



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN URBANISMO

LOS SISTEMAS DE VERDES URBANOS Y SU INFLUENCIA EN LA CALIDAD DEL  
AIRE EN LA CIUDAD DE MÉXICO, 2011

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
MAESTRA EN URBANISMO

PRESENTA:

ANA LUISA IBARRA CACERES

TUTOR:

MTRA. CLAUDIA REYES AYALA  
FACULTAD DE ARQUITECTURA UNAM

MIEMBROS DEL COMITÉ TUTOR:

DR. JUAN MANUEL NÚÑEZ HERNÁNDEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍA UNAM

MTRO. JAIME RAMÍREZ MUÑOZ  
FACULTAD DE ARQUITECTURA UNAM

DRA. EMELINA NAVA GARCÍA  
FACULTAD DE ARQUITECTURA UNAM

DR. RAÚL LEMUS PÉREZ

CENTRO DE ESTUDIOS DEMOGRÁFICOS, URBANOS Y AMBIENTALES COLMEX

CIUDAD DE MÉXICO. DICIEMBRE DE 2017



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	7
I. ANTECEDENTES .....	9
CAPÍTULO 1. LOS SISTEMAS DE VERDES URBANOS Y LA CALIDAD DEL AIRE .....	18
1.1 DE LOS SISTEMAS, LAS CIUDADES Y LOS VERDES URBANOS .....	18
1.1.1 LA TEORÍA GENERAL DE SISTEMAS .....	18
1.1.1.1 Principales teorías y generalidades de sistemas .....	19
1.1.1.2 Particularidades de los sistemas.....	21
1.1.2 LA ECOLOGÍA COMO BASE TEÓRICA DE LOS ECOSISTEMAS URBANOS.....	23
1.1.2.1 Ecología urbana .....	27
1.1.2.2 Las ciudades entendidas como sistemas. Los ecosistemas urbanos .....	28
1.1.3 LOS SISTEMAS DE VERDES URBANOS .....	30
1.1.3.1 Los verdes urbanos .....	32
1.1.3.2 Los elementos vegetales individuales en las urbes .....	34
1.2 LA CALIDAD DEL AIRE .....	36
1.2.1 LA ATMÓSFERA TERRESTRE.....	38
1.2.1.1 Procesos de Dispersión .....	40
1.2.1.2 Procesos que forman parte de la autodepuración de la atmósfera .....	41
1.2.1.3 Factores que influyen en los niveles de contaminación atmosférica .....	43
1.2.2 PRINCIPALES CONTAMINANTES .....	48
1.2.2.1 El Dióxido de Nitrógeno, NO <sub>2</sub> .....	49
1.2.2.2 El Monóxido de Carbono, CO .....	50
1.2.2.3 El Dióxido de Azufre, SO <sub>2</sub> .....	51
1.2.2.4 Las Partículas Suspendidas (PM <sub>10</sub> y PM <sub>2.5</sub> ).....	53
1.2.3 EL Ozono, O <sub>3</sub> .....	54
1.2.3.1 El proceso de formación del Ozono, O <sub>3</sub> .....	55
1.2.3.2 Comportamiento típico del Ozono, O <sub>3</sub> .....	57
1.2.3.3 Efectos en la salud humana y otros seres vivos .....	57
1.2.3.4 La vegetación y sus efectos en la remoción del Ozono, O <sub>3</sub> .....	58

1.3 LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS: EL VÍNCULO ENTRE LA CALIDAD DEL AIRE Y LOS SISTEMAS DE VERDES URBANOS.....	59
1.3.1 LOS SISTEMAS DE VERDES URBANOS COMO UNIDADES DE PROVISIÓN DE SERVICIOS .....	61
1.3.1.1 Estudios de los efectos de la vegetación y los servicios de regulación de la calidad del aire..	63
1.4 CONCLUSIONES PARCIALES DEL CAPÍTULO .....	64
CAPÍTULO 2. ESTUDIO DE LA CIUDAD DE MÉXICO .....	66
2.1 ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE ESTADO DE LA CIUDAD DE MÉXICO.....	67
2.1.1 CLIMA.....	67
2.1.1.1 La rapidez y dirección del viento .....	68
2.1.1.2 La temperatura .....	68
2.1.1.3 La radiación solar .....	69
2.1.1.4 Ocurrencia de Inversiones térmicas.....	69
2.1.1.5 Humedad relativa y precipitaciones .....	70
2.1.2 ACTIVIDAD HUMANA EN LA CIUDAD DE MÉXICO .....	70
2.2 ELEMENTOS DEL ORDENAMIENTO JURÍDICO DE LOS SISTEMAS DE VERDES URBANOS Y LA CALIDAD DEL AIRE COMO FACTORES DE ESTADO DEL ECOSISTEMA DE LA CIUDAD DE MÉXICO.....	72
2.2.1 ORDENAMIENTOS JURÍDICOS EN RELACIÓN A LA CALIDAD DEL AIRE.....	72
2.2.1.1 Normas Oficiales Mexicanas .....	74
2.2.1.2 Programas .....	75
2.2.1.3 Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México (SIMAT) .....	77
2.2.1.4 Inventarios de emisiones contaminantes .....	77
2.2.2 ORDENAMIENTOS JURÍDICOS EN RELACIÓN CON LOS SISTEMAS DE VERDES URBANOS .....	78
2.2.2.1 Normas y Manuales.....	82
2.2.2.2 La PAOT .....	82
2.2.2.3 Inventario de Áreas Verdes 2009.....	83
2.3 SITUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE EN LA CIUDAD DE MÉXICO RESPECTO AL O <sub>3</sub> EN EL AÑO 2011 .....	83
2.3.1 CARACTERIZACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA.....	85
2.3.1.1 Patrones de comportamiento .....	85

2.3.1.2 Índice Metropolitano de la Calidad del Aire, IMECA .....	86
2.3.2 PRINCIPALES PROBLEMÁTICAS .....	86
2.4 SITUACIÓN DE LOS VERDES URBANOS EN LA CIUDAD DE MÉXICO .....	87
2.4.1 INVENTARIO DE LAS ÁREAS VERDES.....	87
2.4.1.1 Características de los verdes urbanos por delegación .....	88
2.4.2 PRINCIPALES PROBLEMÁTICAS .....	91
2.4.2.1 Los ordenamientos jurídicos y la planeación .....	92
2.4.2.2 La gestión de los verdes urbanos .....	92
2.4.2.3 La estructura de los sistemas de verdes urbanos.....	93
2.5 CONCLUSIONES PARCIALES DEL CAPÍTULO .....	94
CAPÍTULO 3. APLICACIÓN DE LA ESTADÍSTICA INFERENCIAL PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LA CALIDAD DEL AIRE Y LOS ATRIBUTOS ESTRUCTURALES DE LOS SISTEMAS DE VERDES URBANOS.....	
	98
3.1 CONFORMACIÓN DE LAS BASES DE DATOS.....	100
3.1.1 PUNTO DE PARTIDA.....	101
3.1.1.1 Base de datos de medición de concentración horaria de O <sub>3</sub> en la Ciudad de México de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA) del SIMAT.....	101
3.1.1.2 Inventario de áreas verdes del suelo urbano de la Ciudad de México desarrollado por la PAOT en el año 2009.....	103
3.1.1.3 Base de datos de colonias del suelo urbano de la Ciudad de México. Unidad de análisis. ...	105
3.1.1.4 Base de datos de manzanas de la Ciudad de México. Unidad de análisis. ....	106
3.1.2 CRITERIOS DE DEPURACIÓN DE LAS BASES DE DATOS Y LA SELECCIÓN DE LA MUESTRAS ALEATORIAS.....	106
3.1.2.1 Depuración de la base de datos de concentración horaria de O <sub>3</sub> .....	106
3.1.2.2 Depuración del Inventario de áreas verdes del suelo urbano de la Ciudad de México.....	111
3.1.2.3 Selección de la muestra aleatoria de la base de datos de colonias del suelo urbano de la Ciudad de México. ....	111
3.1.2.4 Selección de muestra de base de datos de manzanas de la Ciudad de México. ....	112
3.1.3 CONSTRUCCIÓN DE LAS VARIABLES DE LA BASE DE DATOS DE COLONIAS DEL SUELO URBANO DE LA CIUDAD DE MÉXICO PARA LA PRUEBA PARAMÉTRICA. ....	113
3.1.3.1 Variable Y. “Reducción de O <sub>3</sub> en una hora”.....	113
3.1.3.2 Variable X <sub>1</sub> . “Porcentaje de superficie de área verde respecto a la superficie del sistema de verdes urbanos”.....	114

3.1.3.3 Variable $X_2$ . “Porcentaje de superficie total de áreas verdes de tamaño menor o igual que 320 m <sup>2</sup> respecto a la superficie total de área verde del sistema de verdes urbanos”.	114
3.1.3.4 Variable $X_3$ . “Porcentaje de superficie total de áreas verdes de tamaño mayor a 320 m <sup>2</sup> y menor o igual a 960 m <sup>2</sup> respecto a la superficie total de área verde del sistema de verdes urbanos”.	115
3.1.3.5 Variable $X_4$ . “Porcentaje de superficie total de áreas verdes de tamaño mayor a 960 m <sup>2</sup> y menor o igual a 2800 m <sup>2</sup> respecto a la superficie total de área verde del sistema de verdes urbanos”.	116
3.1.3.6 Variable $X_5$ . “Porcentaje de superficie total de áreas verdes de tamaño mayor a 2800 m <sup>2</sup> y menor o igual que 11520 m <sup>2</sup> respecto a la superficie total de área verde del sistema de verdes urbanos”.	116
3.1.3.7 Variable $X_6$ . “Porcentaje de superficie total de áreas verdes de tamaño mayor que 11520 m <sup>2</sup> respecto a la superficie total de área verde del sistema de verdes urbanos”.	117
3.1.3.8 Variable $X_7$ . “Tipo de vegetación predominante según su estrato”.	117
3.1.3.9 Variable $X_8$ . “Porcentaje promedio de área verde por manzana”.	118
3.1.3.10 Variable $X_9$ . “Distancia mínima promedio entre áreas verdes”.	118
3.1.4 CONSTRUCCIÓN DE LAS VARIABLES DE LA BASE DE DATOS DE MANZANAS PARA LAS PRUEBAS NO PARAMÉTRICAS.	119
3.1.4.1 Variable $Y$ . “Reducción de $O_3$ en una hora”.	119
3.1.4.2 Variable $X_1$ . “Porcentaje de superficie de área verde respecto a la superficie del sistema de verdes urbanos”.	120
3.1.4.3 Variable $X_2$ . “Tipo de vegetación predominante según su estrato”.	120
3.1.4.4 Variable $X_3$ . “Distancia mínima promedio entre áreas verdes”.	121
3.2 PRUEBAS PARAMÉTRICAS. MODELO DE REGRESIÓN LINEAL.	121
3.2.1 DEFINICIÓN DEL MODELO ESTADÍSTICO.	122
3.2.2 ANÁLISIS DE REGRESIÓN LINEAL.	122
3.2.2.1 Resultados del análisis.	125
3.2.3 CONCLUSIONES DEL MODELO APLICADO.	127
3.3 PRUEBAS NO PARAMÉTRICAS. EL COEFICIENTE DE CORRELACIÓN $T$ DE KENDALL DE RANGOS ORDENADOS Y EL COEFICIENTE DE CORRELACIÓN $Rho$ DE SPEARMAN DE RANGOS ORDENADOS.	128
3.3.1 DEFINICIÓN DEL MODELO ESTADÍSTICO.	128
3.3.2 COEFICIENTE DE CORRELACIÓN $T$ DE KENDALL DE RANGOS ORDENADOS.	130
3.3.2.1 Resultados del análisis.	131
3.3.3 COEFICIENTE DE CORRELACIÓN $Rho$ DE SPEARMAN DE RANGOS ORDENADOS.	132
3.3.3.1 Análisis del Coeficiente de Correlación $Rho$ de Spearman entre la variable dependiente $Y =$ “Reducción de $O_3$ en una hora” y la variable independiente $X_1 =$ “Porcentaje de superficie de área verde respecto a la superficie del sistema de verdes urbanos”.	133

3.3.3.2 Análisis del Coeficiente de Correlación Rho de Spearman entre la variable dependiente $Y =$ “Reducción de $O_3$ en una hora” y la variable independiente $X_2 =$ “Tipo de vegetación predominante según su estrato”.....	134
3.3.3.3 Análisis del Coeficiente de Correlación Rho de Spearman entre la variable dependiente $Y =$ “Reducción de $O_3$ en una hora” y la variable independiente $X_3 =$ “Distancia mínima promedio entre áreas verdes”.....	134
3.3.4 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS CON UN POSIBLE MODELO DE REGRESIÓN LINEAL.	135
3.3.4.1 Resultados del análisis.....	136
3.3.5 CONCLUSIONES DE LAS PRUEBAS REALIZADAS.....	138
3.4 CONCLUSIONES PARCIALES.....	140
CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES GENERALES.....	145
CAPÍTULO 5. RECOMENDACIONES.....	149
REFERENCIAS.....	155
BIBLIOGRAFÍA.....	159
ANEXO 1. Base de datos con unidad de análisis a nivel de colonia.....	166
ANEXO 2. Base de datos con unidad de análisis a nivel de manzana.....	179

## TABLA DE ILUSTRACIONES, GRÁFICOS Y TABLAS

Ilustración 1 Mapa de localización de las estaciones de monitoreo de la RAMA .....	102
Ilustración 2 Mapa de tamaño de áreas verdes en el suelo urbanos de la Ciudad de México.....	104
Gráfico 1 Enfoque de Servicios Ecosistémicos.....	60
Gráfico 2 Proceso de análisis mediante la estadística inferencial .....	98
Gráfico 3 Organigrama de procesos de restricción aplicados a la base de datos de concentraciones horarias de O3 Fuente: Elaboración propia .....	107
Gráfico 4 Comportamiento de las variables meteorológicas temperatura, velocidad de viento y precipitación para el mes de diciembre del año 2011 .....	109
Tabla 1 Clasificación de las áreas verdes según su tamaño .....	103
Tabla 2 Clasificación de las áreas verdes según el estrato de la vegetación.....	105
Tabla 3 ANOVA resultado del análisis de regresión lineal.....	125
Tabla 4 Resumen del análisis de regresión lineal.....	126
Tabla 5 Coeficientes del modelo .....	126
Tabla 6 Correlaciones T de Kendall .....	131
Tabla 7 Correlaciones Rho de Spearman para las variables Y y X <sub>1</sub> .....	133
Tabla 8 Correlaciones Rho de Spearman entre las variables Y y X <sub>2</sub> .....	134
Tabla 9 Correlaciones Rho de Spearman entre las variables Y y X <sub>3</sub> .....	135
Tabla 10 ANOVA resultado del análisis de regresión lineal para la unidad de análisis a nivel de manzana .....	137
Tabla 11 Resumen del análisis de regresión lineal para la unidad de análisis a nivel de manzana ..	137
Tabla 12 Coeficientes del modelo para la unidad de análisis a nivel de manzana.....	137

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo trata sobre los sistemas de verdes urbanos y su influencia en la calidad del aire, de modo que establezcamos una relación entre estas dos variables. Para ello estudiamos el caso de la Ciudad de México, en el marco temporal del año 2011.

La Teoría General de Sistemas y algunos elementos de la teoría de la ecología nos aportan el enfoque necesario para entender toda la vegetación presente en las urbes como uno de los sistemas componentes del ecosistema urbano. A Partir de ahora nos referiremos a la vegetación como los verdes urbanos. También nos apoyamos en el enfoque de servicios ecosistémicos urbanos, comprendido desde la ecología urbana, pues nos vincula la calidad del aire con los sistemas de verdes urbanos.

La selección de este tema parte de cuatro cuestiones fundamentales. Las dos primeras se refieren a situaciones generales de la investigación, las cuales consideramos no han permitido potenciar los servicios que entregan los sistemas de verdes urbanos. La tercera y la cuarta aluden a condiciones específicas de la Ciudad de México, que hacen que tener evidencia empírica sobre la ciudad sea indispensable para propiciar los cambios.

En primer lugar, la mayoría de los estudios sobre los servicios ecosistémicos de regulación de la calidad del aire se realizan en relación con los ecosistemas forestales o en bosques urbanos. Esto ha excluido de los estudios a la mayoría de los verdes urbanos.

En segundo lugar, se trata del tipo, la escala y el nivel de organización ecológica, desde los cuales generalmente se han abordado los estudios que relacionan la vegetación y la calidad del aire. Aunque hay investigaciones que abordan la temática de la descontaminación atmosférica por la vegetación, la mayoría de estos trabajos son modelos, los cuales predicen los efectos que pueden tener los elementos arbóreos para absorber determinadas cantidades de contaminantes, tomando como unidad de análisis una ciudad o un parque determinado.

En tercer lugar, y refiriéndonos ya a la Ciudad de México, no existe un enfoque ecosistémico e integrador en la planeación urbana que considere la vegetación como un importante componente de las ciudades y de gran valor para estas por los servicios ecosistémicos que genera. Y, en cuarto lugar, la Ciudad de México está catalogada como una de las ciudades más contaminadas del mundo principalmente por sus elevadas concentraciones de O<sub>3</sub>.

A partir de estos cuatro elementos, nuestra investigación es, ante todo, de tipo exploratorio. En primer lugar, porque no se han definido las escalas de los sistemas de verdes urbanos, así como tampoco sus atributos estructurales. En segundo lugar, tomando como punto de partida que no se han definido sistemas de verdes urbanos, porque no se han podido relacionar estas unidades de análisis con concentraciones reales que afectan al sistema y no a valores generales en toda una ciudad. No obstante, también es de carácter explicativo, pues explicamos la relación causa-efecto en el comportamiento de las variables de análisis.

Para desarrollar la investigación nos basamos en el análisis de variables cuantitativas, con soporte en la recolección y construcción de datos en escala de razón fundamentalmente. A través de pruebas paramétricas y no paramétricas de la Estadística Inferencial Explicativa, determinamos la relación entre la variable dependiente: *Reducción de Ozono (O<sub>3</sub>) en una hora*, como indicador de la calidad del aire; y las variables independientes, definidas por los atributos estructurales de los sistemas de verdes urbanos.

Con la presente investigación pretendemos, en primer lugar, identificar mediante evidencia empírica cuáles son los atributos estructurales de los sistemas de verdes urbanos que están relacionados con la calidad del aire, y que les permiten brindar mayores beneficios mediante los servicios de regulación de la calidad del aire.

En segundo lugar, aspiramos a aportar información valiosa sobre una escala de análisis adecuada que permita relacionar la calidad del aire y los atributos estructurales de los sistemas de verdes urbanos en una sola unidad, que arroje información valiosa. Dicha evidencia nos permite, por una parte, tener un sustento que acompañe la sugerencia de adoptar un enfoque ecosistémico en la planeación, gestión y diseño de los verdes urbanos. Y, por otra parte, podemos incitar el estudio

de otros servicios ecosistémicos desarrollados por las áreas verdes y otras unidades de provisión en las ciudades mexicanas.

En tercer lugar, y a partir de los resultados obtenidos con las pruebas estadísticas, desarrollamos un conjunto de recomendaciones para la investigación y planeación, sobre y de los sistemas de verdes urbanos para la Ciudad de México.

Y, finalmente, en cuarto lugar, como una contribución indirecta, consideramos que, si se pudieran estructurar los sistemas de verdes urbanos, de acuerdo con los atributos que influyen en la reducción de la concentración de O<sub>3</sub> en el aire, se podrían disminuir los daños provocados por las concentraciones elevadas de este contaminante atmosférico en la salud humana y de otros organismos vivos, así como la propia vegetación.

## **I. ANTECEDENTES**

Una de las tendencias más recientes en los estudios urbanos apuntan hacia la planeación y comprensión de las ciudades con un enfoque ecosistémico. Las principales organizaciones internacionales han sido las impulsoras de esta tendencia con base en las problemáticas ambientales que se han experimentado a nivel global, y que han llevado a la búsqueda de la tan renombrada sostenibilidad.

Este enfoque adquiere una mayor relevancia cuando tomamos en consideración el crecimiento tendencial de las poblaciones urbanas. En la actualidad, varios autores plantean que más de la mitad de la población mundial reside en ciudades y que el aumento anual oscila sobre los 67 millones de personas (Pickett, S. T. A., et al., 2011). Garza (2010) plantea que en México la población urbana era del 77.3%. En la Ciudad de México, según las estimaciones que realiza el CONAPO para la elaboración del Índice de Marginación<sup>1</sup>, la población que no vivía en localidades urbanas en el año 2010 era del 0.67%, lo cual cuantifica a la población urbana en el 99.33% del total.

---

<sup>1</sup> Este índice que calcula el CONAPO se basa en los datos del Censo de Población y Vivienda del año 2010, que realiza INEGI. El índice se compone de varios indicadores entre los que se encuentra el "Porcentaje de población en localidades menores de 5000 habitantes con respecto a la población total".

Por otra parte, se ha producido un crecimiento de la población y de la mancha urbana. Aunque es importante acotar que el crecimiento de ambas variables no ha sido proporcional: la mancha urbana se ha expandido a tasas superiores que las de la población. Por ejemplo, en los EE.UU., entre el año 1982 y 1997, mientras que el crecimiento poblacional fue del 17.02%, la mancha urbana creció en un 47.14% (Benedict, M. A. & McMahon, E. T., 2001). Esto evidencia un modelo de crecimiento expansivo, que en el caso de la Ciudad de México ha llevado a la constitución de la Zona Metropolitana del Valle de México. Si bien esta en el año 1970, cuando se delimitó por primera vez, se constituía por 15 delegaciones de la Ciudad de México y 8 municipios del Estado de México, en el año 2010 ya se conformaba por 16 delegaciones de la Ciudad de México, 59 del Estado de México y 1 de Hidalgo (INEGI, CONAPO, & SEDESOL, 2012).

A este modelo expansivo se le une la falta de planificación. "Cuando la expansión física de una urbe no ocurre de manera planificada, da lugar a ciudades fragmentadas, con desequilibrios regionales que las hacen vulnerables a cualquier perturbación del ambiente" (Mohar, 2016, p. 41). Las zonas centrales de la Ciudad de México ya no tienen disponibilidad de suelo, por lo cual el crecimiento, desde aproximadamente el año 2005, se está dando hacia la zona sur donde se encuentra el suelo de conservación (Mohar, 2016). Esto ha implicado la pérdida de muchas áreas verdes, constituyentes de los ecosistemas forestales que entregan importantes servicios ecosistémicos. "Se calcula que los asentamientos irregulares han ocasionado la pérdida de cientos de hectáreas de bosque; Milpa Alta, Tlalpan y Xochimilco son las delegaciones más afectadas ya que concentran el mayor número de ellos" (Mohar, 2016, p. 64).

Estas tendencias de pérdida de ecosistemas forestales por los acelerados procesos de urbanización<sup>2</sup> y el cambio de uso de suelo se han dado de manera bastante general

---

<sup>2</sup> En términos de la investigación sobre los ecosistemas, se ha empleado el concepto de impulsores para referirse a los factores que influyen en el cambio de los ecosistemas. En el sentido de la pérdida de superficie de los ecosistemas boscosos, los principales impulsores del cambio son tanto el crecimiento poblacional como el incremento en el consumo, los subsidios del gobierno a la actividad extractiva de madera y la tenencia insegura de estos territorios. (Millenium Ecosystem Assessment, 2005).

a nivel mundial. No obstante, según varios autores, los países en vías de desarrollo han tenido pérdidas de superficie mayores en términos relativos. Mientras en los países desarrollados, desde 1980 y hasta finales de la década del 90, se dio un incremento ligero del 2.7% en las superficies boscosas; en los países en vías de desarrollo en el mismo período se redujeron al menos en un 10% (WRI, 2000).

Diversos estudios han analizado esta situación en la Ciudad de México. Mohar (2016) plantea que como parte de su estudio se podía afirmar que el suelo de conservación en la Ciudad de México había tenido pérdidas de superficies forestales, con una superficie aproximada de la mitad de su área en un lapso de 24 años.

La pérdida de superficie de los ecosistemas forestales ha traído como consecuencia la degradación de los servicios ecosistémicos que ellos proveen<sup>3</sup>. Sin embargo, sobre dicha degradación también ha ejercido una gran influencia el incremento en los hábitos de consumo, porque ejerce una mayor demanda sobre los servicios ecosistémicos. Por tanto, la modificación de los ecosistemas y el exceso de sus capacidades para proveer servicios son los principales causantes de las modificaciones de los servicios ecosistémicos (Millenium Ecosystem Assessment, 2005).

Aproximadamente el 60% de los servicios ecosistémicos examinados durante la Valoración de los Ecosistemas del Milenio están siendo degradados o usados de manera insostenible, incluyendo las aguas dulces, la pesca de captura, la purificación del aire y el agua, y la regulación del clima regional y local, peligros naturales, y plagas. (Millenium Ecosystem Assessment, 2005, p. 1)

Si bien se han realizado numerosos estudios para evaluar los ecosistemas y los servicios que proveen, entre ellos la *Evaluación de los Ecosistemas del Milenio*, la gran mayoría se han enfocado en el análisis de los ecosistemas naturales, pues se

---

<sup>3</sup> Además de la degradación de los servicios ecosistémicos que los ecosistemas forestales entregan, existe otra consecuencia y es la liberación de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, lo cual provoca el incremento de la contaminación. El IPCC (citado por WRI, 2000), plantea que la liberación de CO<sub>2</sub> por parte de los cambios de uso de suelo, representa alrededor del 20% de las emisiones anuales totales.

considera que los ecosistemas urbanos no tienen la misma capacidad para entregar servicios, por las condiciones particulares impuestas por la urbanización. “Los ecosistemas urbanos, a diferencia de los ecosistemas naturales, son altamente modificados, con edificios, calles, vialidades, lotes de parqueo y otras construcciones artificiales que forman una gran impenetrable cubierta de suelo” (WRI, 2000, pp. 141-142). Todo esto indica y enfatiza la necesidad de su evaluación.

La vegetación urbana está sometida a un constante estrés. Esto se debe a algunas condiciones propias de las urbes, como la elevada carga de contaminación atmosférica, el exceso de superficies pavimentadas, la abundante presencia de estructuras físicas que impiden su relación con el sol, entre otras cuestiones.

Además, generalmente los verdes urbanos se constituyen por espacios residuales de antiguos bosques que han quedado fragmentados. En muchos casos no son resultado de una intención de planificación o conservación.

Los árboles en el bosque encuentran su hábitat ecológico normal, por lo que debe esperarse un mayor esfuerzo (stress) en los árboles urbanos que, en los forestales, pues tienen que ocupar un nicho ambiental tan hostil como lo es una calle y luchar contra muchas influencias perjudiciales a su desarrollo y longevidad. (Benavides Meza, H. M., 1989, p. 970)

En este sentido, Pickett, S. T. A., et al. (2011) refieren que los bosques urbanos<sup>4</sup> secuestran mucho menos carbono que lo que logran los bosques naturales.

No obstante, los estudios que se han desarrollado al respecto han permitido demostrar que sí se obtienen servicios de los ecosistemas urbanos. La WRI (2000) afirma que tanto los ecosistemas naturales, como los que han sido creados artificialmente por el hombre, producen servicios, los cuales benefician directamente a la población.

---

<sup>4</sup> Bosques urbanos es el concepto que utiliza el autor Benavidez Meza para definir la vegetación urbana. En este punto no abordaremos más sobre ello porque el concepto será analizado en el apartado dedicado a los sistemas de verdes urbanos.

La investigación de los ecosistemas urbanos y sus servicios se considera aún muy reciente. Hasse, et al. (2014) realizaron un estudio para cuantificar los trabajos sobre la evaluación de los servicios ecosistémicos urbanos. Como resultado, demostraron que casi la mitad de las investigaciones sobre servicios ecosistémicos se refieren a los de regulación. Como parte de sus conclusiones plantean que "Las aplicaciones prácticas, los métodos apropiados para identificar y cuantificar los servicios individuales, los modelos adecuados, los indicadores y la integración de los componentes del sistema son aún necesarios" (Hasse, et al., 2014, p. 424).

Los estudios de los servicios que desarrolla la vegetación en los ecosistemas urbanos generalmente se han referido a los elementos individuales. Tal es el caso del desarrollo de modelos como el UFORE y el i-Tree Eco del Servicio Forestal de EE.UU.

Ambos modelos calculan la remoción de contaminantes atmosféricos y secuestro de carbono, en el primer caso en función de la superficie foliar, y el segundo, en función de la estructura del arbolado. En el caso del modelo i-Tree Eco, fue empleado en la Ciudad de Barcelona para determinar cómo influía el arbolado urbano en la calidad del aire y en mitigar los efectos del cambio climático, y los datos de contaminación fueron tomados directamente de las emisiones (Baró, F., Chaparro, L., Gómez-Baggethun, E., & Langemeyer, J., 2014).

Además, como afirman Hasse, et al. (2014) estas metodologías de evaluación de los servicios ecosistémicos se realizan, en la mayoría de los casos, a escalas de ciudad. O bien se realizan a la escala de unidades de provisión de servicios,<sup>5</sup> que puede ser el caso de un parque, o una ribera, como lo desarrolla el estudio de Vásquez, A. E. (2016). Hasta el momento no se ha determinado la escala adecuada para el estudio de los sistemas de verdes urbanos.

De modo general, en términos de sistemas de verdes urbanos y los servicios que generan no existe una abundancia de investigaciones. Pero algunos autores sí han planteado la importancia de su configuración, con base en su distribución y

---

<sup>5</sup> Esta categoría es trabajada en el cuerpo teórico conceptual de los Servicios Ecosistémicos, por ello lo emplearemos como parte del marco teórico de la investigación, y allí será definido.

conectividad, incluso, han dejado claro que es más efectiva una adecuada configuración del sistema que el simple hecho de incrementar las superficies de áreas verdes (Mohar, 2016). También hay autores que refieren la importancia del tamaño de las áreas verdes y su influencia en la regulación del clima local (Szumacher, I. & Malinowska, E., 2013).

En México, el empleo del concepto “servicios ecosistémicos” también es reciente aún, según fue planteado por la Balvanera<sup>6</sup> (2013) en el Seminario sobre el Valor de los Servicios Ecosistémicos en las Áreas Naturales Protegidas de México. La mayoría de las investigaciones que encontramos al respecto se refieren a los servicios generados por los ecosistemas naturales. La propia Balvanera (2012) pone parte del peso de los servicios ecosistémicos en la biodiversidad, tal y como sucede con otras investigaciones internacionales, según plantean Haase, et al. (2014).

Todas las situaciones anteriormente expuestas apuntan hacia la importancia del estudio de la vegetación de las ciudades como sistemas de verdes urbanos, componentes del ecosistema urbano, así como de los servicios ecosistémicos que generan. Esto partiendo de los siguientes argumentos:

1. Porque el enfoque de los estudios de la vegetación con base en los aportes de los individuos arbóreos y la insuficiencia de estudio de los servicios ecosistémicos en las urbes deja una brecha en el papel que desempeña el conjunto de vegetación que conforma las ciudades. Este conjunto de vegetación realiza funciones propias, lo cual obligatoriamente nos lleva a la necesidad de entenderlo como un sistema, tanto para su comprensión teórica como para la planeación. Además, tampoco existe una escala determinada para su estudio. En la investigación que considera los conjuntos de vegetación o de áreas verdes, generalmente no se refleja claridad en la necesidad de

---

<sup>6</sup> La Dra. Patricia Balvanera es investigadora del Centro de Investigaciones en Ecosistemas de la Universidad Nacional Autónoma de México.

conocer los atributos estructurales, funcionales y de composición de los sistemas de verdes urbanos.

2. Porque el crecimiento de la mancha urbana representa una fuerte presión sobre la vegetación, no solo en ecosistemas naturales, sino también en la que se encuentra inserta en la trama urbana. Ello implica, además, unos sistemas de verdes urbanos con mayor fragmentación.
3. Porque la pérdida de superficie de los ecosistemas forestales y la degradación de los servicios que entrega pone en los sistemas de verdes urbanos el peso de la necesidad de brindar dichos servicios.
4. Porque la mayoría de la población vive (crecimiento poblacional), y la tendencia indica que vivirá, en ciudades y, por lo tanto, es allí donde se requerirá el mayor aporte de los servicios ecosistémicos y, para ello, unos sistemas de verdes urbanos adecuadamente estructurados para ser capaces de generarlos.

No obstante, cada ciudad posee condicionantes propias, que impulsan una mayor demanda de servicios sobre otros. Para priorizar cuáles son más importantes, TEEB (2011) propone una matriz en la cual los servicios que tengan mayor demanda, y a la vez mayor presión, obtengan prioridad.

En el caso de la Ciudad de México, el servicio de regulación de la calidad del aire se encuentra bajo una elevada demanda, dadas las altas concentraciones de contaminantes atmosféricos, sobre todo de O<sub>3</sub>. Un estudio reciente que tomó muestras de las concentraciones de ozono troposférico, ubicó a la Ciudad de México en la 15<sup>a</sup> posición de megaciudades más contaminadas (Kornei, K., 2017).

Por otra parte, este servicio se encuentra también bajo una elevada presión en la Ciudad de México. Las áreas verdes están expuestas al constante riesgo de ser eliminadas. La PAOT (2013), en su informe anual para el período 2011-2012, planteó que, de los dictámenes que elabora con base en las denuncias realizadas, el 47% estaba dedicado al tema de arbolado y áreas verdes, con un incremento del 7% respecto al año anterior.

La presión del ambiente urbano, los derribos, podas y trasplantes realizados de manera inapropiada o sin autorización de la institución competente, así como la falta de mantenimiento y los daños provocados al arbolado por personas, plagas y enfermedades, constituyen la principal afectación a las áreas verdes en suelo urbano de la Ciudad de México y los hechos más denunciados ante esta Procuraduría. (PAOT, 2013, p. 33)

Entre las principales causas que generan dichas afectaciones en las áreas verdes se encuentran: la ocupación por asentamientos irregulares o para destino de otros usos de suelo, para su uso como depósito y acumulación de residuos de manejo especial, o por el desarrollo de grandes obras de equipamiento o infraestructura vial (Centro de Especialistas en Gestión Ambiental, 2013).

Al relacionar todos los elementos hasta el momento expuestos hemos llegado al planteamiento del siguiente problema:

La vegetación en las ciudades no responde a un proceso natural, sino a criterios de implantación antrópicos y, en algunos casos, a la reminiscencia de ecosistemas naturales que fueron urbanizados, tal y como ha sucedido en la Ciudad de México. Si bien al arbolado le ha sido atribuido el desarrollo de procesos ecológicos de adecuación, sobretodo en la generación de bosques, el ecosistema urbano constituye un ambiente en ocasiones demasiado hostil para la adecuada entrega de sus servicios ecosistémicos. Aún más importante se vuelve este último punto cuando los patrones de desarrollo urbano y crecimiento económico que han caracterizado a la Ciudad de México, desde la mitad del siglo pasado, generan condiciones que propician la elevada emisión de contaminantes atmosféricos. Entender la vegetación urbana como un sistema implica también la comprensión de que, según su estructura, función y composición, puede tener atributos diversos, los cuales no responden necesariamente a los que posee en el nivel de organización ecológica de un ecosistema natural. En la actualidad aún no se han encontrado las relaciones que existen entre dichos atributos y el servicio de regulación de la calidad del aire, así como tampoco el tamaño o escala adecuada para la unidad de análisis.

Esto nos llevó a la pregunta de investigación ¿Qué relación existe entre los atributos de los sistemas de verdes urbanos y la calidad del aire en la Ciudad de México para datos del año 2011?

De este modo, las variables de investigación a analizar son los atributos estructurales de los sistemas de verdes urbanos y la calidad del aire.

**OBJETIVO PRINCIPAL**\_ Explicar la relación existente entre las características de los sistemas de verdes urbanos y la calidad del aire en la Ciudad de México en el marco temporal del año 2011.

**OBJETIVOS ESPECÍFICOS**\_ Identificar los elementos principales de los sistemas de verdes urbanos en relación con la calidad del aire.

\_Explicar los principales elementos de los sistemas de verdes urbanos y la calidad del aire en la Ciudad de México, para el marco temporal del año 2011

\_Determinar, a partir del conjunto de métodos de la Estadística Inferencial, la relación existente entre los atributos estructurales de los sistemas de verdes urbanos y la calidad del aire en la Ciudad de México para el marco temporal del año 2011, para las unidades de análisis propuestas.

\_Desarrollar una propuesta de recomendaciones para la investigación y planeación de los sistemas de verdes urbanos para la Ciudad de México.

# **CAPÍTULO 1. LOS SISTEMAS DE VERDES URBANOS Y LA CALIDAD DEL AIRE**

En este capítulo inicial planteamos los elementos teóricos y conceptuales fundamentales de las variables de investigación. Primeramente, recurrimos a la Teoría General de Sistemas (TGS) y a elementos de la teoría de ecología para comprender los sistemas de verdes urbanos como partes componentes del ecosistema urbano. Luego, revisamos los elementos fundamentales de la contaminación atmosférica, que explican la calidad del aire. Para entender las dos variables de estudio en un solo modelo, revisamos, en el tercer apartado, al enfoque de servicios ecosistémicos. Este enfoque nos permite identificar a la vegetación como un sistema componente de las ciudades, que genera servicios ecosistémicos, que benefician al hombre.

## **1.1 DE LOS SISTEMAS, LAS CIUDADES Y LOS VERDES URBANOS**

En este primer apartado nos referimos a los elementos fundamentales que, desde la TGS y la teoría de la ecología, permiten comprender la vegetación como un sistema componente de las ciudades. Como no existe una conceptualización sobre los sistemas de verdes urbanos, concretamos, a partir de los elementos que nos aportan las teorías de estos dos campos, las generalidades y particularidades de los sistemas de verdes urbanos.

Aunque manejamos varios autores, los dos principales para la elaboración de este apartado son Ludwig Von Bertalanffy y Germán Camargo Ponce de León.

### **1.1.1 LA TEORÍA GENERAL DE SISTEMAS**

La Teoría General de Sistemas<sup>7</sup> (TGS), surge como parte de las necesidades que existían de una generalización de los principios de sistemas, de modo que pudiera ser aplicada y unificara a diversas ciencias que presentaban isomorfismos. A fines de los años sesenta del pasado siglo, Ludwig Von Bertalanffy publica una de las bibliografías más significativas para el fin anterior: *Teoría General de Sistemas. Fundamentos*,

---

<sup>7</sup> Como la hizo llamar su autor Ludwig Von Bertalanffy.

*desarrollo, aplicaciones.* Con base en la TGS, buscaremos los elementos teóricos que puedan aportar a la definición y comprensión de los sistemas de verdes urbanos.

Como primer elemento partimos del cuestionamiento, ¿qué entendemos por sistemas? Existen diversas definiciones y autores que han hecho sus aportes, principalmente por vincularlo al campo de estudio en que se insertan. Bertalanffy (1985) se va a los elementos generales y lo define como “complejos de elementos en interacción” (p. 33). Desde la ecología, que es una de las disciplinas de las cuales nos nutrimos para este estudio, los sistemas son definidos como “Un tipo de conjunto en el cual los elementos están interrelacionados, es decir, que el estado (atributos) de cada elemento es afectado por el estado y cambio en los otros elementos” (Camargo Ponce de León, 2005, p. 17). Básicamente en los dos casos se refieren a los mismos elementos, solo que en el segundo se da un mayor detalle. Para los efectos de nuestra investigación cualquiera de las dos definiciones se ajusta.

En los próximos dos apartados hacemos referencia a los elementos teóricos generales que se adaptan a la explicación de sistemas. También nos referimos a las particularidades de cada sistema, lo cual nos permitió identificar las formas en que se pueden analizar.

#### **1.1.1.1 Principales teorías y generalidades de sistemas**

Uno de los elementos de mayor referencia cuando hablamos de sistemas<sup>8</sup> es su clasificación según su condición de ser observables. Atendiendo a ello, pueden denominarse conceptuales o reales. Cualquiera de las dos condiciones es válida como objeto de investigación. Los sistemas de verdes urbanos son reales, pues “existen más allá del observador” (Bertalanffy, 1985, p. xv). Sin embargo, no ocurre igual con los ecosistemas y, específicamente, con los ecosistemas urbanos, pues se trata de una “construcción conceptual” (Bertalanffy, 1985, p. xvi). De este modo, podemos

---

<sup>8</sup> Aunque el propio Bertalanffy plantea que la selección de algunas de estas distinciones generalmente no suele ser “clara” ni “nítida”, sino una cuestión de “sentido común”.

plantear que el ecosistema urbano es el enfoque conceptual que nos permite comenzar a comprender los verdes urbanos como un sistema.

Con base en la Teoría de los Compartimientos podemos plantear que todos los sistemas están formados por componentes. “El sistema consiste en subunidades con ciertas condiciones de frontera, entre las cuales se dan procesos de transporte” (Bertalanffy, 1989, p. 20). Esta parte de la teoría se encuentra relacionada con la cantidad de componentes, por lo cual se refiere a sus propiedades estructurales.

En relación con el anterior postulado, se encuentra la Teoría de las Gráficas, la cual se refiere también a las propiedades estructurales de los sistemas. Al respecto, Camargo Ponce de León (2005) plantea que “Las propiedades del sistema son también parte del conjunto que constituyen. Al sumarse elementos, sus propiedades también serán parte del sistema y existirán más interrelaciones y con ellas nuevas propiedades, que serán atributos propios del sistema” (p.18).

La Teoría de los Conjuntos, desde la TGS, permite identificar algunas características formales como el hecho de que sean sistemas abiertos o cerrados (Bertalanffy, 1989, p. 106). Al respecto se ha dicho que “se refiere a los intercambios de energía, información y materia con su entorno” (Camargo Ponce de León, 2005, p.18). En referencia al tema que nos ocupa, también se ha planteado que “Los organismos vivos son en el fondo sistemas abiertos” (Bertalanffy, 1989, p. 32). A partir de los elementos anteriores podemos decir que los sistemas de verdes urbanos son abiertos, reciben y envían energía, información y materia del y al medio que los rodea.

Además, los sistemas poseen ciertas características de organización. Tal es el caso del orden jerárquico, que se relaciona estrechamente con todo lo que hemos visto anteriormente. Este orden sucede tanto en sus partes, como en sus procesos: el primero a partir de la estructura del sistema, y el segundo en virtud de sus funciones. Respecto al orden de la estructura se ha dicho que “Los sistemas están estructurados de modo que sus miembros son a su vez sistemas del nivel inmediato inferior” (Bertalanffy, 1989, p. 76). En referencia al orden de procesos “Los fenómenos propios de un nivel superior jamás contradicen las leyes de los niveles de base; cuando más, pueden constituir casos especiales en los que dichas leyes se cumplen de un modo interesante, pero se cumplen” (Camargo Ponce de León, 2005, p. 33).

Finalmente, están las características de Complejos de Elementos. Estas pueden ser de dos tipos: sumativas o constitutivas. En el primer caso, los elementos son sumados de manera aislada, por ello sus características son las mismas dentro o fuera del sistema y se refieren básicamente a número y especies. En el segundo, es importante tanto la suma de las partes, como las relaciones que suceden entre ellas. Las características de Complejos de Elementos constitutivos no se explican a partir de las peculiaridades de sus partes aisladas, sino que se complementan con las del complejo. De ahí la frase “el todo es más que la suma de sus partes” (Bertalanffy, 1989, p. 55).

Todo lo que hemos referido hasta aquí nos lleva a la necesidad de comprender cada uno de los niveles de subcomponentes, para así entender su esencia y lo que representan para el sistema mayor. Por ello, consideramos de interés encontrar los principales elementos que caracterizan a la vegetación aislada, como el subcomponente de orden más inferior del sistema.

#### **1.1.1.2 Particularidades de los sistemas**

La primera de las tres particularidades de un sistema se basa en la naturaleza de sus elementos componentes (Bertalanffy, 1989). Como ya vimos anteriormente, todos los sistemas están formados por componentes. Estos componentes tienen un origen, puede ser natural, hecho por el hombre o híbrido. Esto nos permite comprender las relaciones que se establecerán en un sistema determinado.

