %
Especie 1	98	11,2	100	4,0	1,22	12,8	28,0
Especie 2	50	5,6	100	4,0	0,61	6,3	15,9
Especie 3	63	7,2	60	3,2	0,39	4,1	14,5
Especie 4	22	2,5	80	3,6	0,88	7,1	13,2
.....							
.....							
.....							
Totales	882	100	2500	100	9,53	100	300

DA = densidad absoluta, DR = densidad relativa, FA = frecuencia absoluta, FR = frecuencia relativa, DoA = dominancia absoluta, DOR = dominancia relativa, IVI = Índice de Valor de Importancia.

$$IVI \text{ de la especie 1} = DR + FR + DoR = 28,0$$

De un otro levantamiento fitosociológico compuesto de 52 parcelas de 400 m² cada una, fueron considerados los datos de todos los individuos arbóreos con *DAP* igual o mayor a 5 cm que fueron registrados y medidos. Fueron encontrados 2848 individuos arbóreos (Cuadro 5) registrados en 174 especies y estas distribuidas en 115 géneros y en 49 familias botánicas. El área de muestreo fue de 2,08 ha.

El índice de diversidad de Shannon-Wiener fue igual 4,16 nits/individuo. (nits/individuo cuando se utiliza el logaritmo natural *e*, bits/individuo cuando el logaritmo está con la base 2). El índice de similitud de Jaccard registró un valor de 0,79.

Cuadro 5. Ejemplo de parámetros dasométricos

Especie	<i>n</i>	<i>P</i>	<i>AB</i> m ²	<i>H_{md}</i> m	<i>H_{max}</i> m
Especie 1	108	31	4,071	12,5	30,0
Especie 2	217	32	1,181	6,0	14,0
Especie 3	59	24	4,003	13,8	26,5
Especie 4	152	43	2,238	10,7	22,5
Especie 5	128	32	1,371	8,6	27,0
Especie 6	95	41	0,964	7,7	16,5
Especie 7	52	28	1,782	13,7	26,0
.....					
.....					
.....					
Totales	2848	52	54,674	10,4	31,5

n = número de individuos; *P* = número de parcelas; *AB* = área basal;
H_{md} = altura media; *H_{max}* = altura máxima

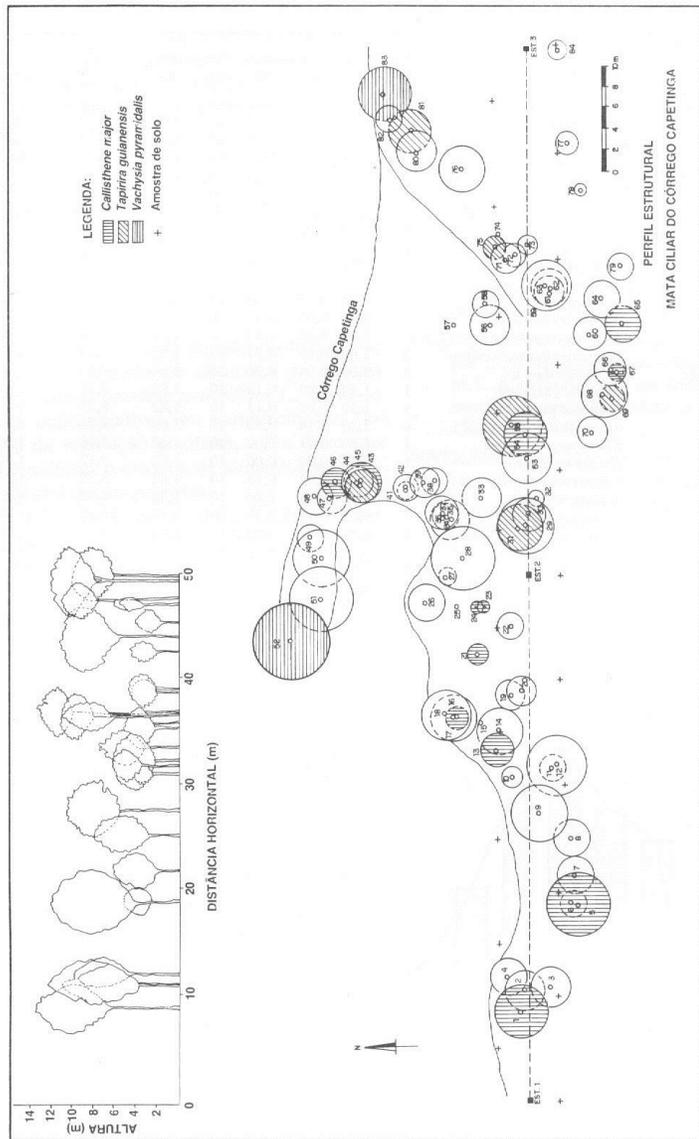
En otro levantamiento los datos fueron obtenidos de dos transectos consecutivos, cada uno de 50 metros de longitud, dividido en cinco secciones. Todos los individuos arbóreos fueron identificados botánicamente y medidos en sus variables *DAP* igual o superior a 7 cm, alturas total y comercial así como el diámetro de las copas. Cada individuo arbóreo fue localizado en coordenadas geográficas tomando como base la línea del transecto y la correspondiente distancia perpendicular de la línea al árbol, conforme está registrado en el cuadro siguiente.

