

## Capítulo 3 Revisión de literatura

---

### 3.1 Bosque Mesófilo de Montaña



Figura 3.1 Bosque Mesófilo de Montaña.

El BMM (Figura 3.1) se encuentra en regiones montañosas en las que normalmente se encuentra neblina a la altura de la vegetación, en altitudes entre los 600 y los 2700 msnm. Dadas las condiciones climáticas que requieren estos bosques su distribución es altamente limitada y fragmentada. En México los BMM contribuyen con la menor extensión territorial de entre los tipos de vegetación que tenemos, con un área estimada que varía del 0.5% al 0.87%. El BMM es un bosque denso y por lo general alto que consta de dos o tres estratos y sotobosque arbustivo denso, el dosel está entre los 25 y los 35 metros

y el segundo estrato oscila entre los 5 y los 15 metros. Una de sus principales características es la presencia de epífitas y abundantes musgos, orquídeas, bromelias y aráceas. Es un ecosistema rico en especies endémicas, siendo de las comunidades vegetales más ricas en helechos a nivel nacional (Figura 3.2 – 3.4), (Bosque lluvioso de montaña, 2004).



**Figura 3.2** *Pinus oocarpa*



**Figura 3.3** *Oreopanax xalapensis*



**Figura 3.4** Helechos arborescentes.

La distribución geográfica del BMM en México va desde Tamaulipas hasta Oaxaca, ocupando fragmentos de los estados de San Luis Potosí, Hidalgo, Puebla, Guerrero, Veracruz y Chiapas. El clima dentro del BMM es por lo general húmedo y frío, la temperatura media anual oscila entre los 12°C y los 23°C, con una precipitación media anual que varía de los 1000 a los 5000mm. El relieve donde se presenta este tipo de vegetación es accidentado con laderas de fuerte pendiente y cañadas como componentes importantes. Los suelos son profundos en las barrancas y muy someros en las pendientes de gran inclinación, ricos en materia orgánica y están húmedos todo el año (Ecosistemas de México, 2004).

Las excelentes condiciones climáticas y edáficas del BMM permiten desarrollar con éxito cultivos de café, maíz y frijol, entre otros. Estas características han atraído al hombre a llevar a cabo actividades que ejercen una presión sobre éste ecosistema. En México, se han perdido más de la mitad de las áreas ocupadas por BMM. Globalmente, los BMM son uno de los ecosistemas más amenazados. Entre las actividades humanas que más los han perturbado se pueden mencionar: el cultivo intensivo del café y de los árboles frutales, además de la ganadería extensiva (Bosque mesófilo de montaña, 2004). Sin embargo, el café es una planta que puede producirse bajo sistemas de cultivo favorables para el medio ambiente. Enfrentando a la crisis de degradación de ecosistemas naturales por parte de la agricultura en México y el mundo, el sistema de cultivo rústico u orgánico de café es una buena alternativa para la conservación de la diversidad del BMM. Moguel y Toledo (1999) indican que las plantaciones tradicionales de café bajo sombra se sobreponen con, o están cerca de, áreas de gran diversidad biológica y predominan en las zonas cafetaleras en México. Así mismo, con base en la clasificación de áreas prioritarias para la conservación hecha por la CONABIO (2004), 14 de las 155 zonas identificadas por su alta diversidad

biológica son zonas de gran importancia en la producción cafetalera. El proyecto BIOCAFE-II explora esta alternativa en el centro del estado de Veracruz.

## 3.2 **Biología del café**

### 3.2.1 Generalidades

Clasificación taxonómica:

**Reino** Vegetal  
**Subreino** Angiosperma  
**Clase** Dicotiledónea  
**Subclase** Simpétala  
**Orden** Rubiales  
**Familia** Rubiaceae  
**Género** *Coffea*  
**Especies** *arabica, canephora*

De 25 a 40 especies constituyen al género *Coffea* en Asia y África tropicales. Este género forma parte de la tribu Coffeoideae en la familia Rubiaceae. Entre los géneros relacionados con ella de valor ornamental y/o económico se encuentran la Quina, Ixora, Pavetta y Gardenia (Cultivo del Café, 2004). Se cultivan 4 especies de café globalmente: *C. arabica* (90%), *C. canephora* (9%), *C. liberica* y *C. excelsa* (menos del 1%); de éstas especies existen innumerables variedades. Los principales productores de *C. arabica* a nivel mundial son Brasil, Colombia, México, Guatemala y El Salvador, (McGregor, 1976; & Free, 1993).

