

Capítulo 4 Materiales y métodos

4.1 Descripción de los sitios de estudio

El estudio fue llevado a cabo en el mes de mayo del 2004, en las regiones alrededor de Huatusco, Teocelo y Coatepec, ubicadas entre las latitudes $19^{\circ}12'22''\text{N}$ y $19^{\circ}27'59''\text{N}$ y las longitudes $96^{\circ}53'04''\text{N}$ y $96^{\circ}59'17''\text{O}$, en el centro del estado de Veracruz, México (Figura 4.1). La región se caracteriza por extensas áreas agrícolas, con diferentes niveles de intensificación, intercaladas con algunos parches de BMM y otros tipos de hábitats seminaturales.



Figura 4.1 El área de estudio se encuentra en el centro del estado de Veracruz, México.

4.2 Diseño experimental:

4.2.1 Selección de Ranchos y de sitios de estudio

Se seleccionaron cuatro Ranchos de café, cada uno representativo de un sistema de cultivo diferente: El Mirador (R), Nestlé (PC), La Vequia (SE) y Teocelo (S). La selección de las Ranchos fue sencilla, ya que el proyecto BIOCAFE-II ya los había determinado como “Ranchos obligatorios” para muestrear. La selección de éstos Ranchos por parte del proyecto BIOCAFE-II se basó en el grado de representatividad del sistema de cultivo de cada Rancho. Una vez seleccionados los Ranchos se seleccionaron cuatro sitios por Rancho, aleatoriamente, para tener cuatro réplicas por sistema de cultivo.

El Mirador (R) (Figura 4.2)

El Mirador(R) se encuentra sobre la latitud 19°12'57''N y la longitud 96°53'07''O, a una altura de 1010msnm. Cuenta con una extensión de 74 hectáreas y está ubicada en la región de Huatusco. El Mirador tiene una antigüedad de 150 años. El sistema de cultivo en este Rancho es **rústico (R)** con cierto grado de policultivo tradicional, limita con un área de bosque relativamente conservado, con árboles mayores a los 10 metros de altura. El Mirador produce café de tipo orgánico (Base de datos Biocafé II, 2004).



Figura 4.2 Rancho El Mirador

Nestlé (PC) (Figura 4.3)

El Rancho Nestlé (PC), también conocido como La Orduña, se encuentra sobre la latitud $19^{\circ}27'59''N$ y la longitud $96^{\circ}56'03''O$, a una altura de 1200msnm. Cuenta con una extensión de 200 hectáreas. Este Rancho está ubicado en la región de Coatepec y tiene una antigüedad aproximada de 100 años. El sistema de cultivo de Nestlé está clasificado como **policultivo comercial (PC)**, aunque se pueden encontrar una amplia variedad de árboles más altos a 15m, por ejemplo *Ficus*, plátanos, cítricos, *Inga*, nacastle y casuarinas (Base de datos Biocafé II, 2004).



Figura 4.3 Rancho Nestlé

De la Vequia (SE) (Figura 4.4)

La Vequia (SE) está dividida en tres tipos de cultivo diferentes: sombra especializada, bajo monte y café estándar. En este proyecto sólo se hicieron observaciones en la sección de **sombra especializada (SE)**. La Vequia (SE) se encuentra sobre la latitud $19^{\circ}12'22''\text{N}$ y la longitud $96^{\circ}53'04''\text{O}$, a una altura de 1064msnm. Cuenta con una extensión de 100 hectáreas. Éste Rancho está ubicado en la región de Huatusco y tiene una antigüedad de 10 a 20 años. La Vequia (SE) está rodeada de cañaverales, está constituida

de cafetos grandes de aproximadamente 2 metros. Su cubierta vegetal tiene una altura menor a los 10 metros y esta compuesta mayormente por *Inga vera* y *Erythrina spp.* (Base de datos Biocafé II, 2004).



Figura 4.4 Rancho de la Vequia

Teocelo (S) (Figura 4.5)

Teocelo se encuentra sobre la latitud $19^{\circ}22'53''N$ y la longitud $96^{\circ}59'17''O$, a una altura de 1110msnm. Cuenta con una extensión de 132 hectáreas. Éste Rancho está ubicado en la región de Teocelo y lleva 16 años funcionando como cafetal **bajo sol (S)**, por lo que no se encuentra ningún árbol sembrado (Base de datos Biocafé II, 2004).