Sin embargo, las características de ubicación de sus partes, o las condiciones o forma en que han sido implantados, generalmente responden a un origen antrópico. Este último elemento ya no se refiere a la naturaleza de sus componentes, sino que nos lleva a una segunda particularidad, la cual se refiere a la estructura, sus partes y componentes (Bertalanffy, 1989).

Finalmente, en respuesta al origen natural de los sistemas de verdes urbanos y a la influencia del hombre en la definición de su estructura, están las relaciones o fuerzas reinantes entre ellos (Bertalanffy, 1989). Esta tercera particularidad está muy

relacionada con la anterior, pues la estructura influirá en la forma en que se interrelacionen los elementos entre ellos, así como con el ambiente<sup>9</sup>.

A partir de estos tres elementos, Camargo Ponce de León (2005) propone una forma de analizar los sistemas. Y aunque señala que en ecología usualmente se emplearían las tres categorías de manera independiente, él prefiere agrupar los elementos de composición en las características estructurales pues argumenta que

La especie resulta, con frecuencia, un criterio poco útil para clasificar grupos funcionales de organismos desde la perspectiva de su papel en ecosistemas comparados o para delimitar los compartimentos a través de los cuales se transforma el flujo de energía en un ecosistema (Camargo Ponce de León, 2005, p. 21).

En primer lugar, propone el análisis por su estructura. Para ello se basa en el conjunto de atributos o propiedades de los sistemas, que se refieren a:

1. Naturaleza de los elementos. De qué está hecho.
2. Cantidad y dimensiones. Cuántos elementos tiene.
3. Proporciones de los elementos. De qué tamaño y comparable con qué.
4. Distribución espacial de los elementos. De cuántas clases son sus elementos y cuáles abundan más que otros (organización espacial).
5. Agrupación y conexión funcional de los elementos. Organización funcional.

Luego, propone el análisis por sus funciones. Para ello se basa en el conjunto de atributos o propiedades que se refieren a:

1. Flujos o intercambios
2. Cambios en los atributos estructurales. Aquellos que se refieran a su naturaleza y cantidad.
3. Movimientos. En este sentido se refiere a cambios en la organización espacial.

---

<sup>9</sup> Empleamos este término, pues es el que se usa en ecología generalmente para referirse a los elementos externos al sistema, la complejidad de este concepto la veremos en el apartado de los aspectos teóricos de la ecología que sustentan la investigación.

4. Secuencias y tendencias. Para este aspecto se basa en las series típicas de flujo, en cambios o movimientos.

Analizar los atributos funcionales implica un estudio de comportamiento, en el cual debemos estudiar diversos períodos para poder explicar los flujos, cambios, movimientos, secuencias y tendencias. Para ello, como mínimo debemos contar con elementos generales que expliquen la relación de estos atributos con la calidad del aire, lo cual aún no existe.

### **1.1.2 LA ECOLOGÍA COMO BASE TEÓRICA DE LOS ECOSISTEMAS URBANOS**

Luego de haber visto los elementos fundamentales de la TGS, se hace imprescindible ir acercando la perspectiva sistémica al estudio que requerimos hacer. La teoría de la ecología nos permite comprender la vegetación desde su nivel individual hasta su agrupación en comunidades y su existencia en los ecosistemas. La ecología urbana, por su parte, nos permite adoptar el enfoque de ecosistema para comprender la ciudad y los verdes urbanos como parte de un mismo sistema.

Las ciudades conforman el ambiente en que los sistemas de verdes urbanos se desenvuelven y, por ende, de quien reciben entradas y a quien le aportan salidas, como resultado de los flujos del sistema. La importancia de la comprensión de este enfoque, desde el punto de vista teórico, radica en la posibilidad que brinda de entender las condiciones de heterogeneidad y artificialidad que imprime el ecosistema urbano a la vegetación. Este enfoque también permite entender los procesos en la ciudad como parte de un sistema, en el cual no se pueden realizar cambios en un componente sin que se produzcan modificaciones en otros.

Según Odum (citado por Camargo Ponce de León, 2005) la ecología "es la ciencia que estudia las relaciones entre los seres vivos y entre estos y su medio" (p. 28). Al respecto, queda claro el tema de los seres vivos y la relación entre ellos. Sin embargo, no tanto así con el "medio", ese que algunos han llamado también entorno, ambiente, o todo lo externo a un sistema.

En ecología, se ha empleado en mayor medida el término ambiente. Aunque también han existido ambigüedades e imprecisiones. Por ello, hemos decidido tomar los

elementos conceptuales que aporta Camargo Ponce de León (2005), los cuales esclarecen esta categoría. Al respecto refiere que ambiente es “Todo factor externo a un organismo que incide en su conducta o desarrollo ... no hay una discontinuidad absoluta entre un sistema abierto y su ambiente” (p. 23). El propio autor plantea que es de ello donde se deriva la complejidad, sobre todo a la hora de estimar límites de aquello que pueda ser externo al sistema. Por ello, y para aclarar esta cuestión, aporta la siguiente definición “El ambiente no es externo al organismo. El ambiente es el sistema o red de relaciones de la que el organismo hace parte” (p. 24).

Luego de dejar claro lo que entendemos por ambiente, podemos ver lo que en esta ciencia se denomina Factores de la Ecología. En nuestro planeta existen ciertas condiciones que permiten la vida de los organismos vivos (factores bióticos). Dichas condiciones se refieren a factores abióticos, algunos de ellos indispensables para la vida en la Tierra.

Los factores bióticos están claros, se trata de todas las comunidades biológicas, desde una bacteria, hasta un animal. Cuando nos referimos a elementos abióticos son aquellos de origen químico o físico que, desde afuera, están afectando a esos organismos vivos. Y aquí introducimos nuevamente la categoría ambiente, pues los factores abióticos pueden ser entendidos como parte de ese ambiente del que los organismos hacen parte.

Entre los factores abióticos, de origen físico, se encuentran todos los que son indispensables para que cualquier organismo vivo no muera: la temperatura, la presión atmosférica y la radiación. Si bien estos factores son indispensables para la vida, se encuentran relacionados a las principales situaciones ambientales que poseen los ecosistemas urbanos en la actualidad: el cambio climático, la isla de calor urbano<sup>10</sup>, la contaminación atmosférica, la imposibilidad de convertir en oxígeno las elevadas concentraciones de CO<sub>2</sub> que son emitidas en las ciudades, la mayor exposición a la radiación ultravioleta por el agujero en la capa de ozono, entre otras.

---

<sup>10</sup> Esta categoría según Oke (citado por Pickett, S. T. A. et al., 2001) “constituye la modificación del clima directamente relacionada con las superficies del suelo urbano y el uso por los humanos de la energía”.

Por otra parte, los factores químicos son el agua y el suelo, cada uno de ellos representan elementos indispensables también para los organismos vivos. Sin embargo, ambos factores están expuestos a la degradación por las condicionantes que imponen las urbes.

La importancia de los factores abióticos radica en que, precisamente, al entender las relaciones que ocurren entre los sistemas y su ambiente, no podemos pretender asilar al sistema de verdes urbanos de ello, ni a los hombres y otros organismos vivos que conviven en el ecosistema urbano. Si las condiciones del ambiente son adversas, eso es lo que todos los organismos vivos reciben como energía, información y materia.

Como vimos con la TGS, la organización es uno de los elementos fundamentales de los sistemas. La ecología para estudiar las relaciones entre los seres vivos y con su medio también los estructura en niveles, desde la menor hasta la mayor complejidad. Aunque para algunos autores los niveles varían, hemos tomado como referencia general los niveles propuestos por Molles (2016) para plantear dicha organización.

En el nivel más bajo se encuentran los individuos de una especie. Los estudios de este nivel abordan los procesos propios de los organismos. Con respecto a la vegetación, este nivel representaría individuos de una especie, tal como un árbol de una especie determinada.

Luego están las poblaciones, que son los organismos de una misma especie. Los estudios de este nivel abordan cuestiones referidas al agrupamiento de dichas poblaciones. En el caso de la vegetación en este nivel, las investigaciones podrían ver a poblaciones de ciertas especies que se dan solamente en ciertos contextos y bajo determinadas condiciones.

En un tercer nivel se encuentran las interacciones que suceden entre poblaciones. Las relaciones que se establecen pueden representar daños, beneficios o, simplemente, afectarse de algún modo.

En el cuarto nivel se ubican las comunidades, las cuales agrupan a todos los individuos, de todas las especies que interactúan entre sí<sup>11</sup>.

Finalmente, y no porque sea el último nivel de organización ecológica, sino porque es el que nos interesa estudiar, el quinto nivel se refiere a los ecosistemas. No profundizaremos en estos, pues en el próximo acápite los estudiaremos.

Estos niveles de organización nos permiten comprender cómo se organizan los elementos vegetales. En este sentido, es también necesario reconocer que a medida que los niveles ecológicos son mayores, aumentan las complejidades estructurales y funcionales de los sistemas.

Tomando en consideración los elementos ya vistos de la TGS y los niveles de organización de la ecología, podemos hacer algunas aportaciones a la comprensión de un sistema de verdes urbanos. No obstante, para ello debemos tener en cuenta que en las ciudades la vegetación no se da de manera espontánea, sino de forma antrópica (según las decisiones y criterios propios del hombre).

Los componentes del sistema de verdes urbanos, en muchos casos (seguramente los más grandes en superficie), conforman comunidades, pues se constituyen de individuos o poblaciones de diversas especies. De ahí que una de las características que más se refiera de los verdes urbanos para generar servicios ecosistémicos<sup>12</sup> sea el tamaño. “La regulación del clima local gracias a los ecosistemas urbanos, sobre todo gracias a los parques de gran superficie” (Szumacher, I. & Malinowska, E., 2013, p. 93).

De hecho, entender la complejidad del ecosistema urbano es comprender que sus verdes urbanos pueden estar constituidos también por poblaciones, incluso solamente

---

<sup>11</sup> En este caso se hace una distinción entre los ecologistas de comunidades y los de ecosistemas, para lo cual el autor se refiere a sus objetos de estudio. Mientras los primeros estudian los organismos en su hábitat específico, los segundos toman en cuenta dichos organismos en un hábitat específico, pero además incluyen los factores físicos y químicos que interactúan con la comunidad y se enfocan en los procesos de flujos de energía y descomposición (Molles, 2016).

<sup>12</sup> Este concepto será abordado ampliamente más adelante en apartado 1.3, por ello no entramos en detalles en este apartado.

por individuos. En este caso podemos referirnos a un término empleado en la ecología: la fragmentación arbórea. "Es el reemplazo de grandes áreas del bosque nativo por otros ecosistemas, dejando parcelas separadas de bosque" (PAOT, 2010, p. 248).

Las dos situaciones planteadas anteriormente señalan la necesidad de ver, como parte de las características estructurales que buscamos para explicar la relación entre los sistemas de verdes urbanos y la calidad del aire, el tamaño de los elementos componentes y la fragmentación del sistema.

### **1.1.2.1 Ecología urbana**

Varios han sido los autores que han conceptualizado la ecología urbana. Los aportes fundamentales, a los efectos de este trabajo, apuntan hacia la inclusión del hombre dentro de la ecología urbana, y hacia los beneficios de orden ambiental que se generan en las ciudades. Según Marzluff et al. (citado por Zuria & Castellanos, 2008) "Es el estudio de ecosistemas que incluyen al hombre viviendo en ciudades y paisajes urbanizados" (p. 5).

Según Duque y Sánchez (2012), los estudios de la ecología pueden ser divididos en cuatro períodos, de acuerdo con las tendencias que presentan sus investigaciones. En el primer período, enmarcado entre 1925 y 1975, se da el acercamiento de la ecología humana a la ecología urbana. El segundo período, de 1976 a 1985, va de la ecología humana al metabolismo urbano, en el cual se introdujo dicho concepto y se investigó sobre las influencias del hombre con sus acciones sobre las ciudades. El tercer período, de 1987 al 2000, se caracteriza por el surgimiento de numerosos centros de estudio de la ecología urbana, se incrementan los estudios sobre metabolismo urbano y se realizan intentos por comprender la ciudad como un socioecosistema. El cuarto y último período va del 2000 hasta el 2012, fecha en que se concluye el estudio. Uno de los aspectos fundamentales con respecto a nuestro tema de investigación recae en esta última fase, pues se profundizó en la importancia de las áreas verdes para la ciudad en el orden de incrementar los ecoservicios urbanos.

A partir de esta periodización, en el propio estudio referido se definieron los once objetivos de investigación en la ecología urbana. A los fines del presente trabajo,

solamente aportan un marco general para la comprensión de nuestro problema, el segundo y quinto de sus objetivos. El segundo se basa en los servicios de los ecosistemas y estudia los beneficios que los seres humanos obtienen de ellos. El quinto aborda las zonas verdes, donde se perciben los espacios verdes urbanos como proveedores de servicios ecosistémicos.

Camargo Ponce de León (2005) refiriéndose a la contribución de la ecología urbana a la explicación de la ciudad plantea que “Es un aporte más, en la búsqueda de puentes entre las ciencias naturales y las sociales para comprender el complejo y multifacético fenómeno urbano, que, por su origen, integra lo físico, lo biológico y lo social” (p. 34).

Si bien se ha reconocido la limitación de esta ciencia en el sentido de asumir la planeación o la política urbana, la mayor importancia de su aporte para el urbanismo radica en la posibilidad de proponer principios para la planeación (De Las Rivas, Marinero & Santos, 2008). A los efectos de nuestra investigación, el mayor aporte es ofrecer el marco general que permite comprender, en un mismo modelo, a la ciudad como un ecosistema, sus sistemas de verdes urbanos y los servicios ecosistémicos que entregan a los hombres.

#### **1.1.2.2 Las ciudades entendidas como sistemas. Los ecosistemas urbanos**

Los ecosistemas son modelos que representan uno de los niveles de organización ecológica. Su conceptualización ha sido tratada por diversos autores. Margalef (citado por Higuera E., 2009) lo plantea como una “Relación multivariada entre organismos y medio ambiente en un espacio determinado, llegando a lograr una constancia en ese medio ambiente” (p. 2).

Camargo Ponce de León (2005) se refiere a los ecosistemas como “Un modelo, una abstracción de la biósfera, una forma de ver y representar los distintos ambientes o situaciones conformadas por seres vivos y los medios que estos ocupan y transforman” (p. 35).

En los orígenes del concepto de ecosistema, el autor Tansley, en el año 1935, hacía referencia a que los ecosistemas podían ser de cualquier talla, y que la preocupación era más con la interacción de los organismos y su medio ambiente en un área

específica. Con ello trató de dejar claro que los límites de un ecosistema son planteados para responder a preguntas particulares. Así, no hay escala establecida o un modo de señalar los límites de un ecosistema. Preferentemente, la selección de una escala o límite para la definición algún ecosistema depende de la pregunta realizada y deberá quedar bajo el criterio de los investigadores (Pickett, S. T. A., et al., 2011, p. 348).

### Formas de analizar los ecosistemas

Para analizar los ecosistemas se han planteado algunos principios o metodologías, las dos principales se refieren a los factores de estado y a los impulsores de cambio de los ecosistemas y ambas son aplicables a los ecosistemas urbanos (Pickett et al., 2011; Millenium Ecosystem Assessment, 2005).

La primera metodología parte de que todos los ecosistemas son afectados por parte de un conjunto de factores de estado, entre los cuales se encuentra el clima prevaleciente, el substrato, los organismos residentes y sus efectos residuales, el relieve y el tiempo, sobre los cuales los otros cuatro factores han actuado sobre el ecosistema. Por supuesto, en los ecosistemas urbanos, los organismos deben incluir además a los humanos y sus manifestaciones sociales y económicas, además de la vegetación y la fauna (Pickett et al., 2011).

En la segunda, se trata de los impulsores de cambio, que son “factores naturales o humanos inducidos que directa o indirectamente causan un cambio en los ecosistemas” (Millenium Ecosystem Assessment, 2005). Estos son clasificados en dos categorías: los que inducen el cambio directamente, impulsores directos de cambio, y los que impulsan el cambio a través de la incidencia sobre algún o algunos impulsores directos. Si bien esta forma de análisis es bien importante, supone en sí la búsqueda de los cambios que suceden en los ecosistemas y, por lo tanto, son de mayor utilidad en estudios dinámicos, que incluyen varias temporalidades.

## Características de las ciudades como sistemas

Las ciudades poseen características propias, que las diferencian del resto de los ecosistemas naturales. De hecho, esas diferencias han representado los mayores cuestionamientos al enfoque de ecosistema urbano.

La principal de estas características es que se trata de un sistema heterótrofo<sup>13</sup>, lo que implica que es incapaz de reorganizarse y reaccionar a las perturbaciones. Además, es entrópico, su consumo de recursos no tiene eficiencia energética y no recicla. (De Las Rivas, Marinero & Santos, 2008). En este sentido, Salvador Palomo, P. J., (2003) plantea que los verdes urbanos como componentes del ecosistema urbano pueden llegar a impulsar una mayor autotrofia<sup>14</sup>.

Otra de las características más importantes es su elevado nivel de heterogeneidad, respecto a los ecosistemas naturales. Para comprender la heterogeneidad de los ecosistemas urbanos, Cadenasso et al. (citado por Pickett et al., 2011) realizaron un modelo *HERCULES*, y se basa en tres variables: estructuras construidas, superficies y vegetación. Esta característica, junto con la constante transformación territorial imprime a los ecosistemas urbanos una complejidad aún mayor.

### **1.1.3 LOS SISTEMAS DE VERDES URBANOS**

Varios han sido los autores que han conceptualizado los sistemas de verdes urbanos. En algunos casos los han designado sistemas de áreas verdes urbanas; en otras, bosque urbano o infraestructura verde. En esencia, todos se refieren a los sistemas de vegetación, sin discriminar en su localización dentro o fuera de la ciudad.

Cuando se desarrollan estudios ecosistémicos, se trata de no poner límites entre suelo urbano o suelo no urbanizado, sin embargo, nosotros hemos decidido trabajar solamente en el suelo urbano. Esta decisión de enfocarnos solamente en los sistemas

---

<sup>13</sup> El concepto de heterótrofo se refiere a que “es incapaz de elaborar su propia materia orgánica a partir de sustancias inorgánicas y se nutre de sustancias elaboradas por otros seres vivos” (Salvador Palomo, P. J., 2003, p. 136).

<sup>14</sup> El concepto de autotrófico se refiere a que “elabora su propia materia orgánica a partir de sustancias inorgánicas de las que se nutre” (Salvador Palomo, P. J., 2003, p. 141).

de verdes urbanos responde a dos condiciones fundamentales. Una, como ya mencionamos, porque es en las ciudades donde se encuentran los principales vacíos referentes a la comprensión de los atributos estructurales de sus sistemas. Y segundo, a partir del decrecimiento de los ecosistemas boscosos como resultado del proceso de urbanización, es sobre los sistemas de verdes urbanos donde recae un gran peso de los servicios ecosistémicos que puede realizar la vegetación.

Gámez Bastén (2005) plantea en su concepto que un sistema de áreas verdes y espacios abiertos de una ciudad “puede interpretarse como una interfase o mecanismo de relación entre el medio urbano y el medio natural” (p. 5). En esta definición se incluyen los espacios abiertos; sin embargo, la intención de acercarnos a esta propuesta es comprender que cuando nos referimos a sistemas de verdes urbanos en nuestra investigación no hablamos de espacios abiertos, sino de espacios de la ciudad con vegetación. El hecho de que un área determinada se categorice como un espacio abierto es en función de su uso de suelo, y por las funciones lúdicas que ello puede implicar, lo cual no lleva implícita la presencia de vegetación.

El CentroGeo (2006) propone la aplicación del enfoque de sistemas a las áreas verdes de la Ciudad de México, con el objetivo de extenderlo luego a toda la zona metropolitana. En este sistema incluye el conjunto del suelo de conservación, las barrancas, las áreas verdes en el suelo urbano y los espacios abiertos permeables que conforman un sistema ecológico que proveen servicios ambientales.

Si bien es en este sentido que comprendemos los sistemas de vegetación, acotamos que, para los fines de nuestro estudio, los sistemas de verdes urbanos de la Ciudad de México pueden ser entendidos como una parte componente de este sistema de áreas verdes, que incluye también la vegetación en suelo no urbanizado.

De este modo, la definición más ajustada a nuestro enfoque de sistemas de verdes urbanos es la de *bosque urbano*, que propone Benavidez Meza (2003) “Comunidad vegetal conformada por árboles, arbustos y plantas herbáceas que se encuentra en las ciudades y que está en interacción con el resto de los componentes del ecosistema urbano” (p. 2). Esta definición, si bien se acota espacialmente a nuestro objeto de estudio, que es la ciudad, se refiere al sistema de la ciudad de manera general. Nosotros nos referimos al subconjunto de sistemas que lo conforman, de modo que

se puedan encontrar características de mayor homogeneidad dentro del gran complejo heterogéneo que conforma la Ciudad de México.

Con el fin de operacionalizar el concepto, en nuestro trabajo entenderemos por sistemas de verdes urbanos a las comunidades vegetales, constituidas por árboles, arbustos y plantas herbáceas que conforman áreas homogéneas en distintos espacios abiertos, en el suelo urbano de la Ciudad de México.

### **1.1.3.1 Los verdes urbanos**

Para comprender mejor los sistemas de verdes urbanos es necesario referirnos también, como ya habíamos indicado anteriormente, a sus subcomponentes. Por ello en este apartado veremos elementos generales de los verdes urbanos.

Como primer elemento, vale partir de lo que entenderemos por verdes urbanos: todas las superficies cubiertas con área verde, ya sean árboles, arbustos o plantas herbáceas, agrupadas o de manera individual, que están presentes en el suelo urbano de la Ciudad de México.

Los verdes urbanos generalmente son clasificados de diversas maneras, en función de las necesidades o los objetivos de la tipificación que se realiza. En ese sentido, podemos encontrar categorías de acuerdo con su uso, según su función y su régimen de propiedad, por la forma en que están organizados, por el origen de su presencia en la ciudad, e, incluso, hay algunas según sus funciones ecológicas.

Generalmente, las clasificaciones según el uso incluyen categorías que consideran la superficie, su diseño arquitectónico, así como las metas de su uso (Flores-Xolocotzi, R. & González-Guillén, M. de J., 2010). A los fines de nuestro estudio, estas no son muy útiles, pues las funciones ecológicas desarrolladas por la vegetación, que le permiten regular la calidad del aire, no están relacionadas con el uso de los verdes urbanos. Solamente resultaría importante desde el punto de vista del grado de deterioro que puedan tener unos verdes urbanos respecto a otros, por su mayor o menor intensidad de uso, o el mantenimiento que se le pueda dar. No obstante, estas son cuestiones que se refieren a su gestión y no a su configuración.

Las clasificaciones de los verdes urbanos, atendiendo a su función en la ciudad, varían en dependencia del país o región donde se aplique la categoría. Por ejemplo, Álvarez de Zayas & Ferro Cisneros (2009) plantean 12 tipos diferentes, que se pueden agrupar en 4 grandes grupos: en función de las circulaciones y aparcamiento, de las actividades de recreación y descanso, de la protección ambiental, visual y del ruido, y finalmente por sus funciones para brindar provisiones como alimento, medicina, etc. Estas clasificaciones están estrechamente relacionadas con los servicios ecosistémicos<sup>15</sup> que entrega la vegetación.

Las clasificaciones según el régimen de propiedad en que se encuentran los verdes urbanos, establecen básicamente la posibilidad de usar los espacios de manera libre o controlada. Generalmente se refieren como propiedad privada o pública (PAOT, 2010).

A los efectos de nuestra investigación, las clasificaciones que propone Zipperer (citado por Pickett et al., 2001), que parten del origen de la vegetación, sí son relevantes para la investigación, tomando en cuenta que uno de los atributos estructurales de los sistemas se refiere al origen de los componentes. Las categorías que propone este autor son *plantada*, *reforestada* o *remanente*. A los efectos de la ecología, estas categorías influirían mayormente en la biodiversidad de los sistemas, ya que generalmente la vegetación introducida por el hombre no suele ser nativa, y aporta un mayor índice de riqueza arbórea. Sin embargo, en ciudades complejas, con elevados niveles de heterogeneidad, incluso en sus verdes urbanos, es difícil contar con datos al respecto.

En relación con las clasificaciones según la organización de los verdes urbanos, Baró et al., (2014), propone cuatro categorías, *bosques urbanos o periurbanos*, *parques*, *jardines* y *arbolado viario*. Estas categorías resultan útiles desde el punto de vista de nuestra investigación, pues se refieren a la forma en que se agrupan, y este es otro de los atributos estructurales de los sistemas.

---

<sup>15</sup> Sobre los servicios ecosistémicos no profundizaremos más, pues serán abordados más adelante.

Desde el punto de vista ecológico, CentroGeo (2006) propone para la clasificación del sistema de áreas verdes de la Ciudad de México cuatro categorías, *contorno periurbano, corredores, áreas verdes en tejido urbano y espacios abiertos con gran valor ambiental*.

De esta clasificación, los *corredores* representan un elemento de gran importancia para el interior de las ciudades, pues son la parte de la estructura que permite la conexión entre los verdes internos y de estos con los espacios perimetrales. De la existencia de estos *corredores* existencia depende la disminución de la fragmentación de los verdes urbanos, lo cual incrementa su potencial para realizar los servicios ecosistémicos (PAOT, 2010). Ya desde 1903 se hacía referencia a ello, John Olmsted y Frederick Law Olmsted Jr. (citados por Benedict, M. A. & McMahon, E. T., 2001) planteaban que "Un sistema conectado de parques y avenidas es manifiestamente mucho más completo y útil que una serie de parques aislados" (p. 8). Este también es un importante elemento para nuestra investigación, ya que la organización funcional forma parte de los atributos estructurales de los sistemas.

#### **1.1.3.2 Los elementos vegetales individuales en las urbes**

Así como los verdes urbanos son los subcomponentes de los sistemas de verdes urbanos, los elementos vegetales individuales son subcomponentes de los verdes urbanos. Generalmente los estudios de la vegetación desde la ecología se han realizado con un enfoque individual; o sea, se han buscado las capacidades que cada individuo aporta para realizar servicios ecosistémicos.

Estos elementos tienen varias formas de clasificación, una de ellas, y la que consideramos podría influir en nuestra investigación, se refiere a los estratos en que se desarrolla la vegetación, en función de su forma de crecimiento. Gómez Gonçalves, A. (2013) plantea que estos estratos son el *arbóreo*, el *arbustivo* y el *herbáceo*. Este elemento también resulta importante, porque forma parte de los atributos estructurales de los sistemas, a partir de las clases de sus elementos, así como cuáles abundan más que otros.

En diversas ocasiones se ha planteado que, a los efectos de la calidad del aire, solamente el estrato arbóreo tiene relevancia (Baró et al., 2014; Meza Aguilar, María

del Carmen, Moncada Maya, J. O., 2010; Priego, C, 2002; Szumacher, I. & Malinowska, E., 2013; Velasco, E., Roth, M., Norford, L., & Molina, L. T., 2016). Por ello consideramos que esta clasificación en estratos debe ser considerada, con el propósito de tener más elementos sobre el valor de cada uno de ellos, para realizar el servicio ecosistémico de regulación de la calidad del aire.

### Condiciones de los ecosistemas urbanos que afectan a la vegetación

El ecosistema urbano impone a la vegetación una serie de condiciones artificiales, que difieren con lo que sucede en los ecosistemas naturales. Muchas de estas condiciones representan perjuicios a la vegetación, y esto debemos entenderlo también como la degradación de su capacidad de realizar servicios ecosistémicos. Tomando como punto de partida el trabajo de Benavidez Meza (1989), a continuación planteamos las principales condiciones de afectación a la vegetación urbana.

En primer lugar, y en referencia a la heterogeneidad del ecosistema urbano que ya referimos, existen una gran variedad de estructuras físicas que alteran la incidencia de los rayos solares, la captación de energía lumínica, así como la velocidad del viento. Por otra parte, la gran variedad de superficies artificiales que interactúan con la vegetación ponen en ella una mayor carga de radiación, pues, además de la que recibe de forma natural, está expuesta a la que reflejan los pavimentos y las edificaciones. Esto provoca que se incremente la temperatura en la hoja. A esto se suma la elevación de la temperatura por el efecto de algunas actividades urbanas, como las industriales y el flujo de vehículos de motor.

Los contaminantes atmosféricos también pueden afectar a la vegetación cuando se encuentran en elevadas concentraciones, entre ellos el Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>), los Óxidos de Nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y el O<sub>3</sub>.

En este mismo sentido, la vegetación se ve afectada por la incidencia de la iluminación artificial nocturna de los exteriores de las viviendas, de las vialidades y espacios públicos. El efecto que genera en su estructura foliar de debilitamiento la hace incluso más susceptible a la contaminación atmosférica.

Respecto a la obtención de agua, el ecosistema urbano también impone condiciones que lo impiden. El sellamiento de la mayoría de las superficies mediante la pavimentación hace que las aguas pluviales sean eliminadas vía el sistema de drenaje y el agua no es almacenada en el suelo para el reabastecimiento de los organismos vivos que dependen de ello, como la vegetación.

Por otra parte, el suelo de las urbes se encuentra demasiado compactado, tiene una mala calidad y está cargado de una cantidad de contaminantes, como las grasas, los aceites, la gasolina, los herbicidas, los desechos industriales, los desechos de materiales de construcción, entre otros, que son propios de las actividades urbanas. Estos elementos pueden incidir en la calidad del follaje, así como en la salud del arbolado joven. Además, la toxicidad de los pesticidas y metales pesados pueden dañar a los organismos expuestos, mediante la acumulación en el tejido de vegetación.

En referencia al suelo, se encuentra la poca disponibilidad de espacio que tiene la vegetación para el desarrollo de sus raíces. La vegetación es afectada, sobre todo, por las redes de infraestructura del acueducto, drenaje, la electricidad, así como las estructuras de soporte de los pavimentos y de las edificaciones.

## **1.2 LA CALIDAD DEL AIRE**

Uno de los principales problemas que afecta a las ciudades en la actualidad es la baja calidad del aire, debido a las altas concentraciones de contaminantes en la atmósfera. La relación que ello tiene con la salud humana ha puesto a los gobiernos, instituciones de orden internacional, y a muchas organizaciones no gubernamentales locales, en función de comprender y controlar dichos procesos.

Según estimaciones de la Agencia Europea de Medio Ambiente, los porcentajes de población urbana expuesta a niveles por encima de los estándares de calidad del aire establecidos por la Unión Europea y la Organización Mundial de la Salud entre 1997 y 2006 están entre el 18-50% para Partículas PM<sub>10</sub>, 14-61% para el O<sub>3</sub> y 18-42% para el NO<sub>2</sub> (Gallego, A. et al., 2012, p. 208).

La categoría calidad del aire, según Gallego, A. et al. (2012), se refiere al proceso de evaluación de la concentración de contaminantes,<sup>16</sup> con base en ciertos efectos que puede causar en los receptores. Por otra parte, la NOM-156-SEMARNAT-2012 (2012), además de coincidir con los elementos anteriormente planteados, señala que las concentraciones medidas describen el comportamiento en un lugar y momento determinados y que los niveles permitidos también son regulados, en este caso, por las Normas Oficiales Mexicanas. A los fines del presente trabajo, y considerando que nuestro estudio es en México, elegimos la segunda definición.

Por otra parte, se encuentra la contaminación del aire, que, según López Cabrera, C. M. (2006) se define como:

Condición de la atmósfera en la cual están presentes, en esta, sustancias en concentraciones tales como para afectar la calidad y composición del aire y provocar efectos perjudiciales para los seres humanos, los elementos naturales, ecosistemas, materiales, construcciones e instalaciones, el clima, etc. (p. 16)

Aire y atmósfera son dos categorías que están muy relacionadas, pero necesitamos aclarar que no son lo mismo. El aire es considerado parte componente de la atmósfera, y se trata de una mezcla de gases y partículas (Jacobson, M. Z., 2002). La atmósfera, por su parte, es "la capa de gases que rodea un astro" (López, 2006, p. 1-5). De este modo, la contaminación del aire es un proceso que infiere la contaminación de la atmósfera.

En este sentido, existen varios factores que han influido en el incremento de la contaminación de la atmósfera, y con ello en el detrimento de la calidad del aire. El principal factor podemos decir que ha sido el aumento de los niveles de emisión de

---

<sup>16</sup> En algunas fuentes bibliográficas, como la citada de Gallego, A. et al. (2012), se plantea que las mediciones de los contaminantes son a niveles de inmisión, a las cuales se refieren como "La concentración de contaminantes existentes en la atmósfera a nivel del suelo, de modo temporal o permanente" (p. 61). También complementan que es necesario realizar las mediciones de este modo, debido a la variedad de procesos que ocurren desde que los niveles son emitidos y que básicamente ocasionan que las mediciones de inmisión y emisión sean muy diferentes. En el caso de la normatividad mexicana, no se emplea el término de inmisión, sino que emplea el de "aire ambiente".

El aire ambiente queda definido por la normatividad oficial de México como la "Porción de la atmósfera a la que la población está expuesta, externa a las construcciones" (NOM-022-SSA1-2010).

contaminantes, no solo por las industrias, sino por las actividades humanas de modo general, así como el crecimiento del parque vehicular en las ciudades donde las tasas de crecimiento de la mancha urbana han sido muy superiores a las de la población, como lo es el caso de la Ciudad de México y su zona metropolitana (Simioni, D., 2003).

Sin embargo, no podemos atribuir el incremento en las concentraciones de contaminantes en la atmósfera solamente a las emisiones, pues la contaminación se compone por diversos procesos, que van desde la emisión, la transportación, la dispersión, hasta finalmente su transformación química (Gallego, A. et al., 2012). En estos procesos influyen, entre otros factores, los geográficos, las condiciones del clima, la meteorología, algunos factores socioeconómicos y el uso de suelo.

Por ello, en este apartado, planteamos los elementos que explican la atmósfera, la conformación del proceso de contaminación, así como los procesos de autodepuración que ella misma realiza. Luego, nos referimos a los contaminantes: cuáles son las principales clasificaciones, cuáles son los principales factores que afectan la calidad del aire y sus características, sus principales fuentes de emisión y los efectos que tienen en la salud. Y finalmente, en otro apartado, profundizamos en el O<sub>3</sub>, como uno de los principales contaminantes. Abordamos las principales características de su formación, su comportamiento típico, los principales efectos en la salud, y el proceso mediante el cual el arbolado puede remover el O<sub>3</sub> depositado en sus hojas.

### **1.2.1 LA ATMÓSFERA TERRESTRE**

La atmósfera terrestre está conformada por cuatro capas: la tropósfera, la estratósfera, la mesósfera y la termósfera. Las funciones a las que hemos hecho mención anteriormente no tienen lugar en todas estas capas.

La tropósfera es una capa bien mezclada y muy activa, y también la más cercana a la superficie terrestre. Es donde se producen los fenómenos meteorológicos y donde se da todo tipo de vida en nuestro planeta (Gallego et al., 2012). Es a ella a la que nos referiremos, pues es donde se dan los procesos de contaminación.

Además, esta capa está constituida por varios componentes. Aquellos cuya concentración es igual o mayor al 1% se les conoce como componentes principales, entre los que se encuentran el Nitrógeno, que aporta el 78%, y el Oxígeno (O) el 21%. Al resto se le conoce como componentes menores o traza, y entre ellos se encuentran el Argón, el O<sub>3</sub>, el Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), el Dióxido de Nitrógeno (NO<sub>2</sub>), el SO<sub>2</sub>, el Monóxido de Carbono (CO) y el Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), entre otros.

Algunos de los componentes menores se encuentran entre los que generalmente se consideran contaminantes e, incluso, muchas legislaciones, como las de EE.UU., México y Cuba, los consideran contaminantes criterio<sup>17</sup>. En este sentido, debemos hacer nuevamente referencia al concepto inicial de contaminación del aire, pues esta categoría en sí no supone la presencia de sustancias ajenas a la composición de la atmósfera, sino a las concentraciones de algunos de sus componentes en proporciones mayores a las que en su estructura típica presenta, y ocasionan daños a la salud humana y la de otros seres vivos.

Entre las funciones principales de la atmósfera se encuentra el suministro del aire que respiran los organismos vivos, filtra los niveles dañinos de la radiación solar, interviene en el mantenimiento y distribución de la temperatura mundial, los ciclos biogeoquímicos y el del agua (Gallego et al., 2012; López, 2006).

Además de estos elementos mencionados, la atmósfera tiene una función de autodepuración que, según el *Diccionario del Observatorio de Salud y Medio Ambiente de Andalucía*, es la "Purificación de la Atmósfera de contaminantes por medio de procesos naturales de sedimentación y lavado por precipitación atmosférica". Sin embargo, este proceso de regulación también tiene ciertos márgenes: "La capacidad de autodepuración es efectiva dentro de unos límites de emisión y para compuestos con cierta reactividad, por lo que los gases más inertes o aquellos emitidos en grandes

---

<sup>17</sup> Según la *NOM-156-SEMARNAT-2012* (2012), los contaminantes criterio son definidos como:

"Aquellos contaminantes normados a los que se les han establecido un límite máximo de concentración en el aire ambiente, con la finalidad de proteger la salud humana y asegurar el bienestar de la población. Estos son: el ozono, el monóxido de carbono, el dióxido de azufre, el dióxido de nitrógeno, el plomo, las partículas suspendidas totales, y las partículas suspendidas menores a 10 y a 2.5 micrómetros" (p. 4).

cantidades tienen mayor tendencia a acumularse que los demás” (Gallego et al., 2012, p. 45).

El proceso de contaminación de la atmósfera se constituye por diversos elementos. Aunque en algunos casos se refieren nomenclaturas diferentes, seleccionamos la propuesta de Gallego et al. (2012) para explicar dicho proceso.

En primer lugar, se encuentra la emisión de los contaminantes. Luego, pueden ocurrir tres procesos con ellos, “Pueden resultar transportados por movimientos verticales y horizontales, dispersados o transformados en otras especies químicas” (Gallego et al., 2012, p. 61). En los siguientes apartados abordamos cada uno de ellos, y hacemos hincapié en la influencia que pueden tener en la concentración de los contaminantes.

### **1.2.1.1 Procesos de Dispersión**

La dispersión, según Santa Cruz (2000), “es un proceso físico relacionado con el complejo comportamiento en flujo de la máquina térmica atmosférica” (p. 12). Se encuentra estrechamente relacionado con los procesos de convección<sup>18</sup> natural. Y los mecanismos de los procesos de dispersión son dos, la difusión molecular y la difusión turbulenta (Santa Cruz, 2000).

La tropósfera es la capa más cercana a la superficie terrestre y se considera de gran actividad. Ello se debe a dos factores, uno de ellos, y al cual nos referiremos en este apartado, es el continuo movimiento de masas de aire. El movimiento de las masas de aire se debe a los gradientes de temperatura que ocurren en esta capa, e influyen en el movimiento y dispersión de la contaminación (Gallego et al., 2012).

Estos gradientes tienen un componente vertical y otro horizontal, y ambos están relacionados con la variable temperatura. Los primeros suponen que desciende a medida que aumenta la altura, y los segundos que esta varía en función de las

---

<sup>18</sup> La convección es uno de los procesos de transferencia de energía que ocurren en la atmósfera, según Jacobson, M. Z. (2002), "Es la transferencia de energía, gases y partículas por el movimiento masivo de aire, predominantemente en la dirección vertical" (p. 53).

distintas regiones. Ambos determinan las condiciones de estabilidad atmosférica, y esto regula tanto el movimiento de las masas de aire, como la dispersión de la contaminación. (Gallego et al., 2012)

Uno de los fenómenos asociados al gradiente de temperatura vertical es la inversión térmica, la cual supone una ruptura del gradiente vertical de temperatura, y con ello su incremento con la altura. Su influencia en la dispersión de los contaminantes es que limita el volumen para que se produzca su dilución y con ello ocurre una mayor concentración, de lo cual se deriva una disminución de la calidad del aire. (Gallego et al., 2012; Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de México, 2012)

Este fenómeno se presenta generalmente durante las largas noches de invierno, cuando el suelo se enfría gradualmente. A su vez, también se enfría la capa de aire que está por encima del suelo, haciendo al aire más denso y pesado, así el aire cálido que posee menor densidad se mueve sobre esta masa de aire más frío (Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de México, 2012, p.60).

*La hora de ruptura* es la categoría que define el momento en el cual ambas capas alcanzan similar temperatura, con ello se rompe el fenómeno de la inversión y una mayor capacidad para la dispersión de contaminantes.

Según López Cabrera, C. M. (2006), entre las variables meteorológicas que influyen en la dispersión se encuentran: la velocidad del viento, el nivel de turbulencia atmosférica y la presencia de inversiones térmicas que limitan la dispersión.

Todos estos elementos son útiles a los fines de nuestra investigación, pues se refieren a los momentos clave en que puede ocurrir una mayor o menor dispersión de contaminantes. Ello resulta importante, debido a que nos ayuda a determinar patrones de mayor concentración o dispersión, para la selección de los datos a emplear en el modelo de regresión.

#### **1.2.1.2 Procesos que forman parte de la autodepuración de la atmósfera**

Como ya planteamos, la atmósfera tiene una función de autodepuración y en este proceso está incluida la transformación química de los contaminantes (López, 2006). Sin embargo, esta también tiene ciertos márgenes "La capacidad de autodepuración

es efectiva dentro de unos límites de emisión y para compuestos con cierta reactividad, por lo que los gases más inertes o aquellos emitidos en grandes cantidades tienen mayor tendencia a acumularse que los demás” (Gallego et al., 2012, p. 45).

El primero de estos procesos es el transporte de contaminantes, que también es nombrado como procesos de remoción en algunas fuentes bibliográficas (Cerón, Cerón, Cárdenas, Wohnschimmel & Márquez, 2008). La remoción de los contaminantes de la atmósfera puede darse a través de dos vías: la depositación seca o la depositación húmeda.

La depositación seca consiste en que los gases y partículas se depositan sobre la superficie de las plantas, suelos, cuerpos de agua y materiales, mediante mecanismos de transporte, en períodos de seca (Cerón et al., 2008; López, 2006). Además “Supone la captura directa de los contaminantes por la superficie mediante impacto, sedimentación o difusión” (Gallego et al., 2012, p. 62).

La depositación húmeda se refiere al proceso “Cuando los contaminantes son depositados en la superficie terrestre como precipitación durante eventos de precipitación” (Cerón et al., 2008, p. 5). Por otra parte, “La incorporación puede producirse por disolución en el agua o directamente cuando determinadas partículas actúan como núcleos de condensación de la lluvia” (Gallego et al., 2012, p. 61).

Según López Cabrera, C. M. (2006), los procesos de remoción seca y húmeda se relacionan con variables meteorológicas, como la precipitación atmosférica, la humedad, la temperatura, la turbulencia atmosférica y el viento.

El otro proceso de autodepuración de la atmósfera consiste en la transformación química de los contaminantes. Esta forma de autodepuración parte de los radicales hidroxilos (OH), que mediante la reacción química oxidan algunos componentes de la atmósfera como el CO, el Metano (CH<sub>4</sub>), el SO<sub>2</sub>, y los NO<sub>x</sub>.

Este proceso, según López Cabrera, C. M. (2006) depende de ciertas variables meteorológicas, como la temperatura del aire, la humedad atmosférica, la intensidad de la radiación solar y la precipitación atmosférica.

El transporte de contaminantes es importante para nuestra investigación, pues a partir de los elementos que lo caracterizan podemos plantear que el proceso que más nos interesa es el de remoción seca. Ya que, como planteamos, es el que se encuentra más relacionado con la vegetación, por la depositación que ocurre en ella de los contaminantes. De igual modo, para garantizar que en la concentración de O<sub>3</sub> haya una mayor influencia de la vegetación, debemos excluir datos que impliquen la ocurrencia de remoción húmeda.