Un cafetal exige esfuerzo por parte del productor, ya que los cafetos son vulnerables a heladas, a calores intensos, a sequías y a enfermedades como la broca. Las características climáticas recomendadas por McGregor (1976) y por la CONABIO (2004) para un rancho de café son las siguientes: el rango de temperatura promedio se encuentra

entre los 15°C - 24°C, con una precipitación anual promedio de 1500 a 2500mm y una altitud entre los 600 y los 1200 metros de altitud. Se necesita de un periodo de 2 a 3 meses secos y muy calurosos para desatar la floración. Un cafeto comienza a dar frutos a los 4 años, alcanzando su máximo rendimiento a los 15 años y puede seguir dando durante 6 y hasta por 100 años más

### 3.2.2 Planta

La floración de *C. arabica* esta marcada estacionalmente, consumándose por lo general sólo cuándo hay tiempo húmedo. El tamaño y número de flores producidas dependen de las relaciones de agua prevalecientes. Un ambiente extremadamente húmedo puede causar la formación de flores estériles de color verdoso. Además, si se presentan lluvias durante la floración el cuaje de los frutos puede reducirse en forma considerable (Cultivo del Café, 2004).



Figura 3.5 Flores de *C. arabica*.

La flor mide aproximadamente 2.5cm de largo por 2.5cm de profundidad. Las flores se encuentran en grupos de 2 a 20 por nodo en las ramas de los cafetos. Cada flor tiene un cáliz con 5 segmentos, 5 pétalos blancos en forma de estrella, los cuales se unen en la base formando una corola cilíndrica y tubular (de 8.46mm de largo aproximadamente), 5 estámenes con filamentos cortos y anteras largas, un estilo delgado y largo con un estigma que se divide en 2 y un ovario inferior con dos cámaras, cada una con un óvulo (Figura 3.5 y 3.6). El polen, no pegajoso y producido en cantidades pequeñas, es liberado en cuanto la flor abre y el estigma es receptivo inmediatamente, las anteras se marchitan poco después. El néctar es secretado por el disco en la base de la corola (accesible y atractivo para muchos insectos). Las flores abren temprano en la mañana en días soleados, pero en días nublados permanecen cerradas. Pueden ser polinizadas por viento, insectos o autopolinizarse. Después de 2 ó 3 días empiezan a marchitarse. Aproximadamente el 40% de las flores producen frutos. El café presenta uno de los pocos casos de xenia, es decir, el efecto inmediato del polen en el endosperma como resultado de una doble fertilización en los géneros dicotiledóneos (McGregor, 1976; Free, 1993; & Cultivo del Café, 2004).

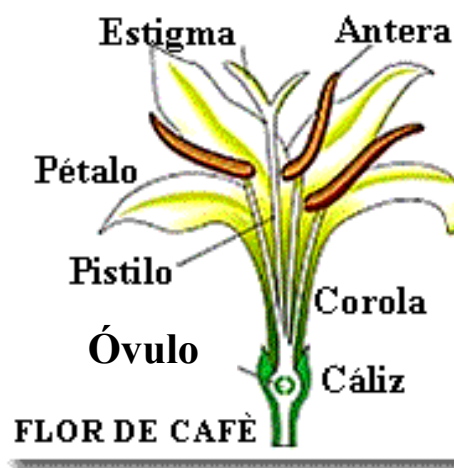


Figura 3.6 Flor de café (Espresseria - Die ganze Welt des Cafés).

El fruto es una drupa, mejor conocido como cereza. La cereza es oblonga – elíptica y mide alrededor de 1.5cm de largo. Primero presenta color verde, después color rojo y con el tiempo color azul o negro. Por cada 5 gramos de fruto húmedo se obtiene aproximadamente 1 gramo de café seco. El proceso para secar el café consiste en lavarlo, pelarlo, tostarlo, molerlo y empaquetarlo. Las semillas varían en tamaño, midiendo de 8.5 a 12.7mm de largo. Los frutos donde solamente se desarrolla uno de dos óvulos se conocen como caracolillos y son considerados de mala calidad (Figura 3.7 y 3.8), (McGregor, 1976; & Free, 1993, & Cultivo del Café, 2004).



Figura 3.7 Frutos maduros de *C. arabica*.

