

5. Metodología

5.1 Área de Estudio

La determinación de las áreas verdes donde se llevó a cabo el muestreo de vegetación y la colecta de individuos se realizó con ayuda de mapas de la ciudad de Puebla (escala 1:50,000) del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). Algunos sitios también se localizaron a través de mapas Guía Roji de la Cd. de Puebla (Palacios Roji *et al.*, 2002). En estos mapas se identificaron las áreas verdes más sobresalientes (Anexo 1). Se formaron grupos de parques - grandes, medianos y pequeños - de acuerdo a las superficies de cada uno de ellos con el fin de facilitar el muestreo, asignando un número determinado de cuadrantes a cada categoría (Tabla 1). Los sitios debían cumplir con la característica de presentar una adecuada representación de densidad arbórea. Para corroborar esta peculiaridad se visitaron algunas de las áreas verdes urbanas para descartar aquellas que no cumplieran con las características propuestas.

El primer grupo, parques grandes (90 – 60 ha aprox.), estuvo conformado por el Centro Cultural Cinco de Mayo (FUERTES), la Universidad de las Américas Puebla (UDLA), la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP) y el Parque Ecológico (ECOL).

El segundo grupo, parques medianos (20-10 ha aprox.), estuvo conformado por el Panteón la Piedad (PIED) y el Panteón Municipal (PMUN).

Y el tercer grupo, parques pequeños (10-0.5 ha aprox.), estuvo integrado por el Parque Juárez (JUAR), el Paseo Bravo (BRAV), el Zócalo de Cholula (ZCHO) y el Zócalo de Puebla (ZPUE).

Además se tomó una referencia positiva, la Reserva Ecológica de Flor del Bosque (REF +), ubicada en Amozoc, al este de la ciudad de Puebla. Este sitio es un bosque de encinos aparentemente conservado que sirvió como punto de comparación para nuestros “bosques artificiales” (parques urbanos). La referencia positiva ayudó a establecer un gradiente de urbanización (McDonnell & Pickett, 1990) que incorpora en diferentes niveles el impacto humano sobre los ecosistemas urbanos.

La siguiente tabla muestra la superficie en hectáreas de cada parque urbano seleccionado, la clave y el número de cuadrantes (sección 5.2) muestreado en cada uno de ellos.

Tabla 1. Superficies y número de cuadrantes para cada parque urbano seleccionado.

Parques	Clave	Superficie (ha)	No.cuadrantes
Reserva Flor del Bosque	REF +	700.00	7
Ben. Univ. Autónoma Puebla	BUAP	86.38	7
Los Fuertes	FTES	74.63	7
Univ.de las Américas Puebla	UDLA	70.20	7
Parque Ecológico	ECOL	65.25	7
Panteón Municipal	PMUN	18.60	5
Panteón La Piedad	PIED	12.12	5
Parque Juárez	JUAR	6.38	3
Paseo Bravo	BRAV	3.83	3
Zócalo Cholula	ZCHO	1.90	3
Zócalo Puebla	ZPUE	1.06	3
Parque La Paz	LPAZ	0.64	3
			Total 70

5.2 Método en campo.

Una vez seleccionados los sitios de muestreo y con el objetivo de determinar la estructura de la vegetación arbórea y poder obtener índices de biodiversidad, se realizaron constantes muestreos de vegetación. El método utilizado para esto fue el de cuadrantes, en el cual se elige un área manejable de tamaño conocido y se muestrean todos los individuos dentro de ella. Este simple procedimiento es repetido en varios cuadrantes para obtener una adecuada representación de la comunidad (Brower *et al.* 1997).

El área definida para cada cuadrante fue de 20 x 20m, cubriendo así una superficie de 400 m² para cada uno de ellos. El marcaje de los cuadrantes se realizó utilizando un flexómetro y una brújula para la dirección de estos. Además se colocó una bandera cada 5 metros con el fin de resaltar el área muestreada (Fig. 2). El número de cuadrantes para cada parque urbano fue determinado de acuerdo a la superficie de cada uno de ellos. Así, para el primer grupo - parques pequeños- se realizaron 3 cuadrantes, cada uno de ellos de 400 m² cubriendo así 1200 m² ó 0.012 ha. Para el segundo grupo – parques medianos- se realizaron 5 cuadrantes, cubriendo un área de 2000 m² ó 0.020 ha. Y finalmente para el tercer grupo – parques grandes – se hicieron 7 cuadrantes, cubriendo un área de 2800 m² ó 0.028 ha (Tabla 1).



Figura 2. Marcaje de cuadrantes en la UDLA.

La cobertura de la vegetación es la proporción de área ocupada por la proyección vertical hacia el suelo desde las partes aéreas de una planta (Brower *et al.* 1997). Típicamente, se asume que la cobertura del dosel o follaje arbóreo está relacionada con el corte transversal del tronco (área basal, AB) o con el diámetro a la altura del pecho del tronco (DAP) (Barbour *et al.*, 1987). En cada uno de los cuadrantes se tomó el diámetro a la altura del pecho de todos los árboles dentro de cada cuadrante. El DAP se midió con una cinta especial que convierte automáticamente la circunferencia en unidades de diámetro. Se registraron los datos de aquellos individuos que tuvieron un diámetro mayor a 5 cm ($DAP \geq 5\text{cm}$).