### **1.2.1.3 Factores que influyen en los niveles de contaminación atmosférica**

Los niveles de concentración de contaminantes, debido a los diversos factores que influyen en los distintos procesos de la contaminación atmosférica y en el nivel de actividad de la atmósfera, están caracterizados por tener comportamientos diversos, tanto en la escala temporal, como en la espacial.

En las distintas fuentes bibliográficas se refieren una serie de factores que influyen en dichos niveles. Con el fin de tener una mejor comprensión de los mismos, hicimos una sistematización de toda la información que revisamos. Como resultado, establecimos cuatro grupos que se refieren a los factores climatológicos y meteorológicos, las características naturales, los factores urbanos y las características de los ordenamientos, la normatividad y la planeación urbana. A continuación detallaremos cada uno de ellos.

Como bien habíamos visto anteriormente, la tropósfera es donde acontecen los fenómenos meteorológicos, y es por ello que los distintos factores que influyen en sus cambios, intervienen también en una concentración mayor o menor de contaminantes en contextos determinados. Los factores climatológicos y meteorológicos tienen mayor influencia en los procesos de transportación, dispersión y transformaciones químicas. Según diversos autores (Cerón et al., 2008; Gallego et al., 2012; López, 2006; Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de México, 2012, Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de México, 2016; Simioni, D., 2008), estos procesos son:

1. La rapidez y dirección del viento. En este caso, este factor influye en las distancias a las cuales se pueden mover los contaminantes respecto a las

fuentes donde fueron emitidos. El comportamiento típico de esta variable es que a menor velocidad del viento hay un mayor estancamiento de los contaminantes, mientras que a mayor velocidad del viento hay una mayor dispersión. Su comportamiento típico según las horas del día es una mayor velocidad del viento durante el período diurno<sup>19</sup> y menor velocidad del viento en el período nocturno.

2. La temperatura. Este elemento influye directamente en los procesos de inversión térmica, pues el incremento de las temperaturas implica una menor estabilidad atmosférica. A una menor estabilidad atmosférica los procesos de inversión térmica son menos intensos.
3. La humedad y las precipitaciones. En este caso se maneja en términos de la humedad relativa<sup>20</sup>. Este factor se relaciona con la posibilidad de precipitación<sup>21</sup> y, con ello, en una mayor capacidad de remoción húmeda de contaminantes de la atmósfera. Su comportamiento típico es que a mayor humedad relativa del aire, mayor probabilidad de precipitación existe; con ello, una mayor capacidad de autodepuración de la atmósfera. El comportamiento en la escala temporal de esta variable se refleja a nivel anual, con las estaciones de seca y las estaciones de lluvia y es un comportamiento que se refiere a escalas espaciales regionales. No obstante, fuera de dichos períodos se pueden dar eventos que aumenten los valores de este parámetro en un lugar y la ocurrencia de la precipitación, en un momento determinado.
4. La radiación solar. Esta se refiere a la intensidad con la que los rayos solares se comportan en espacio y tiempo. El comportamiento típico en esta variable es que mientras mayor intensidad de los rayos solares, mayor será la cantidad

---

<sup>19</sup> Esto sucede como consecuencias del incremento de la temperatura del suelo, lo cual, como ya explicamos, genera movimiento de las capas de aire como resultado del gradiente de temperatura vertical.

<sup>20</sup> Según la Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de México (2012), la Humedad Relativa:

“Se utiliza para describir la cantidad de vapor de agua en el aire (...) se puede expresar como el cociente entre la cantidad de vapor de agua y la cantidad máxima de vapor de agua requerida para la saturación a una temperatura dada” (p. 61).

<sup>21</sup> Según la Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de México (2012), la precipitación ocurre:

“Cuando el vapor de agua en las nubes alcanza el punto de saturación se produce la condensación del agua en pequeñas gotas que crecen hasta alcanzar un tamaño tal que son precipitadas hacia el suelo por la gravedad, en forma de gotas de lluvia” (p. 62).

de reacciones y transformaciones químicas que ocurran en la atmósfera, y con ello la generación de contaminantes secundarios como el  $O_3$ . Esta variable depende, a su vez, de algunas características geográficas, como la altura y la ubicación geográfica. En el primer caso a una mayor altura habrá una menor distancia de recorrido de los rayos solares, por lo cual su impacto en la superficie terrestre ocurre con mayor intensidad. Por otra parte, la ubicación geográfica se relaciona con el ángulo de incidencia de los rayos solares y con el recorrido mayor o menor que estos realizan, lo cual afecta la intensidad con que llegan a la superficie. Este último elemento determina que la mayor o menor intensidad de los rayos solares ocurra con un comportamiento típico en función de determinados meses del año, para diferentes espacios geográficos. No obstante, existe otro factor meteorológico que es la existencia de nubosidad que, más allá de los comportamientos típicos, puede incidir en la llegada de los rayos solares con menor intensidad.

5. *Altura de la capa de mezclado*. Esta categoría se refiere a la altura máxima que los contaminantes pueden encontrarse y, por ende, el volumen que tienen para la dispersión. Se encuentra muy relacionado con el proceso de inversión térmica, ya visto anteriormente, que presenta una altura de la capa de mezclado de menos altura que en condiciones de inestabilidad atmosférica. El comportamiento típico es que a mayor altura de la capa de mezclado habrá mayor dilución de los contaminantes, así como a menor altura de la capa de mezclado habrá menor dilución de los contaminantes.

Como segundo factor se encuentran las características naturales. En este sentido, el elemento fundamental es la ubicación geográfica. Varios autores consideran que las barreras geográficas influyen en la salida y entrada de contaminantes a determinadas zonas o ciudades, en este caso (López, 2006; Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de México, 2012, Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de México, 2016; Simioni, D., 2008). Esto hace que este factor tenga una gran incidencia en la acumulación de contaminantes. Tal como sucede en el Valle de México, las barreras que delimitan a la ciudad representan, en cierta medida, la imposibilidad de la contaminación de expandirse fuera de ellas, así como el estancamiento de la contaminación al interior de la ciudad.

El tercer elemento se refiere a los factores urbanos. Estos se encuentran relacionados mayormente con los procesos de emisión, pues son las actividades urbanas las que generan la mayor parte de los contaminantes. Según varios autores (López, 2006; Simioni, D., 2008), los que mayor influencia tienen en la concentración de contaminantes en la atmósfera son:

1. Demografía. Esta variable está asociada a los volúmenes de contaminantes que puede recibir una ciudad o área determinada. El comportamiento típico supone que, a una mayor concentración poblacional habrá un mayor volumen de contaminantes emitidos. Esta variable se ve fuertemente influenciada por los patrones actuales de consumo. En América Latina, según Simioni D. (2008), los patrones de consumo han pasado a ser las principales fuentes de contaminación, fundamentalmente por la posesión de vehículos, incluso por encima de los niveles que genera la producción industrial.
2. Nivel y ritmo de industrialización y desarrollo económico. Este factor se refiere básicamente a cómo se realizan las actividades de producción de energía y las actividades industriales, cómo se realizan las actividades que generan polvo, etc. En los países latinoamericanos generalmente estos procesos se encuentran relacionados con tecnologías obsoletas, que no emplean métodos de control de emisión de contaminantes. Aunque hemos planteado anteriormente que la principal fuente de contaminación en América Latina es por las emisiones vehiculares, este factor no deja por eso de ser menos importante.
3. Nivel de emisión urbana vehicular. Este factor se refiere a los elementos relacionados con la composición del parque vehicular de una ciudad, así como las características de su tráfico vehicular. En el caso de la composición es esencialmente por el tipo de combustible que consumen, mientras menos NO<sub>x</sub> y CO<sub>2</sub> emitan, menor volumen de contaminantes emitirán a la atmósfera. En el caso de las características del tráfico es principalmente por la velocidad de la marcha y la frecuencia de puntos de detención, porque suponen una quema mayor de combustibles. En muchas ciudades latinoamericanas, entre las cuales destaca la Ciudad de México, la principal fuente de contaminación es el flujo vehicular (Simioni, D., 2008). Esto, además de ser consecuencia del

incremento de los patrones de consumo, se relaciona con el crecimiento de la mancha urbana, y genera la necesidad de realizar largos y prolongados desplazamientos para acceder a las diversas actividades urbanas de la ciudad central.

Finalmente, y no por ello menos importante, el cuarto factor que influye en los niveles de contaminación atmosférica se refiere a las características de la normatividad y la planeación urbana, que se establecen en los municipios, estados, o países. Están relacionadas con el control de los procesos de emisión de contaminantes a la atmósfera.

1. Establecimiento de los niveles límite de concentración de contaminantes y la calidad del aire. Relacionado con este aspecto, debemos señalar que existen diversas instituciones internacionales como la *Organización Mundial de la Salud* y la *Agencia de Protección al Medio Ambiente de EEUU*, que establecen los niveles de concentración recomendables; sin embargo, algunos países latinoamericanos como México, solamente los asumen a niveles comparativos, pero no de estricto cumplimiento, pues manejan niveles mínimos de exposición para la salud humana. Esto representa que los valores de las normatividades generalmente no toman en consideración las poblaciones más vulnerables. Mientras menos exigentes sean las normatividades respecto a los niveles de calidad del aire, mayor volumen de contaminantes puede ser emitido a la atmósfera, sin que ello se reconozca como un perjuicio para la salud humana, y de los seres vivos que habitan las urbes.
2. Regulación de las emisiones contaminantes. Este componente se refiere a los niveles de emisión que se encuentran regulados por las instituciones de gobierno de los municipios, estados o países. Generalmente se refieren a las emisiones de las industrias, según sus tipos, así como a las emisiones de los escapes de los vehículos motorizados. Claramente, mientras menos estrictos sean estos documentos con los niveles de emisión que establecen, mayores podrán ser las concentraciones de los contaminantes en la atmósfera.
3. La planeación urbana. Este factor se refiere básicamente al control que pueda tener dicha planeación en los niveles de crecimiento de la mancha urbana y, sobre todo, si dicho crecimiento es resultado de una planeación o si es el

resultado de asentamientos irregulares. En este sentido, son importantes las restricciones que impone la planeación al crecimiento, así como también los instrumentos que emplea para que este proceso ocurra de manera ordenada. Como ya planteamos, en América Latina la mancha urbana se ha extendido sin control, y esta es una de las causas fundamentales del incremento del parque vehicular.

### **1.2.2 PRINCIPALES CONTAMINANTES**

Los contaminantes se refieren a algunos componentes atmosféricos cuyas concentraciones son mayores a las de su aporte a la composición típica de la atmósfera. Una de las definiciones más genéricas refiere que es "Toda aquella sustancia que, desde su emisión a la atmósfera hasta su eliminación, causa algún tipo de daño de carácter acumulativo, ya sea al ecosistema o a la salud humana" (Reinosa & Ramos, 2010, p. 3).

Los contaminantes tienen varias formas de ser clasificados. Dos de las más empleadas se refieren a sus características físicas y químicas, y la otra en función de la forma o procesos mediante los cuales son emitidos a la atmósfera.

Según López (2006), a partir de las características físicas y químicas, los contaminantes pueden ser clasificados como gases o como partículas<sup>22</sup>. A su vez, cada una de estas dos clasificaciones pueden ser divididas en sustancias de origen orgánico o inorgánico. Entre los gases inorgánicos se encuentran el SO<sub>2</sub>, los NO<sub>x</sub> y el CO<sub>2</sub>, mientras que los orgánicos son los Hidrocarburos y los Terpenos. Por otra parte, entre las partículas inorgánicas se encuentran los óxidos metálicos y la sílice, y entre las orgánicas la que más destaca es el polen.

Con base en la forma o los procesos mediante los cuales los contaminantes son emitidos a la atmósfera pueden estos ser clasificados como primarios o secundarios (López, 2006; Reinosa & Ramos, 2010). Los primarios se refieren a aquellos que son emitidos directamente a la atmósfera por fuentes contaminantes, entre los cuales se

---

<sup>22</sup> Estas pueden ser líquidas y sólidas.

encuentran el CO, los NO<sub>x</sub>, los Óxidos de Azufre, el material particulado (PM) y los Compuestos Orgánicos Volátiles (COV). Los contaminantes secundarios son aquellos generados en la atmósfera como resultado de las reacciones químicas que en ella ocurren, entre estos se encuentra el O<sub>3</sub>, el Nitrato de Peroxiacilo, las Dioxinas.

Por otra parte, también se encuentran las fuentes contaminantes que, según López (2006), se refieren a “Cualquier proceso o actividad que libera (emite o expulsa) un contaminante hacia la atmósfera” (pp. 1-28). Según Rees & Wackernagel (citados por Mohar, 2016) alrededor del 30% de las emisiones directas de una ciudad están compuestas por aquellas asociadas a la movilidad y la vivienda. Por ello, y con base en las necesidades de nuestro trabajo, nos referimos solamente a la relacionada con el origen de la emisión, que puede ser natural o antrópico.

Para comprender y sistematizar mejor la información, en los próximos apartados abordamos cada uno de los contaminantes criterio que se estudian en México. De los cuales planteamos las principales clasificaciones, según los puntos que anteriormente planteamos, así como sus principales fuentes de emisión y los efectos que tienen en la salud humana y de otros seres vivos.

#### **1.2.2.1 El Dióxido de Nitrógeno, NO<sub>2</sub>**

El NO<sub>2</sub> es un gas inorgánico y según el proceso de emisión a la atmósfera es un contaminante primario. Generalmente tiene un olor fuerte, y es visible en un color carmelita, debido a su proceso de absorción de longitudes de onda rojas y verdes. Su tiempo de vida en la atmósfera es de unos pocos días, por lo cual sus efectos generalmente son locales. Además de ser un gas altamente contaminante, y con efectos negativos para la salud humana y la de los organismos vivos, este gas es uno de los precursores del O<sub>3</sub>, y del ácido nítrico, los cuales son dañinos también para la salud, los ecosistemas y las estructuras físicas. Generalmente para su medición se emplea la unidad de volumen partes por billón (ppb) (López, 2006; Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de México, 2016).

Este contaminante puede ser emitido tanto por fuentes naturales como por otras antropogénicas. Entre las naturales se encuentran los procesos de fotólisis, los

incendios de bosques y herbazales, la oxidación del  $\text{NH}_4$  y la reducción de  $\text{NO}_3$  en la Biósfera (Jacobson, M. Z., 2002; López, 2006).

De las fuentes antrópicas de emisión de  $\text{NO}_2$  la principal es la quema de combustibles fósiles, fundamentalmente para la producción de energía y para el transporte motorizado (Ismael Infante, M. S. & Viltres Oris, Y., 2010; Jacobson, M. Z., 2002; López, 2006; Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de México, 2016). La formación de este contaminante a partir de esta fuente de emisión se da mediante la reacción entre el nitrógeno con el oxígeno atmosférico. La otra fuente antrópica de gran importancia es la quema de biomasa (Ismael Infante, M. S. & Viltres Oris, Y., 2010; Jacobson, 2002; López, 2006).

Este contaminante tiene diversos efectos adversos sobre la salud humana. Cuando las concentraciones no son muy elevadas puede provocar irritación en el tracto respiratorio. Sin embargo, para concentraciones elevadas, los efectos son mucho más adversos. Por ejemplo, puede causar daños en los pulmones e incrementar las infecciones respiratorias y agravar las enfermedades cardiopulmonares, sobre todo en el caso de los grupos poblacionales infantiles. Además, disminuye la respuesta de las vías respiratorias de los asmáticos, por lo cual son un grupo susceptible a este contaminante. Con concentraciones de 80 ppb, pueden darse eventos de dolor de garganta y resfriados. Las concentraciones muy elevadas, entre los 300 y 800 ppb, pueden reducir hasta el 10% de la capacidad pulmonar (Ismael Infante, M. S. & Viltres Oris, Y., 2010; Jacobson, 2002; Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de México, 2016).

#### **1.2.2.2 El Monóxido de Carbono, CO**

El CO es un gas inorgánico y según el proceso de emisión a la atmósfera es un contaminante primario. Es un gas sin sabor, sin color y sin olor. Su tiempo de vida en la atmósfera es de uno a dos meses, lo cual hace que sus efectos puedan alcanzar en ocasiones escalas regionales. Además de ser altamente contaminante, es un importante Gas de Efecto Invernadero (GEI), por su capacidad de absorber la energía infrarroja. Aunque su contribución no es muy elevada, puede tener efecto en la generación de ozono troposférico. La concentración de este contaminante generalmente se mide en partes por millón (ppm), aunque en algunas fuentes y datos

se puede también encontrar  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . A los fines de nuestro trabajo emplearemos la unidad ppm. (Jacobson, 2002; López, 2006; Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de México, 2016)

Este gas puede ser emitido a la atmósfera tanto por fuentes naturales como antrópicas. Entre las naturales se encuentran las emisiones por la actividad biológica, los volcanes, los incendios forestales y la oxidación de  $\text{CH}_4$  e hidrocarburos diferentes al metano (Jacobson, 2002; López, 2006).

Entre las fuentes antrópicas de emisión de CO la principal es la quema incompleta de combustibles fósiles, sobre todo por los vehículos que usan gasolina (Jacobson, 2002; López, 2006; Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de México, 2016). También existen otros procesos que implican la quema de combustibles fósiles, como algunas actividades industriales, quema de biomasa, los incendios forestales, y algunos procesos que oxidan el metano y otros hidrocarburos diferentes de forma antropogénica (Jacobson, 2002; López, 2006; Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de México, 2016).

Este contaminante también tiene efectos adversos en la salud humana. Por ejemplo, a niveles de 300 ppm puede causar dolores de cabeza. Aunque sus efectos suelen ser reversibles al eliminar la exposición a este contaminante, concentraciones sobre los 700 ppm por más de una hora provocan la muerte por asfixia (Jacobson, 2002; Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de México, 2016).

La asfixia de los seres humanos por este contaminante responde a la disolución del CO en la sangre, remplazando el oxígeno ( $\text{O}_2$ ). De este modo, la hemoglobina, que transporta el  $\text{O}_2$  desde los pulmones hasta el resto de los tejidos, solamente deja de transportar  $\text{O}_2$  y lo que transporta es CO, causando la asfixia (Jacobson, 2002).

### **1.2.2.3 El Dióxido de Azufre, $\text{SO}_2$**

El  $\text{SO}_2$  es un gas inorgánico y según el proceso de emisión a la atmósfera es un contaminante primario. Es un gas sin sabor, pero que a concentraciones superiores a

0.5 ppmv<sup>23</sup> suele tener un fuerte olor. Su tiempo de vida en la atmósfera es de 1 a 4 días, por lo cual sus efectos suelen ser locales. Además de ser en sí mismo un contaminante que afecta a la salud humana y la de los seres vivos, este es precursor del Ácido Sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), que tiene una gran influencia en la deposición ácida, en el cambio del clima global, así como en la capa de O<sub>3</sub> estratosférico. La concentración de este contaminante generalmente se mide en ppm (Jacobson, 2002; Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de México, 2016).

Este gas puede ser emitido a la atmósfera tanto por fuentes naturales como antrópicas. Entre las naturales se encuentran las emisiones por la oxidación del Sulfuro de Dimetilo (DMS) que ocurre en los océanos, la oxidación del Sulfuro de Hidrógeno (H<sub>2</sub>S) y los incendios forestales (Jacobson, 2002; López, 2006).

Entre las fuentes antrópicas de emisión de SO<sub>2</sub> se encuentra la quema de combustibles fósiles, para la industria (sobre todo la relacionada con la refinería de petróleo y la que emplea metales en forma de sulfuro, producción de cemento, entre otras), el procesamiento de minerales, la manufactura de productos químicos, y para el funcionamiento de los vehículos motorizados (Jacobson, 2002; López, 2006). Además, según López (2006), otras fuentes antrópicas de emisión son la quema de biomasa y la incineración de desechos.

El SO<sub>2</sub> es un contaminante dañino para la salud, pues como es un gas soluble, puede ser absorbido por la nariz y el tracto respiratorio, donde se produce su oxidación, lo cual provoca la irritación de estas zonas. Las concentraciones elevadas pueden provocar infecciones y enfermedades respiratorias como la bronquitis crónica, el catarro y el asma bronquial. Además, si la exposición a concentraciones elevadas se produce durante lapsos largos y repetidos, este contaminante puede provocar la disminución de las funciones pulmonares. La población con afectaciones pulmonares puede empeorar su estado ante concentraciones superiores a los 250 µg/m<sup>3</sup> o 0.095 ppm. Además de las consecuencias físicas en el organismo humano, también tiene efectos en su estado mental, mediante alteraciones psíquicas (Jacobson, 2002;

---

<sup>23</sup> Esta es otra unidad de medida que expresa las partes por millón por volumen.

Reinosa & Ramos, 2010; Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de México, 2016).

#### **1.2.2.4 Las Partículas Suspendidas (PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>)**

Tal y como dice su nombre, este contaminante se refiere a partículas de origen inorgánico y que según su proceso de emisión a la atmósfera es un contaminante primario. Según Gallego, A. (2008), las partículas suspendidas<sup>24</sup> son “un conjunto de sustancias en estado sólido y líquido que se encuentran en suspensión en la atmósfera o, en el caso de las moléculas más grandes, que se depositan en la superficie muy lentamente” (p. 68). Según los procesos mediante los cuales las partículas suspendidas son emitidas a la atmósfera, pueden ser contaminantes primarios o secundarios.

Las clasificaciones de PM<sub>10</sub> o PM<sub>2.5</sub>, se refieren al diámetro aerodinámico de las partículas, en el caso de las primeras, son las menores o iguales a 10 micrómetros y las segundas menores o iguales a 2.5 micrómetros (NOM-025-SSA1-2014, 2014).

Según la CCA, además de ser un elemento altamente contaminante y con efectos negativos para la salud humana y la de los organismos vivos, las partículas suspendidas influyen en la lluvia ácida, así como su deposición en ríos y lagos puede provocar su acidificación. Generalmente para su medición se emplea la unidad  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Las partículas pueden ser emitidas a la atmósfera tanto por fuentes naturales como antrópicas. Entre las naturales se encuentran las emisiones a consecuencia de los incendios forestales, las provenientes de los volcanes y aquellas que son arrastradas por los vientos de los suelos erosionados y las superficies que no tienen cobertura vegetal (SIMAT).

---

<sup>24</sup> Algunos autores como Gallegos A. et al. (2008), manejan también el concepto de Material Particulado. Básicamente, tanto material particulado como partículas en suspensión se refieren a lo mismo.

Entre las fuentes antrópicas de emisión de partículas suspendidas se encuentra la quema incompleta de combustibles fósiles, la explotación de canteras y los incendios forestales (Jacobson, 2002).

Entre los principales efectos que tienen en la salud las partículas suspendidas se encuentran la irritación del tracto respiratorio, el estrechamiento de las vías respiratorias y el incremento de las tasas de infecciones respiratorias. Además, la exposición de pacientes con asma o bronquitis puede exacerbar estas enfermedades, lo cual los convierte en poblaciones más vulnerables. Vale aclarar que mientras más pequeño es su diámetro aerodinámico, más adentro del sistema respiratorio pueden llegar. Esto representa mayores afectaciones para la salud humana en relación con su sistema respiratorio (Ismael & Viltres, 2010; Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de México, 2016).

### **1.2.3 EL Ozono, O<sub>3</sub>**

El O<sub>3</sub>, es en la actualidad uno de los contaminantes que más aportes hace al decrecimiento de la calidad del aire en diversas ciudades del mundo. Según Gallegos, A. et al. (2012), ha habido un incremento en las concentraciones de este contaminante desde principios del siglo XXI. La comparación de datos de este siglo y el anterior ha demostrado que los valores se han duplicado. Dentener et al. (citados por Gallegos, A. et al., 2012), plantean que dicho incremento responde al incremento de la emisión de los precursores del ozono.

No obstante, es necesario hacer una distinción respecto al O<sub>3</sub>. Este componente de la atmósfera se encuentra en diversas de las capas que la conforman. Generalmente se hace mucha referencia a la capa de ozono, por la importancia que tiene su función en la filtración de los Rayos Ultravioleta<sup>25</sup> de rango B (UV-B), y los de rango C (UV-C)

---

<sup>25</sup> La Radiación Ultravioleta es una de las clasificaciones que se le ha dado a la radiación electromagnética que genera el sol en función del rango de su longitud de onda. Mientras más corta sea la longitud de onda, mayor energía tiene. La Radiación Ultravioleta está en un rango de menos de 400 nm, por lo cual es la que mayor energía aporta. Esta se ha dividido en tres rangos:

UV-A de 315 a 400 nm

UV-B de 280 a 315 nm

UV-C de 100 a 280 nm

que son filtrados por esta capa al 100%. Esta se ha visto deteriorada por el agujero que le ha provocado la emisión de los Clorofluorocarbonos (CFCs) y los Halones. Sin embargo, dicha capa se encuentra en la estratósfera, y dicho O<sub>3</sub> no representa un contaminante del aire que respiramos los seres vivos del planeta Tierra (López, 2006; Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de México, 2012).

En este trabajo nos referimos al O<sub>3</sub> en la tropósfera, a nivel de superficie, pues es el que contamina el aire que respiramos. Con ello ocurre lo que entendemos por deterioro de la calidad del aire. Este ozono es generado en el proceso de formación del smog fotoquímico, el cual está muy relacionado con las áreas urbanas altamente industrializadas y de alta concentración de población. En los siguientes apartados profundizaremos en todos los aspectos de este contaminante.

#### **1.2.3.1 El proceso de formación del Ozono, O<sub>3</sub>**

El O<sub>3</sub>, es un gas inorgánico y según el proceso de emisión a la atmósfera es un contaminante secundario. Es un gas incoloro, aunque a elevadas concentraciones puede verse ligeramente morado porque transmite las longitudes de onda rojas y azules. Además, generalmente no tiene olor, pero si sobrepasa los 0.02 ppmv sí se puede percibir al olfato. Su tiempo de vida en la atmósfera puede durar desde horas hasta días, aunque generalmente la persistencia de las condiciones de altas concentraciones de O<sub>3</sub> oscilan en el rango entre las 8 y las 12 horas diarias, lo cual depende de las condiciones de dispersión. La concentración de O<sub>3</sub> en el aire ambiente se expresa en ppm o partes por billón (ppb).

Este es un contaminante secundario, o sea que no es emitido por alguna fuente, sino que su existencia en la tropósfera responde a la ocurrencia de reacciones químicas. Las mayores problemáticas que presentan los contaminantes secundarios es que, en primer lugar, pueden ser trasladados a largas distancias partiendo de donde fueron liberados los precursores, por lo que es difícil establecer dónde se dieron los procesos de formación. En segundo lugar, su control es mucho más difícil que el de los primarios, pues no existen fuentes de emisión que puedan ser controladas, ni tampoco hay modo de saber dónde fueron emitidos sus precursores.

El smog fotoquímico ha sido definido por López (2006), como la "Cadena compleja de reacciones fotoquímicas en la atmósfera baja, inducidas por la radiación solar, y en las que participan los contaminantes primarios NO<sub>x</sub> y COVs dando como resultado la formación de ozono" (p. 6-17).

Según Gallegos, A. et al. (2012), la formación del smog fotoquímico está relacionada con la oxidación de los Compuestos Orgánicos Volátiles (COV), el CO y el CH<sub>4</sub> en la presencia de Óxidos de Nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y la radiación solar<sup>26</sup>. Si bien estas reacciones forman parte de los procesos naturales de la atmósfera en la generación de un nivel de fondo, la existencia en demasía de algunos de estos precursores ocasiona una mayor acumulación de O<sub>3</sub> en la atmósfera.

Las reacciones químicas que ocurren en la atmósfera y que dan origen al O<sub>3</sub> son tres. En un primer lugar está el proceso del ciclo fotolítico<sup>27</sup> del NO<sub>2</sub>, en el cual la fotólisis de este contaminante lo descompone en O y Monóxido de Nitrógeno (NO); el primero al interactuar con el O<sub>2</sub> forma el O<sub>3</sub>. En condiciones de existencia de estos componentes en concentraciones típicas, el O<sub>3</sub> termina siendo convertido nuevamente en NO<sub>2</sub> en la noche, al no haber incidencia de rayos solares (Gallegos, A. et al. 2012).

Este proceso anterior se ve influenciado por otros dos, que son los que propician la mayor concentración de O<sub>3</sub>: la formación de radicales libres a partir de los COV diferentes al CH<sub>4</sub> y la formación de radicales a partir del CH<sub>4</sub>. En el primer caso, los radicales peroxilo (RO<sub>2</sub>) oxidan el NO, lo cual provoca la formación de NO<sub>2</sub>, teniendo como resultado que haya una mayor formación de O<sub>3</sub>. En el segundo caso, la reacción con los radicales OH produce O<sub>3</sub> y CO, este último interviene en la eliminación de los radicales OH, pero forma RO<sub>2</sub>, que nuevamente, como en el caso anterior, al relacionarse con el NO lo oxida y genera más NO<sub>2</sub>, y con ello el incremento del O<sub>3</sub> (Gallegos, A. et al., 2012).

---

<sup>26</sup> Como vimos en apartados anteriores, los procesos de transformación de contaminantes que se dan en la atmósfera es mediante las reacciones químicas, las cuales dependen en gran medida de la influencia de la radiación solar.

<sup>27</sup> La Fotólisis, según el Diccionario de la Real Academia Española es la "Descomposición de una sustancia por acción de la luz u otra radiación electromagnética".

El NO generalmente no es considerado como un contaminante criterio, pues no tiene efectos nocivos para la salud humana. Aunque no lo abordamos en los apartados anteriores es necesario que comprendamos su importancia, por el papel que juega como precursor del O<sub>3</sub>. No obstante, también hay que tener en consideración que hay otros factores, como la intensidad de la radiación solar, la temperatura y la estabilidad atmosférica, que inciden en la formación del O<sub>3</sub>. Además, existen otros condicionantes que, una vez generado el O<sub>3</sub>, influyen en el incremento de su concentración, como el descenso de las precipitaciones y condiciones anticiclónicas y el decrecimiento de tasa de depositación seca sobre la vegetación (Gallegos et al., 2012).

### **1.2.3.2 Comportamiento típico del Ozono, O<sub>3</sub>**

El O<sub>3</sub> tiene comportamientos típicos en función de algunas escalas temporales. En primer lugar, tiene un ciclo anual que responde a la temperatura básicamente. En este caso, existe una menor concentración en invierno. En esta temporada existe una intensidad de la radiación solar menor a la de los meses de verano, cuando las concentraciones generalmente son mayores.

Así mismo, existen patrones de concentración de O<sub>3</sub> diarios. Estos se dan en horarios diurnos, debido a la incidencia de la radiación solar, lo cual no ocurre en los horarios nocturnos, cuando las concentraciones bajan.

También generalmente se pueden encontrar patrones en el comportamiento semanal. En este caso, los factores que pueden influir en mayor medida son la frecuencia de uso de los coches por día de la semana, por la emisión de CO y NO<sub>x</sub>. Sin embargo, este comportamiento es difícil de tipificar, pues cada ciudad generalmente tiene sus propias dinámicas en este sentido, lo cual podría hacer variar estos patrones, incluso entre municipios, dentro de un mismo estado o país.

### **1.2.3.3 Efectos en la salud humana y otros seres vivos**

Según algunos autores, tras la exposición a concentraciones de 150 ppb, los seres humanos pueden experimentar dolores de cabeza, mientras los dolores en el pecho, la falta de la respiración, la tos y las molestias al respirar pueden relacionarse con la exposición a concentraciones de 250 ppb. Además, en los animales, la exposición a

niveles por encima de 100 ppb, puede causar una mayor susceptibilidad a las infecciones bacterianas. (Jacobson, 2002; Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de México, 2016).

La Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de México (2016) plantea que la exposición a niveles de concentración de 300 ppb mientras se realizan ejercicios físicos, disminuye las funciones respiratorias, ocasiona dolor de garganta y tos. Además, en cantidades relativamente bajas pero constantes, el O<sub>3</sub> provoca enfermedades respiratorias y envejecimiento del tejido pulmonar.

Hay grupos de población que son más susceptibles a este contaminante. Las personas que padecen de asma, bronquitis crónica y aquellos que presentan enfisema pulmonar, experimentan un mayor riesgo de agravamiento de sus padecimientos. Además, tanto los niños, como las personas de edad avanzada presentan mayor susceptibilidad a padecer los efectos del O<sub>3</sub>.

Por otra parte, este contaminante puede tener efectos serios sobre la vegetación, sobre todo en el arbolado, pues incrementa el estrés en ellos, lo cual aumenta su susceptibilidad a las enfermedades, las infecciones e incluso la muerte (Jacobson, 2002; Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de México, 2016).

Aparte de todo lo anterior, el O<sub>3</sub> también disminuye la visibilidad atmosférica y afecta las superficies y materiales como el caucho, los tintes, los textiles y las fibras (Jacobson, 2002; López, 2006).

#### **1.2.3.4 La vegetación y sus efectos en la remoción del Ozono, O<sub>3</sub>**

Finalmente, y ya para terminar el apartado sobre la contaminación atmosférica, abordaremos el efecto que puede tener la vegetación en la remoción de la contaminación, con base en el proceso de transportación de contaminantes, mediante la deposición seca.

Varias investigaciones han tratado de relacionar a la vegetación, sobre todo el arbolado con la filtración del ozono a través del proceso de remoción. En este caso Smith (citado por Benavidez Meza, 1989) refiere que el O<sub>3</sub> “se difunde por los espacios estomáticos y reacciona rápidamente en la superficie de las células del mesófilo” (p.

975). Refiriéndose a esta misma investigación, Benavidez Meza (1989) plantea que quedó comprobado que especies como “Betula Populifolia y Acer Rubrum son muy efectivas en la reducción del *ozono ambiental* en forma considerable luego de 8 horas de exposición” (p. 975).

### **1.3 LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS: EL VÍNCULO ENTRE LA CALIDAD DEL AIRE Y LOS SISTEMAS DE VERDES URBANOS**

Los servicios ecosistémicos o servicios generados por los ecosistemas han sido definidos por De Groot et al. (Citados por Haase, et al., 2014) como “El subconjunto de las funciones ecológicas (procesos físicos, químicos y biológicos) que son directamente relevantes o de beneficio para el bienestar del hombre” (p. 414).

Estos han sido clasificados, en función del servicio que entregan, como servicios de provisión, de regulación, de hábitat y soporte, y culturales (Haase, et al., 2014; Landscape Institute, 2009; TEEB-The Economics of Ecosystems and Biodiversity, 2011).

Los servicios ecosistémicos de regulación comprenden la regulación del clima local y de la calidad del aire, el secuestro y almacenamiento de carbono, la moderación de los eventos extremos, el tratamiento de las aguas residuales, la prevención de la erosión y mantenimiento de la fertilidad del suelo, la polinización y el control biológico (TEEB-The Economics of Ecosystems and Biodiversity, 2011).

Este es un concepto que aún se considera joven por algunos autores, pues a penas a partir de los años 90 fue que comenzó su uso y aplicación en estudios. Inicialmente, se tomaban en cuenta los ecosistemas naturales, pero la concepción ecosistémica de las ciudades ha llevado a la consideración también de los servicios que en ella se pueden generar. Tal es el caso de Haase et al. (2014), que han estudiado los servicios ecosistémicos urbanos. Sin embargo, es necesario entender que la heterogeneidad de los ecosistemas urbanos los hace diferentes a los ecosistemas naturales, lo cual implica que no todos los componentes de una ciudad puedan proveer algún tipo de servicio ecosistémico.

Para referirse a los componentes del ecosistema urbano que pueden proveer servicios ecosistémicos, Haase et al. (2014), han desarrollado el concepto de *Unidades de Provisión de Servicios* (UPS) que definen como "segmentos de un componente de poblaciones, especies, grupos funcionales (gremios), redes alimentarias, o tipos de hábitats que colectivamente proveen el servicio en un área determinada" (p. 414).

Las UPS han sido clasificadas como bosques, agricultura urbana, parques urbanos, caminos de agua o lagos, cementerios, fábricas urbanas, lotes baldíos, periferia rural, infraestructura, el gradiente urbano – rural y la infraestructura verde<sup>28</sup>. Es precisamente en este último elemento donde se pueden incluir los verdes urbanos, como componentes del sistema de verdes urbanos.

El motivo del presente apartado es, básicamente, la revisión de este enfoque que nos permite ver en un solo modelo los sistemas de verdes urbanos, y la calidad del aire. Mediante los servicios ecosistémicos podemos comprender la calidad del aire como uno de los beneficios que el hombre puede obtener de los servicios ecosistémicos de regulación, que proveen los sistemas de verdes urbanos como UPS (ver Gráfico 1).

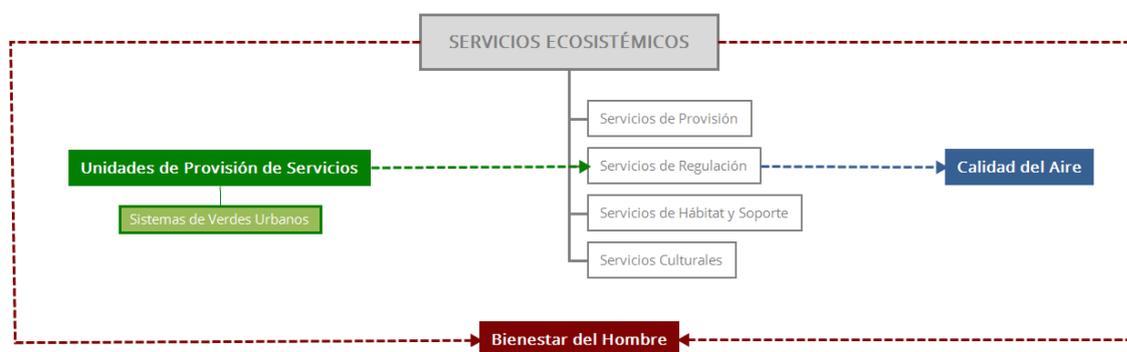


Gráfico 1 Enfoque de Servicios Ecosistémicos  
Fuente\_ Elaboración propia

<sup>28</sup> La infraestructura verde (IV) es un término que surgió en algunas zonas de Inglaterra, aunque ya se ha ido extendiendo a otras partes del mundo. Este concepto se refiere a "Una red de espacios verdes interconectados que conservan los valores y funciones de los ecosistemas naturales y proveen beneficios asociados a las poblaciones humanas" (Benedict & McMahon, 2001, p. 5) . Esta forma de concebir los espacios ha sido propuesta como un enfoque para asumir la planificación, el diseño y manejo de los paisajes. Como se puede observar, bajo esta concepción, los espacios verdes son considerados como sistema. Entre los componentes de la Infraestructura Verde que proponen se encuentra: el arbolado vial, en bordes y ejes, techos y paredes verdes, parques de bolsillo, jardines privados, plazas urbanas, derechos de vía, cementerios y áreas de enterramiento de iglesias, pequeños bosques, reservas naturales locales, campos deportivos y áreas baldías, entre otras. (Landscape Institute, 2009)

Sin embargo, para nuestra investigación, la importancia del uso de este enfoque va más allá de poder ver en un mismo modelo nuestro fenómeno de estudio.

La orientación de los estudios de los servicios ecosistémicos está mayormente dirigida a hacer evaluaciones económicas de los beneficios que la naturaleza provee; de modo que puedan brindar a planificadores, educadores y gestores de las ciudades elementos que les permitan comprender su importancia. Si bien los objetivos de nuestro trabajo no están enfocados hacia la valorización económica del servicio de regulación de la calidad del aire que realizan los sistemas de verdes urbanos, desde nuestro trabajo sí pretendemos aportar la definición de características estructurales de estos sistemas, que pueden potenciar la provisión del servicio de regulación de la calidad del aire.

### **1.3.1 LOS SISTEMAS DE VERDES URBANOS COMO UNIDADES DE PROVISIÓN DE SERVICIOS**

Para comenzar aclaramos algunas cuestiones indispensables para comprender el enfoque de los servicios ecosistémicos urbanos. Existen diferencias entre las funciones ecológicas, los servicios ecosistémicos y los beneficios que son entregados a los hombres. El concepto de servicio ecosistémico hace referencia a un subconjunto de las funciones ecológicas que realizan los ecosistemas, o las UPS, específicamente las que proveen bienestar al hombre.

Cuando hablamos de las funciones ecológicas de la vegetación nos referimos a "Todas aquellas alteraciones en el medio ambiente urbano resultantes de la actividad vegetal en la ciudad" (Gómez, 2013, p. 56). Mientras que los servicios ecosistémicos hacen referencia a aquellas que benefician al hombre.

Por otra parte, al hablar de los beneficios nos referimos específicamente a las condiciones o bienes propiciadas por la vegetación que favorecen al hombre y que son resultado directo o indirecto de sus funciones ecológicas. Más explícitamente, el servicio de regulación de la calidad del aire es parte de la función ecológica que realiza la vegetación en la variación de la composición atmosférica, lo cual se constituye en ventaja para el hombre, en la medida que obtiene un aire más limpio para respirar.

Luego de precisar estas cuestiones, podemos comprender los sistemas de verdes urbanos como uno de los componentes de las UPS en las ciudades. Estos sistemas pueden brindar servicios de provisión, de regulación, de hábitat y soporte, y culturales.

Entre los servicios de provisión, los de hábitat y soporte y los culturales se encuentra la producción de madera y alimentos, la biodiversidad y vida salvaje y las oportunidades de recreación y paraísos estéticos respectivamente (WRI, 2000).

Los servicios de regulación que realiza la vegetación son los que nos interesan. Entre estos está el mejoramiento de la calidad del aire, el secuestro de carbono, la regulación de la temperatura y el control de las aguas pluviales (Baró et al., 2014; WRI, 2000).

El mejoramiento de la calidad del aire o la filtración del aire, como se le llama indistintamente en diversas fuentes bibliográficas, es un servicio que se da directamente a través de la función ecológica de la vegetación de variación de la composición atmosférica mediante la absorción de gases tóxicos (Gómez, 2013).

El proceso de absorción de gases contaminantes es realizado por las hojas de la vegetación mediante sus estomas. Entre los gases que absorbe se encuentra el O<sub>3</sub> troposférico. Aunque esta función actúa directamente absorbiendo los contaminantes presentes en la atmósfera, la vegetación realiza otra función ecológica que permite la reducción de O<sub>3</sub> troposférico, pero no mediante su absorción una vez que ya ha sido formado en la atmósfera, sino evitando precisamente que se forme.

Esta función es, específicamente, el conjunto de variaciones que genera en el clima (Gómez, 2013). Como ya vimos, los rayos solares son uno de los elementos clave en la formación del O<sub>3</sub> troposférico, pues es solo mediante ellos que los precursores de este contaminante reaccionan y ocurre la transformación. La variación que la vegetación propicia en la temperatura y la incidencia de los rayos solares en las ciudades puede, de este modo, influir indirectamente en una menor formación de dicho gas.

### **1.3.1.1 Estudios de los efectos de la vegetación y los servicios de regulación de la calidad del aire**

Existen diversos elementos que se han abordado en los principales estudios sobre vegetación y servicios de calidad del aire. En este apartado los rescatamos para poder consolidar la base de los elementos fundamentales que conforman los atributos estructurales de los sistemas de verdes urbanos, los cuales están relacionados con la calidad del aire.

El estudio en el cual nos basamos se desarrolló en Barcelona, y empleó el modelo *UFORE* para el cálculo de la descontaminación atmosférica por el arbolado urbano. Uno de los elementos que más nos interesa de este trabajo son las conclusiones que algunos autores plantean sobre los resultados obtenidos en dicha investigación.

Baró et al. (2014) afirman que las contribuciones del verde urbano de Barcelona para cumplir con los parámetros que establece la Unión Europea para la calidad del aire son bajas. Terradas, Franquesa, Parés & Chaparro (2011), por su parte, plantean que los efectos más relevantes de los verdes urbanos se deben a “los usos recreativos y los valores estéticos, sociales o relacionados con la salud física y psíquica” (p. 60).

Sin embargo, en esta investigación sobre los efectos de descontaminación del verde urbano en Barcelona, se analiza el arbolado de forma individual en el territorio, incluso los estratos herbáceos no forman parte del análisis. Además, los resultados de todos sus servicios se manejan a la escala de una ciudad completa.