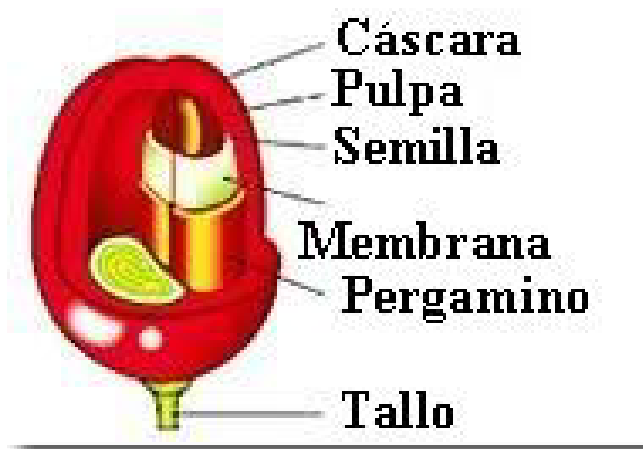


Figura 3.8 Fruto del café (Espresseria - Die ganze Welt des Cafés).

El café es un arbusto o árbol pequeño liso, de hojas lustrosas (Figura 3.9). Las hojas son relativamente chicas, midiendo de 12 a 15cm de largo y alrededor de 6cm de ancho. Éstas tienen forma oval o elíptica, acuminadas, cortas, agudas en la base, a veces onduladas y siempre vivas. Con el propósito de facilitar la cosecha el crecimiento de los árboles cultivados es limitado a 2 metros aproximadamente. (McGregor, 1976; & Free, 1993, & Cultivo del Café, 2004).



Figura 3.9 Árbol de *C. arabica*.



### 3.3 Polinización

#### 3.3.1 Polinización

McDonald (1930) (en Free, 1993) descubrió que las flores de *C. arabica* se polinizan dentro de las primeras 2 horas después de abrir, y después de 8hrs. el crecimiento del tubo polínico se completa y la fertilización ocurre. Normalmente la flor se marchita, pero si no es polinizada el marchitamiento es retrasado. *Coffea arabica* es auto fértil y no necesita ser polinizada por insectos, sin embargo diferentes experimentos mostraron que su producción aumenta cuando ocurre polinización cruzada (Roubik, 2002; Klein et al., 2003; Ricketts et al., 2004). Para *C. canephora*, *C. excelsa* y *C. liberica*, que son auto estériles, la polinización, ya sea por viento o por insectos, es indispensable en su reproducción. (Free, 1993).

Varios autores dicen que los insectos juegan un rol en la polinización del café, cada uno les atribuye una importancia diferente. En conjunto se señala que las abejas melíferas (*Apis mellifera* L.) son los polinizadores clave del café durante su floración. Nogueira-Neto et al. (1959) observaron que en los cafetales de Brasil la abeja melífera es la visitante más común de las flores de *C. arabica*, además observaron las siguientes especies de insectos visitando éstas flores: *Nannotrigona testaceicornis* (Lepeletier, 1836), *Plebeia spp.*, *Tetragona jaty*, *Trigona (Tetragonisea) angustula* (Lat.), *Trigona ruficrus* (Fabricius, 1793), *Mellipona quadrifasciata anthidioides* (Lep. 1836) y *Brachygastra augustii* (de Saussure, 1854). Las especies polinizadoras más importantes de *C. arabica* son *A. mellifera* y *Mellipona quadrifasciata anthidioides*. Por otro lado, Amaral (1972) observó a las siguientes especies de insectos visitando las flores de *C. Arabica*: *Trigona spinipes* (Fabr.), *Partamona testacea* (Klug, 1807) y *Xylocopa spp.* Roubik (2002) también da una

lista de las especies de insectos que visitan con más frecuencia las flores de dos variedades de *C. arabica*: *Apis mellifera* L., *Trigona nigerrima* Cresson, *T. (Tetragonisca) angustula*, *T. fulviventris* Guérin-Meneville, *T. corvina* Cockerell y *Bombus volucelloides* Gribodo. (McGregor, 1976; Free, 1993; Nates-Parra, 2001; & Roubik, 2002).