Cuadro 6. Ejemplo de parámetros dasométricos

Especie	lado	Distancia (m)		Diámetro (cm)		Altura (m)	
		línea	perp	DAP	copa	total	com
Especie 1	I	8,6	1,0	30,5	5,0	13,5	6,5
Especie 2	I	10,8	0,7	22,0	3,7	11,0	3,5
Especie 3	D	11,0	2,0	26,0	4,0	12,5	3,5
Especie 4	I	12,0	2,3	26,0	3,5	10,0	4,5
Especie 5	D	18,7	4,5	31,0	6,0	12,5	4,0
Especie 6	D	18,9	4,0	16,0	2,7	5,5	2,5
Especie 7	D	21,6	4,4	12,5	3,7	6,0	1,7
Especie 8	D	25,1	4,0	15,0	3,5	8,0	2,6
Especie 9	D	27,5	0,8	26,0	5,5	10,5	5,5
Especie 10	I	31,0	1,8	9,0	2,0	4,0	2,5
.....							
.....							
.....							

I = izquierda; D= derecha; perp = perpendicular; com = comercial

A seguir se muestran los resultados de las correspondientes distribuciones espaciales (Figura 28) y diamétrica (Figura 29), así como los parámetros fitosociológicos pertinentes:



Desenho elaborado pelo Prof. Dr. Paulo Roberto de Almeida

Figura 28. Ejemplo de una distribución espacial

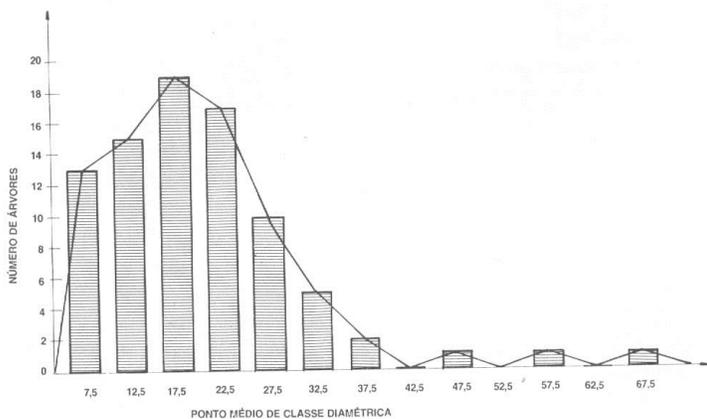


Figura 29. Ejemplo de una distribución diamétrica

Cuadro 7. Ejemplo de parámetros fitosociológicos

Especie	abundancia		dominancia		frecuencia		IVI	VC
	abs	rel	abs	rel	abs	rel		
Especie 1	2	2,60	0,17	1,09	20	3,64	7,33	3,69
Especie 2	1	1,30	0,04	0,26	10	1,82	3,38	1,56
Especie 3	1	1,30	0,04	0,26	10	1,82	3,38	1,56
Especie 4	2	2,60	0,54	3,47	20	3,64	9,71	6,07
Especie 5	2	2,60	0,09	0,58	20	3,64	6,82	3,18
Especie 6	10	12,99	3,56	22,89	60	10,91	46,79	35,88
Especie 7	1	1,30	0,02	0,13	10	1,82	3,25	1,43
Especie 8	1	1,30	0,03	0,19	10	1,82	3,31	1,49
.....								
.....								
.....								
Totales		100		100		100	300	200

$$\text{IVI de la especie 1} = 2,6 + 1,09 + 3,64 = 7,33$$

$$\text{VC de la especie 1} = 2,6 + 1,09 = 3,69$$

Supóngase que fueron analizadas cinco comunidades vegetales (comunidad A, B hasta E) y en cada una de ellas fueron determinadas las correspondientes abundancias de especies, cuyos resultados de observación y medidas correspondientes pueden ser presentadas en la forma del Cuadro 8.