Todo esto deja de lado las particularidades que tienen los sistemas de verdes urbanos, según la concepción que le hemos dado en nuestro trabajo, la cual toma en cuenta las características de homogeneidad que pueden representar los barrios o colonias para el desarrollo de la vegetación, y conformación de sistemas diferentes.

También existen otros elementos que rescatamos de este estudio. Se trata de algunas variables de la vegetación que pueden influir en una mayor capacidad de descontaminación del aire. Entre estas se mencionan la selección de especies perennifolias, las dimensiones de los individuos, la tasa de crecimiento, las características foliares y las prácticas de mantenimiento (Baró et al., 2014). Si bien

estos elementos se refieren más a los atributos de composición, los cuales son mucho más complejos por la escasez de inventarios de vegetación en la Ciudad de México, son características que serían importante incluir en la investigación.

#### **1.4 CONCLUSIONES PARCIALES DEL CAPÍTULO**

La ecología urbana es el marco general de conocimiento que nos ha permitido comprender, en un mismo modelo, a la ciudad como un ecosistema, sus sistemas de verdes urbanos componentes y los servicios ecosistémicos que estos últimos entregan.

El ecosistema urbano y sus componentes deben ser comprendidos desde las diferencias que los identifican: heterogeneidad y heterotrofia. Sin embargo, estas condiciones no limitan el desarrollo de los procesos biogeoquímicos que realizan los sistemas de verdes urbanos. Por ello, hemos concluido lo siguiente: identificar los atributos que potencian el desarrollo de los servicios ecosistémicos que entrega la vegetación, podría contribuir a incrementar la autotrofia de los sistemas urbanos.

De acuerdo con los planteamientos de Camargo Ponce de León (2005), los sistemas de verdes urbanos pueden ser analizados con base en sus atributos estructurales, los funcionales y los de composición. Como los sistemas de verdes urbanos no han sido caracterizados en función de ninguno de estos elementos, hemos decidido que en nuestra investigación solamente manejaremos los atributos estructurales. En primer lugar, porque no hay datos sobre los de composición; en segundo, porque los funcionales se definen con base en los cambios en los atributos estructurales.

Según los aspectos abordados en este capítulo, hemos resuelto que los atributos estructurales de mayor relevancia para nuestro estudio, y con base en los cuales debemos construir las variables de los sistemas de verdes urbanos, son los referidos al tamaño de los componentes, a los estratos de la vegetación y a la fragmentación o conectividad entre los elementos de los sistemas.

También es importante destacar la importancia de otros atributos, como el origen de la vegetación y la forma de agrupación de sus partes. Sin embargo, esta información no existe hasta el momento, por lo cual hemos determinado que no pueden formar

parte de las variables de análisis. No obstante, más allá de las necesidades propias de nuestra investigación, es necesario que se creen bases de datos de información de la vegetación urbana, para que se puedan estudiar los diversos servicios ecosistémicos que entregan.

Como en investigaciones previas no ha sido determinada una escala adecuada para el estudio de los sistemas de verdes urbanos, hemos decidido trabajar los atributos estructurales en, al menos, dos escalas.

El servicio de regulación de la calidad del aire es parte de la función ecológica que realiza la vegetación en la variación de la composición atmosférica, la cual realiza mediante la absorción del  $O_3$ , a través de las estomas de sus hojas. Debido a esto, hemos resuelto que, para los fines de nuestra investigación, es necesario medir la calidad del aire a partir de la reducción de  $O_3$ , ya que su función es absorber este contaminante.

En la contaminación por  $O_3$  ocurren diversos procesos. Con el fin de excluir los efectos de los factores que influyen en su formación, dispersión, transporte o deposición húmeda, hemos determinado limitar las bases de datos a los datos que excluyan estos comportamientos. De este modo, dejamos un mayor margen a que la reducción de  $O_3$ , sea por el efecto de la vegetación.

Finalmente, para el estudio de los ecosistemas se han generado algunos principios como el análisis de los factores de estado y el análisis de los impulsores de cambio. A los fines de nuestra investigación, hemos concluido que es más útil analizar el ecosistema urbano de la Ciudad de México a partir de los factores de estado. Esto se debe a la necesidad de comprender los elementos principales de los sistemas de verdes urbanos y la calidad del aire, en el período exacto en el cual realizamos el estudio.

## CAPÍTULO 2. ESTUDIO DE LA CIUDAD DE MÉXICO

En este capítulo abordamos los principales elementos sobre la Ciudad de México, de modo que podamos comprender cómo se comportan en el territorio los sistemas de verdes urbanos y la calidad del aire.

Para analizar los factores de estado de la Ciudad de México hacemos referencia, básicamente, a datos del año 2010 y 2011, pues nuestro marco temporal es el año 2011. No obstante, recurrimos a algunos datos del 2010 porque no todas las variables que revisamos estaban caracterizadas para ese año.

Aunque en nuestra investigación nos enfocamos en el estudio de los verdes urbanos, para el análisis de los factores de estado tomamos en cuenta información de todo el territorio<sup>29</sup> de la Ciudad de México.

En el primer apartado revisamos los factores de estado de la Ciudad de México. Para ello nos referimos al clima y a los organismos vivos. En el último tema hacemos énfasis en las características poblacionales, económicas y de crecimiento de la mancha urbana. Luego, incluimos la ordenación jurídica en términos de calidad del aire y los sistemas de verdes urbanos, como elementos que pueden describir el estado de la Ciudad de México, cuando es analizada como ecosistema. Ello se debe fundamentalmente a la influencia que tienen estos elementos en el comportamiento de ambas categorías, tanto en el país, como en la ciudad objeto de estudio.

Finalmente vemos, en dos apartados diferentes, la situación de la calidad del aire y de los sistemas de verdes urbanos en la Ciudad de México en el período del año 2011.

---

<sup>29</sup> En relación a ello es importante recordar que la intención de estudiar los sistemas de verdes urbanos responde a la necesidad de determinar la influencias que estos elementos pueden tener sobre la calidad del aire dentro de la ciudad. Por ello, considerar el suelo de conservación nos aleja de este objetivo, de dos maneras. Primero, porque las características de dicha zonificación, según plantea el Reglamento de Zonificación del Distrito Federal de 1982, subordina el desarrollo urbano a los intereses de preservación del medio ambiente. Esto supone que el desarrollo urbano en esta zonificación sea mínimo. En segundo lugar, porque estas áreas naturales, como ya bien su nombre lo indica, tienen gran diferencia respecto a los atributos estructurales de los sistemas de verdes urbanos.

## **2.1 ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE ESTADO DE LA CIUDAD DE MÉXICO**

Entender la ciudad como un ecosistema implica considerar que sus componentes están en interacción, y que cada uno de ellos puede influir y recibir la influencia de otros componentes. Por ello, para el análisis de la Ciudad de México no podemos exclusivamente referirnos a las dos variables que estudiamos: calidad del aire y sistemas de verdes urbanos, sino que debemos considerar otros factores, los cuales influyen en ellas.

En este caso, abordaremos tres elementos fundamentales. En primer lugar, los principales aspectos relacionados con el clima, los cuales se encuentran relacionados con las características geográficas de los territorios. Para ello, revisamos su comportamiento durante el año 2011, de modo que podamos asociar dichos aspectos con las concentraciones de O<sub>3</sub>. Por otro lado, si bien el análisis de los factores de estado considera el sustrato como uno de los factores, en nuestra investigación decidimos no incluir este elemento, dada la homogeneidad por la pavimentación de superficies, que se presentan a lo largo del suelo urbano de la Ciudad de México.

Luego, hacemos referencia a las particularidades que imprime el hombre con sus actividades al ecosistema de la Ciudad de México. Para ello tomamos en cuenta la superficie de la ciudad, las características de la población y algunos elementos económicos de interés.

La selección de estos elementos para el análisis del estado de la Ciudad de México, la basamos fundamentalmente en que son estos los factores principales que están influyendo en el deterioro de la calidad del aire. Además, también ayudan a comprender la complejidad de la zona metropolitana, y el riesgo a que están expuestos, no solo los habitantes propiamente de la ciudad, sino también los de toda la metrópoli.

### **2.1.1 CLIMA**

Existen diversas variables climáticas que tienen gran influencia en los procesos de contaminación. Por ello consideramos que del comportamiento de estas variables dependerá, en una parte, la calidad del aire en la Ciudad de México.

De modo general, para comprender el comportamiento de muchas de estas variables se han establecido para la Ciudad de México tres temporadas climáticas: la seca fría, que va de noviembre a febrero y se caracteriza por la ocurrencia de eventos meteorológicos como masas de aire frío; la seca caliente, va de marzo a mayo y se caracteriza por altas presiones y días calurosos; la temporada de lluvia, va de junio a octubre y es cuando ocurren fenómenos meteorológicos como tormentas tropicales y huracanes (Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de México, 2012).

A continuación, analizamos las variables del clima que están relacionadas con los procesos de contaminación, con base en estas temporadas que referimos en párrafo anterior.

#### **2.1.1.1 La rapidez y dirección del viento**

Para el año 2011, según la Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de México (2012), el comportamiento de esta variable, según la temporada, fue como describimos a continuación.

Durante la temporada seca fría se formaron vientos dominantes provenientes del oeste, asociados a cielos despejados. En la temporada de lluvia los vientos fueron del norte hacia el sur. Con base en los comportamientos horarios los valores más bajos de velocidad del viento ocurrieron entre las 5:00 y las 8:00 horas. Su incremento se fue dando a medida que pasaban las horas, y alcanzó sus valores máximos entre las 18:00 y 19:00 horas (Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de México, 2012).

En relación a la dirección del viento, el O<sub>3</sub> se concentró en aquellas zonas debajo de su dirección. Para el año 2011, las estaciones que marcaron las mayores concentraciones de este contaminante estaban ubicadas hacia el sur de la Ciudad de México, pues los vientos predominantes eran en este sentido (Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de México, 2012).

#### **2.1.1.2 La temperatura**

La temperatura anual promedio en la Ciudad de México fue de 16.7 ° Celsius, mientras que la máxima y la mínima alcanzada en el 2011 fueron de 34.4 ° y - 2.9 °. Los valores máximos ocurrieron en los meses de marzo y agosto, mientras que los mínimos

ocurrieron en la estación invernal. El mes más cálido fue mayo, mientras enero y diciembre fueron los menos cálidos.

### **2.1.1.3 La radiación solar**

Para la estimación de los valores de esta variable, el Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México construye un índice de radiación solar, que la clasifica en relación con cinco categorías: baja, moderada, alta, muy alta y extremadamente alta. Las radiaciones extremadamente altas se dan generalmente entre las 12:00 y las 14:00 horas. La mayor intensidad de radiación se da entre los meses de junio y septiembre (Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de México, 2012).

### **2.1.1.4 Ocurrencia de Inversiones térmicas**

Si bien la altura de la *capa de mezclado* es importante por la influencia que tiene en la concentración mayor de contaminantes, a los efectos de nuestro análisis tomamos como referencia la ocurrencia de *inversiones térmicas*, pues en el año 2011 no hay datos de dicha variable. Para ello nos basamos en que la menor altura de la *capa de mezclado* se da específicamente cuando ocurren eventos de inversión térmica.

El período de seca fría, que es cuando las temperaturas alcanzan los valores mínimos, se caracteriza por la ocurrencia de fenómenos de inversión térmica; sin embargo, la incidencia de la radiación solar no es muy fuerte en este período y no propicia la ocurrencia de reacciones químicas que transformen a otros contaminantes en O<sub>3</sub> (Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de México, 2012).

En el año 2011 la mayor ocurrencia de estos eventos fue en los meses de enero y diciembre, en la temporada seca fría. Para esta temporada el horario de ruptura se dio entre las 9:25 y 10:42 horas. La cantidad aproximadamente fue de 18 inversiones térmicas por mes (Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de México, 2012).

En la temporada seca caliente dichos eventos sucedieron en mayor cantidad entre marzo y abril, con 11 en total. En el mes de mayo ocurrieron 8. Para esta temporada el horario de ruptura se daba entre las 9:00 y 10:00 horas (Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de México, 2012).

### **2.1.1.5 Humedad relativa y precipitaciones**

El comportamiento típico de la humedad relativa en la temporada seca es en promedio inferior al 40%, mientras que en temporada de lluvia es superior al 50%. Los porcentajes más bajos se dieron en los meses de enero a mayo, que no sobrepasaron el 50%, mientras que julio fue el de mayor humedad relativa, con 69%. Por su parte, las precipitaciones se comportaron de manera bastante regular, con lluvias típicas de mayo a octubre (Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de México, 2012).

La importancia de la humedad del aire con porcentajes más elevados es que permite la reacción de los contaminantes con el agua y, finalmente, la precipitación limpia la atmósfera (Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de México, 2012).

### **2.1.2 ACTIVIDAD HUMANA EN LA CIUDAD DE MÉXICO**

Según la PAOT (2010), la Ciudad de México tiene una superficie total de 1,495 km<sup>2</sup>, de los cuales 609.3 km<sup>2</sup> son de suelo urbano. La superficie nacional según INEGI es de 1,960,189 km<sup>2</sup>, lo cual revela que la Ciudad de México ocupa el 0.076% del territorio nacional. Estos datos no parecen tan relevantes hasta que los relacionamos con la población.

Por una parte, según INEGI (2011), para el año 2010 la población total (PT) nacional y la de la Ciudad de México eran de 112,336,538 y 8,851,080 habitantes respectivamente, lo cual nos muestra que en tan solo el 0.076% del territorio nacional habita el 7.87% de la población nacional.

Esto se refleja directamente en que la Ciudad de México tenga la densidad de población más grande del país, de 5921 hab./km<sup>2</sup>, la cual es 103 veces más grande que la nacional, de 57 hab./km<sup>2</sup>. Además, es 8.72 veces mayor que la segunda densidad poblacional más grande del país, que es la del Estado de México con 679 hab./km<sup>2</sup>.

Sin embargo, al analizar estas variables a nivel de la Zona Metropolitana del Valle de México<sup>30</sup> (ZMVM), la población alcanza los 20,116,842 habitantes. Esta información es relevante pues, aunque los estados de México e Hidalgo están aportando la mayor parte de la población, más del 50% de la población ocupada del Estado de México trabaja en la Ciudad de México. Además, según INEGI (2011), para el año 2010 la Ciudad de México aportó el 18% del Producto Interno Bruto<sup>31</sup> (PIB). Según la OCDE (2015), la ZMVM en el año 2010 aportó el 23% del PIB del país, esto deja claro que más de la mitad del PIB que se genera en la ZMVM es producido en la Ciudad de México. De este modo, el fenómeno metropolitano le imprime una mayor complejidad a esta ciudad.

Por otra parte, si bien el suelo urbano de la Ciudad de México representa el 40.76% de la totalidad de la entidad, este dato se hace relevante cuando vemos que en la entidad el 99.5% de la población vive en localidades urbanas<sup>32</sup> (INEGI, 2011).

Aunque todos los datos apuntan hacia la importancia de la Ciudad de México dentro del contexto nacional, y particularmente dentro la ZMVM, algunas variables tienen un comportamiento que indica las problemáticas que presenta la ciudad en términos de contaminación, vulnerabilidad ante desastres, opciones de empleo, movilidad, entre otras.

Por una parte, la Tasa Neta Migratoria es la más negativa dentro del territorio nacional, con el -5.9% en el período de 2005 a 2010 (INEGI, 2011). Este comportamiento se ve reforzado, según Mohar (2016), por las condicionantes ambientales y normativas que restringen el desarrollo de vivienda en la ciudad, así como la propia política de vivienda que tiende a expulsar a la población de menos recursos.

---

<sup>30</sup> Aunque no estamos profundizando en el tema metropolitano en la investigación es necesario plantear que, para el año 2010, la Zona Metropolitana del Valle de México estaba constituida por las 16 delegaciones del Distrito Federal, 59 municipios del Estado de México y 1 municipio del estado de Hidalgo. (SEDESOL, CONAPO, INEGI, 2012)

<sup>31</sup> Calculado en pesos constantes en base al año 2003.

<sup>32</sup> Según INEGI, las localidades urbanas son de 2500 o más habitantes.

Aunado a lo anterior, la Ciudad de México tuvo la tasa de crecimiento poblacional más baja del país, de 0.3%, es seis veces más pequeña que la nacional. Esto se refleja directamente en la proporción de población menor de 15 años de edad más pequeña a nivel nacional, la cual es de 21.9%; mientras que la nacional es del 28.9%. Además, se manifiesta en el incremento de la población mayor de 65 años, que de 2005 a 2010 creció en un 1%, y es además un 1.6% mayor que la proporción de población de más de 65 años a nivel nacional (INEGI, 2011).

Además, para el año 2010, la población económicamente activa (PEA) de la Ciudad de México representaba el 60.9% de la PT, mientras que la nacional era del 58.9%, lo cual podemos comprender como efecto directo del incremento de la población adulta en la ciudad. Sin embargo, la población ocupada (PO) del agregado nacional es mayor que la de la ciudad, con un 94.4% y 93% respectivamente, y la tasa de ocupación de la Ciudad de México fue la séptima más baja del país (INEGI, 2012).

## **2.2 ELEMENTOS DEL ORDENAMIENTO JURÍDICO DE LOS SISTEMAS DE VERDES URBANOS Y LA CALIDAD DEL AIRE COMO FACTORES DE ESTADO DEL ECOSISTEMA DE LA CIUDAD DE MÉXICO**

Si bien este elemento no estaba incluido entre los factores de estado que plantea Pickett et al. (2011), decidimos incorporarlo, pues es uno de los componentes de regulación de los ecosistemas urbanos, en nuestro caso de la Ciudad de México. Por ello, en los siguientes apartados vemos los principales elementos reguladores de la calidad del aire y los sistemas de verdes urbanos en la Ciudad de México.

### **2.2.1 ORDENAMIENTOS JURÍDICOS EN RELACIÓN A LA CALIDAD DEL AIRE**

La calidad del aire en la Ciudad de México ha sido un problema, según la Comisión Ambiental Metropolitana (2002), desde la segunda mitad del siglo XX. Por ello, desde principios de los años 70, tanto a nivel nacional como de la propia ciudad, se han desarrollado un conjunto de ordenamientos en la materia que han buscado revertir dicha situación. Esto ha ocurrido desde diferentes sectores e instituciones, pues el tema de la contaminación atmosférica tiene repercusiones de forma generalizada en la sociedad.

El elemento principal y de mayor jerarquía en este sentido es que el derecho a un medio ambiente adecuado para el bienestar de los hombres es uno de los elementos plasmado en el Artículo 4º de la *Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos*. A partir de ello, se establecen una serie de ordenamientos generales, federales y estatales, que se encargan de hacerlo cumplir.

Uno de los aspectos fundamentales en materia de derechos ambientales es la *Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente* (LGEEPA). El *Reglamento de la LGEEPA en Materia de Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica*, del año 2004, establece que la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales establecerá y mantendrá actualizado un Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire, así como operará el Sistema de Monitoreo de la Calidad del Aire en el Distrito Federal y su zona conurbada, que se regirá por las normas técnicas ecológicas y de la Secretaría de Salud. Otro elemento de importancia, en referencia a la calidad del aire, es el *Reglamento de la LGEEPA en materia de Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes*. En este se establece que se llevará un registro de emisiones y transferencia de contaminantes, así como que la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente es la encargada de la vigilancia y verificación de la información que se entrega en esta materia.

Otros dos ordenamientos generales de importancia son la *Ley General de Salud* y la *Ley General de Cambio Climático* (LGCC). La primera establece en su artículo 3º, fracción XV, que es materia de salubridad general “La prevención y el control de los efectos nocivos de los factores ambientales en la salud del hombre” (p. 2). También se declara que corresponde a la Secretaría de Salud establecer las Normas Oficiales Mexicanas, para el establecimiento de los valores de concentraciones máximas permisibles al ser humano de contaminantes del ambiente, entre los cuales se encuentran los contaminantes atmosféricos. Por su parte, la LGCC tiene como parte de sus objetivos la regulación de las emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero.

También, en este sentido, se encuentra la *Ley General de Asentamientos Humanos* (LGAH). Esta establece la relación entre el desarrollo urbano y las regulaciones ecológicas, para lograr una mayor calidad de vida de los habitantes.

Respecto a los Ordenamientos Jurídicos Locales del Distrito Federal, el elemento más importante es la *Ley Ambiental de Protección a la Tierra del Distrito Federal*. En esta se establecen los elementos fundamentales para la prevención y el control de la contaminación. Entre estos aspectos se encuentra la elaboración de programas de gestión de la calidad del aire, el inventario de las fuentes de emisión, el establecimiento y la operación del sistema de monitoreo de la calidad del aire, así como la elaboración y emisión de un pronóstico de la calidad del aire para conocimiento de la población. Además, se refiere al control de las emisiones contaminantes provenientes de fuentes fijas, de fuentes móviles, y la regulación de quemas a cielo abierto, así como a los programas de contingencias ambientales.

En los siguientes apartados haremos referencia a las Normas Oficiales Mexicanas, los programas, los inventarios y el Sistema de Monitoreo de la Ciudad de México, todos ellos con origen en los ordenamientos vistos anteriormente.

### **2.2.1.1 Normas Oficiales Mexicanas**

En materia de Normas Oficiales Mexicanas y calidad del aire existen 12 normativas. Hay 6 que regulan las concentraciones de los contaminantes criterio en sus niveles permisibles para la salud humana, y 6 que establecen los métodos de medición para cada uno de ellos.

Dichos contaminantes son el CO, los NO<sub>x</sub>, el O<sub>3</sub>, el Plomo (Pb), las Partículas Suspendidas Totales PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub> y el SO<sub>2</sub>. Además, existe la *NOM-156-SEMARNAT-2012*, que dispone los elementos para el establecimiento y la operación de los sistemas de monitoreo de la calidad del aire.

En la actualidad, es en la *NOM-020-SSA1-2014*<sup>33</sup>, donde se establece el valor límite permisible para la concentración de O<sub>3</sub>. En esta se define que la unidad de medición

---

<sup>33</sup> Esta norma es la actualización de la *NOM-020-SSA1-1993*. Para los efectos de nuestra investigación y las referencias que haremos al cumplimiento de las normas en el año 2011, estaremos hablando de la de 1993, que estaba vigente aún durante el período de estudio. Esta actualización representó la modificación de los valores permisibles por promedio horario y promedio de ocho horas, los cuales fueron reducidos a 0.095 ppm y 0.070 ppm respectivamente.

será ppm, que es “la expresión de la concentración en unidades de volumen del gas relacionado con el volumen del aire ambiente” (p. 6). No obstante, a los efectos de la base de datos que contamos del Sistema de Monitoreo Atmosférico, las concentraciones de O<sub>3</sub> están medidas en ppb.

En la *NOM-020-SSA1-1993*<sup>34</sup> se establecen los dos valores límite de concentración. Uno se refiere al promedio horario, que es 0.110 ppm; el otro, es el promedio de 8 horas que es de 0.080 ppm.

Por otra parte, la *NOM-036-SEMARNAT-1993* establece que el procedimiento para la determinación de la concentración del O<sub>3</sub> en el aire ambiente es la Luminiscencia química, y que las condiciones de referencia deben ser de temperatura igual a 25° Celsius y la presión de 101 kPa.

#### **2.2.1.2 Programas**

En el ámbito de la contaminación, el Gobierno del Distrito Federal ha desarrollado varios programas que han ido dirigidos, tanto hacia la disminución de los contaminantes como a la preparación para la minimización de los riesgos a su exposición. En este sentido, consideramos que el primer programa que debemos abordar es el *Programa de Contingencias Ambientales Atmosféricas (PCAA)*, de cumplimiento obligatorio para la Ciudad de México. Este fue definido por la Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México (2016) como:

Un programa de emergencia que se activa ante la presencia de niveles de contaminación que comprometen la salud de la población general. Se activa ante un episodio de contaminación en el que la concentración de ozono o partículas alcanza niveles que podrían poner en riesgo grave la salud de la población que se encuentra expuesta (p. 79).

Como bien dice el planteamiento anterior, este programa se activa por dos contaminantes: O<sub>3</sub> y Partículas, y se compone de tres fases: la Precontingencia, la Fase I y la Fase II. A cada uno de ellos le son establecidos valores límite y medidas

---

<sup>34</sup> En nuestro trabajo hacemos referencia a esta norma y no la de 2014, pues es la que estaba vigente para el período de estudio del año 2011.

en caso de activación. Los valores de concentración de O<sub>3</sub> y Partículas PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> se determinan a partir del Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA). Este Programa además tiene un manual, que es donde quedan establecidas las metodologías de aplicación con mayor detalle.

El segundo programa al cual haremos referencia es el PROAIRE 2002-2010, que realiza la Comisión Ambiental Metropolitana. Este es para la gestión de la calidad del aire, y dirige sus medidas a las emisiones de fuentes industriales, de servicios y de las fuentes móviles. Según la Comisión Ambiental Metropolitana (2002) si se cumpliera con los valores que establecen las Normas Oficiales Mexicanas en términos de O<sub>3</sub>, del año 2002 al 2010, los beneficios económicos serían de entre 717 y 1,129 millones de dólares. Sin embargo, para ello también plantean que sería necesario disminuir la emisión de los precursores en un 70%, lo cual en el propio programa se consideró que no era posible.

A partir de los elementos anteriores, las metas para el O<sub>3</sub> que estableció el programa para el período de acción fueron eliminar las concentraciones mayores a 200 IMECA; además, reducir el número de días con concentraciones entre 100 y 200 IMECA, y disminuir el número de días con concentraciones de O<sub>3</sub> dentro del límite de la norma.

Además, plantearon una serie de estrategias encaminadas a la reducción de emisiones. Entre estas se consideran las generadas por el transporte, las de la industria y los servicios. También se incluyen elementos para la preservación y restauración de los recursos naturales y la prevención de la expansión de la mancha urbana.

En este sentido, si bien se toman en cuenta elementos de modernización y mejoramiento tecnológico, la mayor incidencia se dirige hacia el transporte motorizado sobre tierra. Además, el mejoramiento de las condiciones de vialidad incluye la construcción de vías nuevas para evitar los embotellamientos. Esto incrementa las facilidades para el uso del automóvil.

### **2.2.1.3 Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México (SIMAT)**

Este sistema pertenece a la Dirección General de Gestión Ambiental del Aire, de la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal. Está conformada por cuatro subsistemas: La Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA), la Red Manual de Monitoreo Atmosférico (REDMA), la Red Meteorológica (REDMET) y la Red de Depósito Atmosférico (REDDA).

La medición del O<sub>3</sub> es realizada por la RAMA. Esta tiene como objetivos principales determinar la exposición de la población a los contaminantes atmosféricos y el transporte de contaminantes.

En el año 2007 se realizó la revisión del SIMAT para determinar la confiabilidad de la información que estaba arrojando. A partir de dichos resultados, en el año 2010 se comenzó el proceso de rediseño del SIMAT. La RAMA (a los efectos de la investigación es el componente del sistema que nos interesa) fue modificada mediante la eliminación de 11 estaciones cuyos resultados eran redundantes, se le añadieron otras nuevas, y finalmente para el año 2011 estaba conformada por 29 estaciones, 15 en la Ciudad de México y 14 del Estado de México (Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de México, 2012).

### **2.2.1.4 Inventarios de emisiones contaminantes**

La realización de los inventarios de emisiones contaminantes, como vimos anteriormente, es definida en los ordenamientos jurídicos. Aunque en nuestra investigación analizamos un contaminante secundario, O<sub>3</sub>, el cual no es emitido por fuente alguna, sino que es transformado mediante la reacción química de sus precursores. El conocimiento de las emisiones es importante, pues estos otros contaminantes sí son emitidos por fuentes puntuales o móviles.

En la Ciudad de México y el resto del país se realizan diversos inventarios, que generalmente abordan fuentes contaminantes diferentes, o gases diferentes. Uno de ellos es el *Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2010*, realizado por el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), en

el cual se planteó como uno de sus resultados el incremento de CO<sub>2</sub> en un 23.6% para el 2010 respecto al 1990 (Zambrano, 2015).

Además, existen inventarios que estudian las emisiones de las fuentes móviles que, a los efectos de la Ciudad de México, son las principales causantes de la elevada contaminación. Entre estos se encuentra el *Inventario Nacional de Emisiones de Fuentes Móviles para México 2013*, realizado por el INECC y la *Campaña Sensor Remoto*, que también monitorea las emisiones vehiculares mediante sensores remotos, y ha tenido mediciones en los años 1994, 2000, 2005, 2008, 2010, 2013, 2014 y 2015.

## **2.2.2 ORDENAMIENTOS JURÍDICOS EN RELACIÓN CON LOS SISTEMAS DE VERDES URBANOS**

En este apartado revisamos los ordenamientos del ámbito urbano y ambiental. La base constitucional principal para la regulación de los sistemas de verdes urbanos está en el Artículo 4º. Como mencionamos en el apartado 2.2.1, este hace referencia al derecho de todas las personas a tener un medio ambiente adecuado. Aunque para los ecosistemas urbanos, la vegetación juega un papel fundamental, no queda explícitamente planteado en ninguna normativa que estos elementos sean un derecho también de las personas.

Uno de los ordenamientos jurídicos fundamentales en esta materia es la LGEEPA. En sus artículos 15º y 17º se establece la necesidad de la regulación ambiental de los asentamientos humanos y la consideración de los desequilibrios ecológicos que se generan como resultado de los asentamientos humanos. El ordenamiento ecológico se establece como un instrumento de la política ambiental que no interfiere, en el caso de la existencia de centros de población. En este sentido, a los efectos de nuestra investigación, no resulta relevante.

Por otra parte, en esta misma ley se constituyen las Áreas Naturales Protegidas (ANP) como instrumentos de regulación ambiental del territorio. Según la PAOT (2013), estas quedan definidas como

Espacios físicos naturales que poseen características escenográficas y cuyos ambientes originales no han sido significativamente alterados por actividades antropogénicas. En las

ANP hay diversas especies de flora y fauna, además de que proveen de bienes y servicios ambientales y culturales a la población (p. 56).

Aunque en la concepción de las ANP no existe un enfoque de servicios ecosistémicos, su categoría de protección implica que estas áreas tienen valores que les permiten entregar servicios ambientales. En la Ciudad de México hay un conjunto de 23 ANP (58,336.47 hectáreas), y están clasificadas y cuantificadas de la siguiente manera:

- 7 Zonas sujetas a conservación ecológica
- 9 Parques nacionales
- 1 Área de protección de flora y fauna
- 4 Reservas ecológicas comunitarias
- 1 Parque urbano
- 1 Zona de Conservación ecológica

No obstante, este instrumento no es materializado hasta que el ANP tiene un Plan de Manejo Ambiental. Esto implica que su declaratoria no es suficiente.

Al respecto podemos concluir que los verdes urbanos en la Ciudad de México si no están considerados dentro de las ANP, no cuentan con planes de manejo y dependen esencialmente de la actividad de las delegaciones o municipios para su manejo y gestión. Además, si no son grandes áreas verdes como el Bosque de Tlalpan o el Bosque de Chapultepec, los verdes urbanos no son considerados como proveedores de servicios ambientales o servicios ecosistémicos.

Por otra parte, se encuentra la LGAH, la cual establece en su artículo 3º que el desarrollo urbano de los centros de población deberá tender a mejorar la calidad de vida de la población. A pesar de este planteamiento, no se establecen regulaciones o aspectos generales del ordenamiento en relación a los verdes urbanos, así como tampoco su concepción sistémica.

Respecto a los ordenamientos jurídicos locales de la Ciudad de México, el elemento más importante es la *Ley Ambiental de Protección a la Tierra del Distrito Federal*. En ella se definen las Áreas de Valor Ambiental (AVA). Las AVA son una categoría que relaciona los verdes urbanos con la calidad del aire, aunque no de manera explícita.

La ley plantea que son áreas que permiten mantener la calidad ambiental de la ciudad, pero no específica en qué sentido. Una vez más, solamente se les da valor para contribuir a la calidad ambiental de la ciudad a aquellos conjuntos de vegetación que mantienen sus características originales y que tienen una superficie relativamente grande.

La mayor relevancia de esta ley, a nuestro juicio, es que establece una clasificación de las áreas verdes, que define en su Artículo 5º como "Toda superficie cubierta de vegetación, natural o inducida que se localice en el Distrito Federal" (p. 5). A los efectos de nuestra investigación, los sistemas de verdes urbanos son un subsistema del sistema de áreas verdes de la Ciudad de México. Además, esta ley hace una clasificación de estas áreas verdes que hemos tratado de sintetizar de la siguiente manera:

1. Arborización urbana: elementos vegetales de porte arbóreo. Ubicadas en aceras, vía pública y al interior de predios privados. Pueden ser de propiedad pública o privada. Son las áreas de menor superficie identificadas.
2. Áreas verdes complementarias: pueden ser ocupadas por diversos tipos de vegetación. Ubicadas en camellones, glorietas, esquinas de calle. Son de propiedad pública. No tienen un patrón de tamaño determinado, pues muestran gran variabilidad.
3. Plazas y Jardines: función planificada de recreación, descanso, esparcimiento. Pueden ser ocupadas por vegetación arbórea y/o arbustiva. Pueden ser de propiedad pública o privada. Superficies aproximadas de 5000m<sup>2</sup>. Gran parte del suelo sellado.
4. Parques, arboledas y alamedas: pueden tener función planificada o no de caminos o corredores para el tránsito peatonal. Vegetación arbórea densa y puede haber o no pastos. Son de propiedad pública. Superficie aproximada 80mil m<sup>2</sup>.
5. Bosques urbanos: pueden tener varias funciones, incluso poseer vialidades vehiculares. La vegetación arbórea predomina, aunque hay también pastos y en algunos casos arbustos. Son propiedades públicas. Aquí dice que tienen hasta 686 hectáreas de superficie. Pueden ser declarados como AVA.

6. Promontorios, cerros, colinas, elevaciones y depresiones orográficas: tienen función de área deportiva, turísticas y de esparcimiento. Los verdes urbanos que se incluyen en esta categoría pueden ser considerados espacios AVA o ANP.
7. Equipamientos urbanos con vegetación: su función está relacionada con su uso de suelo específico, como áreas deportivas, etc. Su propiedad puede ser pública o privada, por lo cual algunas pueden tener restricciones en su uso. No dice tipo de vegetación. Pueden ser áreas verdes de unidades habitacionales, de campus universitarios, de cementerios, de aeropuertos, etc.

Por otra parte, también queda establecido en el Artículo 88º que las áreas verdes no pueden ser alteradas en superficie o cambiarles el uso de suelo.

Sin embargo, al revisar el ordenamiento jurídico de orden local en materia urbana, todos los elementos anteriormente vistos son omitidos. La *Ley de Desarrollo Urbano del Distrito Federal* y su reglamento conciben las áreas verdes como parte del concepto de espacio público. Esta es una cuestión que desde el inicio del presente trabajo hemos tratado de diferenciar, y evidencia la desarticulación que existe entre el desarrollo urbano y los elementos ambientales.

Además, existen otros ordenamientos locales<sup>35</sup> de la Ciudad de México que, si bien hacen referencia a las áreas verdes, no aportan un concepto claro que pueda articular dichos componentes del territorio en varios ámbitos.

Las instituciones encargadas de los verdes urbanos en la Ciudad de México son la Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial (PAOT) del Distrito Federal, la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal, la Secretaría de Obras y Servicios, las delegaciones, la Procuraduría General de Justicia de la Ciudad

---

<sup>35</sup> Estos ordenamientos son: *Ley de Cultura Cívica, Ley de Obras Públicas, Ley de Participación Ciudadana, Ley de Planeación Demográfica y Estadística para la Población del Distrito Federal, Ley de Protección a Animales, Ley de Publicidad Exterior, Ley de Residuos Sólidos, Ley de Salud, Ley de Transporte y Vialidad y Reglamento de Impacto Ambiental y Riesgo.*

de México y la Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda (SEDUVI) (Centro de Especialistas en Gestión Ambiental, 2013).

### **2.2.2.1 Normas y Manuales**

En términos de verdes urbanos, las normas que existen son propias para la Ciudad de México. Una de las más importantes, en este sentido, es la *NADF-006-RNAT-2004*, que establece los requisitos, criterios, lineamientos y especificaciones técnicas que deben cumplir las autoridades, personas físicas o morales que realicen actividades de fomento, mejoramiento y mantenimiento de áreas verdes públicas.

Además, está la *NADF-001-RNAT-2006*, la cual establece los requisitos y especificaciones técnicas que deberán cumplir las autoridades, empresas privadas y particulares que realicen poda, derribo, trasplante y restitución de árboles en el distrito federal. En esta norma, además, se establecen los mecanismos para la restitución de los árboles derribados, así como el manejo de los desechos del producto de la poda y el derribo.

Derivado de esta última normatividad se encuentra el *Manual Técnico de Poda*, el cual funciona como una guía para llevar a cabo las actividades de poda, derribo, trasplante y restitución de arbolado.

Además, se encuentra el *Manual Técnico para el Establecimiento y Manejo Integral de las Áreas Verdes Urbanas del Distrito Federal*. El mayor valor, a los efectos de nuestro trabajo, es que en este manual se incluye un listado de 101 especies de árboles y arbustivas de la Ciudad de México, y una clasificación de cada uno, de acuerdo a su sensibilidad a la contaminación.

### **2.2.2.2 La PAOT**

La PAOT es “Una de las cuatro autoridades del Distrito Federal que tienen como finalidad la defensa de los derechos ambientales y territoriales de los habitantes de la Ciudad de México” (PAOT, 2013). Su principal atribución es la atención a las denuncias ciudadanas. A lo largo del desarrollo de la actividad de la PAOT, las acciones más denunciadas, en términos de verdes urbanos, son los derribos inapropiados o sin autorización, las podas inapropiadas o sin autorización, trasplantes

inapropiados o sin autorización, la falta de mantenimiento y los daños provocados al arbolado por personas, plagas y enfermedades.

En el año 2011 la cantidad de denuncias que recibió la PAOT, en materia de áreas verdes, fue mayor a la del año 2010. El crecimiento fue de un 7%. Por otra parte, las delegaciones que mayor cantidad de dictámenes tuvieron en el año 2011 fueron la Gustavo A. Madero, la Benito Juárez y la Cuauhtémoc.

### **2.2.2.3 Inventario de Áreas Verdes 2009**

Los inventarios de áreas verdes son los estudios que realiza la PAOT para cuantificar las áreas verdes totales de la Ciudad de México. A lo largo del desarrollo de dicha institución se han realizado dos estudios. En nuestro trabajo solamente haremos referencia al del año 2009, pues es la base de datos de los sistemas de verdes urbanos que utilizaremos para realizar las pruebas de la Estadística Inferencial.

Este estudio empleó Imágenes Quick Bird, las cuales permiten una resolución de 60 cm, la cual es mucho mayor que la del inventario anterior. Esta resolución permitió que se pudieran identificar los verdes urbanos en término de los distintos estratos: arbolados, pastos<sup>36</sup> y arbustos. Además, el trabajo de identificación de áreas verdes empleó la imagen del sensor Spot5, que tiene una resolución de 10 m. Como resultado de todo ello, las unidades mínimas cartografiables que se alcanzaron fueron de 50 m<sup>2</sup> (PAOT, 2010).

## **2.3 SITUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE EN LA CIUDAD DE MÉXICO RESPECTO AL O<sub>3</sub> EN EL AÑO 2011**

El problema de la calidad del aire en la Ciudad de México es una de las cuestiones más críticas desde el pasado siglo. El comportamiento histórico del O<sub>3</sub> hasta el 2006 indicaba una disminución constante. En los últimos años, aunque los valores se han reducido respecto a las concentraciones que se daban en el siglo pasado, se ha

---

<sup>36</sup> En este inventario, se clasificaron además los verdes urbanos como áreas deportivas, las cuales se referían a zonas de pastos, por lo cual, para los fines de nuestro análisis, estas fueron consideradas dentro de la superficie de pastos.

producido un incremento. Por ejemplo, los valores del año 2011 son un 8% mayores que los del año 2010 (Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de México, 2012).

Esta situación se vuelve preocupante cuando relacionamos los efectos del O<sub>3</sub> en la salud del hombre con la cantidad de habitantes que están expuestos a este contaminante. Según la Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de México (2012), en el año 2011, 6.8 millones de personas vivían en áreas de la ZMVM donde las concentraciones de O<sub>3</sub> exceden, en más de 100 horas, el valor de 110 ppb. De ellos, el 87% vivían en la Ciudad de México.

Además, para el año 2011 "En el caso del ozono se registró un incremento de aproximadamente 2.5 ppb con respecto al promedio de todas las estaciones durante el año previo" (Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de México, 2012, p. 26). Esto constituye obviamente un problema urbano, cuando una gran parte de los precursores de este contaminante son emitidos mediante la actividad vehicular. La Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de México (2012), planteó que para el 2011 esta era la principal fuente de contaminación de la ZMVM.

Esto se revierte directamente en los problemas de salud de los habitantes urbanos. Como ya planteamos, las poblaciones más vulnerables a este contaminante por grupo de edad son los niños y los adultos mayores.

"En estudios poblacionales sobre mortalidad total y por causas específicas se han encontrado asociaciones significativas por la exposición a ozono. Se ha observado mayores efectos en personas de 65 años y más, así como en menores de 15 años y con enfermedades preexistentes de tipo cardiovascular y respiratorio, reportándose incrementos en el total de las muertes por causas no externas de 0.65% a 2.4% y de 1.39% a 3.9% en personas mayores de 35 años por cada 0.010 y 0.100ppm en la concentración horaria máxima de ozono respectivamente" (Secretaría de Salud, 2014, p. 5).

Por todos los elementos planteados, en los próximos apartados abordamos los principales tópicos en relación con la contaminación por O<sub>3</sub> en la Ciudad de México en el año 2011. En ellos vemos las principales características de este proceso, los logros que se han dado, así como las principales problemáticas que se presentan en esta temática.

### **2.3.1 CARACTERIZACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA**

Para comenzar este apartado haremos referencia al cumplimiento, a lo largo del período 2011, de la *NOM-020-SSA1-1993*, así como de los valores recomendados por la OMS y la US EPA. De modo general, no se cumplieron ninguno de los límites de exposición aguda que establece la norma mexicana, ni de promedio horario ni de promedio de ocho horas. Las recomendaciones que establece la OMS y la US EPA son mucho más exigentes, por lo cual estas tampoco fueron cumplidas.

Según el estudio de Jaimes, Muñoz, Ortuño & Granados (2004), el O<sub>3</sub> en la Ciudad de México tiene comportamientos atípicos en cualquier época del año. Por ello, en el siguiente apartado planteamos los patrones de comportamiento durante el año 2011.

#### **2.3.1.1 Patrones de comportamiento**

Los patrones de comportamiento que podemos identificar por las concentraciones de O<sub>3</sub> se dan según el horario, el día de la semana y el mes del año.

El comportamiento horario del O<sub>3</sub> en el año 2011 mostró en su perfil diario niveles más bajos durante las primeras ocho horas del día. A partir de las 8:00 horas empezaba a subir hasta alcanzar su máxima concentración entre las 15:00 y 16:00 horas. A partir de ese horario empezaban a bajar las concentraciones hasta terminar el día.

Para comprender mejor este comportamiento también hay que tener en cuenta el del CO y los NO<sub>x</sub>, que son sus precursores. Estos tuvieron concentraciones máximas en la mañana y en la tarde, durante las horas en que el flujo vehicular es más intenso. Sin embargo, para la formación del O<sub>3</sub> influyen más las emisiones de la mañana. En primer lugar, porque es cuando se da la mayor intensidad de la radiación solar. Y, en segundo lugar, porque en la tarde la atmósfera es más inestable y existe una mayor altura en la capa de mezclado y una mayor dilución de contaminantes. Por ello, la mayor acumulación del contaminante se experimentó después de las horas de mayor intensidad solar.

Respecto a los días de la semana, el comportamiento del O<sub>3</sub> se diferenció un poco más al de sus precursores. Durante el 2011, los días de la semana que tuvieron mayor concentración fueron los domingos; mientras que sus precursores experimentaban los

mayores niveles los días viernes. Los jueves se experimentaban las concentraciones más bajas de O<sub>3</sub>.