### 3.3.2 Polinizadores de *Coffea arabica*

*Apis mellifera* (Figura 3.10) es la visitante más común de *C. arabica* (Nogueira-Neto *et al.*, 1959; Free, 1993; Klein *et al.*, 2002; Ricketts, 2004). Esta abeja pertenece a la familia Apidae, única que presenta especies sociales. *A. mellifera* es una especie altamente eusocial, presenta formación de colonias, división del trabajo y castas (reina, machos y obreras). Ricketts (2004) observó que cuando la presencia de *A. mellifera* no es dominante otro visitante común de *C. arabica* es *Melipona quadrifasciata*, una abeja social sin aguijón. Por otro lado, se han observado abejas solitarias visitando y polinizando a *C. arabica*, aunque sus visitas no sean tan comunes (Free, 1993; Roubik, 2002; Klein, 2003).

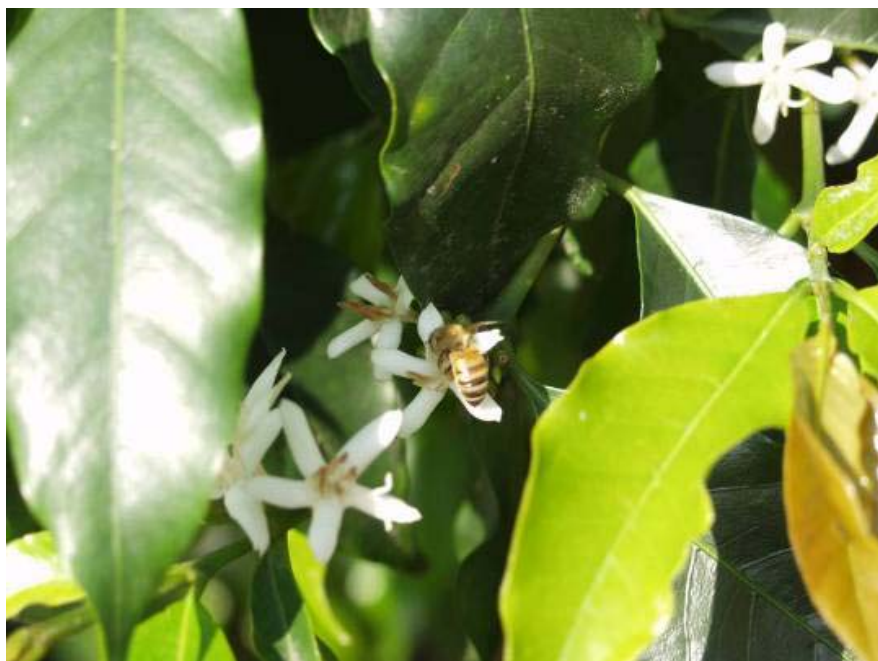


Figura 3.10 *Apis mellifera* en flor de *C. arabica*.

Los recursos florales más aprovechados por las abejas son el polen, como fuente de proteínas, y el néctar, como fuente de carbohidratos. El néctar de *C. arabica* contiene alrededor de 38% de azúcar (Nogueira-Neto et al., 1959), haciéndolo muy atractivo para los insectos. Como el café es una planta que sólo florece por 3 días, y en únicamente 3 ocasiones a lo largo del año, los insectos que aprovechan sus recursos florales probablemente sean polilécticos, es decir generalistas (usan una amplia variedad de especies de plantas). A pesar de esto, es interesante que tanto *A. mellifera* como *C. arabica* se hayan originado en la misma región de África, indicando una probable co-evolución entre ambas especies.

### 3.4 **Sistemas de Cultivo**

Ya que mi proyecto de investigación forma parte del proyecto BIOCAFE-II, utilicé la clasificación de sistemas de cultivo usada en este último. El diseño experimental de mi proyecto, así como el de BIOCAFE-II, está basado en la clasificación de sistemas de cultivo de Mogel y Toledo (1999), el cual señala cinco sistemas de cultivo a lo largo de un gradiente de intensificación agrícola (Figura 3.11). Estos sistemas de cultivo son (Moguel y Toledo, 1999):

I. Rustico (R): dosel original de BMM. Este sistema de cultivo substituye a las plantas y/o arbustos que naturalmente crecen en el suelo del BMM con cafetos. Solamente remueve el estrato más bajo del bosque, consecuentemente el dosel original se conserva.

II. Policultivo tradicional (PT): más de 5 especies diferentes y un dosel mayor a 10 metros de altura. Este sistema de cultivo representa el tipo de plantación de café que tiene el nivel más alto de manipulación del BMM original. Los cafetos son introducidos bajo el dosel nativo del BMM, junto con una variedad de otras especies de plantas útiles,

resultando en un sistema sofisticado que maneja especies tanto nativas como introducidas. Esto obviamente, favorece o elimina el crecimiento de ciertas especies de árboles.