Figura 4.5 Rancho Teocelo.

4.2.2 Parámetros estudiados

Se midieron parámetros bióticos y abióticos. Los parámetros abióticos medidos en cada sitio fueron temperatura, latitud y longitud, altitud e intensidad luminosa. Para medir la temperatura se utilizó un termómetro ambiental, el cual se colocó a nivel del suelo y después de 20 minutos se registro la temperatura ambiental en centígrados, éste proceso se repitió tres veces por sitio. Las coordenadas y la altitud de cada sitio fueron tomadas por un sistema de posicionamiento global (GPS: Garmin eTrex de 12 canales). Para medir la intensidad luminosa se utilizó un luxómetro con un rango de sensibilidad de 0 a 200,000 luxes. Se tomaron 20 medidas de intensidad luminosa en el centro de cada sitio de estudio, cada medición se hizo al nivel del suelo y a 1.60 metros sobre el suelo, en días soleados

entre las 0900 y las 1500 horas. Sin embargo, solo se tomaron en cuenta las segundas mediciones debido a que la luminosidad que nos interesa es la que reciben los cafetos (un cafeto mide de 1.30 a 2.00 metros) no la que recibe el suelo. Además, al hacer las mediciones al nivel del suelo nos dimos cuenta de que la sombra de los propios cafetos estaba influyendo sobre la luminosidad medida.



Figura 4.6 Medición de la intensidad luminosa (Derecha: a 1.60 metros sobre el suelo, Izquierda: al nivel del suelo).

Los parámetros bióticos medidos fueron cobertura porcentual de herbáceas, árboles, y de cafetos en floración; y la distancia al parche de BMM más cercano. La cobertura porcentual de herbáceas fue obtenida por medio de comunicación personal con Ana María López (INECOL), quien también forma parte de BIOCAFE-II. Mientras que la cobertura porcentual, tanto de árboles como de cafetos en floración, fue estimada marcando un cuadrante imaginario de 10 metros cuadrados. Éste porcentaje fue estimado por las mismas cinco personas en cada sitio de estudio. La distancia al parche de BMM más cercano para cada sitio se calculó utilizando imágenes satelitales. Las imágenes utilizadas fueron IKONOS y Ortofotos, con las cuales se puede obtener una precisión de hasta 1 metro cuadrado por píxel.

4.2.3 Visitas florales

Al acercarse el pico de floración se hicieron observaciones diarias del estado de los botones en los cafetos, con el fin de poder maximizar el trabajo de campo llegado el pico de floración. Durante el pico de floración de *C. arabica* en cada Rancho se escogieron cuatro cafetos lejos de los bordes del Rancho, que estuvieran en plena floración. Cada árbol se observó durante 25 minutos entre las 9:00 y las 15:00 hrs. para medir la abundancia y la composición de los visitantes florales. Antes de cada observación focal se registró la hora y la fecha de la observación.



Figura 4.7 Área focal de observación.

Justo antes de comenzar una observación se trazó imaginariamente un área de observación focal, la cual abarcaba aproximadamente un 40% de las ramas del cafeto (Figura 4.7), entonces comenzaba a correr el tiempo de observación (25 minutos). Durante

las observaciones focales se registró la identidad de los insectos visitantes (morfoespecies), el número de individuos por especie, y de ser posible el comportamiento de cada individuo. Se tomaron fotos de los visitantes florales y se capturaron algunos ejemplares de cada morfoespecie observada para su futura determinación específica en laboratorio. Cabe mencionar que la captura de especímenes se llevó a cabo sin afectar el comportamiento de posibles visitantes, es decir lejos del área focal de observación o después del periodo de observación.