El comportamiento mensual muestra que, en el año 2011, el mes de mayor concentración de O<sub>3</sub> fue mayo. En enero comenzó el crecimiento de los valores, hasta alcanzar, en mayo, el nivel máximo del año. De mayo a julio hubo un descenso, y de julio a agosto volvieron a subir los niveles, aunque no alcanzaron los valores extremos de mayo. Esto responde a la ocurrencia de procesos de remoción húmeda por el período de lluvias. Finalmente, de septiembre hasta diciembre decrecieron los valores.

### **2.3.1.2 Índice Metropolitano de la Calidad del Aire, IMECA**

El IMECA es el índice metropolitano que se estima para determinar la calidad del aire, este se utiliza, además, para la activación de las fases de contingencia del PCAA. En el año 2011, el O<sub>3</sub> junto con las partículas fueron los contaminantes que más afectaron la calidad del aire.

De forma general, en el 2011 hubo 22 días con niveles seguros, 189 días con calidad “Regular”, 146 días con calidad “Mala” y 8 días con calidad “Muy Mala”.

Según la categorización que realiza la Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de México (2012) en días sucios y días limpios, de los 365 días, 124 fueron limpios y 241 sucios; esto indica que el 66.03% de los días estuvieron sucios. De estos días, solamente en 87 no estuvo presente el O<sub>3</sub>, lo cual indica que el 42.19% de los días del año estuvieron sucios por este contaminante.

En el año 2011 se activó el PCAA cinco veces, de ellas, 4 fueron por O<sub>3</sub> y solamente 1 por PM<sub>10</sub>. Dichos eventos se dieron, para el O<sub>3</sub> en marzo, mayo, junio y noviembre, todos entre las 14:00 y 16:00 horas.

### **2.3.2 PRINCIPALES PROBLEMÁTICAS**

De modo general identificamos dos problemáticas respecto a la formación de O<sub>3</sub> en la Ciudad de México. Por un lado, existen factores naturales que influyen en los niveles de concentración de cualquiera de los contaminantes atmosféricos, incluyendo los precursores del O<sub>3</sub>. Por ello nos referimos a las condiciones fisiográficas de la Ciudad

de México. Su formación en forma de valle propicia que sea más difícil la dispersión fuera de las elevaciones. Además, la altura y la latitud geográfica hacen que, por un lado, sea mayor y más intensa la radiación solar; por otro, que haya una menor cantidad de O<sub>2</sub> que a nivel del mar. Ambos factores influyen en que pueda haber una mayor formación de O<sub>3</sub>.

Como una segunda cuestión, en la Ciudad de México, desde hace varios años atrás, las principales fuentes de contaminantes primarios son las móviles con las emisiones de los vehículos motorizados. Si bien existen herramientas como el *Programa Hoy No Circula*, que parecieran propiciar un menor flujo vehicular, las preferencias por vehículos nuevos ha incentivado su compra, lo cual, a su vez, incrementa el número del parque vehicular.

## **2.4 SITUACIÓN DE LOS VERDES URBANOS EN LA CIUDAD DE MÉXICO**

Una vez que ya hemos visto los factores de estado de la Ciudad de México, para el año 2011, en este apartado hacemos una revisión específica, en términos de la situación de los verdes urbanos.

En este caso nos basamos en cuantificaciones a nivel de delegación. De ello vemos los principales resultados del inventario de áreas verdes para el año 2009, así como las principales problemáticas que se presentan para los sistemas de verdes urbanos.

### **2.4.1 INVENTARIO DE LAS ÁREAS VERDES**

En la Ciudad de México, el suelo urbano está constituido solamente en su 18.5% por árboles, pastos o arbustos. Tomando como base el Censo de Población y Vivienda del año 2005, para el año 2009 esta área arrojaba una superficie arbolada por habitante de 10 m<sup>2</sup>, mientras que la superficie verde por habitante era del 14.4 m<sup>2</sup> (PAOT, 2010).

El comportamiento de la superficie arbolada por habitantes permite agrupar a las delegaciones. La Miguel Hidalgo, Tlalpan, Álvaro Obregón, Coyoacán y Cuajimalpa son las que mayor cantidad de área tienen; mientras que las que menos superficie poseen son Iztapalapa, Tláhuac, Iztacalco, Venustiano Carranza, Benito Juárez y Azcapotzalco (PAOT, 2010).

Para realizar la cuantificación de los verdes urbanos de la Ciudad de México, la PAOT (2010) las categorizó,<sup>37</sup> según el tamaño, en áreas muy pequeñas, áreas pequeñas, áreas medianas, áreas grandes y áreas muy grandes. Con base en ello se definieron dos características: la cantidad de áreas verdes según su categoría de tamaño, y la superficie que ocupa cada una de las categorías. De este modo, la cantidad de áreas verdes según su categoría de tamaño fue: 53% áreas muy pequeñas, 32% áreas pequeñas, 10% áreas medianas, 4% áreas grandes y 1% áreas muy grandes.

En función de la superficie que ocupa cada una de las categorías, el 49% eran áreas muy grandes, 15% áreas grandes, 14% áreas pequeñas, 13% áreas medianas y el 9% áreas muy pequeñas.

Podemos percibir que existe fragmentación en la distribución de los verdes urbanos. Mientras la mayor cantidad de áreas verdes son muy pequeñas, estas son las que menor superficie ocupan. De manera inversa ocurre con la cantidad de áreas muy grandes, estas son las que menor cantidad de áreas verdes tienen, y sin embargo son las que mayor superficie ocupan.

#### **2.4.1.1 Características de los verdes urbanos por delegación**

Para desarrollar este apartado tomamos como base la cuantificación que elaboró la PAOT (2010) de las áreas verdes inventariadas en el año 2009. Analizamos los datos de cada una de las delegaciones que están en suelo urbano; de modo que identificamos algunas características generales. A continuación, presentamos el resumen que elaboramos, a partir de los datos de la PAOT.

---

<sup>37</sup> Las superficies de cada una de las categorías fue la siguiente: Áreas Muy Grandes 11521 m<sup>2</sup> o más, Áreas Grandes 2881-11520 m<sup>2</sup>, Áreas medianas 961-2880 m<sup>2</sup>, Áreas pequeñas 321-960 m<sup>2</sup>, Áreas muy pequeñas 160-320 m<sup>2</sup>

La delegación Álvaro Obregón se caracteriza por tener poca fragmentación, pues sus barrancas actúan como elementos de conexión entre los componentes de sus sistemas. Además, todo el territorio es cubierto por las áreas de influencia.<sup>38</sup>

La delegación Azcapotzalco se caracteriza por tener verdes urbanos más relacionados a espacios públicos como camellones, glorietas, plazas y equipamientos urbanos y deportivos. Aunque sus niveles de fragmentación no son generalizados en toda la delegación, sí existen zonas desconectadas. Sus corredores no tienen un impacto importante, pues no conectan los componentes de los sistemas. Las áreas de influencia que se forman son pequeñas, por lo cual podemos identificar una mayor dispersión en relación con la delegación Álvaro Obregón.

La delegación Benito Juárez se caracteriza por la presencia de verdes urbanos que fueron resultado de la planificación de la ciudad desde sus inicios, por lo cual muestran una organización mayor a la del resto de las delegaciones. No obstante, sus verdes urbanos son pocos en cantidad, y de tamaño pequeño.

La delegación Coyoacán destaca por sus grandes verdes urbanos, ubicados fundamentalmente en Ciudad Universitaria, en los Viveros de Coyoacán, en el Bosque Urbano Cerro Zacatépetl, y otras áreas dedicadas a los deportes. El tamaño de sus unidades hace que la mayoría de sus áreas de influencia se trasponen en todo el territorio.

La delegación Cuajimalpa está conformada, en su mayoría, por reminiscencias de la vegetación natural en barrancas, a lo cual se une la ausencia de verdes urbanos planificados. La escasez de elementos de conexión en la vegetación provoca que se pierda el vínculo con las abundantes áreas verdes del suelo de conservación de la delegación. No obstante, se pueden identificar claramente tres corredores.

La delegación Cuauhtémoc está conformada por verdes urbanos fragmentados. Sus componentes en tamaños son pequeños y muy pequeños y están mayormente

---

<sup>38</sup> En el análisis realizado por la PAOT (2010), se establecieron corredores verdes, y a cada uno de ellos se le determinó su área de influencia. En nuestro análisis, cuando hablamos de áreas de influencia, nos referimos a estas.

relacionados a las categorías de área verde de la *Ley Ambiental de Protección a la Tierra del Distrito Federal*: arborización urbana y áreas verdes complementarias.

La delegación Gustavo A. Madero se caracteriza por sus verdes urbanos fragmentados. Existe dispersión de la arborización urbana la cual no conecta los verdes complementarios. Sus corredores no están conectados, así como tampoco lo están sus áreas de influencia.

De todas las delegaciones, Iztacalco es la que menor superficie de verdes urbanos tiene. La mayoría de esta superficie es ocupada por un solo componente, que es la Ciudad Deportiva Magdalena Mixhuca. Además, destaca la arborización urbana de algunas avenidas como la Churubusco, Presidente Plutarco, Andrés Molina, la Calzada de la Viga y la General Ignacio Zaragoza. Las áreas de influencia más importantes están relacionadas con dichas vialidades.

La delegación Iztapalapa tiene la mayor superficie urbana de la Ciudad de México, por lo que en términos absolutos presenta la mayor superficie verde, pero en términos relativos solamente representa su 12%. Además, la mayoría de sus superficies son pastos y arbustos y la arborización urbana se encuentra dispersa en sus vialidades.

La delegación La Magdalena Contreras se caracteriza por tener patrones diferenciados de conectividad, y la mayoría de sus verdes urbanos son pequeños y muy pequeños. Respecto a sus corredores, presentan una zona bien definida estructuralmente y otra más fragmentada.

La delegación Miguel Hidalgo es la que presenta mayor superficie por cantidad de habitantes. En esta delegación se encuentra el ANP Bosque Las Lomas y el AVA Bosque de Chapultepec. Su composición es tanto de áreas de origen reminiscentes, como de aquellas que son resultado del proceso de planeación urbana de la delegación. También presenta dos patrones de conectividad, uno con mayor fragmentación, elemento característico de la mayoría de las delegaciones; otro que muestra una mayor conectividad.

La delegación Tláhuac tiene una de las superficies arboladas más pequeñas del suelo urbano de la Ciudad de México. Los corredores están fragmentados, pues la mayoría

de sus verdes urbanos se concentran en dos componentes, el Bosque de Tláhuac y el Parque Ecológico Deportivo el Zapote.

La delegación Tlalpan se caracteriza por la presencia de reminiscencias de vegetación natural, bosques y la arborización urbana. Entre estos componentes destacan las ANP Fuentes Brotantes de Tlalpan y Bosque de Tlalpan. Respecto a la conectividad se observan dos patrones: el oeste está conectado por la arborización urbana de las principales vialidades, mientras en el este se evidencia una mayor fragmentación.

La delegación Venustiano Carranza se caracteriza por una composición en mayoría de pastos y arbustos, relacionados a los grandes equipamientos urbanos presentes en la delegación, como el Aeropuerto Internacional Benito Juárez y la Alameda Oriente. La distribución de los verdes urbanos en sus principales vialidades establece cierta conectividad entre sus componentes.

Finalmente, la delegación Xochimilco se caracteriza por una composición en su mayoría de arbolado, aunque no tiene una superficie grande de verdes urbanos. Sus áreas arboladas, a diferencia de la mayoría de la delegación, no están relacionadas con la arborización urbana, sino con parques, deportivos, plazas y jardines. Los corredores que se forman permiten la conexión de los de verdes urbanos con el suelo de conservación de la delegación.

De forma general, para casi todas las delegaciones podemos decir que existe fragmentación. Aunque existen casos donde hay corredores que conectan sus componentes, ese no es el comportamiento típico.

#### **2.4.2 PRINCIPALES PROBLEMÁTICAS**

En este apartado abordamos las principales problemáticas que enfrentan los sistemas de verdes urbanos en la Ciudad de México. Para ello estructuramos este apartado en cuatro grupos temáticos, en el primero hacemos referencia a las problemáticas relacionadas con los ordenamientos jurídicos y la planeación; en segundo lugar, a aquellas que se dependen de la gestión; en tercer lugar, a las que se deslindan de la estructura de los sistemas de verdes urbanos y finalmente las que son resultado de la forma en que se usan.

### **2.4.2.1 Los ordenamientos jurídicos y la planeación**

Las áreas verdes son conceptualizadas y clasificadas de modo diferente en los diversos ordenamientos que hacen referencia a ellas, lo cual consideramos como una primera y principal problemática, en este sentido. Pensar la ciudad con un enfoque ecosistémico implica que debemos comprender que sus componentes interactúan y se afectan entre ellos. De este modo, los elementos de regulación tienen efectos sobre la estructura, la composición y la funcionalidad de los sistemas de verdes urbanos.

La desarticulación de las normatividades que se refieren a la vegetación, ya sea desde el ámbito urbano o el ambiental, no permiten planificarlos y gestionarlos como un todo; así como tampoco comprender los servicios que pueden entregar, y aún menos potenciarlos.

Como una segunda problemática consideramos que se encuentra la insuficiencia de la normatividad, en cuanto a la restitución del arbolado. A partir de la revisión de la *NADF-001-RNAT-2006*, y de los planteamientos de algunos autores, como los del Centro de Especialistas en Gestión Ambiental (2013), podemos afirmar que el resarcimiento y las compensaciones a falta de espacios libres para la implantación de vegetación, generalmente termina en restituciones económicas. Si bien así está estipulado en los ordenamientos, esta cuestión implica que, cada vez más, se pierdan espacios urbanos para la presencia de vegetación. Además, en caso de que el arbolado sea restituido, los ordenamientos tampoco exigen que sea en el área donde han sido eliminados los individuos arbóreos y esto ocasiona modificaciones estructurales a los sistemas de verdes urbanos.

### **2.4.2.2 La gestión de los verdes urbanos**

Como una primera problemática consideramos que la mayoría de los verdes urbanos, no están incluidos en programas de gestión. Como vimos en el apartado sobre los ordenamientos jurídicos en esta materia, solamente las AVA y las ANP cuentan con este tipo de instrumentos. Sobre esta cuestión la PAOT (2010) refiere que “Alrededor del 35% de las áreas verdes urbanas cuentan con algún tipo de manejo” (p. 38).

Por otra parte, la ausencia<sup>39</sup> de un Reglamento de la Ley Ambiental de Protección a la Tierra del Distrito Federal conlleva a la falta de claridad en las atribuciones institucionales, quiénes son los aplicadores de sanciones, así como la ausencia de lineamientos para la coordinación interinstitucional. Todo ello se refleja finalmente en la desprotección de los verdes urbanos.

Los municipios, que son los que se encargan de la gestión, no tienen una preparación suficiente para aplicar adecuadamente los ordenamientos jurídicos. Según el Centro de Especialistas en Gestión Ambiental (2013), el arbolado urbano se encuentra sujeto a un mal manejo que se refleja en las plagas y enfermedades que no son tratadas, así como en la inexistencia de una red de riego.

A esta problemática se le une que el manejo de los verdes urbanos no forma parte de la agenda gubernamental, por lo cual se carece generalmente de presupuesto, personal especializado y la infraestructura requerida para el manejo de la vegetación (CentroGeo, 2006). Además, Escobedo & Chacalo (2008) plantean como parte de estas insuficiencias, la imposibilidad de desarrollar inventarios de verdes urbanos.

#### **2.4.2.3 La estructura de los sistemas de verdes urbanos**

Existen dos problemáticas fundamentales que afectan la estructura de los sistemas de verdes urbanos. Una se refiere a la pérdida de superficie de verdes urbanos; la otra, a la distribución desigual de la vegetación en las diferentes delegaciones y colonias.

Respecto a la primera problemática, varios autores han planteado que las causas fundamentales radican en la falta de control urbano sobre el desmedido crecimiento de la mancha urbana, la especulación en el suelo urbano y la poca eficacia de las políticas para la dotación de vegetación en los desarrollos urbanos (PAOT, 2010; Checa-Artasu, 2016).

---

<sup>39</sup> En este sentido debemos aclarar que, a pesar de contar en la actualidad con un reglamento para la ley, el cual fue publicado en la Gaceta Oficial del Distrito Federal en el año 2012, a los efectos de la temporalidad de nuestra investigación que es el año 2011 dicha ausencia aún constituía una problemática.

Para comprender la segunda problemática es necesario partir de dos condicionantes que han influido en el actual sistema de verdes urbanos. En primer lugar, el origen de una parte de sus componentes responde a acciones de embellecimiento y purificación, que se realizaron a principios del siglo XX. Dichas acciones no buscaban dotar equitativamente a toda la población urbana, sino a las zonas donde habitaban las personas con más recursos económicos.

En segundo lugar, la otra parte de los componentes de los sistemas de verdes urbanos son reminiscencias de los ecosistemas que existían antes de la ciudad. Esto ha dado como resultado una distribución desigual de los verdes urbanos y la fragmentación en cuanto a tamaño y cantidad de verdes urbanos.

## **2.5 CONCLUSIONES PARCIALES DEL CAPÍTULO**

El fenómeno metropolitano del cual forma parte la Ciudad de México, le imprime una gran complejidad a esta ciudad. La alta demanda de sus ofertas laborales, de estudios, sus infraestructuras y servicios, han provocado una serie de condiciones negativas. La Ciudad de México se ha convertido en una ciudad con grandes problemas de contaminación, de vulnerabilidad ante desastres, de movilidad, de empleo y de acceso a vivienda. Además, la elevada densidad poblacional de la ciudad, la más alta del país, hace que exista una población mayor expuesta a estas condiciones.

Si bien algunos programas han sido efectivos en la disminución de la emisión de algunos contaminantes atmosféricos, existen factores socioeconómicos que no se manejan en estos programas y cuya influencia tiene un importante peso en la emisión de contaminantes. Estos factores en gran medida están relacionados a la complejidad metropolitana que impone largas distancias de movilidad, condiciones de seguridad, estatus económico, etc.

Existen diversos procesos que conforman la contaminación, y la ocurrencia de cada uno de ellos es influenciada por diversos factores. En nuestra investigación estamos interesados en el proceso de remoción seca de  $O_3$ , específicamente el realizado por la vegetación. Con el fin de minimizar la ocurrencia de los procesos de dispersión, transportación y transformación química de contaminantes primarios en  $O_3$ , en

nuestros datos sobre calidad del aire, hemos decidido establecer algunos comportamientos de los factores que los afectan, los cuales debemos evitar.

1. La velocidad del viento es un factor que influye en la dispersión y transporte de los contaminantes. Su comportamiento en el año 2011 se caracterizó por la menor velocidad en el horario nocturno. A partir de estos elementos hemos resuelto evitar las horas de la mañana y la tarde en nuestras bases de datos.
2. La temperatura y la radiación solar son factores que intervienen en el proceso químico de conversión de los contaminantes primarios a O<sub>3</sub>. En el 2011, los meses de enero y diciembre fueron los menos cálidos. Por otra parte, las horas de mayor intensidad de la radiación solar son entre las 12:00 y las 14:00 horas, y los meses de mayor intensidad de la radiación solar son junio y septiembre. Por ello hemos decidido no tomar en cuenta datos de los meses de febrero a noviembre y de los horarios entre las 12:00 y las 14:00 horas.
3. La humedad relativa y la ocurrencia de precipitaciones son factores que influyen en la remoción húmeda de contaminantes. La temporada seca, que es la que mantiene los porcentajes de estas dos variables más bajos, ocurre de enero a abril y de noviembre a diciembre. Por tanto, hemos determinado excluir los meses de mayo a octubre.

En materia de vegetación, no existe ninguna normatividad que implique su concepción como sistema, por lo cual hemos concluido que para tomar en cuenta los resultados de nuestro trabajo sería necesaria dicha concepción y comprensión.

Aunque existen algunos mecanismos para la protección de las áreas verdes, estas solamente se seleccionan por criterios de tamaño, así como por su naturaleza. En este caso, solamente se consideran áreas verdes grandes y que se encuentren en su estado original. Bajo estas condiciones, para la protección de la vegetación o su comprensión como áreas verdes de valor ambiental, no se considera la influencia que pueden tener algunas tipologías como el arbolado viario. Por todo lo anterior hemos concluido que muchas áreas verdes son excluidas de la protección o la consideración de planes para su manejo, por lo que su conservación queda en manos de las delegaciones.

En relación a los ordenamientos jurídicos sobre la calidad del aire, aunque la existencia de leyes, reglamentos, normativas, programas, manuales, etc., pareciera ser la solución al problema de la contaminación atmosférica en la Ciudad de México, la situación es mucho más compleja. Al respecto hemos determinado que se requiere de claridad en las responsabilidades, objetivos, estrategias, etc., pero también dejar de lado la sectorización con la que generalmente son desarrollados estos instrumentos.

La desarticulación entre el ordenamiento urbano y el ecológico plantea un gran reto para la comprensión de las áreas verdes como un sistema que provee servicios ecosistémicos. En primer lugar, en ninguna de las dos legislaciones se maneja este enfoque. En segundo lugar, la conceptualización y comprensión de las áreas verdes es diferente para cada uno de estos ámbitos jurídicos. En el ordenamiento urbano las áreas verdes son comprendidas como espacios públicos, lo cual resume su beneficio a su uso para actividades de esparcimiento y lúdicas.

Aunque existen un conjunto de manuales y normas para las actividades relacionadas con la poda, derribo, trasplante y restitución de arbolado en la Ciudad de México, a partir de la bibliografía revisada, hemos concluido que su cumplimiento no es efectivo.

Finalmente, luego de haber visto los elementos principales de las variables de estudio, el sistema de medición de la calidad del aire respecto al O<sub>3</sub>, así como la información sobre los verdes urbanos proveniente del inventario de áreas verdes; estamos en condiciones de proponer dos escalas de análisis para examinar la relación existente entre estas dos categorías.

En primer lugar, hemos decidido analizar la escala de colonia. Esto nos permite considerar áreas homogéneas, que no responden a divisiones político administrativas, poseen características morfológicas similares, y generalmente la vegetación tiene cierta homogeneidad también en función de su edad, y en algunos casos de sus especies. En este caso es necesario realizar un proceso de dispersión de contaminantes, para contar con esta información para todas las observaciones de la muestra seleccionada.

En segundo lugar, hemos decidido analizar la escala de manzana. Si bien esta puede ser pequeña para el establecimiento de atributos estructurales, su uso nos permite tener una mayor relación con los valores de contaminación reales medidos. Esto se debe a que las manzanas son las unidades que contienen las estaciones de monitoreo.

# CAPÍTULO 3. APLICACIÓN DE LA ESTADÍSTICA INFERENCIAL PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LA CALIDAD DEL AIRE Y LOS ATRIBUTOS ESTRUCTURALES DE LOS SISTEMAS DE VERDES URBANOS.

El avance y consolidación de los elementos teóricos de la presente investigación nos permite, en este punto, contar con los elementos requeridos para plantear el diseño metodológico del trabajo, de modo tal que podamos contestar nuestra pregunta de investigación.

Recurrimos a las pruebas de la estadística inferencial, ya que, al tratarse del análisis de datos de una ciudad en su totalidad, la población de estudio es muy grande. Mediante la inferencia estadística podremos generalizar las propiedades de la población en estudio, a partir de una muestra representativa (Nolberto & Ponce, 2008).

Dado el carácter exploratorio de nuestro trabajo, decidimos realizar las pruebas en base a dos escalas diferentes en las unidades de análisis: una con datos a nivel de colonias y la otra a nivel de manzanas (ver gráfico 2). Esta decisión responde a dos cuestiones.

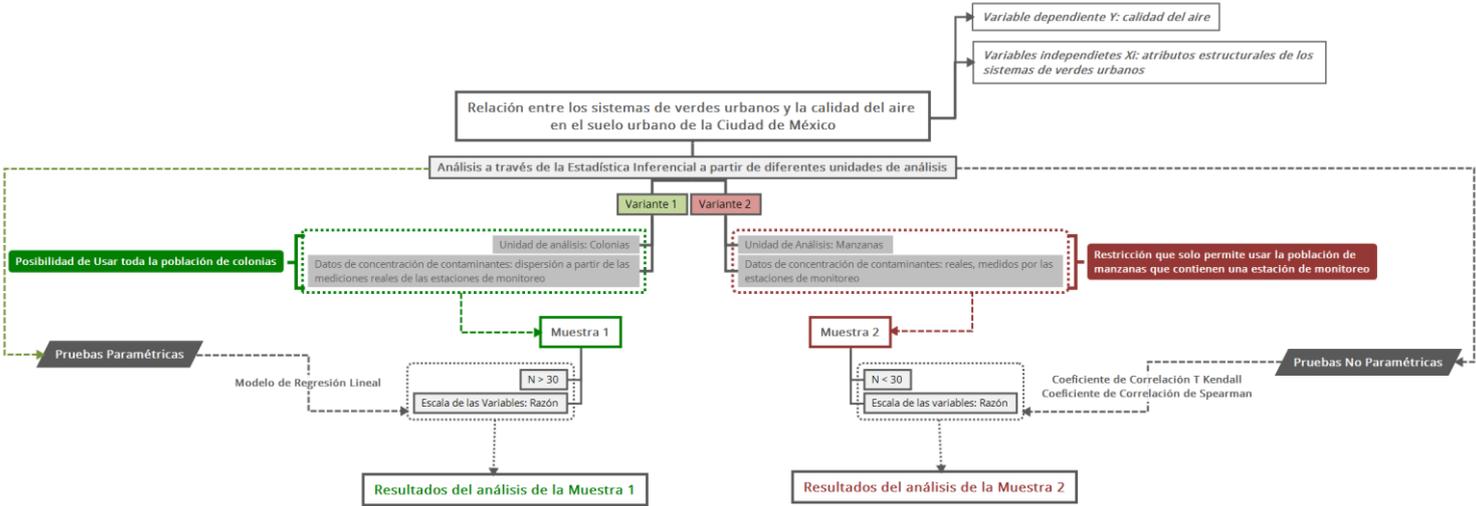


Gráfico 2 Proceso de análisis mediante la estadística inferencial Fuente\_ Elaboración propia con XMind

Primero, la necesidad de reducir los errores del tamaño de la unidad de análisis. Al trabajar la escala de colonia, la variabilidad de los atributos estructurales de los

sistemas de verdes urbanos dentro de cada observación puede ser grande, y los estadísticos como la media aritmética<sup>40</sup> podrían no ser representativos de la distribución. Además, asumimos un mismo nivel de concentración de contaminantes para áreas que tienen una elevada variabilidad de superficie, o sea, desde la colonia más pequeña de 5844.67 m<sup>2</sup>, hasta 4251851.10 m<sup>2</sup>. Trabajar la manzana como unidad de análisis nos permite reducir dichos errores.

Y, en segundo lugar, corresponde a la necesidad de reducir los errores de un modelo de dispersión de contaminantes. Dado que las mediciones de contaminación son nuestros recursos más escasos, determinamos, como parte del proceso de investigación, aplicar un modelo de dispersión (Inverse Distance Weighted interpolation IDW) para poder contar con una mayor cantidad de valores y asociarlos a las colonias. Sin embargo, no podemos obviar la incertidumbre que ello crea, sobre todo porque no tenemos evidencia real de que las mediciones resultado de la dispersión estén cercanas a las reales. Por ello, consideramos apropiado realizar una prueba para los valores reales medidos por las estaciones, asignados a la manzana, que es la unidad de análisis mínima que podemos trabajar.

La decisión de realizar dos tipos de pruebas<sup>41</sup>, las paramétricas y las no paramétricas, responde básicamente a estas dos cuestiones que nos llevaron a realizar el análisis para diferentes escalas. En el caso de la unidad de análisis de colonia, contamos con una población grande y podemos extraer una muestra representativa y con un tamaño adecuado a la población, para utilizar técnicas paramétricas.

En cambio, para la unidad de análisis de manzana, a pesar de que contamos con todas las manzanas del suelo urbano de la Ciudad de México, 64059 en total, al requerir asociarlas con las mediciones reales tomadas por las estaciones de monitoreo, nuestra población se reduce a la cantidad de estaciones de monitoreo.

---

<sup>40</sup> El cual es empleado para realizar pruebas paramétricas.

<sup>41</sup> En el caso de los datos para la escala de análisis a nivel de colonia, como llevan un comportamiento normal, podíamos aplicar pruebas paramétricas. En el caso de los datos para la escala de análisis a nivel de manzana esto era imposible, pues no conocíamos su distribución, por lo que recurrimos a las pruebas no paramétricas.

Como dichas estaciones no sobrepasan las 30 unidades, aplicamos las pruebas no paramétricas para este conjunto de datos.

En base a todo lo explicado anteriormente, en el primer apartado, 3.1, conformamos cada una de las bases de datos para realizar las pruebas paramétricas y no paramétricas.

En el punto 3.1.1, analizamos las cuatro bases de datos de las cuales partimos, así como la información que nos brindan. También establecemos el proceso de recolección de datos y delimitamos las unidades bajo análisis. La primera es la que se refiere a las concentraciones horarias de O<sub>3</sub>, medidas en la Ciudad de México en el año 2011 por el SIMAT. La otra será el inventario de áreas verdes urbanas de la Ciudad de México, desarrollado por la PAOT para el año 2009. La tercera y cuarta bases de datos son la de manzanas y colonias del Distrito Federal, desarrolladas por el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) y el Laboratorio de Datos respectivamente.

En el punto 3.1.2 planteamos los criterios de selección de los valores que empleamos para construir cada indicador, así como la selección de las unidades que conformaran nuestra muestra. Y, finalmente, en el punto 3.1.3, construimos las variables que usamos en las pruebas estadísticas.

En el apartado 3.2, aplicamos las pruebas paramétricas, en las cuales tomamos como unidad de análisis la colonia. Planteamos un modelo de regresión lineal y valoramos su eficacia conforme a los resultados obtenidos.

En el apartado 3.3, aplicamos las pruebas no paramétricas, las cuales toman como unidad de análisis la manzana. Realizamos dos pruebas para determinar el grado de asociación entre las variables de estudio utilizando el Coeficiente de Correlación  $T$  de Kendall de rangos ordenados y el Coeficiente de Correlación  $Rho$  de Spearman de rangos ordenados.

### **3.1 CONFORMACIÓN DE LAS BASES DE DATOS.**

En este apartado desarrollamos todo el trabajo correspondiente para la conformación de las dos bases de datos necesarias. De modo tal que cumplan los requerimientos

de las pruebas paramétricas y no paramétricas seleccionadas, a fin de determinar la relación existente entre las variables de estudio, en las unidades de análisis correspondientes.

### **3.1.1 PUNTO DE PARTIDA.**

En este punto vemos los principales elementos de cada una de las bases de dato que tomamos como fuente para la conformación de nuestras bases de datos. Para cada una de ellas vemos sus características en cuanto a población, escala y tipo de variables que la conforman, así como la descripción del comportamiento de algunas variables en gráficos.

#### **3.1.1.1 Base de datos de medición de concentración horaria de O<sub>3</sub> en la Ciudad de México de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA) del SIMAT.**

Esta base de datos constituye nuestra información más valiosa, pues es donde los datos son más escasos. La definición de los sistemas de verdes urbanos en las dos unidades de análisis, colonias y manzanas, dependen básicamente de esta información.

La selección de datos de concentración de O<sub>3</sub> es para el año 2011. Esta decisión la basamos en el rediseño del SIMAT que se llevó a cabo en el año 2010. Como resultado de ello la RAMA eliminó una serie de estaciones de monitoreo cuyos resultados eran redundantes, así como se instalaron otras nuevas. Ello nos permite contar con un mayor número de observaciones para realizar las pruebas estadísticas.

La base de datos que proporciona el SIMAT está conformada por una población de 23 estaciones que se encuentran ubicadas en la Zona Metropolitana del Valle de México. Sin embargo, de estas 23 estaciones, solamente 9 se encuentran dentro de nuestra área de análisis que es el suelo urbano de la Ciudad de México (ver Ilustración 1). Para cada estación se cuenta con un valor de concentración de O<sub>3</sub> para las 24 horas de cada día del año 2011.

Los valores de concentración tienen un nivel de medición de razón, la cual expresa la cantidad de partículas por millón (ppm) que se refiere a “la concentración en unidades

de volumen del gas contaminante relacionado con el volumen de aire ambiente” (NOM-020-SSA1-2014, p. 6).

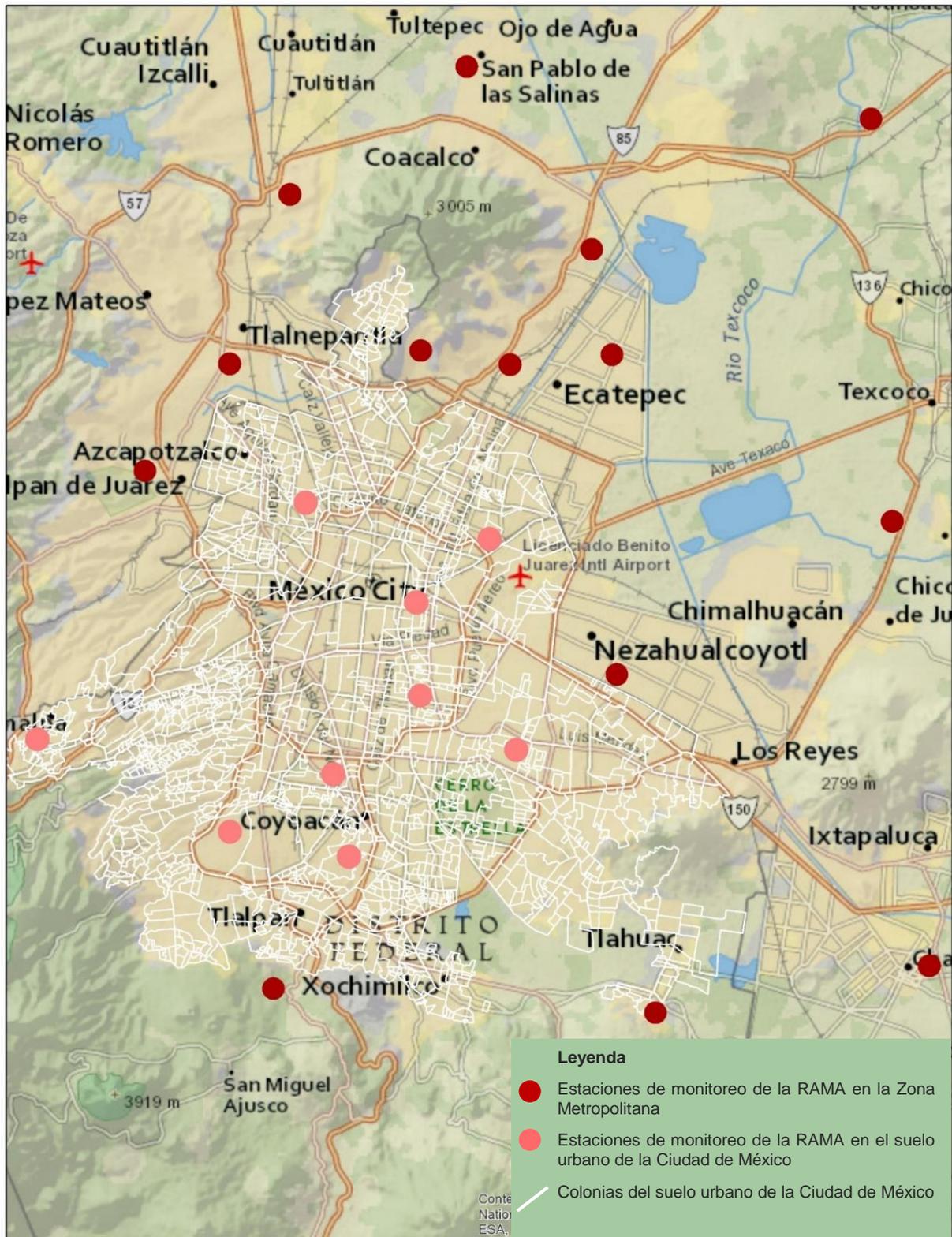


Ilustración 1 Mapa de localización de las estaciones de monitoreo de la RAMA

Fuente: Elaboración propia en ArcMap a partir de la base de datos de estaciones de monitoreo del SIMAT

### 3.1.1.2 Inventario de áreas verdes del suelo urbano de la Ciudad de México desarrollado por la PAOT en el año 2009.

Esta base de datos, que es un sistema de información geográfica, fue elaborada por el CentroGeo<sup>42</sup> para la Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial. La construcción de este sistema se basó en imágenes del satélite Quick Bird<sup>43</sup> de los años 2007 y 2008, y también del Spot<sup>44</sup>, del año 2007. Las imágenes están a una resolución de 50 metros por pixel.

Esta base de datos está conformada por 224388 observaciones. Cada observación tiene asociados dos insumos que nos permitieron conformar las variables de los atributos estructurales de los sistemas de verdes urbanos. Una de ellas es la *superficie* en metros cuadrados, comprendidas las mediciones en el intervalo que va de los 50m<sup>2</sup> a los 2497183 m<sup>2</sup>.

Para graficar el tamaño de las áreas verdes a partir del sistema de información geográfica, elaboramos un mapa que contiene las cinco clasificaciones por tamaño (ver Tabla 1) que propone la PAOT (2010), que son áreas muy grandes, grandes, medianas, pequeñas y muy pequeñas (ver Ilustración 1).

Rango de tamaño	Clasificación nominal	Cantidad de unidades	Tamaño Mínimo	Tamaño Máximo	Superficie total	Tamaño promedio
50 a 320	Áreas verdes muy pequeñas	185974	50.00	319.92	20736601.52	111.50
320.0000001 a 960	Áreas verdes pequeñas	25129	320.00	959.91	13299760.47	529.26
960.0000001 a 2800	Áreas verdes medianas	8514	960.17	2799.36	13316563.05	1564.08
2800.0000001 a 11520	Áreas verdes grandes	3788	2801.12	11517.53	20194701.56	5331.23
Mayores a 11520	Áreas verdes muy grandes	983	11531.95	2497183.49	43708386.17	44464.28

Tabla 1 Clasificación de las áreas verdes según su tamaño

Fuente: Elaboración propia con base en los datos del Inventario de áreas verdes urbanas.

<sup>42</sup> El CentroGeo es un Centro Público de Investigación que pertenece al sistema CONACYT, en el cual se realizan actividades de investigación científica con el enfoque de las ciencias de la información geoespacial.

<sup>43</sup> Según la PAOT "Es un satélite de alta resolución de propiedad y operado por DigitalGlobe. Utiliza un sensor remoto con un grado de detalle de 0.61 m píxeles de resolución. Este satélite es una excelente fuente de información ambiental para el análisis de los cambios de uso de suelo, en la agricultura y sector forestal". (2010, p. 249)

<sup>44</sup> Según la PAOT "Es un satélite que consta de un sensor de alta resolución en el rango visible e infrarrojo próximo (High Resolution Visible HRV), proporcionando tanto imágenes multiespectrales como pancromáticas. Debido al amplio abanico de resoluciones de sus imágenes (2.5m hasta 20m), SPOT 5 permite trabajar a múltiples escalas y ámbitos, como agricultura, cartografía, obras públicas e infraestructuras, usos de suelo o investigación de desastres naturales". (2010, p. 249)

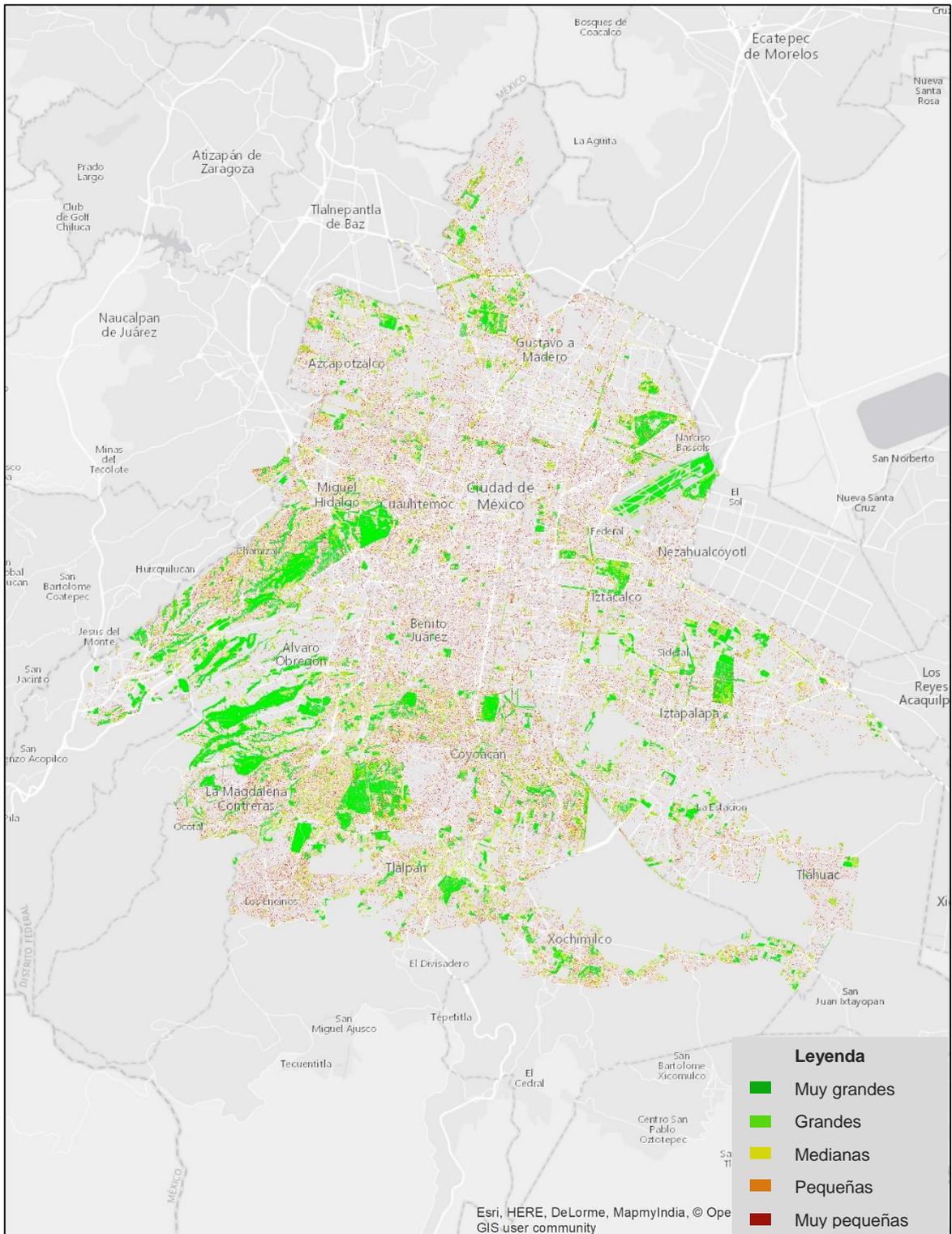


Ilustración 2 Mapa de tamaño de áreas verdes en el suelo urbanos de la Ciudad de México  
Fuente: Elaboración propia en ArcMap a partir de los datos del Inventario de Áreas Verdes

Por otra parte, la variable *clasificación*, se refiere al tipo de vegetación según su estrato. Es una variable de escala nominal, que está construida por cuatro categorías:

arbolado, pastos y arbustos, áreas deportivas y vaso regulador. Sin embargo, para los efectos de los estratos de la vegetación, pastos y arbustos, áreas deportivas y vaso regulador se encuentran en una misma clasificación. Algunos parámetros de la población se pueden observar en la Tabla 2.