III. Policultivo comercial (PC): de 3 a 5 especies incluyendo plátano y cítricos y un dosel igual o menor a 10 metros de altura. Este sistema de cultivo implica la eliminación total del dosel original y la introducción de árboles que proporcionen una sombra apropiada para la cafecultura. Este dosel introducido por lo general está constituido por tres especies de árboles que proveen sombra o que son comercialmente útiles. Las especies más comunes son: hule (*Castilla elástica*), pimienta (*Pimenta dioica* sp), cedro (*Cedrela odorata*), colorín (*Erythrina spp*), jinicuil y chalahuite (*Inga spp*).

IV. Sombra especializada (SE): dosel de una o dos especies. Este sistema de cultivo representa los cultivos modernos introducidos por INMECAFE en México. Árboles leguminosos (*Inga spp*) son utilizados exclusivamente para brindar sombra a los cafetos, obteniendo un sistema donde tanto el café como el dosel son monoespecíficos.

V. Café bajo sol (S): sin dosel. Este sistema, totalmente agrícola, no cuenta con ningún tipo de dosel, y los cafetos están expuestos directamente al sol.

Los cafetales rústicos y los policultivos tradicionales componen sistemas donde se cultivan, manejan, toleran o preservan una gran diversidad de especies útiles además del café, alrededor del 70% de la producción de café en México está compuesta por estos cafetales. Del 30% restante 20% está destinado a producción especializada (policultivo comercial o sombra especializada), mientras que 10% pertenece a los sistemas de cultivo bajo sol (CONABIO, 2004).