La presencia de abejas sobre una flor no quiere decir que tengan una función importante en la biología de las plantas. Así como el hecho de que las abejas utilicen los recursos florales no significa que sean polinizadoras efectivas. Por lo que en las observaciones se tomó en cuenta que los insectos efectivamente tuvieran un comportamiento que permitiera la polinización de las flores de *C. arabica* visitadas: se observó que todos los visitantes registrados tuvieron contacto con las partes sexuales de la flor visitada. Además, para el registro del comportamiento de los visitantes florales de *A. mellifera*, se notó si el individuo estaba o no colectando polen y/o néctar.

Ésta identificación se llevó a cabo principalmente por el Dr. Carlos Vergara de la Universidad de las Américas, Puebla. También se solicitó ayuda de el Dr. Cuautemoc Deloya, para la identificación del escarabajo (*Macroductylus fulvescens* Bortes 1887), y del Dr. Vicente Hernández, para la identificación de los dípteros (*Eristalis sp.*, *Toxomerus sp.*, *Syrphidae ge. 1*, *Bibionidae sciaridae* y *Tachinidae*), (ver fotos en el Apéndice 1), del departamento de Entomología del INECOL.

4.3 Análisis de datos

Los datos se dividen en dos categorías: factores dependientes y factores independientes. Los factores dependientes son los índices de diversidad obtenidos a partir de los datos registrados durante las observaciones focales. Mientras que los factores independientes son los datos de intensidad luminosa, distancia al parche de BMM más cercano y disponibilidad de recursos. Para conocer el efecto del sistema de cultivo sobre la diversidad y la abundancia de los insectos visitantes de *C. arabica*, es necesario correlacionar los factores dependientes con los independientes.

4.3.1 Factores dependientes

Para el análisis estadístico se escogieron, de acuerdo a las recomendaciones de Magurran (1988) (**Error! Reference source not found.**), tres medidas de diversidad: el índice de Margalef (D_{Mg}), el índice de Shannon (H') y el índice de Simpson (D_s). El índice de Margalef me permitió analizar puntualmente la relación entre el número de especies y los factores independientes (intensidad luminosa, disponibilidad de recursos y distancia al parche de BMM más cercano). Estos índices se calcularon para cada sitio y para cada Rancho, con los datos obtenidos durante las observaciones focales.

A continuación se resumen las fórmulas utilizadas para calcular estos índices de diversidad.

Índice de Margalef

$$D_{Mg} = (S - 1)/\ln N$$

Donde S es el número de especies observadas y N es el número total de individuos registrados.

Índice de Simpson

$$\lambda = \sum ((n_i (n_i - 1))/(N(N - 1))), D_s = 1/\lambda$$

Donde n_i es el número de individuos en la i -ésima especie y D_s es la diversidad según Simpson.

Índice de Shannon

$$H' = -\sum p_i \ln p_i$$

Donde p_i es la proporción de individuos en la i -ésima especie.

Se aplicó la “prueba de t” (Hutchenson, 1970) a los valores de H' obtenidos para conocer si existen diferencias significativas entre las muestras, con la siguiente fórmula:

Prueba de t

$$t = (H'_1 - H'_2) / (\text{var}H'_1 + \text{var}H'_2)^{1/2}$$

$$\text{var}H' = (\sum p_i (\ln p_i)^2 - (\sum p_i \ln p_i)^2) / N + (S-1) / 2N^2$$

$$\text{g.l.} = (\text{var}H'_1 + \text{var}H'_2)^2 / ((\text{var}H'_1)^2 / N_1 + (\text{var}H'_2)^2 / N_2)$$

Donde H'_1 es la diversidad de la muestra 1 y H'_2 es la diversidad de la muestra 2; $\text{var}H'_1$ es la varianza de la diversidad calculada para la muestra 1 y $\text{var}H'_2$ es la varianza de la diversidad calculada para la muestra 2; g.l. son los grados de libertad que se deben utilizar para obtener el valor de t calculada (t_c).

Una vez obtenidos el valor de t y los grados de libertad se comparó t calculada (t_c) con t de tablas (t_t). Cuando t_t es mayor que t_c , las diversidades de las muestras (es decir de

cada sitio) no difieren significativamente entre sí, mientras que si t_t es menor que t_c las diversidades de las muestras son significativamente diferentes. Se utilizó la probabilidad del 95% (0.05 en tabla) para la comparación y análisis de datos (Magurran, 1988; y Moreno, 2001).