Tipo de estrato	Cantidad de unidades	Tamaño Mínimo	Tamaño Máximo	Superficie total	Tamaño promedio
Arbóreo	168458	50.00	2497183.49	76600991.80	454.72
Pastos y arbustos	55930	50.00	570301.76	34655020.96	619.61

*Tabla 2 Clasificación de las áreas verdes según el estrato de la vegetación*

*Fuente: Elaboración propia con base en los datos del Inventario de áreas verdes urbanas.*

### **3.1.1.3 Base de datos de colonias del suelo urbano de la Ciudad de México. Unidad de análisis.**

La base de datos de colonias en suelo urbano de la Ciudad de México fue elaborada por el Laboratorio de Datos<sup>45</sup>. La relevancia de esta información consiste en que la colonia es una de las unidades de análisis que ocupamos para hacer el análisis de los sistemas de verdes urbanos y su relación con la calidad del aire. Por ello, a cada una de las observaciones de la muestra le asignamos la variable de calidad del aire, y la de los atributos estructurales de los sistemas.

Esta base de datos funciona con información geográfica y está conformada por 1783 colonias, definidas por polígonos georreferenciados. Entre las variables para cada una de las observaciones se encuentran el código postal, la delegación a que pertenecen y su nombre. Cada una de estas son variables nominales, por lo cual su uso es simplemente para la edición de la información que queremos construir y no para la base de datos en sí.

Sin embargo, por tratarse de un sistema de información geográfica calculamos, para cada una de las 1783 colonias, la superficie en m<sup>2</sup>. Este constituye un dato relevante y necesario, pues permite construir valores en términos relativos, asociados al área que ocupa en el sistema.

---

<sup>45</sup> Este es un repositorio virtual que contiene datasets y presta servicios webs, a partir de la información que ofrecen las delegaciones de la Ciudad de México.

#### **3.1.1.4 Base de datos de manzanas de la Ciudad de México. Unidad de análisis.**

La base de manzanas de la Ciudad de México corresponde al 2010, y su fuente es el Laboratorio de Datos. Para este nivel de análisis consideramos solamente las manzanas donde se encuentran localizadas las estaciones de monitoreo, con el fin de reducir el error por la dispersión de los contaminantes, así como los supuestos de que en toda una colonia habrá un nivel similar de concentración de  $O_3$ .

La base contiene principalmente variables nominales que aportan información útil para nuestro análisis. Sin embargo, por tratarse de un sistema de información geográfica pudimos calcular la superficie de cada manzana, de modo que los atributos estructurales de los sistemas de verdes urbanos cuando la unidad de análisis es la manzana, obteniendo así valores porcentuales que facilitan nuestros cálculos.

#### **3.1.2 CRITERIOS DE DEPURACIÓN DE LAS BASES DE DATOS Y LA SELECCIÓN DE LA MUESTRAS ALEATORIAS.**

En este apartado explicamos los criterios que aplicamos para la depuración de la base de datos de concentración horaria de  $O_3$  y la de áreas verdes, así como los procedimientos que realizamos para su edición e incorporación a nuestras dos bases de datos de investigación.

Además, detallamos el proceso para la obtención de las muestras en las bases de datos que elaboramos: unidad de análisis colonia y unidad de análisis manzana.

##### **3.1.2.1 Depuración de la base de datos de concentración horaria de $O_3$ .**

Como explicamos anteriormente, la base de datos de  $O_3$  para el año 2011 viene con la información de concentraciones horarias para un total de 8476 observaciones. Por ello, establecimos un conjunto de restricciones que nos ayudaran a eliminar observaciones y quedarnos solamente con las que fueran relevantes para el objetivo de nuestra investigación (ver Gráfico 3).

Como vimos desde el marco teórico, los contaminantes tienen ciertos patrones de comportamiento y la atmósfera determina procesos de autodepuración. O sea, que

existen variados factores ambientales que pueden influir en el comportamiento de las concentraciones de O<sub>3</sub> que no son solamente los elementos vegetales.

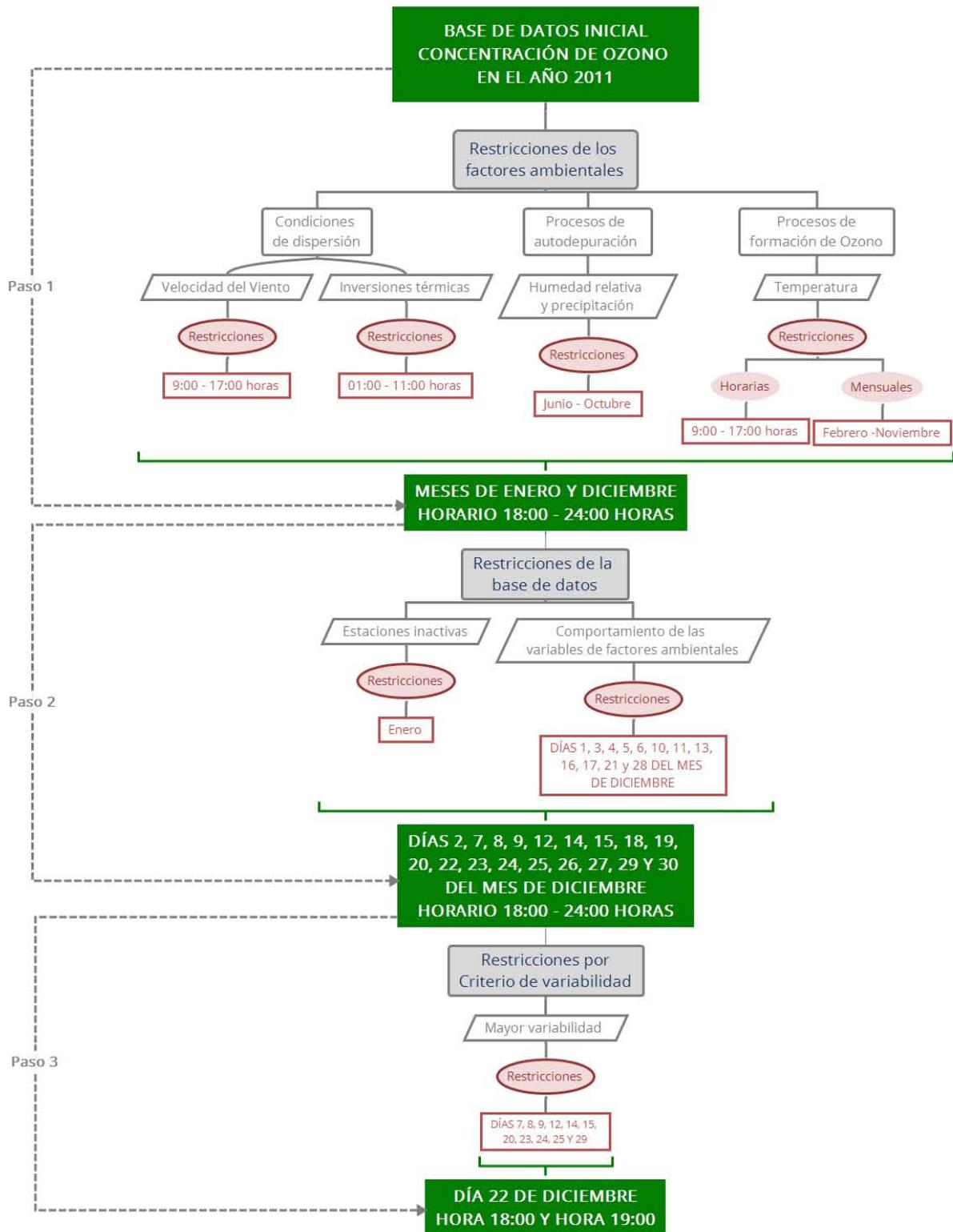


Gráfico 3 Organigrama de procesos de restricción aplicados a la base de datos de concentraciones horarias de O<sub>3</sub>  
Fuente: Elaboración propia

Como en nuestro trabajo pretendemos determinar si existe relación entre los atributos estructurales de los sistemas de verdes urbanos y las concentraciones de  $O_3$ , establecimos una serie de restricciones que nos permitieran rechazar los datos que estén asociados a la ocurrencia de estas condiciones que propician la dispersión del  $O_3$ . Son restricciones a los factores ambientales que favorecen las condiciones de dispersión, los procesos de autodepuración y los procesos de formación de  $O_3$ .

1. La elevada humedad relativa y la ocurrencia de precipitaciones son los dos factores que propician la remoción de contaminantes mediante la deposición húmeda. Como pretendemos eliminar la ocurrencia de este proceso restringimos los meses de mayor humedad y precipitaciones y tomamos los períodos del año 2011 de menor valor en estas dos variables. Los meses más secos del año fueron de enero a mayo, y de noviembre a diciembre.
2. La elevada temperatura ocasiona que haya mayor conversión de contaminantes primarios en  $O_3$ . Para evitar que existieran valores atípicos muy elevados de  $O_3$  determinamos restringir los meses más cálidos y trabajar los meses menos cálidos del año. Las temperaturas más bajas se dieron en los meses de enero y diciembre. A su vez, la temperatura también se encuentra relacionada al horario del día, por lo cual determinamos restringir los horarios desde las 9:00 hasta las 17:00 horas.
3. El viento es otro de los factores que influye en la dispersión de los contaminantes en la atmósfera. Esta relación es directamente proporcional, a mayor velocidad de viento, mayor dispersión de los contaminantes. El viento tiene un comportamiento variable a lo largo de un día, las mayores velocidades se dan en las horas del día, mientras que las menores se dan en los horarios nocturnos. Como pretendemos trabajar con los datos que hayan sido capturados en horarios con menos velocidad de viento, restringimos los horarios del día, entre las 9:00 y las 17:00 horas.
4. La ocurrencia de inversiones térmicas favorece una concentración mayor de contaminantes. Los episodios de inversión térmica se dan en horas muy avanzadas de la madrugada y su hora de ruptura en el mes de diciembre del año 2011 se daba a las 11:00 horas del día posterior.

A partir de estos elementos nuestros posibles datos de trabajo se reducen a aquellos que pertenecen al mes de enero o el de diciembre, y en los horarios nocturnos, pero no en la madrugada.

Además, incluimos otras restricciones en función de la disponibilidad de información de la propia base de datos. Para ello tomamos en cuenta la cantidad de estaciones que se encontraban haciendo mediciones. Como resultado, eliminamos el mes de enero, pues en esa fecha aún no se encontraban activas las 23 estaciones de monitoreo. Ello nos restringió los datos al mes de diciembre.

A partir de las restricciones ya planteadas, analizamos el comportamiento de las variables de temperatura, viento y precipitación (ver Gráfico 4) en el mes de diciembre del año 2011. De ello resultó que solo 18<sup>46</sup> días mantuvieron valores bajos de temperatura máxima y velocidad de viento<sup>47</sup>.

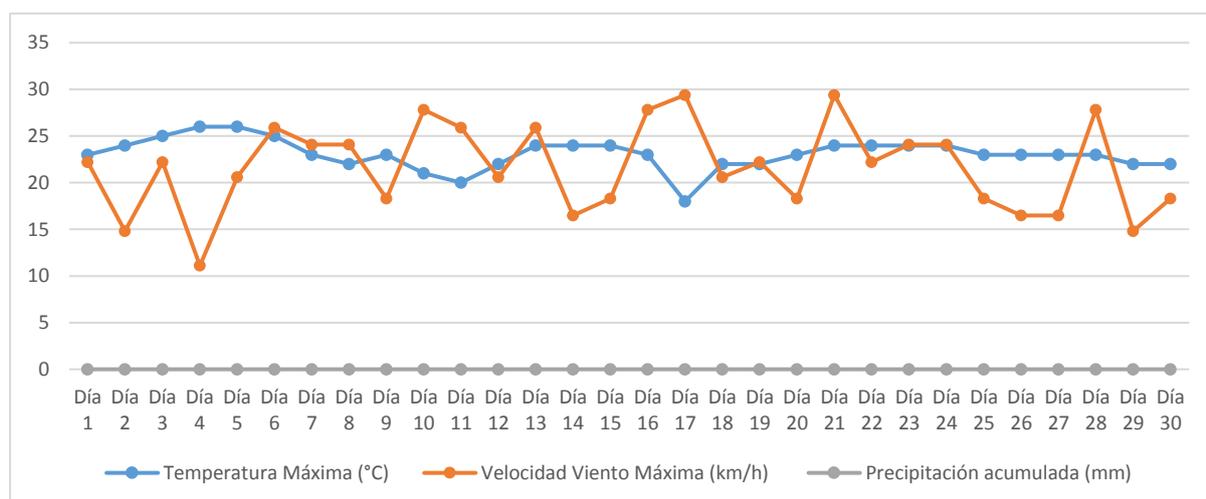


Gráfico 4 Comportamiento de las variables meteorológicas temperatura, velocidad de viento y precipitación para el mes de diciembre del año 2011  
Fuente: Elaboración propia con los datos de Meteored.mx

De estos días, eliminamos los que no tuvieron medición en al menos una estación en los horarios nocturnos<sup>48</sup>, y quedaron 12 días. Mediante la realización de histogramas a cada uno de los horarios de estas 12 jornadas, determinamos cuáles eran los

<sup>46</sup> Estos días fueron el 2, 7, 8, 9, 12, 14, 15, 18, 19, 20, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 29 y 30.

<sup>47</sup> Tomamos solamente estas dos variables porque la precipitación acumulada se mantuvo en 0 mm para todos los días del mes de diciembre.

<sup>48</sup> Definimos este rango de 18:00 a 24:00 horas.

horarios donde había mayor cantidad de valores diferentes entre las mediciones en cada una de las estaciones<sup>49</sup>.

Como resultado de realizar todos estos procedimientos, nos quedamos con los datos del día 22 de diciembre para dos horarios: 18:00 y 19:00 horas.

Luego de tener seleccionados estos dos horarios del día 22 del mes de diciembre, procedimos a dispersar las concentraciones de O<sub>3</sub> en la aplicación de escritorio ArcMap v. 10.3. Para ello usamos el método de dispersión Inverse Distance Weighted interpolation (IDW), que ha sido sugerido por Cely, Siabato, Sánchez & Rangel (2002), como un método efectivo para la dispersión cuando se trata de una situación en la cual se cuenta con poca cantidad de estaciones, tal y como ocurre en nuestro caso.

Para la dispersión de los contaminantes, le asignamos al modelo los siguientes datos:

- Tomar los datos de las 12 estaciones más cercanas
- Una unidad mínima de cartografía de 50 m<sup>2</sup><sup>50</sup>.

La salida de este modelo es una entidad de formato ráster<sup>51</sup> que contiene cada una unidad de 50 m<sup>2</sup> un dato de concentración de O<sub>3</sub>. Este proceso de dispersión fue necesario, ya que, con 23 estaciones (Ver Ilustración 1), de las cuales solamente 9 se encontraban dentro de nuestra área de estudio: el suelo urbano de la Ciudad de México, era imposible asignar valores de contaminación a cada una de las colonias seleccionadas para la muestra.

---

<sup>49</sup> Dado que solamente contamos con 23 estaciones de monitoreo, esta decisión la tomamos para lograr que al dispersar los contaminantes hubiera mayor variabilidad.

<sup>50</sup> Este tamaño se seleccionó ya que era el tamaño mínimo del sistema de información geográfica de áreas verdes.

<sup>51</sup> Según la ayuda de ArcGis un ráster se define de la manera siguiente "En su forma más simple, un ráster consta de una matriz de celdas (o píxeles) organizadas en filas y columnas (o una cuadrícula) en la que cada celda contiene un valor que representa información, como la temperatura. Los rásteres son fotografías aéreas digitales, imágenes de satélite, imágenes digitales o incluso mapas escaneados."

### **3.1.2.2 Depuración del Inventario de áreas verdes del suelo urbano de la Ciudad de México.**

En este caso, el tratamiento de los datos fue de manera diferente. Como la base de datos planteaba que tenía como unidad cartografiada mínima 50 m<sup>2</sup>, eliminamos todas las observaciones de área verde que tenían menos de esa superficie, las cuales consideramos como errores propios del levantamiento y trazo de los polígonos<sup>52</sup>. Para este proceso empleamos la aplicación de escritorio ArcMap v. 10.3.

### **3.1.2.3 Selección de la muestra aleatoria de la base de datos de colonias del suelo urbano de la Ciudad de México.**

La base de datos de colonias constituye una de las dos unidades de análisis para el análisis estadístico. O sea, cada una de las colonias constituye una observación de nuestra población. Se trata de una población de 1783 observaciones, razón por la cual empleamos solo una muestra, de tamaño menor, para aplicarle las pruebas estadísticas.

Según Sierra Bravo “Una muestra en general, es toda parte representativa de la población, cuyas características debe reproducir en pequeño lo más exactamente posible” (citado por Nolberto & Ponce, 2008, p. 22).

De ahí que, para lograr dicha representatividad, sea necesario emplear procesos de selección aleatoria o probabilística. En nuestro caso, aplicamos la selección aleatoria con una técnica sistemática. Para ello ordenamos la población, seleccionamos una primera observación al azar y a partir de ella, a intervalos constantes, seleccionamos el resto de las observaciones, hasta completar una muestra de 556. Este tamaño de muestra representa el 31% de la población total de colonias en suelo urbano de la Ciudad de México. La importancia de trabajar con una muestra representativa es que permite calcular las variables de estudio solo para ellas y no para toda la población.

---

<sup>52</sup> Recordemos que esta base de datos está asociada a información geográfica.

#### **3.1.2.4 Selección de muestra de base de datos de manzanas de la Ciudad de México.**

Esta base de datos la empleamos de dos formas distintas, una como parte componente de las colonias en la base de datos con unidad de análisis de colonias, y la otra es como unidad de análisis para realizar las pruebas estadísticas no paramétricas.

En el primer caso, seleccionamos las manzanas que quedaban dentro de los límites de cada una de las colonias seleccionadas en la muestra de 556 observaciones, descrita en el punto anterior.

En el segundo caso, que es la selección de las manzanas como unidad de análisis, solamente contemplamos aquellas que contenían estaciones de monitoreo. En este sentido, consideramos necesario realizar pruebas que no contengan errores en el proceso de dispersión de contaminantes. Más aún cuando los valores se asignan a áreas muy grandes como suelen ser nuestras unidades de análisis cuyo tamaño puede ser de  $7804965^{53}$  m<sup>2</sup> o 7.80 km<sup>2</sup>.

Sin embargo, al tratarse de 9 estaciones, decidimos trabajar para esta unidad de análisis con la base de datos de concentraciones horarias de O<sub>3</sub> para el año 2016. Esta decisión partió de que para el año 2016 se contaba con 16 estaciones operando en el suelo urbano de la Ciudad de México. No obstante, los criterios de selección para la fecha y hora exacta que tomamos, fueron los mismos que los descritos en el punto 3.1.2.1.

---

<sup>53</sup> Dato tomado de la base de datos de colonias en suelo urbano de la Ciudad de México.

### **3.1.3 CONSTRUCCIÓN DE LAS VARIABLES DE LA BASE DE DATOS DE COLONIAS DEL SUELO URBANO DE LA CIUDAD DE MÉXICO PARA LA PRUEBA PARAMÉTRICA.**

Una vez que tuvimos la muestra de 556 colonias o sistemas de verdes urbanos procedimos a asignar a cada una de esas observaciones, las variables de áreas verdes, de manzanas y contaminación horaria por O<sub>3</sub>.

A cada observación le asignamos el área verde que contenía su polígono. Ello aportó la cantidad de unidades de áreas verdes, con su superficie y tipo de vegetación según su estrato.

Posteriormente le asignamos las manzanas que contenía su polígono. De esta manera asociamos a las manzanas la cantidad de área verde, con su superficie y tipo de vegetación según su estrato.

Finalmente, en base al ráster que dio como resultado el modelo de dispersión IDW, le asignamos el promedio de todos los valores de concentración de O<sub>3</sub> que contenía su polígono<sup>54</sup>. Para realizar este procedimiento empleamos la aplicación de escritorio ArcMap v. 10.3. A partir de esta información, constituimos cada una de las variables de los atributos estructurales de los sistemas de verdes urbanos y concentración de O<sub>3</sub>, en la unidad de análisis de colonia.

#### **3.1.3.1 Variable Y. “Reducción de O<sub>3</sub> en una hora”.**

La *Reducción de O<sub>3</sub> en una hora* representa la variable dependiente dentro de nuestro estudio, para determinar la relación entre la calidad del aire y los atributos estructurales de los sistemas de verdes urbanos.

Si bien podíamos haber trabajado con las concentraciones horarias, nos pareció más relevante, tomar la reducción de O<sub>3</sub> que se da entre dos horarios determinados. De

---

<sup>54</sup> Debemos recordar que la unidad mínima del ráster de salida del IDW era de 50 m<sup>2</sup>, lo cual representa que cada 50 m<sup>2</sup> hay una concentración de O<sub>3</sub> que puede, o no, ser diferente. Por ello, para las observaciones de colonias que eran muy grandes, llegamos a tener más de 400 valores de concentraciones de O<sub>3</sub>.

modo que los atributos estructurales de los sistemas de verdes urbanos puedan explicar dicha reducción y no la concentración que hay en un determinado momento.

La variable  $Y$  se construyó a partir de la diferencia de los valores de concentración de  $O_3$  el día 22 de diciembre del 2011, en las horas 18:00 y 19:00, tomando la primera como inicial menos la segunda como final respectivamente. De la siguiente manera:

$Hora_1 =$  Concentración de  $O_3$  en la hora 18:00.

$Hora_2 =$  Concentración de  $O_3$  en la hora 19:00.

Y finalmente, la variable dependiente es:

$$Y = Hora_1 - Hora_2$$

### **3.1.3.2 Variable $X_1$ . “Porcentaje de superficie de área verde respecto a la superficie del sistema de verdes urbanos”.**

La primera variable independiente se refiere a un atributo estructural de cantidad y dimensión de los componentes de los sistemas de verdes urbanos. La calculamos a partir de la superficie total de las unidades de área verde que estaban contenidas en cada observación ( $S_1$ ), y con la superficie de cada colonia ( $S_2$ ). A partir de ello obtuvimos el porcentaje que representaba  $S_1$  respecto a  $S_2$ .

La variable  $X_1$ , “Porcentaje de superficie de área verde respecto a la superficie del sistema de verdes urbanos”, queda representada por: el producto de la superficie total de las unidades de área verde por cien, dividido entre la superficie de la colonia.

$$X_1 = (S_1 * 100) / S_2$$

### **3.1.3.3 Variable $X_2$ . “Porcentaje de superficie total de áreas verdes de tamaño menor o igual que 320 m<sup>2</sup> respecto a la superficie total de área verde del sistema de verdes urbanos”.**

La segunda variable independiente se refiere a un atributo estructural de proporción de los componentes de los sistemas de verdes urbanos. Con la superficie del área

verde de cada unidad establecimos cinco rangos por tamaños<sup>55</sup>: muy pequeñas, pequeñas, medianas, grandes y muy grandes.

- Rango 1: de 50 a 320 m<sup>2</sup>
- Rango 2: de 320.0000001 a 960 m<sup>2</sup>
- Rango 3: de 960.0000001 a 2800 m<sup>2</sup>
- Rango 4: de 2800.0000001 a 11520 m<sup>2</sup>
- Rango 5: mayores de 11520.0000001 m<sup>2</sup>

A partir de estos rangos obtuvimos la superficie de área verde dentro de cada colonia que pertenece al rango 1 ( $ST_1$ ). Con la superficie total de las unidades de área verde,  $S_1$ , calculamos el porcentaje que representa la superficie dentro del rango 1 respecto a la superficie total de área verde.

La variable  $X_2$ , “Porcentaje de superficie total de áreas verdes de tamaño menor o igual a 320 m<sup>2</sup> respecto a la superficie total de área verde del sistema de verdes urbanos”, queda representada por: el producto de la superficie total de áreas verdes de tamaño menor o igual a 320 m<sup>2</sup> por cien, dividido entre la superficie total de área verde en la colonia.

$$X_2 = (ST_1 * 100) / S_1$$

**3.1.3.4 Variable  $X_3$ . “Porcentaje de superficie total de áreas verdes de tamaño mayor a 320 m<sup>2</sup> y menor o igual a 960 m<sup>2</sup> respecto a la superficie total de área verde del sistema de verdes urbanos”.**

La tercera variable independiente se refiere a un atributo estructural de proporción de los componentes de los sistemas de verdes urbanos. Para ello usamos el mismo procedimiento de  $X_2$ , pero con el rango 2.

En este caso calculamos la superficie de área verde dentro de cada colonia que pertenecía al rango 2 ( $ST_2$ ) y calculamos su porcentaje respecto a ( $S_1$ ).

---

<sup>55</sup> Son las mismas clasificaciones de tamaño que propuso la PAOT (2010)

La variable  $X_3$ , “*Porcentaje de superficie total de áreas verdes de tamaño mayor a 320 m<sup>2</sup> y menor o igual a 960 m<sup>2</sup> respecto a la superficie total de área verde del sistema de verdes urbanos*”, queda representada por: el producto de la superficie total de área verde de tamaño mayor a 320 m<sup>2</sup> y menor o igual a 960 m<sup>2</sup> por cien, dividido entre la superficie total de área verde en la colonia.

$$X_3 = (ST_2 * 100) / S_1$$

**3.1.3.5 Variable  $X_4$ . “*Porcentaje de superficie total de áreas verdes de tamaño mayor a 960 m<sup>2</sup> y menor o igual a 2800 m<sup>2</sup> respecto a la superficie total de área verde del sistema de verdes urbanos*”.**

La cuarta variable independiente se refiere a un atributo estructural de proporción de los componentes de los sistemas de verdes urbanos. En este caso utilizamos el rango 3.

Calculamos la superficie de área verde dentro de cada colonia que pertenecía al rango 3 ( $ST_3$ ) y calculamos su porcentaje respecto a ( $S_1$ ).

La variable  $X_4$ , “*Porcentaje de superficie total de áreas verdes de tamaño mayor a 960 m<sup>2</sup> y menor o igual a 2800 m<sup>2</sup> respecto a la superficie total de área verde del sistema de verdes urbanos*”, queda representada por: el producto de la superficie total de área verde de tamaño mayor a 960 m<sup>2</sup> y menor o igual a 2800 m<sup>2</sup> por cien, dividido entre la superficie total de área verde en la colonia.

$$X_4 = (ST_3 * 100) / S_1$$

**3.1.3.6 Variable  $X_5$ . “*Porcentaje de superficie total de áreas verdes de tamaño mayor a 2800 m<sup>2</sup> y menor o igual que 11520 m<sup>2</sup> respecto a la superficie total de área verde del sistema de verdes urbanos*”.**

La quinta variable independiente se refiere a un atributo estructural de proporción de los componentes de los sistemas de verdes urbanos. En este caso usamos el rango 4.

Calculamos la superficie de área verde dentro de cada colonia que pertenecía al rango 4 ( $ST_4$ ) y calculamos su porcentaje respecto a ( $S_1$ ).

La variable  $X_5$ , “Porcentaje de superficie total de áreas verdes de tamaño mayor a 2800 m<sup>2</sup> y menor o igual a 11520 m<sup>2</sup> respecto a la superficie total de área verde del sistema de verdes urbanos”, queda representada por: el producto de la superficie total de área verde de tamaño mayor a 2800 m<sup>2</sup> y menor o igual a 11520 m<sup>2</sup> por cien, dividido entre la superficie total de área verde en la colonia.

$$X_5 = (ST_4 * 100) / S_1$$

**3.1.3.7 Variable  $X_6$ . “Porcentaje de superficie total de áreas verdes de tamaño mayor que 11520 m<sup>2</sup> respecto a la superficie total de área verde del sistema de verdes urbanos”.**

La sexta variable independiente se refiere a un atributo estructural de proporción de los componentes de los sistemas de verdes urbanos. En este caso utilizamos el rango 5.

Calculamos la superficie de área verde dentro de cada colonia que pertenecía al rango 5 ( $ST_5$ ) y calculamos su porcentaje respecto a ( $S_1$ ).

La variable  $X_6$ , “Porcentaje de superficie total de áreas verdes de tamaño mayor a 11520 m<sup>2</sup> respecto a la superficie total de área verde del sistema de verdes urbanos”, queda representada por: el producto de la superficie total de área verde de tamaño mayor a 11520 m<sup>2</sup> por cien, dividido entre la superficie total de área verde en la colonia.

$$X_6 = (ST_5 * 100) / S_1$$

**3.1.3.8 Variable  $X_7$ . “Tipo de vegetación predominante según su estrato”.**

La séptima variable independiente se refiere a un atributo estructural de naturaleza de los componentes de los sistemas de verdes urbanos. Para ello empleamos la clasificación de la vegetación según su estrato: arbolado o pastos y arbustos.

En este caso calculamos la superficie de área verde dentro de cada colonia que pertenecía a la categoría “arbolado” ( $SE_1$ ) y la superficie de área verde que pertenecía a la categoría “pastos y arbustos” ( $SE_2$ ).

La variable dicotómica  $X_7$ , “*Tipo de vegetación predominante según su estrato*”, queda representada por: 1 si la superficie de área verde de tipo arbolado es mayor que la superficie de área verde de tipo pastos y arbustos; y por 0 si la superficie de área verde de tipo arbolado es menor que la superficie de área verde de tipo pastos y arbustos.

$$X_7 = 1 = (SE_1) > (SE_2)$$

$$X_7 = 0 = (SE_1) < (SE_2)$$

### **3.1.3.9 Variable $X_8$ . “*Porcentaje promedio de área verde por manzana*”.**

La octava variable independiente se refiere a un atributo estructural de proporción de los componentes de los sistemas de verdes urbanos. Para su construcción asignamos la superficie verde de cada sistema de verdes urbanos a la manzana que la contiene. Este proceso lo realizamos mediante el uso de la aplicación de escritorio ArcMap, con su función “select by location”.

A cada manzana le asignamos una cantidad de área verde. Luego, calculamos el porcentaje de área verde respecto a la superficie de la manzana ( $P$ ), para todas las manzanas.

La variable  $X_8$ , “*Porcentaje promedio de área verde por manzana*”, queda representada por: el promedio de  $P$ .

$$X_8 = \text{Prom} (P)$$

### **3.1.3.10 Variable $X_9$ . “*Distancia mínima promedio entre áreas verdes*”.**

La última variable independiente se refiere a un atributo estructural de distribución espacial de los componentes de los sistemas de verdes urbanos. Para ello tomamos la distancia mínima a la cual se encontraba la otra área verde más próxima. Este proceso lo pudimos lograr mediante el uso de la aplicación de escritorio ArcMap, con su función “generate near table”.

A cada área verde se le asignó la distancia a su área verde más cercana ( $D$ ).

La variable  $X_9$ , “*Distancia mínima promedio entre áreas verdes*”, queda representada por: el promedio de  $D$ .

$$X_9 = \text{Prom} (D)$$

### **3.1.4 CONSTRUCCIÓN DE LAS VARIABLES DE LA BASE DE DATOS DE MANZANAS PARA LAS PRUEBAS NO PARAMÉTRICAS.**

A partir de las 15 manzanas donde se localizaban las estaciones de monitoreo ubicadas en el suelo urbano de la Ciudad de México procedimos a asignar las variables de áreas verdes y contaminación horaria por  $O_3$ .

A cada manzana le asignamos los datos de las áreas verdes que contenía su polígono. Ello aportó, una determinada cantidad de unidades de áreas verdes, con su superficie y tipo de vegetación según su estrato, tal y como describimos en el punto 3.1.1.2.

A partir de la base de datos de concentraciones horarias de  $O_3$  para el día 22 de diciembre de 2016, en las horas 18:00 y 19:00 le asignamos el valor de concentración de  $O_3$  medida en la estación que la contiene.

A partir de esta información, constituimos las variables de los atributos estructurales de los sistemas de verdes urbanos y concentración de  $O_3$ , en la unidad de análisis de manzana.

#### **3.1.4.1 Variable Y. “*Reducción de $O_3$ en una hora*”.**

La variable dependiente  $Y$ , es la “*Reducción de  $O_3$  en una hora*”, la cual determina la relación entre la calidad del aire y los atributos estructurales de los sistemas de verdes urbanos cuando el nivel de análisis es la manzana.

De entrada, no trabajamos con las concentraciones horarias, en su caso tomamos la reducción de  $O_3$  que se da entre dos horarios, por aportar mejor información. De modo que los atributos estructurales de los sistemas de verdes urbanos expliquen dicha reducción.

Como contamos con los valores de concentración de  $O_3$  para la hora 18:00 ( $Hora_1$ ) y 19:00 ( $Hora_2$ ), del día 22 de diciembre del año 2016, para cada estación de monitoreo;

asignamos la diferencia entre ambas. La variable  $Y$ , “Reducción de  $O_3$  en una hora”, está representada por: la “Concentración de  $O_3$  en la hora 18:00” menos la “Concentración de  $O_3$  en la hora 19:00”. Lo cual queda de la siguiente manera:

$Hora_1 = \text{Concentración de } O_3 \text{ en la hora 18:00.}$

$Hora_2 = \text{Concentración de } O_3 \text{ en la hora 19:00.}$

Y finalmente, la variable dependiente es:

$$Y = Hora_1 - Hora_2$$

#### **3.1.4.2 Variable $X_1$ . “Porcentaje de superficie de área verde respecto a la superficie del sistema de verdes urbanos”.**

La primera variable independiente se refiere a un atributo estructural de cantidad y dimensión de los componentes de los sistemas de verdes urbanos. Calculamos la superficie total de las unidades de área verde que estaban contenidas en cada observación ( $S_1$ ). Con la superficie de cada manzana ( $M_1$ ), obtuvimos el porcentaje que representaba la superficie de área verde respecto a la superficie total de la manzana para cada observación.

La variable  $X_1$ , “Porcentaje de superficie de área verde respecto a la superficie del sistema de verdes urbanos”, queda representada por el producto de la superficie total de las unidades de área verde por cien, dividido entre la superficie de la manzana.

$$X_1 = (S_1 * 100) / M_1$$

#### **3.1.4.3 Variable $X_2$ . “Tipo de vegetación predominante según su estrato”.**

La segunda variable independiente se refiere a un atributo estructural de naturaleza de los componentes de los sistemas de verdes urbanos. Para ello utilizamos la clasificación de la vegetación según su estrato: “arbolado” o “pastos y arbustos”.

Para obtener la variable ocupamos la superficie de área verde dentro de cada manzana que pertenecía a la categoría “arbolado” ( $SE_1$ ) y la superficie de área verde que pertenecía a la categoría “pastos y arbustos” ( $SE_2$ ).

La variable  $X_2$ , “*Tipo de vegetación predominante según su estrato*”, queda representada por: 1 si la superficie de área verde de tipo arbolado es mayor que la superficie de área verde de tipo pastos y arbustos; y 0 si la superficie de área verde de tipo arbolado es menor que la superficie de área verde de tipo pastos y arbustos.

$$X_2 = 1 = (SE_1) > (SE_2)$$

$$X_2 = 0 = (SE_1) < (SE_2)$$

#### **3.1.4.4 Variable $X_3$ . “*Distancia mínima promedio entre áreas verdes*”.**

La tercera variable independiente se refiere a un atributo estructural de distribución espacial de los componentes de los sistemas de verdes urbanos. En este caso, tomamos todas las áreas verdes de una observación y calculamos la distancia mínima a la cual se encontraba la más próxima. Este proceso lo realizamos mediante el uso de la aplicación de escritorio ArcMap, con su función “generate near table”.

A cada área verde le asignamos la distancia a su área verde más cercana ( $D$ ).

La variable  $X_3$ , “*Distancia mínima promedio entre áreas verdes*”, queda representada por: el promedio de  $D$ .

$$X_3 = \text{Prom} (D)$$

### **3.2 PRUEBAS PARAMÉTRICAS. MODELO DE REGRESIÓN LINEAL.**

En este apartado realizamos todos los pasos para el desarrollo del modelo de regresión lineal. Para ello trabajamos con la muestra de sistemas de verdes urbanos con la unidad de análisis de colonia.

Las pruebas paramétricas, según Siegel & Castellan (1992) son aquellas que nos permiten hacer suposiciones acerca de la naturaleza de las poblaciones de donde se extrajo una muestra determinada. Es por ello, que se trata de pruebas que tienen grandes supuestos, como la normalidad de la población y la muestra. Además, sus variables deben tener, al menos, escala de intervalo y la muestra debe constituirse, como mínimo, de 30 observaciones.

El modelo de regresión lineal nos permite realizar un análisis en el cuál se puede llegar a una predicción, o determinar el efecto de una variable sobre otra (Castañeda, Cabrera, Navarro, & de Vries, 2010). De igual manera realizamos las respectivas pruebas de significación, lo cual nos permite aceptar o rechazar la  $H_0$ .

Primeramente, definimos el modelo estadístico en cuanto a la naturaleza de la población y la forma de muestreo. Posteriormente, desarrollamos el análisis de regresión lineal, para finalmente aceptar o rechazar el modelo.

### **3.2.1 DEFINICIÓN DEL MODELO ESTADÍSTICO.**

Para la definición de nuestro modelo estadístico nos basamos en dos criterios: naturaleza de la población y la forma de muestreo.

Como ya vimos desde el apartado 3.1.3, nueve de las variables, incluida la dependiente, satisfacen las condiciones iniciales de su escala para incorporarlas al modelo de regresión lineal. Adicionalmente incorporamos una variable de presencia/ausencia referida al tipo de vegetación para ver cómo influye en el modelo.

Como planteamos anteriormente, seleccionamos una muestra, de manera sistemática, que se compone de 556 colonias, las cuales constituyen las observaciones para ejecutar el modelo de regresión lineal.

### **3.2.2 ANÁLISIS DE REGRESIÓN LINEAL.**

El análisis de regresión lineal consiste en obtener la función lineal que explica o predice, el comportamiento de una variable dependiente, a partir de una o varias variables independientes.

La  $r$ , o *Coefficiente de Correlación de Pearson*, determina el nivel de asociación que existe entre las variables, mientras que la  $R^2$  o *Coefficiente de Determinación*, nos permite evaluar si la variación de la variable dependiente es explicada por el modelo lineal propuesto. (Nolberto & Ponce, 2008)

La ventaja de emplear un modelo de regresión lineal consiste en que además de obtener estos dos coeficientes, que ayudan a evaluar el ajuste, podemos plantear una

ecuación predictiva que expresa el peso de cada una de las variables y lo podemos conocer a través de los valores de beta,  $\beta$ , en cada variable independiente.

Además, para asegurarnos de la asociación entre las variables independientes y la dependiente en la regresión, empleamos la prueba estadística F, cuyo nivel de significación nos permite rechazar o no la  $H_0$ . Esto nos indica si los conjuntos de las variables independientes son diferentes de cero, o sea, si conforman un modelo.

La variable dependiente es la calidad del aire, y está medida a través de la reducción de  $O_3$  en el lapso de una hora. Las nueve variables independientes representan los atributos estructurales de los sistemas de verdes urbanos. El modelo es entonces:

$Y =$  Reducción de  $O_3$  en una hora.

$X_1 =$  Porcentaje de superficie de área verde respecto a la superficie del sistema de verdes urbanos.

$X_2 =$  Porcentaje de superficie total de áreas verdes de tamaño menor o igual a 320 m<sup>2</sup> respecto a la superficie total de área verde del sistema de verdes urbanos.

$X_3 =$  Porcentaje de superficie total de áreas verdes de tamaño mayor a 320 m<sup>2</sup> y menor o igual a 960 m<sup>2</sup> respecto a la superficie total de área verde del sistema de verdes urbanos.

$X_4 =$  Porcentaje de superficie total de áreas verdes de tamaño mayor a 960 m<sup>2</sup> y menor o igual a 2800 m<sup>2</sup> respecto a la superficie total de área verde del sistema de verdes urbanos.

$X_5 =$  Porcentaje de superficie total de áreas verdes de tamaño mayor a 2800 m<sup>2</sup> y menor o igual a 11520 m<sup>2</sup> respecto a la superficie total de área verde del sistema de verdes urbanos.

$X_6 =$  Porcentaje de superficie total de áreas verdes de tamaño mayor a 11520 m<sup>2</sup> respecto a la superficie total de área verde del sistema de verdes urbanos.

$X_7 =$  Tipo de vegetación predominante según su estrato.

$X_8 =$  Porcentaje promedio de área verde por manzana.

$X_9 =$  Distancia mínima promedio entre áreas verdes.

La ecuación predictiva para el modelo de regresión lineal que planteamos queda de la siguiente manera:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \beta_5 X_5 + \beta_6 X_6 + \beta_7 X_7 + \beta_8 X_8 + \beta_9 X_9 (+\varepsilon)$$

Dado que nuestra pregunta de investigación es determinar si existe relación entre los atributos estructurales de los sistemas de verdes urbanos y la calidad del aire, medida a través de la reducción del  $O_3$ , tomando como unidad de análisis la colonia, nuestra Hipótesis Nula ( $H_0$ ) y la Hipótesis Alternativa ( $H_1$ ) quedan de la siguiente manera:

$H_0$  = La variable  $Y$  "Reducción de  $O_3$ " **no** está correlacionada con las variables  $X_1$  "Porcentaje de superficie de área verde respecto a la superficie del sistema de verdes urbanos",  $X_2$  "Porcentaje de superficie total de áreas verdes de tamaño menor o igual a  $320\text{ m}^2$  respecto a la superficie total de área verde del sistema de verdes urbanos",  $X_3$  "Porcentaje de superficie total de áreas verdes de tamaño mayor a  $320\text{ m}^2$  y menor o igual a  $960\text{ m}^2$  respecto a la superficie total de área verde del sistema de verdes urbanos",  $X_4$  "Porcentaje de superficie total de áreas verdes de tamaño mayor a  $960\text{ m}^2$  y menor o igual a  $2800\text{ m}^2$  respecto a la superficie total de área verde del sistema de verdes urbanos",  $X_5$  "Porcentaje de superficie total de áreas verdes de tamaño mayor a  $2800\text{ m}^2$  y menor o igual a  $11520\text{ m}^2$  respecto a la superficie total de área verde del sistema de verdes urbanos",  $X_6$  "Porcentaje de superficie total de áreas verdes de tamaño mayor a  $11520\text{ m}^2$  respecto a la superficie total de área verde del sistema de verdes urbanos",  $X_7$  "Tipo de vegetación predominante según su estrato",  $X_8$  "Porcentaje promedio de área verde por manzana y  $X_9$  "Distancia mínima promedio entre áreas verdes".

$H_1$  = La variable  $Y$  "Reducción de  $O_3$ " **sí** está correlacionada con al menos una de las variables  $X_1$  "Porcentaje de superficie de área verde respecto a la superficie del sistema de verdes urbanos",  $X_2$  "Porcentaje de superficie total de áreas verdes de tamaño menor o igual a  $320\text{ m}^2$  respecto a la superficie total de área verde del sistema de verdes urbanos",  $X_3$  "Porcentaje de superficie total de áreas verdes de tamaño mayor a  $320\text{ m}^2$  y menor o igual a  $960\text{ m}^2$  respecto a la superficie total de área verde del sistema de verdes urbanos",  $X_4$  "Porcentaje de superficie total de áreas verdes de tamaño mayor a  $960\text{ m}^2$  y menor o igual a  $2800\text{ m}^2$  respecto a la superficie total de área verde del sistema de verdes urbanos",  $X_5$  "Porcentaje de superficie total de áreas verdes de tamaño mayor a  $2800\text{ m}^2$  y menor o igual a  $11520\text{ m}^2$  respecto a la superficie total de área verde del sistema de verdes urbanos",  $X_6$  "Porcentaje de superficie total de áreas verdes de tamaño mayor a  $11520\text{ m}^2$  respecto a la superficie total de área verde del sistema de verdes urbanos",  $X_7$  "Tipo de vegetación predominante según su estrato",  $X_8$  "Porcentaje promedio de área verde por manzana y  $X_9$  "Distancia mínima promedio entre áreas verdes".

Según Nolberto & Ponce (2008) el nivel de significación de una prueba estadística es "la probabilidad  $\alpha$  de la prueba, es el riesgo o la probabilidad que el investigador asume de manera voluntaria para equivocarse al rechazar la  $H_0$  cuando en realidad es verdadera. El nivel de significación que elegimos para poner a prueba la  $H_0$  es de 0.05, siguiendo la recomendación de Seigel & Castellan (1992).

### 3.2.2.1 Resultados del análisis.

Primeramente, tomamos el valor de la prueba estadística  $F$  en la tabla ANOVA (ver Tabla 3) para determinar si en conjunto las variables independientes y la dependiente están relacionadas.

Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	1429.896	9	158.877	2.191	.021 <sup>b</sup>
1 Residual	39597.421	546	72.523		
Total	41027.317	555			

a. Variable dependiente: Y

b. Variables predictoras: (Constante), X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub>, X<sub>3</sub>, X<sub>4</sub>, X<sub>5</sub>, X<sub>6</sub>, X<sub>7</sub>, X<sub>8</sub>, X<sub>9</sub>

Tabla 3 ANOVA resultado del análisis de regresión lineal  
Fuente: Elaboración propia en SPSS

Como el nivel de significancia elegido fue de 0.05, y el resultado de la prueba  $F$ , es de Sig.=0.021, podemos concluir que el dato está siendo significativo<sup>56</sup> y por tanto debemos rechazar la  $H_0$  de que no existe relación entre las variables independientes y la dependiente.

De forma general, un coeficiente de correlación<sup>57</sup> puede ser definido como un estadístico que cuantifica la asociación entre variables. (Martínez, Tuya, Martínez, Pérez & Cánovas, 2009)

El *Coefficiente de Correlación de Pearson* es un estadístico estandarizado cuyo valor se encuentra entre el intervalo [-1,1]. La interpretación se realiza según el signo, si el valor es positivo significa que la correlación entre variables es positiva, es decir, son directamente proporcionales, si crece una variable, la otra crecerá también. Si el signo del coeficiente es negativo, serán inversamente proporcionales, cuando una variable crezca, la otra decrecerá. Con respecto al valor absoluto, mientras más grande sea

---

<sup>56</sup> Pues es un valor más pequeño que el fijado para el nivel de significancia de 0.05.

<sup>57</sup> La correlación es definida por Martínez et al. (2009) como el "grado de asociación entre dos variables, según el sentido de la relación de estas en términos de aumento o disminución" (p. 4)

este, mayor será la asociación entre las variables. (Castañeda et al., 2010; Martínez et al., 2009; Navarro, 2015)

A pesar del resultado de la ANOVA, el cual indica que rechazamos la  $H_0$ , la tabla resumen del modelo muestra que el *Coefficiente de Correlación de Pearson* es bajo, 0.187, pero con valor positivo (Ver Tabla 4). Eso quiere decir que, si las variables independientes crecen, la dependiente también lo hará.

**Resumen del modelo<sup>b</sup>**

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación	Durbin-Watson
1	.187 <sup>a</sup>	.035	.019	8.51602891	.155

a. Variables predictoras: (Constante),  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$ ,  $X_4$ ,  $X_5$ ,  $X_6$ ,  $X_7$ ,  $X_8$ ,  $X_9$

b. Variable dependiente: Y

Tabla 4 Resumen del análisis de regresión lineal  
Fuente: Elaboración propia en SPSS

Por otra parte, el *Coefficiente de Determinación  $R^2$* , muestra un valor muy pequeño, de 0.035 (Ver Tabla 4). Esto quiere decir, que el 3.5% de nuestras observaciones se ajustan al modelo lineal. Por lo tanto, no existe un nivel elevado de varianza explicada y el uso de la ecuación de regresión predictiva es inapropiado.

**Coefficientes<sup>a</sup>**

Modelo	Coefficients no estandarizados		Coefficients tipificados	t	Sig.
	B	Error típ.	Beta		
(Constante)	17.282	2.894		5.971	.000
$X_1$	.021	.032	.037	.672	.502
$X_2$	-.026	.031	-.084	-.822	.411
$X_3$	-.032	.037	-.052	-.867	.386
$X_4$	-.058	.034	-.106	-1.699	.090
$X_5$	-.036	.032	-.089	-1.128	.260
$X_6$	-.032	.032	-.083	-1.005	.315
$X_7$	3.604	.961	.167	3.748	.000
$X_8$	.012	.012	.046	1.001	.317
$X_9$	-.015	.019	-.036	-.772	.441

a. Variable dependiente: Y

Tabla 5 Coeficientes del modelo  
Fuente: Elaboración propia en SPSS

Para la explicación del modelo, solamente es significativa la variable  $X_7$ , referida al tipo de vegetación (Ver Tabla 5). El resto de las variables tienen significancias mayores al 0.05.

### **3.2.3 CONCLUSIONES DEL MODELO APLICADO.**

A pesar de que la significancia del modelo indica que debemos asumir que sí existe relación entre las variables independientes y la dependiente, el *Coefficiente de Determinación* nos indica que tan solo el 3.5% de los casos se están ajustando lo que equivale a 20 casos, de los 556 analizados.

Lo anterior obedece a que existen varios factores ambientales que influyen en la dispersión y remoción de contaminantes. Por lo cual no podemos obtener un modelo donde las variables referidas a la vegetación expliquen, por sí solas, la reducción de la concentración de  $O_3$ . Además de la incertidumbre que genera haber dispersado la contaminación.

Por otra parte, no solo las variables ambientales influyen en el comportamiento de los contaminantes y entre ellos el  $O_3$ , sino también otras de tipo socioeconómico que no hemos incorporado al modelo.

En otro orden de ideas, está el hecho de que algunas de las variables fueron construidas a partir del promedio, como  $X_8$  y  $X_9$ , las cuales no fueron significativas para el modelo. Trabajar con la media aritmética sin tener en cuenta la existencia de valores extremos, que pueden alterar su comportamiento, podría derivar en resultados poco concluyentes.

Finalmente, también debemos reconocer que en nuestro estudio no hemos considerado los atributos de composición referidos a las especies. Mucha de la investigación relacionada con la absorción de contaminantes por la vegetación se ha basado en las especies arbóreas. Sin embargo, la inclusión de este tipo de atributos es complicada, debido a la escasez de datos. No obstante, sería valioso en estudios futuros poder incluir variables de este tipo.

### **3.3 PRUEBAS NO PARAMÉTRICAS. EL COEFICIENTE DE CORRELACIÓN $T$ DE KENDALL DE RANGOS ORDENADOS Y EL COEFICIENTE DE CORRELACIÓN $Rho$ DE SPEARMAN DE RANGOS ORDENADOS.**

En este apartado realizamos las pruebas no paramétricas para probar la relación entre las variables de atributos estructurales de los sistemas de verdes urbanos y la variable de calidad del aire. Para ello aplicamos dos pruebas de asociación, las cuales determinan la correlación entre dos o más variables. En este caso, trabajamos los sistemas de verdes urbanos con unidad de análisis a nivel de manzana, y un tamaño de muestra de 15 observaciones.

Como ya vimos en el apartado 3.2, las pruebas paramétricas se sustentan en una serie de supuestos, sobre todo de normalidad en la distribución, que no resultan posibles de cumplir cuando tenemos muestras pequeñas, y desconocemos la distribución de la que proceden, además de los requerimientos mínimos de escala intervalo para los datos de las variables. Las pruebas no paramétricas, por su parte, no hacen suposiciones sobre la distribución de la población de la cual han sido extraídas las muestras, y las puntuaciones pueden estar medidas en la escala ordinal (Siegel & Castellan, 1992).

Para probar la relación que existe entre el conjunto de nuestras variables utilizaremos las pruebas no paramétricas para estimar el nivel de asociación entre las variables, así como la significancia en las pruebas de correlación.

Primeramente, definiremos el modelo estadístico en cuanto a la naturaleza de la población y la forma de muestreo. Después, desarrollaremos el análisis del Coeficiente de Correlación  $T$  de Kendall de rangos ordenados. Continuaremos con la prueba del Coeficiente de Correlación  $Rho$  de Spearman de rango ordenados. Y finalmente, concluiremos con el aporte de las pruebas no paramétricas en la hipótesis de investigación.

#### **3.3.1 DEFINICIÓN DEL MODELO ESTADÍSTICO.**

Para la definición del modelo estadístico nos basamos fundamentalmente en dos criterios: naturaleza de la población y la forma de muestreo.

Como ya vimos desde el apartado 3.1.4, con la definición de las variables a emplear en las pruebas no paramétricas, la variable dependiente, “Y”, tiene una medida métrica. Por su parte, de las tres variables independientes, una se encuentra en escala nominal, que es el tipo de vegetación, y las otras dos también son métricas. Estas variables las empleamos para someterlas a la prueba del *Coefficiente de Correlación Rho de Spearman*.

Las dos variables para cada uno de los horarios en que fue medida la concentración de O<sub>3</sub> son métricas y serán empleadas en la prueba *Coefficiente de Correlación T de Kendall*.

Para ambas pruebas la muestra es de 15 manzanas, las cuales contienen las estaciones de la RAMA, que se encuentran en el suelo urbano de la Ciudad de México.

De este modo, hay un total de seis variables.

Para la prueba que determina el *Coefficiente de Correlación T de Kendall* empleamos los datos de concentraciones horarias para las 18:00 y 19:00 horas:

*Hora<sub>1</sub> = Concentración de O<sub>3</sub> en la hora 18:00.*

*Hora<sub>2</sub> = Concentración de O<sub>3</sub> en la hora 19:00.*

En el caso de la prueba para determinar el *Coefficiente de Correlación Rho de Spearman* vemos una variable dependiente contrastada con otras tres independientes. La dependiente se refiere a la calidad del aire y, al igual que en la base de datos para la unidad de análisis a nivel de colonia, está medida como la “*Reducción de O<sub>3</sub> en una hora*”. Las otras tres variables son las independientes y representan los atributos estructurales de los sistemas de verdes urbanos:

*Y = Reducción de O<sub>3</sub> en una hora.*

*X<sub>1</sub> = Porcentaje de superficie de área verde respecto a la superficie del sistema de verdes urbanos: manzana.*

*X<sub>2</sub> = Tipo de vegetación predominante según su estrato.*

*X<sub>3</sub> = Distancia mínima promedio entre áreas verdes.*

### 3.3.2 COEFICIENTE DE CORRELACIÓN T DE KENDALL DE RANGOS ORDENADOS.

Tal y como plantea el nombre de este coeficiente, con esta prueba estimamos la correlación o el grado de asociación entre dos variables. Esta asociación entre las variables es hallada a partir del orden de los rangos de las puntuaciones de cada una de las variables que se vayan a relacionar.

Según Siegel & Castellan (1992) “*T* es una medida del acuerdo entre los rangos asignados a los ensayos por el juez *x*, y aquellos asignados por el juez *Y*” (p. 282). O sea, a cada una de las variables cada juez le asigna un orden, y el coeficiente evalúa cuánto variaron las calificaciones que asignó el juez “*x*” con respecto a las que asignó el juez “*y*”.

El coeficiente *T* es una función del número mínimo de inversiones, o intercambios entre rangos cercanos, requeridos para transformar un rango en otro y su valor representa el grado de relación entre las variables de estudio. (Siegel & Castellan, 1992)

Según Siegel & Castellan (1992) la interpretación del *Coefficiente de Correlación T de Kendal* es “la diferencia entre la probabilidad de que, los datos observados, *X* y *Y* estén en el mismo orden y la probabilidad de que los datos de *X* y *Y* estén en un orden diferente” (p. 289).

Esta prueba comprueba la correlación existente entre las dos horas de concentración de  $O_3$ . A partir de la determinación del acuerdo entre las dos variables analizadas: *Hora<sub>1</sub>* y *Hora<sub>2</sub>*<sup>58</sup>, construimos la variable “*Y*”, *Reducción de  $O_3$  en una hora*.

Acudimos a esta prueba para confirmar que ciertamente el valor de reducción que usamos como variable dependiente, responde a dos variables que se encuentran correlacionadas.

---

<sup>58</sup> Estas variables fueron declaradas en el apartado 3.1.4.1 Variable *Y*. Reducción de  $O_3$  en una hora.

Además, para asegurar la asociación entre las variables  $Hora_1$  y  $Hora_2$  mediante la determinación del coeficiente  $T$ , incluimos el análisis de la significancia. Esta permite conocer el valor de probabilidad asociada y rechazar o no la  $H_0$ . La hipótesis nula y la alterna quedan de la siguiente manera:

$H_0$  = La variable  $Hora_1$  “Concentración de  $O_3$  en la hora 18:00” **no** está relacionada con la variable  $Hora_2$  “Concentración de  $O_3$  en la hora 19:00”.  $T = 0$

$H_1$  = La variable  $Hora_1$  “Concentración de  $O_3$  en la hora 18:00” **sí** está relacionada con la variable  $Hora_2$  “Concentración de  $O_3$  en la hora 19:00”.  $T \neq 0$

### 3.3.2.1 Resultados del análisis.

En el caso de esta prueba del *Coefficiente de Correlación T de Kendall* la tabla de correlaciones (ver Tabla 6) nos muestra, para cada una de las horas, el valor del coeficiente, así como la significancia bilateral.

Correlaciones			
		<i>Hora 1</i>	<i>Hora 2</i>
<i>Tau_b</i> de Kendall	Coefficiente de correlación	1.000	.728**
	<i>Hora 1</i> Sig. (bilateral)	.	.000
	N	15	15
	Coefficiente de correlación	.728**	1.000
	<i>Hora 2</i> Sig. (bilateral)	.000	.
	N	15	15

\*\* . La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

Tabla 6 *Correlaciones T de Kendall*  
Fuente: Elaboración propia en SPSS

Como podemos observar, el valor de  $T$  entre las dos variables es de 0.728 y la significancia 0.000. Esto nos indica, por una parte, que podemos rechazar la  $H_0$  de que las muestras no están relacionadas. De este modo, es posible plantear que el valor de la correlación resultante es significativo con un nivel de confianza del 95% y que las dos variables  $Hora_1$  y  $Hora_2$  están asociadas en un 72.8%.

Por otra parte, respecto al valor del coeficiente de correlación  $T$  es un estadístico que puede ser interpretado de manera similar a la  $r$  o *Coefficiente de Correlación de Pearson* que vimos en el apartado anterior de pruebas paramétricas.

Su valor siempre va a ubicarse entre -1 y 1, mientras más cercano esté a alguno de estos dos valores más fuerte será la correlación, mientras que si el valor es 0 indica la inexistencia de correlación. Y el signo del coeficiente nos indica si la dirección de la relación es positiva o negativa. La direccionalidad positiva determina que cuando los jueces X dan un valor alto a una observación, los jueces Y también lo harán. En el caso de la direccionalidad negativa mientras mayor puntuación asignen los jueces X, menor será la asignada por los jueces Y. (Navarro, 2015)

Dicho esto, y dado que el valor de  $T$  es de 0.728 y que la correlación resultó significativa, podemos afirmar que existe una correlación fuerte entre las dos variables y que la direccionalidad es positiva. Con este resultado concluimos que  $Hora_1$  y  $Hora_2$  tienen una asociación positiva, es decir ambas crecen o decrecen.

### **3.3.3 COEFICIENTE DE CORRELACIÓN Rho DE SPEARMAN DE RANGOS ORDENADOS.**

Este coeficiente, estima la correlación o el grado de asociación entre dos variables, a partir del orden de los rangos de las puntuaciones de cada una de las variables.

Según Martínez et al. (2009, p.5) podemos referirnos al *Coefficiente de Correlación Rho de Spearman* como “una medida de asociación lineal que utiliza los rangos, números de orden, de cada grupo de sujetos y compara dichos rangos”.

El coeficiente *Rho* es similar al *Coefficiente de Correlación de Pearson*. Aunque el cálculo es diferente, y no hace los supuestos de una prueba paramétrica, su interpretación es igual. (Martínez et al. 2009; Siegel & Castellan, 1992)

En el sub apartado 3.3.2 comprobamos la relación entre las variables de los horarios de medición de la concentración de  $O_3$  en las horas 18:00 y 19:00, para construir la variable dependiente  $Y$ . Una vez que tenemos la variable dependiente  $Y$ , y las variables independientes  $X_1$ ,  $X_2$  y  $X_3$ , podemos determinar la relación existente entre ellas, a partir del *Coefficiente de Correlación Rho de Spearman*. En esta prueba, la relación de la variable dependiente con cada una de las variables independientes se hallará de manera individual.

Además, para asegurarnos de la asociación entre las variables que probamos, mediante la determinación del coeficiente *Rho*, incluimos el análisis de la significancia. Este nos permite conocer el valor de probabilidad asociada y rechazar, o no, la  $H_0$ .

### 3.3.3.1 Análisis del Coeficiente de Correlación Rho de Spearman entre la variable dependiente $Y = \text{“Reducción de } O_3 \text{ en una hora”}$ y la variable independiente $X_1 = \text{“Porcentaje de superficie de área verde respecto a la superficie del sistema de verdes urbanos”}$ .

Para esta prueba, la hipótesis nula y la alternativa quedan de la siguiente manera:

$H_0 =$  La variable  $Y$  “Reducción de  $O_3$  en una hora” **no** está relacionada con la variable  $X_1$  “Porcentaje de superficie de área verde respecto a la superficie del sistema de verdes urbanos”.  $Rho = 0$

$H_1 =$  La variable  $Y$  “Reducción de  $O_3$  en una hora” **sí** está relacionada con la variable  $X_1$  “Porcentaje de superficie de área verde respecto a la superficie del sistema de verdes urbanos”.  $Rho \neq 0$

Como podemos observar en la tabla de correlaciones (ver Tabla 7), el coeficiente de correlación entre las dos variables es de 0.548 y la significancia 0.034. Esto nos indica que podemos rechazar la  $H_0$  de que las muestras no están relacionadas. Este resultado nos permite afirmar que el valor resultante de la correlación es significativo con un nivel de confianza del 95% y que las dos variables  $Y$  y  $X_1$  están relacionadas.

Correlaciones			Y	$X_1$
	Coeficiente de correlación		1.000	.548*
Y	Sig. (bilateral)		.	.034
	N		15	15
Rho de Spearman	Coeficiente de correlación		.548*	1.000
	$X_1$ Sig. (bilateral)		.034	.
	N		15	15

\*. La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

Tabla 7 Correlaciones Rho de Spearman para las variables  $Y$  y  $X_1$   
Fuente: Elaboración propia en SPSS

Como el valor de *Rho* es 0.548 y la correlación resultó significativa, entonces podemos afirmar que hay correlación entre las dos variables y la direccionalidad es positiva. A medida que la variable  $X_1$  se incrementa, también lo hace la  $Y$ , o sea, mientras mayor

es el porcentaje de superficie de área verde respecto a la superficie del sistema de verdes urbanos, mayor será la reducción de O<sub>3</sub> en una hora.

### 3.3.3.2 Análisis del Coeficiente de Correlación Rho de Spearman entre la variable dependiente Y = “Reducción de O<sub>3</sub> en una hora” y la variable independiente X<sub>2</sub> = “Tipo de vegetación predominante según su estrato”.

En este caso la hipótesis nula y la alterna quedan de la siguiente manera:

H<sub>0</sub> = La variable Y “Reducción de O<sub>3</sub> en una hora” **no** está relacionada con la variable X<sub>2</sub> “Tipo de vegetación predominante según su estrato”.  $Rho = 0$

H<sub>1</sub> = La variable Y “Reducción de O<sub>3</sub> en una hora” **sí** está relacionada con la variable X<sub>2</sub> “Tipo de vegetación predominante según su estrato”.  $Rho \neq 0$

Como observamos en la tabla de correlaciones (ver Tabla 8), el coeficiente *Rho* entre las dos variables es de -0.087 y la significancia 0.757. Esto nos indica que no podemos rechazar la H<sub>0</sub> de que las muestras no están relacionadas, para un nivel de confianza del 95%. Ello nos permite afirmar que las dos variables Y y X<sub>2</sub> no están relacionadas.

		Y	X <sub>2</sub>
Rho de Spearman	Coeficiente de correlación	1.000	-.087
	Y Sig. (bilateral)	.	.757
	N	15	15
	Coeficiente de correlación	-.087	1.000
	X <sub>2</sub> Sig. (bilateral)	.757	.
	N	15	15

Tabla 8 Correlaciones Rho de Spearman entre las variables Y y X<sub>2</sub>  
Fuente: Elaboración propia en SPSS

### 3.3.3.3 Análisis del Coeficiente de Correlación Rho de Spearman entre la variable dependiente Y = “Reducción de O<sub>3</sub> en una hora” y la variable independiente X<sub>3</sub> = “Distancia mínima promedio entre áreas verdes”.

Para esta relación la hipótesis nula y la alterna quedan de la siguiente manera:

H<sub>0</sub> = La variable Y “Reducción de O<sub>3</sub> en una hora” **no** está relacionada con la variable X<sub>3</sub> “Distancia mínima promedio entre áreas verdes”.  $Rho = 0$

H<sub>1</sub> = La variable Y “Reducción de O<sub>3</sub> en una hora” sí está relacionada con la variable X<sub>3</sub> “Distancia mínima promedio entre áreas verdes”. Rho ≠ 0

Como podemos observar en la tabla de correlaciones (ver Tabla 9), el coeficiente *Rho* entre las dos variables es de -0.229 y la significancia 0.412. Esto nos indica que no podemos rechazar la H<sub>0</sub> de que las muestras no están relacionadas, para un nivel de confianza del 95%. Ello nos permite afirmar que las dos variables Y y X<sub>3</sub> no están relacionadas.

Correlaciones			
		Y	X <sub>3</sub>
Rho de Spearman	Coeficiente de correlación	1.000	-.229
	Y Sig. (bilateral)	.	.412
	N	15	15
	Coeficiente de correlación	-.229	1.000
	X <sub>3</sub> Sig. (bilateral)	.412	.
	N	15	15

Tabla 9 Correlaciones Rho de Spearman entre las variables Y y X<sub>3</sub>  
Fuente: Elaboración propia con SPSS

### 3.3.4 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS CON UN POSIBLE MODELO DE REGRESIÓN LINEAL.

En vista de los resultados obtenidos en las tres pruebas realizadas mediante el *Coeficiente de Correlación Rho de Spearman*, decidimos, como una prueba final, desarrollar un modelo de regresión lineal, que nos permita tener la idea de una ecuación de regresión explicativa. Para ello partimos de que solamente la X<sub>1</sub> “Porcentaje de superficie de área verde respecto a la superficie del sistema de verdes urbanos” resultó ser significativa y tuvo un valor aceptable de correlación con la variable dependiente.

Por los elementos anteriormente planteados, en el modelo de regresión evaluamos únicamente la variable dependiente, Y, con la independiente, X<sub>1</sub>.

Según nuestra base de datos y pregunta de investigación, las variables para realizar el análisis de regresión lineal son dos en total.

La ecuación predictiva para el modelo de regresión lineal que planteamos queda de la siguiente manera:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \varepsilon$$

Donde:

$Y$  = Reducción de  $O_3$  en una hora.

$X_1$  = Porcentaje de superficie de área verde respecto a la superficie del sistema de verdes urbanos.

$\beta_0, \beta_1$  = son parámetros que miden la influencia que las variables explicativas tienen sobre el modelo lineal.

$\varepsilon$  = Es la perturbación aleatoria no controlable.

Dado que nuestra pregunta de investigación es determinar si existe relación entre el atributo estructural de los sistemas de verdes urbanos: “Porcentaje de superficie de área verde respecto a la superficie del sistema de verdes urbanos” y la calidad del aire medida a través de la: “Reducción del  $O_3$  en una hora”, tomando como unidad de análisis la manzana, nuestra Hipótesis Nula  $H_0$  y la Hipótesis Alternativa  $H_1$  quedan de la siguiente manera:

$H_0$  = La variable  $Y$  “Reducción de  $O_3$  en una hora” no está correlacionada con la variable  $X_1$  “Porcentaje de superficie de área verde respecto a la superficie del sistema de verdes urbanos”.

$H_1$  = La variable  $Y$  “reducción de  $O_3$  en una hora” está correlacionada con la variable  $X_1$  “porcentaje de superficie de área verde respecto a la superficie del sistema de verdes urbanos”.

Además, tomamos como nivel de confianza el 95%.

#### **3.3.4.1 Resultados del análisis.**

Primeramente, analizamos el valor de la prueba estadística  $F$  en la tabla ANOVA, para determinar si la variable independiente influye sobre la dependiente (ver Tabla 10). Como el nivel de significancia establecido fue de 0.05, y el resultado de la prueba  $F$ , es de Sig.=0.041, podemos rechazar la  $H_0$  de que no existe relación entre la variable independiente y la dependiente, para un nivel de confianza del 95%.

**ANOVA<sup>a</sup>**

Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	287.986	1	287.986	5.133	.041 <sup>b</sup>
1 Residual	729.347	13	56.104		
Total	1017.333	14			

a. Variable dependiente: Y

b. Variables predictoras: (Constante), X<sub>1</sub>

*Tabla 10 ANOVA resultado del análisis de regresión lineal para la unidad de análisis a nivel de manzana  
Fuente: Elaboración propia en SPSS*

A pesar de que no analizamos el *Coefficiente de Correlación de Pearson*, pues el análisis lo basamos en el resultado del *Coefficiente de Correlación Rho de Spearman*, podemos notar que la correlación es positiva y con un valor muy parecido al del coeficiente *Rho* obtenido (ver Tabla 11).

**Resumen del modelo**

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	.532 <sup>a</sup>	.283	.228	7.49024

a. Variables predictoras: (Constante), X<sub>1</sub>

*Tabla 11 Resumen del análisis de regresión lineal para la unidad de análisis a nivel de manzana  
Fuente: Elaboración propia en SPSS*

Por otra parte, el *Coefficiente de Determinación R<sup>2</sup>*, muestra un valor pequeño de 0.283, lo cual nos quiere decir que el 28.3% de nuestras observaciones se ajustan al modelo lineal propuesto.

**Coefficientes<sup>a</sup>**

Modelo	Coefficients no estandarizados		Coefficients tipificados	t	Sig.
	B	Error típ.	Beta		
1 (Constante)	6.818	3.840		1.776	.099
X <sub>1</sub>	.203	.090	.532	2.266	.041

a. Variable dependiente: Y

*Tabla 12 Coeficientes del modelo para la unidad de análisis a nivel de manzana  
Fuente: Elaboración propia en SPSS*

En la tabla de coeficientes (ver Tabla 12), el “*Porcentaje de superficie de área verde respecto a la superficie del sistema de verdes urbanos*” está siendo significativo para la explicación del modelo. A partir de esta tabla planteamos el siguiente modelo ajustado:

$$Y = 6.818 + 0.203 X_1$$

De ella podemos plantear que, en primer lugar, su intersección o término constante  $\beta_0$  es 6.818, valor diferente de 0. Esto supone que hay una parte del fenómeno de “Reducción de  $O_3$  en una hora” que no puede ser explicado por este atributo estructural de los sistemas de verdes urbanos, y parte de este valor.

El coeficiente  $\beta_1$  es 0.203, lo cual nos indica que al incrementar un 1% en el porcentaje de superficie de área verde respecto a la superficie del sistema de verdes urbanos, podemos obtener una reducción de 0.203 ppm.

### **3.3.5 CONCLUSIONES DE LAS PRUEBAS REALIZADAS.**

En primer lugar, debemos destacar el valor obtenido para la correlación y su significancia cuando aplicamos la prueba de *Coefficiente de Correlación T de Kendall*. Aunque pudiera parecer reiterativo, comprobar la correlación entre los datos de las dos horas seleccionadas para calcular la variable dependiente  $Y$  “Reducción de  $O_3$  en una hora”, nos ha brindado el sustento para confiar en esta variable como base del análisis.

Resulta relevante plantear que, el contraste con la variable de reducción de  $O_3$  en el lapso de una hora, a escala de manzana, los resultados de las pruebas realizadas alcanzan un mayor sentido y mejores valores predictivos, sobre todo teniendo en cuenta los resultados de sus pruebas de significancia. Por ello, hemos resuelto que, para este tipo de análisis, el uso de métodos de dispersión puede distorsionar los resultados esperados y que estos no sean concluyentes.

El desarrollo de las correlaciones *Rho* de Spearman para tres variables independientes, referidas a los atributos estructurales de los sistemas de verdes urbanos, cuando la unidad de análisis es la manzana, también arrojó datos importantes. Esto nos ha permitido comprobar que, a esta escala de análisis, solamente el “Porcentaje de superficie de área verde respecto a la superficie del sistema de verdes urbanos” resulta significativo para explicar la variable dependiente  $Y$  “Reducción de  $O_3$  en una hora”.

La variable  $X_1$ , la única significativa para las pruebas no paramétricas, se refiere a un atributo bastante general, que relaciona la superficie total de la manzana con la superficie que contiene de área verde. Esto nos ha permitido plantear que, este tipo de variables métricas y que no se refieren a estadísticos como las medias o medianas, pueden ser más efectivas que aquellas que sí se refieren al comportamiento de alguno de estos estadísticos dentro de cada observación, como la  $X_3$ .

Estos elementos anteriormente planteados los podemos sustentar, además, con el contraste del resultado de la correlación y su significancia, para las pruebas paramétricas a partir del modelo de regresión lineal. Por ejemplo, la variable  $X_8$ , *“Porcentaje promedio de área verde por manzana”*, que se refiere a la media de los porcentajes de área verde de cada manzana dentro de la colonia. En este caso la Sig.= 0.317, mucho mayor que el nivel de significancia seleccionado para rechazar la  $H_0$ , al 0.05, por lo cual concluimos que, para esos datos y escala de análisis, la variable no era significativa.

La variable  $X_1$  demostró luego, en el ensayo del modelo de regresión lineal, con los datos a escala de manzana, que es una variable significativa para la explicación de la variable dependiente  $Y$ . El resultado de su función explicativa refleja que por cada incremento de un 1% del porcentaje de superficie de área verde respecto a la superficie del sistema de verdes urbanos podríamos obtener una reducción de 0.203 ppm. Sin embargo, dado los pocos datos que tenemos, no hemos podido generalizar esta relación para toda la ciudad, lo cual puede constituir una puerta abierta a futuras investigaciones. No obstante, para avanzar en este trabajo es necesario obtener más datos.

En el caso de  $X_2$ , referida al tipo de vegetación predominante según su estrato, el comportamiento de su correlación fue diferente para las dos escalas de análisis. En el nivel de manzana la variable no tuvo una correlación alta y tampoco fue significativa la relación. Sin embargo, en el análisis a nivel de colonia resultó ser la única significativa de las 9 variables independientes. Este comportamiento lo hemos atribuido al cambio de escala y tamaño de muestra.

Respecto a la variable  $X_3$ , en ninguna de las dos escalas de análisis su correlación fue significativa. Hemos considerado que este resultado puede tener relación con que,

en la prueba paramétrica, la escala de análisis es muy grande, y hace supuestos sobre la distancia mínima promedio entre áreas verdes, las cuales pueden ser muy variables dentro de una observación. En el caso de la prueba no paramétrica, la escala de análisis es muy chica, y en ocasiones no existe más de una unidad de área verde en una manzana. Además, la poca cantidad de observaciones podría hacer que su resultado no fuera concluyente. A esto se suma que, esta variable la construimos en función de la media de las distancias mínimas, lo cual, con la existencia de valores extremos, puede distorsionar el valor de la variable para cada observación. Para las variables,  $X_2$  y  $X_3$ , debemos tener en cuenta que al tratarse de una muestra de pocas observaciones la prueba de significancia es menos potente.

Como planteamos inicialmente, en nuestro estudio solamente hemos considerado atributos estructurales de los sistemas de verdes urbanos. La falta de datos nos ha llevado a no trabajar con atributos de composición, básicamente de especies, los cuales pudieran tener un mayor impacto en cuanto a reducción de  $O_3$ .

### **3.4 CONCLUSIONES PARCIALES.**

En primer lugar, hemos confirmado que la estadística inferencial puede brindar un conjunto de métodos adecuados y útiles para probar hipótesis de investigación en el ámbito urbano. Las cuestiones urbanas generalmente requieren y aportan grandes volúmenes de información, cuya creación y procesamiento generalmente es engorrosa. Con estos métodos, podemos generalizar comportamientos de una muestra representativa a la totalidad de la población.

Las hipótesis sometidas a comprobación en nuestro trabajo, no solo determinan la relación que existe entre las variables que relacionamos y las dos escalas en que las estudiamos, sino que nos han permitido evidenciar la validez de esta metodología, para comprobar hipótesis en el ámbito de lo urbano y lo ambiental.

Las pruebas paramétricas y las no paramétricas tienen una gran validez. Ambas nos han permitido trabajar con diferentes tipos de datos, en función del diseño metodológico de la investigación y asumiendo sus limitaciones. En nuestro caso, que trabajamos dos escalas de análisis diferentes, para ambos diseños metodológicos hemos obtenido respuestas valiosas.

Sin embargo, es necesario reconocer que el análisis explicativo, que se puede obtener con un modelo de regresión lineal, tiene limitaciones. Para realizar pruebas paramétricas debemos contar con muestras que tengan más de 30 observaciones, lo cual supone normalidad de la población. La ecuación de carácter explicativo que aporta la regresión lineal es exclusiva de los supuestos de las pruebas paramétricas, por lo que hacer inferencias con ella, a partir de pocos datos, no es correcto. Para determinar la relación entre variables y su direccionalidad, podíamos haber aplicado solamente pruebas de correlación o asociación. No obstante, hemos recurrido al modelo de regresión lineal como una opción para explicar el comportamiento de las variables de estudio.

Realizar pruebas para dos escalas de análisis diferentes resultó de gran importancia para el trabajo. Ello nos ha permitido asumir cuál de las dos resulta más apropiada para contrastar las variables de estudio, en cuanto a sus características, y en el manejo de los datos de contaminación.

En términos de las características de las variables, en la escala de análisis de colonia, la mayoría de ellas las construimos a partir de la media. Esto se debió a que los datos dentro de los sistemas varían mucho más que en una escala pequeña como la manzana. Trabajar con la media trae el riesgo de la ocurrencia de valores muy extremos, y que este estadístico no caracterice el atributo. A nivel de colonia, ninguna de las variables que construimos en base a la media resultaron significativas en las pruebas de correlación.

Analizar la escala de manzana, en términos de las características de las variables, nos permitió trabajar algunas de ellas en valores porcentuales respecto a sus totales. En este caso, la variable sí resultó significativa y con un valor de correlación aceptable. En esta misma escala, la variable que construimos en base a la media, una vez más resultó tener una correlación no significativa. Por ello hemos resuelto que es necesario continuar los estudios en este sentido, para encontrar variables que caractericen los atributos estructurales de los sistemas y permitan incrementar la efectividad de las pruebas de significancia.

Con unidades de análisis de menor tamaño, tenemos mayor posibilidad de construir variables en base a datos absolutos. Mientras que, al mayor tamaño de la escala de

análisis, las variables tendrán que basarse más en un estadístico que las caracterice. Por lo anterior, y de acuerdo a las características de las variables, hemos concluido que la escala de manzana resulta más apropiada para el análisis de la influencia de los atributos estructurales de los sistemas de verdes urbanos, en relación a la reducción de O<sub>3</sub> en una hora.

En cuanto al manejo de los datos de contaminación, a partir del estudio de las dos escalas hemos determinado que el nivel de manzana es mucho más apropiado para las variables que analizamos. Básicamente, porque la dispersión de contaminantes aporta incertidumbre a la veracidad de los valores obtenidos. De ese modo, para realizar modelos estadísticos resulta mucho más conveniente trabajar con datos de mediciones reales, que aquellos que provienen de dispersiones.

En otro orden de temas, la calidad del aire no depende solamente de la vegetación. También influyen otros<sup>59</sup> factores como los geográficos, los socioeconómicos y algunos urbanos como el uso de suelo. Esto hace que su comportamiento sea muy dinámico, lo cual contrasta con variables de carácter estático como los atributos estructurales de los sistemas de verdes urbanos.

Al trabajar con el valor de reducción, y no con la concentración puramente, hemos podido eliminar algunos de estos factores que influyen, mayormente en la emisión de contaminantes. Ente estos se encuentran los socioeconómicos y los de uso de suelo. Sin embargo, los geográficos y ambientales no los podemos dejar de considerar como piezas faltantes en cualquier modelo que suponga la reducción de O<sub>3</sub>. Por ello hemos concluido que sus efectos pueden tener influencia en el resultado final de las pruebas aplicadas.

Para realizar el estudio tomamos los datos de dos horas consecutivas de concentraciones horarias de O<sub>3</sub>. Esos dos horarios los seleccionamos a partir de las restricciones a los factores ambientales que pueden influir en la concentración de O<sub>3</sub>. Sin embargo, no dejamos de reconocer que esta decisión nos deja la posibilidad de

---

<sup>59</sup> En nuestro trabajo no hemos ahondado en estos otros factores, y solamente hemos hecho referencia a ellos, pero debemos dejar claro, que no podemos obviar los efectos que tienen sobre la calidad del aire.

haber obtenido otros resultados para otros horarios y fechas. Igualmente, podría suceder que, en un rango de horas mayor, la reducción de O<sub>3</sub>, por la vegetación pueda ser más efectiva. Por ello hemos concluido que sería necesario, en próximas investigaciones, estudiar diversos horarios, días y meses; así como también un rango horario, para la reducción del contaminante, mayor a una hora.

Además, para la selección de la fecha de concentración horaria de O<sub>3</sub>, tampoco tuvimos en cuenta el período foliar en que se encontraba la vegetación, pues no hay información al respecto. La teoría nos dice que la vegetación absorbe los contaminantes mediante las estomas de sus hojas. En este sentido, para la fecha seleccionada, no tenemos certidumbre sobre las condiciones foliares que tenía la vegetación. Por ello hemos resuelto que es necesario también, para seleccionar la fecha de los datos, tener en cuenta este factor.

En referencia a las pruebas de correlación realizadas, obtuvimos resultados diferentes para las dos escalas. En el caso de las paramétricas, realizadas a nivel de colonia, de forma general no obtuvimos resultados concluyentes. Aunque la correlación resultó significativa, tanto el *Coeficiente de Correlación de Pearson*, como el *Coeficiente de Determinación*, arrojaron valores muy bajos, por lo cual hemos decidido que la muestra no se ajusta al modelo de regresión lineal, y sus resultados no son generalizables.

Los resultados de esta prueba evidenciaron que solamente la variable que se refiere a la naturaleza de los componentes, definida como "*Tipo de vegetación predominante según su estrato*", era significativa. Por otra parte, las variables referidas a atributos de cantidad y dimensión, proporción y distribución espacial de los componentes, no tuvieron relación con la reducción de O<sub>3</sub> en una hora para el análisis a escala de colonia.

Los resultados de las pruebas no paramétricas realizadas con la unidad de análisis a nivel de manzana, nos aportaron información más valiosa. En este caso solamente relacionamos tres variables independientes con la dependiente. De todas ellas, solamente resultó ser significativa la variable referida a los atributos de cantidad y dimensión.

De lo anterior hemos podido afirmar que, según nuestra pregunta de investigación, los atributos estructurales referidos a cantidad y dimensión de los componentes de los sistemas de verdes urbanos, medidos a partir del *“Porcentaje de superficie de área verde respecto a la superficie del sistema de verdes urbanos”* sí están relacionados con la calidad del aire medida a través de la *“Reducción de O<sub>3</sub> en una hora”*, en la unidad de análisis de manzana. Esta correlación mostró ser buena y con una direccionalidad positiva, lo cual nos indica que los incrementos en el porcentaje de superficie de área verde representan incrementos en la reducción de O<sub>3</sub> en una hora.

Haber realizado un modelo de regresión lineal, para la variable cuya correlación resultó significativa con las pruebas no paramétricas, también nos aportó información valiosa. Aunque no hemos considerado los resultados como concluyentes<sup>60</sup>, por lo cual no empleamos los valores predictivos que arroja la ecuación de regresión; los valores del *Coefficiente de Correlación de Pearson*, *Coefficiente de Determinación* y la prueba de significancia nos confirman que sí existe una correlación significativa entre las variables.

---

<sup>60</sup> Esto se debe fundamentalmente a que el tamaño de la muestra no cumple con los requisitos o supuestos de las pruebas paramétricas y de un modelo de regresión lineal.

## **CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES GENERALES**

A partir del estudio realizado, hemos podido afirmar que existe una entrega de servicios ecosistémicos por parte de la vegetación urbana, en referencia a la regulación de la calidad del aire. Los atributos estructurales de los sistemas de verdes urbanos, con unidad de análisis a nivel de manzana, tienen influencia en la entrega de estos servicios.

Desde que comenzamos la presente investigación, la escala de análisis se ha constituido en uno de los problemas fundamentales. Esto se debe a que, hasta la actualidad, no se han realizado estudios que prueben la eficacia de las diversas escalas que se pueden emplear, para estudiar los verdes urbanos y los sistemas que constituyen. Como bien plantea Tansley, las escalas de análisis deben responder a los intereses propios de los investigadores, pero no ha habido una intención de sistematizar los resultados que se han obtenido hasta el momento.

Los sistemas de verdes urbanos pueden ser estudiados desde diversas escalas, las cuales pueden ser más o menos efectivas en función del tamaño seleccionado. A partir de nuestra investigación nosotros hemos identificado varias cuestiones fundamentales para determinar la escala. Primero, las características de las variables que se vayan a analizar y segundo las particularidades del fenómeno que estudiamos.

En el caso de la vegetación urbana y la calidad del aire, hemos probado dos escalas, sin embargo, no podemos dejar de considerar que pudieran existir otras, que resulten más eficientes para estudiar este tipo de variables. Lo que sí nos ha quedado claro, es que la disponibilidad de datos, es otro factor fundamental y crítico para seleccionar las escalas que estudiaremos, así como la efectividad de los análisis que ejecutemos.

Tomando en cuenta los resultados de las pruebas realizadas para las dos escalas de análisis propuestas, hemos concluido que, a los efectos de la vegetación y la calidad del aire, resulta más efectivo el análisis en base a las manzanas. Esto, consideramos que se debe en gran medida a que, con esta escala, manejamos valores de contaminación exactos y reales, mientras que a nivel de colonia trabajamos con el valor medio de las concentraciones dispersadas. Sin embargo, también hemos resuelto que una de las limitaciones del trabajo en esta escala es la poca disponibilidad

de datos. En el suelo urbano de la Ciudad de México no hay suficientes datos para realizar pruebas paramétricas. No obstante, emplear la dispersión para obtener mayor cantidad de datos no es una solución adecuada.

A partir de las pruebas estadísticas realizadas hemos podido confirmar la relación existente entre el atributo de cantidad de los sistemas de verdes urbanos "*Porcentaje de superficie de área verde respecto a la superficie del sistema*" y la calidad del aire medida a partir de la "*Reducción de O<sub>3</sub> en una hora*".

De este modo, también hemos concluido que los atributos que mayor influencia tienen en la descontaminación atmosférica, cuando analizamos las variables a escala de manzana, son los de cantidad y dimensiones. Aquellos que se refieren a la naturaleza de los elementos, a las proporciones de sus componentes y su distribución espacial no mostraron relación para ninguna de las dos unidades de análisis evaluadas.

En el caso del atributo de cantidad evaluado, "*Porcentaje de superficie de área verde respecto a la superficie del sistema*", la relación con la "*Reducción de O<sub>3</sub> en una hora*" está comprobada. Los resultados indican que un mayor porcentaje de área verde implica un mayor valor de reducción de O<sub>3</sub> en el lapso de una hora. Este resultado lo consideramos de gran valor, pues nos demuestra que el hecho de tener mayor cantidad de superficie verde puede garantizar una mayor capacidad de descontaminación. Desde este punto de vista, hemos concluido que los esfuerzos deben ir encaminados a garantizar determinados porcentajes de área verde por manzana, para lo cual antes es necesario contar con más datos para realizar pruebas paramétricas.

Los atributos de proporción de los componentes de los sistemas de verdes urbanos que evaluamos no mostraron, en ninguna de las dos escalas, relación con la reducción de O<sub>3</sub> en una hora. Hemos considerado que el fallo en la relación establecida se puede deber a diversos factores. En primer lugar, y según los resultados de los dos tipos de pruebas estadísticas realizadas, está el hecho de que realmente el tamaño de las áreas verdes, a los efectos de la reducción de la contaminación no sea relevante. Por

otra parte, este resultado puede estar afectado por los rangos de tamaño seleccionados<sup>61</sup>, que quizá no fueron los adecuados.