Se identificaron las diferentes especies leñosas con la ayuda de guías florísticas (Rzedowski & Rzedowski , 1985) y del material didáctico del herbario del Departamento de Química y Biología de la UDLA. Cuando no se podían identificar directamente las especies, se colectaron los individuos con prensas botánicas, para posteriormente realizar fichas herbolarias y determinar las especies.

Con el objetivo de comprobar la relación positiva entre la cobertura de la copa y el DAP o el área basal (AB), se midió la cobertura de la copa (CC) de 9 a 25 individuos de las especies más abundantes. Se hicieron regresiones lineales tomando como variables el área basal y la cobertura de la copa. La manera de medir la cobertura arbórea (CC) fue midiendo con ayuda de un flexómetro el eje mayor y el eje menor de cada árbol.

5.3 Análisis de datos.

El análisis de datos consistió en cuatro partes. La primera parte es una forma descriptiva de medir la estructura de la vegetación. Ésta se analizó con base en el número de individuos y el área basal de cada especie arbórea presente dentro de cada cuadrante. El área basal se calculó a partir del diámetro a la altura del pecho (DAP). Se realizaron los siguientes cálculos de acuerdo con Brower *et al.* (1997).

La densidad (D) se refiere al número de individuos (n_i) dentro del área total muestreada (A), calculada para cada cuadrante y cada parque.

$$D_i = n_i/A$$

La densidad relativa de especies (RD) es el número de individuos de cierta especie (n_i) como una proporción del número total de individuos de todas las especies ($\sum n$). Fue calculada para cada parque,

$$RD_i = n_i / \sum n$$

La frecuencia absoluta (f) es la probabilidad de encontrar cierta especie dentro de una muestra (cuadrante), es decir, el número de cuadrantes en que apareció cada especie. Se calculó también la frecuencia absoluta de todas las especies presentes en cada parque,

$f_i = j_i/k$ donde j_i es el número de unidades de muestreo donde aparece la especie i , y k es el número total de unidades de muestreo (cuadrantes) en cada parque.

La frecuencia relativa (Rf) es la frecuencia de cierta especie (f_i) como la proporción de la suma de las frecuencias de todas las especies ($\sum f$),

$$Rf_i = f_i / \sum f$$

La cobertura (C) es la proporción de suelo ocupado por cierta especie de planta, es decir, el área total cubierta (área basal o el follaje de la copa) por la especie i . Ésta medida fue calculada para cada cuadrante y para cada parque. En este caso tendremos datos para dos tipos de cobertura, la del tronco (CT) o área basal (AB) y la de la copa del árbol (CC),

$$C_i = a_i/A \text{ donde } a_i \text{ es el área basal de cada especie.}$$

La cobertura relativa (RC_i) calculada para cada parque,

$$RC_i = C_i / \sum C$$

El valor de importancia (IV_i) se obtiene a partir de la suma de las tres medidas relativas, se calculó para cada parque,

$$IV_i = RD_i + Rf_i + RC_i$$

A partir del cálculo de los datos anteriores, se realizaron tres tipos de tablas, una para las densidades de las especies arbóreas (número medio de individuos/ ha) para cada uno de los parques, otra de las áreas basales (m^2/ha) y finalmente una para los valores de importancia (la suma de la densidad, frecuencia y cobertura relativa).

La segunda parte consistió en medir la relación entre el área basal y la cobertura de la copa (m^2). Se realizaron regresiones lineales para las especies más comunes dentro de los parques estudiados, con datos suficientes ($n > 9$) de cobertura de la copa y que fueran estadísticamente significativos ($P < 0.05$). A partir de estas regresiones lineales se obtuvieron gráficas que muestran la relación entre el área basal y la cobertura de la copa, la ecuación de la recta y la bondad del ajuste (R^2).

La tercera parte fue el análisis cluster que consiste en encontrar grupos de muestras basados en una apropiada medida de distancia. Este tipo de análisis produce un dendograma, donde las muestras similares se agrupan juntas. Grupos similares son combinados en “superclusters” y así sucesivamente (Hammer, 2002). Este tipo de análisis se realizó en el programa Paleontological Statistics ver. 1.06 (PAST). Se hicieron dos tipos de clusters. El primero se hizo con los datos de valores de importancia de todos los parques, utilizando como algoritmo el método UPGMA, y medida de similitud el coeficiente de correlación no paramétrico de Spearman (Rho). El segundo se hizo con los datos de abundancias para cada cuadrante de todos los parques,

usando el mismo algoritmo y coeficiente de similitud. El objetivo de hacer estos clusters era analizar la diversidad en los grupos de unidades de muestreo.

La última parte del análisis consistió en obtener las medidas de diversidad proporcionadas por el programa PAST. Las medidas de diversidad utilizadas fueron el número de taxones (S), el número de individuos (N), el índice de Shannon (H'), el índice de Simpson y la equitabilidad (J'). Estas medidas se obtuvieron con los datos de abundancia, pues maneja número de individuos y su interpretación es más sencilla. Posteriormente se realizó un análisis de varianza (ANOVA) con el programa StatSoft (1999), tomando como variables las medidas de diversidad y las diferentes asociaciones de grupos de parques o cuadrantes. Aquellas medidas que resultaron estadísticamente significativas ($P < 0.05$) se graficaron para observar el comportamiento de los diferentes grupos de parques o cuadrantes.