4.3.2 Factores independientes

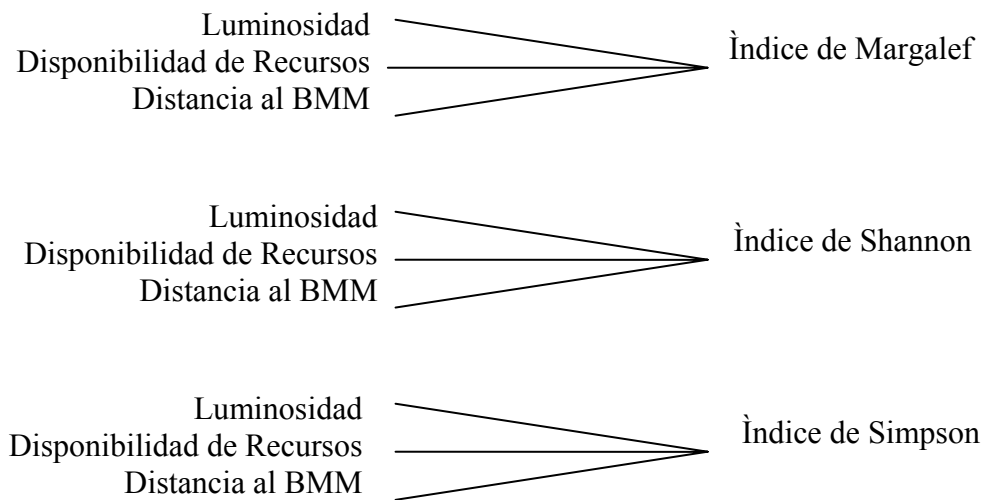
Se obtuvieron 20 medidas de intensidad luminosa para cada sitio de estudio. Estos datos se promediaron tanto para cada sitio como para cada Rancho. Los datos de distancia al parche de BMM más cercano se obtuvieron para cada sitio utilizando el programa Arc View Image Analysis (ERDAS 1998-2000), con la ayuda del M. en Sistemas Computacionales Antonio Razo. Los porcentajes de cobertura de cafetos (%C) y de árboles (%A) fueron estimados por cinco personas diferentes en cada sitio de estudio, mientras que los valores de cobertura de herbáceas (%H) se obtuvieron sólo para cada Rancho, y se aplicaron a cada sitio de estudio. Para obtener un valor de disponibilidad de recursos por sitio, estos porcentajes se procesaron según la siguiente fórmula:

$$(\%A + \%C + \%H) / 300 = \text{Disponibilidad de recursos}$$

4.3.3 Regresiones múltiples y correlaciones lineales

Los factores independientes son característicos según el sistema de cultivo en dónde se hayan medido, por lo que existe una variación de estos entre los diferentes Ranchos. Se obtuvieron 16 datos por factor, tanto dependiente como independiente (4 sitios x 4 Ranchos). Para conocer cómo afecta la variación de los factores independientes a la variación de cada uno de los factores dependientes, se hicieron tres regresiones lineales múltiples, una para cada índice de diversidad calculado. Entonces, se realizaron

correlaciones lineales simples entre el factor independiente más importante para cada factor dependiente y éste factor dependiente ([Vassar Stats](#), 2004).



Una vez obtenidos los tres índices de diversidad mencionados, tanto para cada Rancho como para cada réplica, se compararon y graficaron utilizando Microsoft Office Excel (Versión 2003). También se graficaron las correlaciones lineales entre los factores independientes más importantes para cada índice y el índice. Por último se analizó la relación entre los cuatro índices de diversidad calculados y el amarre, la retención y el tamaño de los frutos de café ubicados en los mismos sitios de estudio. Se graficaron las correlaciones significativas ($r \geq (+/-) 0.43$). Los datos de los frutos de *C. arabica* fueron obtenidos de Contreras J. y J. Paredes (2004), cuyo trabajo de tesis fue llevado a cabo simultáneamente con el mío, procurando que nuestros resultados fueran comparables ([Vassar Stats](#), 2004).