Cuadro 8. Datos hipotéticos de abundancia de cinco comunidades

Comunidad	sp 1	sp 2	sp 3	sp 4	sp 5	sp 6	(S)
	n_1	n_2	n_3	n_4	n_5		n
A	24	26	...	...	...	...	145
B	18	21	...	...	...	...	168
C	52	33	...	...	...	...	101
D	31	29	...	...	...	...	143
E	28	31	...	...	...	...	133

sp = especie; S = abundancia o número de individuos por comunidad

El formato de los cálculos para algunos de los índices fitosociológicos puede ser resumido por las siguientes expresiones:

n_i	$p_i = n_i/n$	p_i^2	$\log_2 p_i$	$p_i \cdot \log_2(p_i)$
n_1
n_2
n_3
n_4
...
...
$\Sigma n_i = n$	Σp_i	Σp_i^2		$\Sigma p_i \cdot \log_2(p_i)$

Citaciones Bibliográficas

- Bruce, D.; Schumacher, F.X. Forest mensuration. New York: McGraw-Hill, 1950. 483p.
- Chao, A. Nonparametric estimation of the number of classes in a population. Scandinavian Journal of Statistics, n.11, p.256-270. 1984.
- Chapman, H.H.; Meyer, W.H. Forest mensuration. New York: McGraw-Hill, 1949. 522p.
- Cochran, W.G. Técnicas de amostragem. Cambridge: 1962. 519p.
- Cottam, G. The phytosociology of an Oak Wood in south-western Wisconsin. Ecology, n.30, p.271-287. 1040
- Goodall, D.W. Quantitative aspects of plant distribution. Bil. Rev. n.27, p.194-245. 1952
- Harper, J.L. Population biology of plants. Londres: Academic Press, 1977. 892p.
- Hurlbert, S.H. The nonconcept of species diversity: a critique and alternative parameters. Ecology, n.52, p. 577-568. 1971.
- Hill, M.O. Diversity and evenness: a unifying notation and its consequences. Ecology v.54, n.2, p. 427-432. 1973
- Imaña-Encinas, J. Slides de aula da disciplina dendrometria. Brasília: Universidade de Brasília, 2011. 231p.
- Imaña-Encinas, J.; Silva, G.F. da; Kishi, I.T. Variáveis dendrométricas. Brasília: Universidade de Brasília, Depto. de Engenharia Florestal, 2002. 102p. (Comunicações Técnicas Florestais, v.4, n.1)
- Kent, M. Vegetation description and data analysis: a practical approach. 2ed. Londres: Wiley-Blackwell, 2011. 428p.
- Kershaw, K.A.; Looney, H.H. Quantitative and plant ecology. 3ed. Londres: Edward Arnold, 1985. 282p.
- Krebs, C.J. Ecology, the experimental analysis of distribution and abundance. New York: Harper Collins Publishers, 1995. 801p.

- Lamprecht, H. Silvicultura en los trópicos. Eschborn (Alemanha): Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit - GTZ, 1990. 335p.
- Magurran, A.E. Ecological diversity and its measurements. Princeton: University Press, 1988. 179p.
- Margalef, D.R. Information.. Theory in Ecology. General Systematics, n.3, p.36-71. 1958
- Meyer, H.A. Structure, growth and drain in balanced uneven-aged forests. Journal of Forestry, v.50, p.85-92, 1952
- Mueller-Dombois, D.; Ellenberg, H. Aims and methods of vegetation ecology. New York: Wiley, 1974. 547p.
- Oosting, H.J. The study of plant communities, an introduction to plant ecology. San Francisco, California: Freeman, 1956. 440p.
- Payandeh, B. Comparison of method for assessing spatial distribution of trees. Forest Science, v.16, p.312-317. 1990
- Pielou, E.C. Mathematical Ecology. New York: Wiley, 1977. 385p.
- Prodan, M.; Peters, R.; Cox F.; Real, P. Mensura forestal. San José, Costa Rica: IICA/GTZ, 1997. 586p.
- Raunkiaer, C. The life forms of plants and statistical plant geography. Oxford: Clarendon, 1934. 632p.
- Shannon, C.E.; Weaver, W. The mathematical theory of communication. Urbana (USA): University Illinois Press, 1949. 117p.
- Sobrerón, J., Llorente, J. The use of species accumulation functions for the prediction of species richness. Conserv. Biol, n.7, p.480-488, 1993.
- Sociedade Botânica do Brasil. Manual sobre métodos de estudo florístico e fitossociológico – Ecossistema Caatinga. sem local: 1992. 24p.
- Whittaker, R.H. Gradient analysis of vegetation. Biol. Rev. n.42, p.207-264. 1967.



Universidade de Brasília



Universidad Autónoma de Nuevo León



978-85-87599-36-0