**Figura 2.** Los cinco sistemas de producción de café en México.

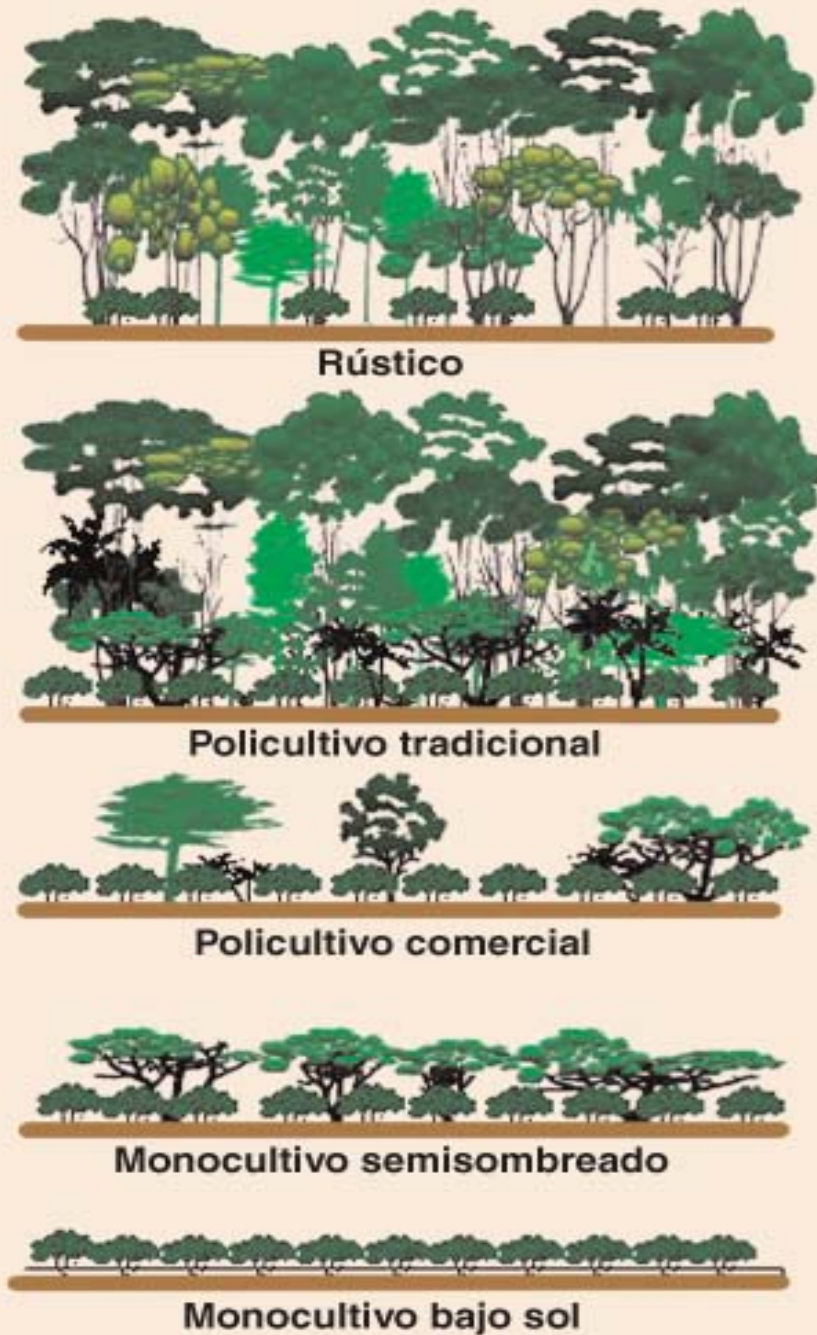


Figura 3.11 CONABIO (2004).

### 3.5 Diversidad y abundancia

¿Qué es la diversidad biológica? La diversidad esta compuesta de dos elementos: el número de especies (1) y la abundancia relativa de cada especie (dominancia/equitatividad) (2). Por lo tanto la diversidad biológica puede ser medida por el número de especies, por su abundancia relativa y/o por una medida que combine estos dos elementos (Magurran, 1988; & Moreno, 2001).

Cuadro 3.1 Resumen del desempeño y las características de un rango de estadísticas de diversidad.

Índice	Habilidad de discriminación	Sensibilidad al tamaño de la muestra	Riqueza o Dominancia /Equitatividad	Cálculo	¿Muy usado?
$\alpha$ (serie log)	Buena	Baja	Riqueza	Simple	Si
$\lambda$ (log normal)	Buena	Moderada	Riqueza	Complejo	No
Estatístico Q	Buena	Baja	Riqueza	Complejo	No
6S (riqueza específica)	Buena	Alta	Riqueza	Simple	Si
<b>Margalef</b>	<b>Buena</b>	<b>Alta</b>	<b>Riqueza</b>	<b>Simple</b>	<b>No</b>
<b>Shannon</b>	<b>Moderada</b>	<b>Moderada</b>	<b>Riqueza</b>	<b>Intermedio</b>	<b>Si</b>
Brillouin	Moderada	Moderada	Riqueza	Complejo	No
U de McIntosh	Buena	Moderada	Riqueza	Intermedio	No
<b>Simpson</b>	<b>Moderada</b>	<b>Baja</b>	<b>Dominancia</b>	<b>Intermedio</b>	<b>Si</b>
Berger-Parker	Pobre	Baja	Dominancia	Simple	No
Equitatividad de Shannon	Pobre	Moderada	Equitatividad	Simple*	No
Equitatividad de Brillouin	Pobre	Moderada	Equitatividad	Complejo	No
D de McIntosh	Pobre	Moderada	Dominancia	Simple*	No

Esta clasificación puede ser subjetiva y sólo válida al aplicarse a conjuntos de datos genuinos, y no a conjuntos de datos artificiales. La intención de ésta Cuadro no es clasificar definitivamente éstas medidas de diversidad, sino que resaltar sus ventajas y desventajas relativas. Las medidas de dominancia y equitatividad marcadas como Simple\* para calcular asumen que el índice principal en el que se basa su cálculo ya ha sido calculado. La columna de Riqueza o Dominancia/Equitatividad, señala si el índice se inclina bien hacia la riqueza de especies o hacia la equitatividad (dominancia) entre especies (Magurran, 1988).

Existen cerca de 50 índices para medir la diversidad, además de los modelos de abundancias relativas. Por lo que es muy importante saber qué aspecto de la diversidad se quiere medir y cuál es la manera más eficiente de lograrlo. La riqueza específica (S) y el

índice de Margalef son medidas simples pero muy eficientes (aunque dependientes del tamaño de la muestra). Por otro lado, los índices que consideran la abundancia proporcional de las especies en una comunidad son muy eficientes para comprender las relaciones entre la riqueza específica y la equitatividad, y no dependen del tamaño de la muestra. Depende el índice utilizado hacia donde se incline la balanza: riqueza de especies o equitatividad (Magurran, 1988; Moreno, 2001). Magurran (1988) proporciona un cuadro que permite discernir entre los principales índices de diversidad, ésta se presenta a continuación (Cuadro 3.1).