Según estos resultados, hemos considerado, que no solo los grandes verdes urbanos son los que entregan servicios ecosistémicos. Esta es una evidencia que nos lleva a considerar la importancia de la vegetación en las ciudades, tanto los grandes parques, como los elementos aislados presentes en vialidades.

A los efectos de nuestra investigación, la existencia de elementos arbóreos en mayor proporción que el resto de los estratos no está relacionado con una mayor reducción de O<sub>3</sub> para ninguna de las dos escalas de análisis revisadas. En este caso, hemos considerado que existen dos factores que pueden influir en ello. Primeramente, esta variable la construimos en base a una escala nominal dicotómica, en la cual evaluamos la existencia de una mayor proporción de área verde arbolada que de pastos y arbustos. Al trabajar una variable nominal se perdió la relación exacta de porcentaje de cada uno de estos estratos.

Por otra parte, el hecho de que no haya estado relacionado un estrato determinado de la vegetación con la reducción de O<sub>3</sub> puede responder a condicionantes indirectos que pueden influir en un mejor estado del arbolado. La presencia de superficies de pastos y arbustos puede implicar en muchos casos la existencia de condiciones de suelo mucho más favorables para el desarrollo de la vegetación arbórea. Esta cuestión puede favorecer la capacidad de absorción de contaminantes, debido a su constitución foliar. Tanto la libertad para el crecimiento de las raíces, los niveles de humedad, nutrientes, entre otros, podrían ser factores que permitieran una mejor calidad del arbolado y con ello una mayor capacidad de absorción. Estos planteamientos solamente son hipótesis sin comprobar, pues en nuestra investigación no pudimos indagar en estas características. Además, la información de la vegetación que obtuvimos del inventario de áreas verdes, no permitía determinar si una superficie arbolada también estaba constituida por pastos o arbustos.

---

<sup>61</sup> Debemos recordar que empleamos los rangos propuestos por la PAOT (2010), para clasificar los tamaños de las áreas verdes de la Ciudad de México.

Respecto a las implicaciones que tiene la fragmentación de los sistemas de verdes urbanos para la reducción del  $O_3$ , no podemos plantear que para ninguna de las dos escalas de análisis estudiadas exista relación. En este caso, la variable fue calculada en relación a la media de las distancias mínimas entre áreas verdes dentro de los sistemas, y ello puede haber influido en que no caracterizara realmente al atributo. Sin embargo, tampoco hemos podido descartar la opción de que la distancia mínima entre las áreas verdes, a los efectos de la calidad del aire, no tenga ninguna relevancia.

Respecto a las incertidumbres y limitaciones que implicó el proceso de selección de los datos de trabajo, así como las variables de análisis, hemos concluido lo siguiente. Si bien con el proceso de selección de los datos de concentraciones horarias de  $O_3$  pretendimos minimizar la ocurrencia de algunos factores que influyen en la dispersión, transportación y transformación químicas de los contaminantes, esta decisión excluyó muchos datos. Por tanto, no podemos asegurar que las correlaciones obtenidas para un horario, día y mes determinado, sean similares con otros datos.

Además, debemos reconocer que, para la fecha exacta de los datos elegidos, no conocemos el estado de la vegetación de los sistemas que analizamos. Con esto nos referimos al estado foliar, que en función de la especie en determinados períodos del año pierden sus hojas. Esta cuestión fue imposible de controlar, lo cual imprime un mayor grado de incertidumbre a los resultados obtenidos. Nosotros hemos concluido que esta constituye una de las principales limitaciones de las pruebas estadísticas desarrolladas.

Por otra parte, hemos resuelto que es necesario comprobar, si para rangos de tiempo mayores de una hora, los modelos de relación entre las dos variables de estudio son más efectivos. Nosotros manejamos la reducción en una hora, debido a que consideramos que en lapsos mayores podrían influir otros factores que, con la selección de dos horas contiguas, podríamos evitar.

Además, queda pendiente la construcción de otras variables de los atributos estructurales de los sistemas de verdes urbanos que describan cantidad, proporciones, relaciones y conexiones funcionales, naturaleza, etc.

Finalmente, si bien con nuestro estudio logramos identificar la existencia de relación entre algunos atributos estructurales de los sistemas de verdes urbanos con la calidad del aire, no podemos, ni pretendemos concluir, que la vegetación es la vía para solucionar los problemas de contaminación que existen en la Ciudad de México. La complejidad que imprime el sistema metropolitano del cual la ciudad es parte, necesita ser comprendida a fondo para determinar formas de minimizar las emisiones y evitar las elevadas concentraciones de O<sub>3</sub>.

## **CAPÍTULO 5. RECOMENDACIONES**

A partir del carácter exploratorio de nuestra investigación, queremos, en primer lugar, recomendar la continuación de los estudios en este sentido. Fundamentalmente debido a la importancia que tiene la vegetación dentro de las ciudades. Con nuestra investigación buscamos la relación entre algunos atributos estructurales de los sistemas de verdes urbanos y la regulación de la calidad del aire, pero aún quedan vacíos en la investigación de todos los servicios ecosistémicos que realiza la vegetación en las ciudades. Desde los resultados de nuestro trabajo, así como desde algunas metodologías que consultamos a lo largo de nuestra investigación, consideramos que es necesario evaluar cuáles son los servicios ecosistémicos que se encuentran en mayor demanda y bajo una mayor presión, tal como recomienda TEEB (2011), para enfocar los estudios futuros hacia aquellos que más lo necesiten.

Por otra parte, es necesario también advertir la importancia de la concepción sistémica de los verdes urbanos para el estudio de los servicios ecosistémicos y los beneficios que aportan. Las investigaciones que se refieren a estos temas, relacionan componentes de los sistemas de manera aislada, con un servicio o beneficio específico que generan. La sistematización de los verdes urbanos, nos lleva a comprender globalmente todos los servicios, funciones y beneficios que pueden generar como conjunto.

Comprender la vegetación como un sistema conformante del ecosistema urbano, implica también la necesidad de su entendimiento, desde las diferentes disciplinas que están relacionadas con esta cuestión. Por tanto, es un problema que rebasa los límites de su uso exclusivo para la planeación urbana, la planeación ecológica, la planeación

metropolitana, la gestión urbana, la legislación urbana, la legislación ambiental, la salud ambiental, etc. Consideramos que trata de una concepción que requiere acciones coordinadas entre estos y otros sectores e instituciones que garanticen la unidad en su concepción y uso para el bien del hombre y la vida en el planeta.

Ya que la disponibilidad de información, es una de las principales limitaciones que presentamos en la investigación, desde nuestros resultados, recomendamos la construcción y consolidación de los datos existente sobre calidad del aire y sistemas de verdes urbanos. Si bien el SIMAT de la Ciudad de México, genera información valiosa, la cantidad de estaciones y la redundancia de los datos parece ser un problema general. Es necesario que la información en este tema se construya en función de aportar datos útiles para las investigaciones.

Por otra parte, es necesario conformar un sistema de información sobre la vegetación urbana. Aunque el inventario de áreas verdes es un insumo valioso, los datos que aporta son escasos y específicamente referidos a superficie y tipo de vegetación. Como bien hemos visto desde el cuerpo teórico y metodológico del presente trabajo, existen muchas variables que caracterizan a la vegetación y que deben ser estudiadas y controladas, por las instituciones pertinentes y encargadas.

Para futuras investigaciones que pretendan relacionar la vegetación con la calidad del aire, ya sea bajo una concepción sistémica o no, recomendamos emplear como unidad de análisis la manzana. En primer lugar, porque los datos sobre la contaminación generalmente suelen ser muy escasos. Aunque se pudieran manejar otro tipo de datos, que no sean los valores medidos en las estaciones de monitoreo como los inventarios de emisiones<sup>62</sup>, esto estará en función del contaminante que se investigue concretamente. En investigaciones relacionadas con O<sub>3</sub>, y que requieran precisión de datos para correlacionar variables, como la mayoría de las pruebas estadísticas, estas opciones no son válidas.

---

<sup>62</sup> En el caso del estudio de contaminantes primarios.

Trabajar con la manzana como unidad de análisis garantiza la posibilidad de relacionarla con valores reales de contaminación, medidos in situ. La superficie de una manzana es lo suficientemente pequeña como para poder asumir el valor de contaminación que mide la estación. Aun cuando en el diseño de las redes de monitoreo atmosférico se contemplan diversas escalas para la medición<sup>63</sup> de los contaminantes, es necesario comprender que los datos para cualquier análisis estadístico deben ser lo más exactos y reales posible.

Por otro lado, consideramos que emplear la escala de colonia para la comprensión y planeación de los sistemas de verdes urbanos, así como para su caracterización, e incluso para facilitar su gestión, es mucho más apropiado. Esta escala, presenta niveles de homogeneidad en sus componentes que a otras escalas mayores son más difíciles de encontrar, y a escalas más pequeñas representan un mayor volumen de trabajo para obtener resultados similares. La escala de colonia es de fácil manejo para los especialistas involucrados en el ámbito de la planeación. Nosotros consideramos que podría representar un gran aporte para los sistemas de verdes urbanos, realizar un esfuerzo en su reconocimiento, comprensión y descripción, para luego lograr su control, mantenimiento y gestión.

A partir de los resultados obtenidos en nuestra investigación, nosotros recomendamos continuar en futuros trabajos investigativos, ya sea de licenciatura, maestría o doctorado, la exploración sobre esta temática. Como bien hemos planteado desde el inicio, esta investigación versa sobre la exploración la comprensión y la explicación. El esfuerzo y trabajo realizado ha tenido aporte desde el punto de vista de lo que hemos explorado, así como desde lo que hemos comprendido y explicado.

Por una parte, la exploración ha sido mayormente desde el lado de los sistemas de verdes urbanos, pues el fenómeno de la contaminación ha sido ampliamente abordado. En este sentido hemos conformado un cuerpo de variables que describen cuatro tipos de atributos estructurales de los sistemas de verdes urbanos: cantidad y

---

<sup>63</sup> Las escalas de medición de las estaciones de monitoreo puede arrojar información a nivel local, urbano o regional.

dimensión, proporción de los componentes, naturaleza de los componentes y distribución espacial de los componentes. Se trata de un grupo inicial de 24 variables<sup>64</sup>, de las cuales 14 fueron descompuestas a través de sus categorías de tamaño o tipo de estrato. De ello obtuvimos un total de 109 variables para cada una de las observaciones a nivel de colonia. Aunque comprendemos que pueden existir muchas más variables, consideramos y recomendamos que estas constituyan un punto de partida para futuras investigaciones, así como para la comprensión de estos sistemas por parte de las instituciones responsables de la vegetación. Dado que no todas pudieron ser analizadas en las pruebas realizadas de la estadística inferencial, nosotros consideramos que estas variables deben ser construidas tomando como unidad de análisis la manzana<sup>65</sup>, así como deben también ser comprobadas en análisis de correlación con la reducción de O<sub>3</sub>.

Respecto a los atributos estructurales de los sistemas de verdes urbanos, sobre todo si se pretenden manejar los datos a nivel de colonia, recomendamos que para próximas investigaciones se busquen formas de caracterizar los atributos mediante estadísticos que no se refieran a la media. En caso de que se empleara este estadístico, sería conveniente recurrir a pruebas de normalidad de las variables. Ya que en superficies grandes, como las que puede tener una colonia, pudiera ser que la media no caracterice al atributo.

Para continuar con las investigaciones que relacionen la calidad del aire con los atributos estructurales de los sistemas de verdes urbanos, también proponemos diversas recomendaciones y consideraciones. En primer lugar, para obtener resultados más contundentes, es necesario incrementar la cantidad de datos sobre la contaminación. La muestra debe contar, al menos, con 30 observaciones para hacer pruebas paramétricas y análisis predictivo.

Si bien no podemos considerar o esperar a que se incrementen la cantidad de estaciones de monitoreo para continuar estudios, sí sería posible en su lugar, intentar

---

<sup>64</sup> De las cuales claramente no todas pudieron ser empleadas para el análisis estadístico realizado.

<sup>65</sup> Ya que comprobamos con nuestra investigación que esta escala de análisis es mucho más adecuada para contrastar las variables de calidad del aire con los atributos estructurales de los sistemas de verdes urbanos.

realizar el análisis con la zona metropolitana como objeto de estudio. Esto incrementaría la cantidad de estaciones<sup>66</sup>. Otra opción sería considerar otros contaminantes que cuenten con una mayor cantidad de estaciones de monitoreo.

A partir del conocimiento de manzanas específicas que contengan las estaciones de monitoreo, nosotros recomendamos abordar otro tipo de atributos que no solamente se refieran a elementos estructurales de los sistemas, sino también aquellos referidos a los tipos de especies, el origen de la vegetación existentes, el estado de la vegetación, etc. Ello permitiría incluso determinar cuáles tipos de atributos podrían influir, en mayor o menor medida, en la reducción de O<sub>3</sub>, o cualquier otro contaminante que se determine estudiar.

Según los resultados alcanzados, con las escalas de análisis probadas y con los tipos y cantidad de datos manejados, los atributos estructurales de cantidad son los que tienen mayor influencia sobre la reducción del O<sub>3</sub> en una hora, en la Ciudad de México. Sin embargo, asumiendo una vez más el carácter exploratorio de nuestra investigación y dichos resultados, nosotros consideramos que es de vital importancia realizar pruebas que consideren otra temporalidad para el manejo de datos, así como la posibilidad de considerar la reducción de O<sub>3</sub> en rangos de tiempo mayores a una hora, para comprobar si los efectos son similares, o si son mayores o menores.

Por lo pronto a partir de nuestros resultados obtenidos, consideramos que tanto para la planeación, gestión, autogestión de áreas verdes, debe ser considerado que, a mayor porcentaje de área verde en la manzana, mayor reducción del O<sub>3</sub>.

Si bien en estos momentos no podemos referirnos a porcentajes específicos como un estándar para la manzana, sí podemos afirmar la relación lineal positiva existente entre estas dos variables y que el incremento de la vegetación conllevará al incremento de la reducción de O<sub>3</sub>. Esto representa otro vacío de investigación que sugerimos. No obstante, para ello es necesario contar con una mayor cantidad de

---

<sup>66</sup> Para ello siempre habría que considerar que para el estudio del efecto de la vegetación urbana no debemos incluir estaciones que se encuentren ubicadas fuera del suelo urbano.

datos de contaminación provenientes de estaciones de monitoreo, para desarrollar el modelo de regresión lineal y determinar los coeficientes predictivos.

Un tipo de variable de los sistemas de verdes urbanos que queda pendiente para su evaluación en referencia a la calidad del aire, es la que caracteriza el volumen de la vegetación. El inventario de áreas verdes contiene polígonos que definen la superficie de los verdes urbanos, sin embargo, la función de absorción de  $O_3$ , que realiza la vegetación es realizada por el todo el volumen que conforma el follaje del arbolado. Este tipo de variables no pudo ser considerada, pues no contamos con información al respecto.

También proponemos que se deben considerar, para futuras investigaciones, cuestiones como la composición por estrato de los verdes urbanos. Aunque en nuestro análisis empleamos el tipo de vegetación según el estrato, la información del inventario de áreas verdes no contemplaba la existencia de dos o tres tipos de estratos en una misma unidad de área verde. Esto limitó la capacidad para determinar si la existencia de pastos o arbustos puede influir, indirectamente, en una mayor reducción de  $O_3$  en una hora.

Finalmente, queremos proponer que, para futuras investigaciones se considere la construcción de variables, o quizás índices, que evalúen la fragmentación de los sistemas de áreas verdes. Para ello recomendamos su construcción a partir de valores más exactos que los que manejamos en nuestro trabajo, los cuales fueron construidos en base a la media.

## REFERENCIAS

- Alberti, Marina, John M. Marzluff, Eric Shulenberger, Gordon Bradley, Clare Ryan & Craig Zumbrennen. (2003). Integrating humans into ecology: opportunities and challenges for studying urban ecosystems. *Bioscience*. 53 (No.12), 1169-1179.
- Álvarez de Zayas, Alberto; Ferro Cisneros, Sergio. (2009). *Verdes Urbanos. Parte 1: Conceptos, términos y definiciones*. La Habana, Cuba
- Amaya, C. (2005). El ecosistema urbano: Simbiosis espacial entre lo natural y lo artificial. *Revista Forestal Latinoamericana*, (No.37), 1–16. Retrieved from <http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/24099/2/articulo1.pdf>
- Azqueta, D.; Escobar, L. A. (2004). Calidad de vida urbana. *Ekonomiaz*, 3(57), 216–239.
- Baró, F., Chaparro, L., Gómez-Baggethun, E., & Langemeyer, J. (2014). Contribución del verde de Barcelona a la calidad del aire y la mitigación del cambio climático. In *XVI Congreso Nacional de Arboricultura* (pp. 1–16).
- Barrios, J. C. (2012). *Ecosistemas urbanos*. Retrieved August 28, 2016, from <http://www.revistaambienta.es/WebAmbienta/marm/Dinamicas/secciones/articulos/Urbanos.htm>
- Benavides Meza, H. M. (1989). Bosque urbano: La importancia de su investigación y correcto manejo. *Memoria del Congreso Forestal Mexicano*. S.A.R.H. y Gobierno del Estado de México.
- Benedict, M. A., & McMahon, E. T. (2001). *Green Infrastructure : Smart Conservation for the 21st Century*. Washington, D.C.
- Bertalanffy, L. (1989). *Teoría general de los sistemas. Fundamentos, desarrollo, aplicaciones* (Séptima Re). Distrito Federal, México: Fondo de Cultura Económica. Retrieved from <http://cienciasyparadigmas.files.wordpress.com/2012/06/teoria-general-de-los-sistemas- -fundamentos-desarrollo-aplicacionesludwig-von-bertalanffy.pdf>
- Camargo Ponce de León, G. (2005). *Ciudad ecosistema. Introducción a la ecología urbana* (Primera Ed). Bogotá: Universidad Piloto de Colombia.
- Castañeda, M. B., Cabrera, A. F., Navarro, Y., & de Vries, W. (2010). *Procesamiento de Datos y Análisis Estadístico usando SPSS*. Porto Alegre: EDIPUCRS. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Celemín, J. P. (2007). El estudio de la calidad de vida ambiental: definiciones conceptuales, elaboración de índices y su aplicación en la ciudad de Mar del Plata, Argentina. *Revista Hologramática*, 1 (7) 71–98. Accesado en [http://cienciared.com.ar/ra/usr/3/466/hologramatica07\\_v1pp71\\_98.pdf](http://cienciared.com.ar/ra/usr/3/466/hologramatica07_v1pp71_98.pdf)

- Centro de Especialistas en Gestión Ambiental. (2013). *Seminario de la Situación Ambiental y Gestión de las Áreas Verdes del Distrito Federal*. Distrito Federal, México.
- Centro de Estudios Sociales y de Opinión Pública. (2011). *Bienestar y calidad de vida en México*. (J. de J. García Vega & F. J. Sales Heredia, Eds.) (Primera Ed). México.
- CentroGeo. (2006). *Entrega final de resultados: Estudio de la situación y afectación de las áreas verdes del Distrito Federal desde la perspectiva de la legislación ambiental y del ordenamiento territorial*. Ciudad de México, México.
- Díaz Veliz, R., Díaz Machado, A., Molina Esquivel, E., & Suárez Rodríguez, B. (2000). La calidad del aire en Cuba. *Ambiente Y Saneamiento*, 12. Retrieved from [http://cdi.mecon.gov.ar/cgi-bin/pppp.exe?rec\\_id=045218&database=pppp&search\\_type=link&table=all&lang=spa&format\\_name=SFALL](http://cdi.mecon.gov.ar/cgi-bin/pppp.exe?rec_id=045218&database=pppp&search_type=link&table=all&lang=spa&format_name=SFALL)
- Duque, M., & Sánchez, D. (2012). Análisis crítico del concepto de ecología urbana. *Revista FACULTAD DE CIENCIA BÁSICAS*, 8(No.1), 134–149.
- Hernández Aja, A. (2009). Calidad de vida y medio ambiente urbano: indicadores locales de sostenibilidad y calidad de vida urbana. *Revista INVI*, 24(65), 79–111. <http://doi.org/10.4067/S0718-83582009000100003>
- Gildenberger (1978). *Desarrollo y Calidad de Vida*. Centro de Estudios Internacionales de Argentina (CENAIR). Buenos Aires, Argentina.
- Jørgensen, S. E., & Fath, B. D. (2004). Application of thermodynamic principles in ecology. *Ecological Complexity*, 1(4), 267–280. <http://doi.org/10.1016/j.ecocom.2004.07.001>
- Ley No.81, *Ley del Medio Ambiente*, Gaceta Oficial de la República de Cuba, Ciudad de La Habana, 11 de julio de 1997.
- Martínez Ortega, R. M., Tuya Pendás, L. C., Martínez Ortega, M., Pérez Abreu, A., & Cánovas, A. M. (2009). El coeficiente de correlación de los rangos de Spearman caracterización. *Rev. Haban Cienc Méd La Habana*, VIII(2), 1–19. Retrieved from <http://scielo.sld.cu/pdf/rhcm/v8n2/rhcm17209.pdf>
- Marzluff, J. M., E. Shulenberger, W. Endlicher, M. Alberti, G. Bradley, C. Ryan, U. Simon, and C. ZumBrunnen. (2008). *Urban ecology – an international perspective on the interaction between humans and nature*. Springer, New York.
- Meza Aguilar, María del Carmen; Moncada Maya, J. O. (2010). Las áreas verdes de la ciudad de México. Un reto actual. Scripta Nova. *Revista Electrónica de Geografía Y Ciencias Sociales*. Retrieved from <http://www.ub.edu/geocrit/sn/sn-331/sn-331-56.htm>

- Millennium Assessment (2003). *Ecosystems and Human Well-being. A Framework for assessment*. Island Press. Washington
- Mohar Ponce, A. (Ed.). (2016). *Tendencias territoriales determinantes del futuro de la Ciudad de México Tendencias de México*. Ciudad de México, México.
- Molles, M. C. (2016). *Ecology: concepts and applications* (Séptima Ed). New York, United States of America: McGraw-Hill Education NC 677-1: 2009 Áreas Verdes Urbanas — Parte 1: Conceptos, Términos y Definiciones.
- Organización Mundial de la Salud (2002). Programa Envejecimiento y Ciclo Vital. Envejecimiento activo: un marco político. *Rev Esp Geriatr Gerontol*, p.74-105
- Organización Mundial de la Salud (2006). Centro de Prensa. Accesado en <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2006/pr32/es/>
- PAOT. (2010). *Presente y futuro de las áreas verdes y del arbolado de la Ciudad de México* (Ekilibria). México.
- Priego, C. (2002). *Beneficios del Arbolado Urbano*. Accesado en [http://digital.csic.es/bitstream/10261/24578/1/Beneficios del arbolado urbano.pdf](http://digital.csic.es/bitstream/10261/24578/1/Beneficios_del_arbolado_urbano.pdf)
- Salvador Palomo, P.J. (2003). *La planificación verde en las ciudades*. Valencia, España: Ediciones Gustavo Gili.
- Sánchez, Jairo; Wirsig, Waldemar (1998). Prefacio, *Áreas Verdes Urbanas en Latinoamérica y el Caribe*.
- Secretaría de Salud. (2014). *NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-020-SSA1-2014, SALUD AMBIENTAL. VALOR LÍMITE PERMISIBLE PARA LA CONCENTRACIÓN DE OZONO (O3) EN EL AIRE AMBIENTE Y CRITERIOS PARA SU EVALUACIÓN*.
- SEDESOL, CONAPO, INEGI (2012). *Delimitación de las zonas metropolitanas de México 2010*. México.
- Siegel, S., & Castellan, N. J. (1992). *Estadística no paramétrica aplicada a las ciencias de la conducta* (4a ed). México: Editorial Trillas.
- Szumacher, I., & Malinowska, E. (2013). Servicios ecosistémicos urbanos según el modelo de Varsovia. *Revista Del CESLA*, (No.16), 81–108.
- Terradas, J., Franquesa, T., Parés, M., & Chaparro, L. (2011). Ecología urbana. *Investigación Y Ciencia*, 52–60.
- Velasco, E., Roth, M., Norford, L., & Molina, L. T. (2016). Does urban vegetation enhance carbon sequestration? *Landscape and Urban Planning*, 148, 99–107. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.12.003>

Velázquez, G. Á., & Celemín, J. P. (2011). Aplicación de un índice de Calidad Ambiental a la Región Pampeana Argentina (2010). *Finisterra*, XLVI (91), 47–64.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alberti, Marina, John M. Marzluff, Eric Shulenberger, Gordon Bradley, Clare Ryan & Craig Zumbrennen. (2003). Integrating humans into ecology: opportunities and challenges for studying urban ecosystems. *Bioscience*. 53 (No.12), 1169-1179.
- Álvarez de Zayas, Alberto; Ferro Cisneros, Sergio. (2009). *Verdes Urbanos. Parte 1: Conceptos, términos y definiciones*. La Habana, Cuba
- Amaya, C. (2005). El ecosistema urbano: Simbiosis espacial entre lo natural y lo artificial. *Revista Forestal Latinoamericana*, (No.37), 1–16. Retrieved from <http://www.saber.ula.ve/bitstream/123456789/24099/2/articulo1.pdf>
- Azqueta, D., & Escobar, L. a. (2004). Calidad de vida urbana. *Ekonomiaz*, 3(57), 216–239.
- Baró, F., Chaparro, L., Gómez-Baggethun, E., & Langemeyer, J. (2014). Contribución del verde de Barcelona a la calidad del aire y la mitigación del cambio climático. In *XVI Congreso Nacional de Arboricultura* (pp. 1–16).
- Barrios, J. C. (2012). Ecosistemas urbanos. Retrieved August 28, 2016, from <http://www.revistaambienta.es/WebAmbienta/marm/Dinamicas/secciones/articulos/Urbanos.htm>
- Benavides Meza, H. M. (1989). Bosque urbano: La importancia de su investigación y correcto manejo. *Memoria Del Congreso Forestal Mexicano*. S.A.R.H. Y Gobierno Del Estado de México.
- Benavides Meza, Héctor M.; Villalón Rojas, R. (1992). Algunos aspectos del arbolado de alineación de la delegación Vemustiano Carrazana, D.F. *Memoria Reunión Científica Forestal Y Agropecuaria. Centro de Investigación de La Región Centro, Campo Experimental Coyoacán*, 24.
- Berraquero Díaz, L. (2010). Revisiones teóricas en torno a los conceptos de socioecosistema urbano y resiliencia socioecológica. Propuestas e implicaciones de la perspectiva ecosofica para el estudio de la metrópolis. *Repensando la metrópolis. Prácticas experimentales en torno a la construcción de nuevos derechos urbanos*.
- Bertalanffy, L. (1989). *Teoría general de los sistemas. Fundamentos, desarrollo, aplicaciones* (Séptima Re). Distrito Federal, México: Fondo de Cultura Económica. Retrieved from <http://cienciasyparadigmas.files.wordpress.com/2012/06/teoria-general-de-los-sistemas- -fundamentos-desarrollo-aplicacionesludwig-von-bertalanffy.pdf>
- Carta de las Ciudades Europeas hacia Sostenibilidad (1994). Dinamarca
- Camargo Ponce de León, G. (2005). *Ciudad ecosistema. Introducción a la ecología urbana* (Primera Ed). Bogotá: Universidad Piloto de Colombia.

- Castañeda, M. B., Cabrera, A. F., Navarro, Y., & de Vries, W. (2010). *Procesamiento de Datos y Análisis Estadístico usando SPSS*. Porto Alegre: EDIPUCRS. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Celemín, J. P. (2007). El estudio de la calidad de vida ambiental: definiciones conceptuales, elaboración de índices y su aplicación en la ciudad de Mar del Plata, Argentina. *Revista Hologramática*, 1 (7) 71–98. Accesado en [http://cienciared.com.ar/ra/usr/3/466/hologramatica07\\_v1pp71\\_98.pdf](http://cienciared.com.ar/ra/usr/3/466/hologramatica07_v1pp71_98.pdf)
- CentroGeo. (2006). *Entrega final de resultados: Estudio de la situación y afectación de las áreas verdes del Distrito Federal desde la perspectiva de la legislación ambiental y del ordenamiento territorial*. Ciudad de México, México.
- Chacón, R. M.; Ornés, S. (2010). La calidad ambiental urbana: Construcción de un sueño ciudadano. *Anales de La Universidad Metropolitana*, 10(1), 229–246. Accesado en <http://dialnet.unirioja.es/servlet/extart?codigo=3625183> en <http://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3625183.pdf>
- Comisión Ambiental Metropolitana. (2002). Programa para mejorar la calidad del aire ZMVM 2002-2010. Distrito Federal, México.
- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. Diario Oficial de la Federación, Ciudad de México, 23 de agosto de 2017.
- Duque, M., & Sánchez, D. (2012). Análisis crítico del concepto de ecología urbana. *Revista FACULTAD DE CIENCIA BÁSICAS*, 8(No.1), 134–149.
- Eco, U. (2009). *Cómo se hace una tesis* (6a ED). España: GEDISA.
- Elorrieta Pérez de Diego, Ignacio; Peraldo Hergueta, S. (2007). *Libro verde de medio ambiente urbano. Modern Physics Letters* (Vol. I). España. <http://doi.org/10.1007/s00761-005-0838-0>
- Falcón, Antoni. (2007). *Espacios Verdes para una ciudad sostenible*, Ediciones Gustavo Gilí, Barcelona
- Flores-Xolocotzi, Ramiro; González-Guillén, M. de J. (2010). Planificación de sistemas de áreas verdes y parques públicos. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 1(1), 17–24.
- Gámez Bastén, V. (2005). Sobre sistemas, tipologías y estándares de áreas verdes en el planeamiento urbano. *Revista Diseño Urbano Y Paisaje*, 11(6), 0–22. Accesado en [http://biblioteca.clacso.org.ar/Chile/ceaup-ucentral/20130628020548/sobre\\_sistemas.pdf](http://biblioteca.clacso.org.ar/Chile/ceaup-ucentral/20130628020548/sobre_sistemas.pdf)
- García, Susana; Guerrero, M. (2006). Indicadores de sustentabilidad ambiental en la gestión de espacios verdes. Parque urbano Monte Calvario, Tandil, Argentina. *Revista de Geografía Norte Grande*, (35), 45–57. <http://doi.org/10.4067/S0718-34022006000100004>

- García Vega, J. D. J. (2011). Hacia un nuevo sistema de indicadores de bienestar. *Revista Internacional de Estadística Y Geografía*, 2(1), 78–95.
- García Vega, José de Jesús; Sales Heredia, F. J. (2011). *Bienestar y calidad de vida en México*. (A. López Morcillo, Ed.). Monterrey, México. Accesado en [http://archivos.diputados.gob.mx/Centros\\_Estudio/Cesop/Documentos/Bienestar-y-calidad-de-vida.pdf](http://archivos.diputados.gob.mx/Centros_Estudio/Cesop/Documentos/Bienestar-y-calidad-de-vida.pdf)
- Gildenberger (1978). *Desarrollo y Calidad de Vida*. Centro de Estudios Internacionales de Argentina (CENAIR). Buenos Aires, Argentina.
- Gobierno del Distrito Federal. (2001). Manual técnico para el establecimiento y manejo integral de las áreas verdes urbanas del Distrito Federal. Folleto Práctico.
- Gobierno del Distrito Federal. (2008). Manual Técnico de Podas.
- Gómez Lopera, F. (2005). Las zonas verdes como factor de calidad de vida en las ciudades. *Ciudad y Territorio. Estudios Territoriales*, 417–436.
- Hernández Aja, A. (2009). Calidad de vida y medio ambiente urbano: indicadores locales de sostenibilidad y calidad de vida urbana. *Revista INVI*, 24(65), 79–111. <http://doi.org/10.4067/S0718-83582009000100003>
- INEGI. (2000). *Indicadores de Desarrollo Sustentable en México*. Aguascalientes, México.
- Jørgensen, S. E., & Fath, B. D. (2004). Application of thermodynamic principles in ecology. *Ecological Complexity*, 1(4), 267–280. <http://doi.org/10.1016/j.ecocom.2004.07.001>
- Keipi, K. (1997). *Good Practices for Urban Greening*. Washington, D.C.
- Ley Ambiental de Protección a la Tierra en el Distrito Federal. Gaceta Oficial del Distrito Federal, Ciudad de México, 12 de septiembre de 2013.
- Ley de Desarrollo Urbano del Distrito Federal. Gaceta Oficial del Distrito Federal, Ciudad de México, 23 de marzo de 2015.
- Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano. Diario Oficial de la Federación, Ciudad de México, 13 de octubre de 2016.
- Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. Diario Oficial de la Federación, México, D. F., 11 de diciembre de 2014.
- Ley General de Cambio Climático. Diario Oficial de la Federación, México, D.F., 19 de abril de 2012.
- Ley General de Salud. Diario Oficial de la Federación, México, D.F., 9 de octubre de 2007.

Ley No.81, *Ley del Medio Ambiente*, Gaceta Oficial de la República de Cuba, Ciudad de La Habana, 11 de julio de 1997.

Martínez Ortega, R. M., Tuya Pendás, L. C., Martínez Ortega, M., Pérez Abreu, A., & Cánovas, A. M. (2009). El coeficiente de correlación de los rangos de Spearman caracterización. *Rev. Haban Cienc Méd La Habana*, VIII(2), 1–19. Retrieved from <http://scielo.sld.cu/pdf/rhcm/v8n2/rhcm17209.pdf>

Marzluff, J. M., E. Shulenberger, W. Endlicher, M. Alberti, G. Bradley, C. Ryan, U. Simon, and C. ZumBrunnen. (2008). *Urban ecology – an international perspective on the interaction between humans and nature*. Springer, New York.

Maya, E. (1997). *Métodos y técnicas de investigación*. Distrito Federal, México: Universidad Nacional Autónoma de México.

Meza Aguilar, María del Carmen; Moncada Maya, J. O. (2010). Las áreas verdes de la ciudad de México. Un reto actual. Scripta Nova. *Revista Electrónica de Geografía Y Ciencias Sociales*. Retrieved from <http://www.ub.edu/geocrit/sn/sn-331/sn-331-56.htm>

Molles, M. C. (2016). *Ecology: concepts and applications* (Seventh Ed). New York, United States of America: McGraw-Hill Education.

NC 53-119:84 Elaboración de proyectos de construcción. Áreas verdes urbanas. Especificaciones generales de proyecto.

NC 93-06-101:87 PMA. Paisaje: términos y definiciones.

NC 219:02 Urbanismo. Código de buena práctica para el diseño ambiental de los espacios urbanos.

NC 677-1: 2009 Áreas Verdes Urbanas — Parte 1: Conceptos, Términos y Definiciones.

NC 677-2: 2009 Áreas Verdes Urbanas — Parte 2: Requisitos de Diseño.

NC 677-3: 2009 Áreas Verdes Urbanas — Parte 3: Requisitos de Ejecución.

NC 677-4: 2009 Áreas Verdes Urbanas — Parte 4: Requisitos de Conservación y Mantenimiento.

NC 677-5: 2009 Áreas Verdes Urbanas — Parte 5: Requisitos de Suministro.

NC 677-6: 2009 Áreas Verdes Urbanas — Parte 6: Requisitos en Zonas de Valor Patrimonial.

Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-006-RNAT-2004, que establece los requisitos, criterios, lineamientos y especificaciones técnicas que deben cumplir las autoridades, personas físicas o morales que realicen actividades de fomento, mejoramiento y mantenimiento de áreas verdes públicas. Gaceta

Oficial del Distrito Federal, Ciudad de México, Distrito Federal, 4 de noviembre de 2005.

Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-001-RNAT-2006, que establece los requisitos y especificaciones técnicas que deberán cumplir las autoridades, empresas privadas y particulares que realicen poda, derribo, trasplante y restitución de árboles en el Distrito Federal. Gaceta Oficial del Distrito Federal, Ciudad de México, Distrito Federal, 4 de diciembre de 2006.

Norma Oficial Mexicana NOM-020-SSA1-1993. Salud Ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al ozono (O<sub>3</sub>). Valor normado para la concentración de ozono (O<sub>3</sub>) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población. Diario Oficial de la Federación, México, D.F., 18 de agosto de 1994.

Norma Oficial Mexicana NOM-020-SSA1-2014, Salud ambiental. Valor límite permisible para la concentración de ozono (O<sub>3</sub>) en el aire ambiente y criterios para su evaluación. Diario Oficial de la Federación, México, D.F., 4 de agosto de 2014.

Norma Oficial Mexicana NOM-036-SEMARNAT-1993 Que establece los métodos de medición para determinar la concentración de ozono en el aire ambiente y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición. Diario Oficial de la Federación, Ciudad de México, Distrito Federal, 14 de octubre de 1993.

ONU-HABITAT. (1972). Declaración de Estocolmo sobre el medio ambiente humano.

Organización Mundial de la Salud (2002). Programa Envejecimiento y Ciclo Vital. Envejecimiento activo: un marco político. *Rev Esp Geriatr Gerontol.* 74-105

Organización Mundial de la Salud (2006). Centro de Prensa. Accesado en <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2006/pr32/es/>

PAOT. (2010). Presente y futuro de las áreas verdes y del arbolado de la Ciudad de México (Ekilibria). México.

Pérez, M. (n.d.). El Sistema de Espacios Verdes como instrumento de planificación urbano- ecológica.

Pickett, S. T. A., Cadenasso, M. L., Grove, J. M., Boone, C. G., Groffman, P. M., Irwin, E. Warren, P. (2011). Urban ecological systems : Scientific foundations and a decade of progress. *Journal of Environmental Management*, 92(3), 331–362. <http://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.08.022>

Priego, C. (2002). *Beneficios del Arbolado Urbano*. Accesado en [http://digital.csic.es/bitstream/10261/24578/1/Beneficios del arbolado urbano.pdf](http://digital.csic.es/bitstream/10261/24578/1/Beneficios_del_arbolado_urbano.pdf)

Ramos, J. S. (1998). *El papel del sistema de espacios verdes en la multifuncionalidad del paisaje urbano. Aplicación al área metropolitana de Sevilla*, 1–15.

- Reglamento de la Ley de Desarrollo Urbano del Distrito Federal. Gaceta Oficial del Distrito Federal, Ciudad de México, 26 de enero de 2004.
- Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera. Diario Oficial de la Federación, Ciudad de México, Distrito Federal, 29 de octubre de 2014.
- Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes. Diario Oficial de la Federación, Ciudad de México, D.F., 12 de junio de 2004.
- Reglamento de Zonificación para el Distrito Federal. Diario Oficial de la Federación, Ciudad de México, Distrito Federal, 12 de abril de 1982.
- Rente Nascimento, J.; Krishnamurty, L. (1998). *Áreas Verdes Urbanas en Latinoamérica y el Caribe*, 412.
- Rivas Torres, D. (n.d.). *Beneficios de los Árboles Urbanos*.
- Salvador Palomo, P. J. (2003). *La planificación verde en la ciudad*. Valencia, España: Ediciones Gustavo Gili.
- Secretaría del Medio Ambiente. (1998). Manual para la Aplicación del Programa para Contingencias Ambientales Atmosféricas en la Ciudad de México. Ciudad de México.
- Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno de la Ciudad de México. (2016). Programa para Contingencias Ambientales Atmosféricas en la Ciudad de México.
- SEDUVI. (2014). *Lineamientos para el diseño e implementación de Parques Públicos de bolsillo*. Ciudad de México, México.
- Siegel, S., & Castellan, N. J. (1992). *Estadística no paramétrica aplicada a las ciencias de la conducta* (4a ed). México: Editorial Trillas.
- Szumacher, I., & Malinowska, E. (2013). Servicios ecosistémicos urbanos según el modelo de Varsovia. *Revista Del CESLA*, (No.16), 81–108.
- Tamayo y Tamayo, M. (2004). *El proceso de la investigación científica* (4a ED). D.F. México: Editorial LIMUSA.
- Tanzi, C. (2005). Evaluación de un índice para valorar las áreas verdes urbanas: su aplicación y análisis en la localidad de Barrio Dent y Altos del Escalante con una perspectiva geográfica. *Revista Reflexiones*, 84(1), 107–125.
- TEEB - The Economics of Ecosystems and Biodiversity. (2011). TEEB Manual for Cities : Ecosystem Services in Urban Management.

- Terradas, J., Franquesa, T., Parés, M., & Chaparro, L. (2011). Ecología urbana. *Investigación Y Ciencia*, 52–60.
- Urzúa, Alfonso; Caqueo-Urizar, A. (2012). Calidad de vida : Una revisión teórica del concepto. *Terapia Psicológica*, 30(1), 61–71. <http://doi.org/10.4067/S0718-48082012000100006>
- Velasco, E., Roth, M., Norford, L., & Molina, L. T. (2016). Does urban vegetation enhance carbon sequestration? *Landscape and Urban Planning*. 148, 99–107. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.12.003>
- Velázquez, G. Á., & Celemín, J. P. (2011). Aplicación de un índice de Calidad Ambiental a la Región Pampeana Argentina (2010). *Finisterra*, XLVI (91), 47–64.

## ANEXO 1. Base de datos con unidad de análisis a nivel de colonia

Para esta base de datos usamos la misma nomenclatura de las variables declaradas en el capítulo 3. Además, usamos abreviaturas para cada una de las delegaciones.

1. Álvaro Obregón, AO
2. Azcapotzalco, AZC
3. Benito Juárez, BJU
4. Coyoacán, COY
5. Cuajimalpa de Morelos, CUM
6. Cuauhtémoc, CUA
7. Gustavo A. Madero, GAM
8. Iztacalco, IZTAC
9. Iztapalapa, IZTAP
10. La Magdalena Contreras, LMC
11. Miguel Hidalgo, MIH
12. Tláhuac, TLAH
13. Tlalpan, TLAL
14. Venustiano Carranza, VCA
15. Xochimilco, XOC

SVU	Código Postal	Delegación	Superficie	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	X <sub>8</sub>	X <sub>9</sub>	Hora <sub>1</sub>	Hora <sub>2</sub>	Y
0	01000	AO	1100186.96	27.65	6.34	15.81	25.70	26.58	25.57	1.00	33.68	7.99	37.63	22.30	15.34
1	01030	AO	373463.06	19.52	17.07	19.16	25.09	38.68	0.00	1.00	23.70	7.86	37.16	17.86	19.30
2	01048	AO	25474.63	5.84	31.30	0.00	68.70	0.00	0.00	1.00	57.75	22.67	36.80	19.87	16.93
3	01050	AO	168021.66	37.37	4.50	8.36	13.34	22.60	51.20	1.00	34.31	7.91	37.84	21.00	16.84
4	01070	AO	443040.35	41.27	1.07	2.83	8.23	18.39	69.49	1.00	38.95	8.84	37.87	22.00	15.87
5	01080	AO	625589.51	8.91	22.23	30.23	6.78	40.75	0.00	1.00	30.22	18.12	37.53	23.16	14.36
6	01090	AO	23287.61	9.70	39.09	60.91	0.00	0.00	0.00	1.00	8.73	20.17	37.66	22.91	14.74
7	01090	AO	161171.11	7.52	14.18	22.16	63.67	0.00	0.00	1.00	11.05	21.06	37.65	22.94	14.72
8	01100	AO	34451.97	7.37	26.46	16.17	57.37	0.00	0.00	0.00	7.87	19.95	33.75	13.25	20.51
9	01110	AO	30279.63	1.34	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.54	40.09	37.70	13.25	24.46
10	01110	AO	7314.79	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	37.50	13.58	23.91
12	01110	AO	249761.75	13.00	18.35	8.85	6.44	66.37	0.00	1.00	8.87	8.18	35.58	13.48	22.10
13	01120	AO	399647.33	7.69	44.76	23.56	3.29	28.39	0.00	1.00	19.43	10.71	33.43	12.44	20.99
14	01120	AO	10209.30	3.61	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.80	65.46	34.44	13.08	21.36
15	01120	AO	18680.42	0.65	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.55	70.53	35.09	13.16	21.93
16	01130	AO	48715.8	3.47	61.08	38.92	0.00	0.00	0.00	1.00	3.35	31.57	33.86	13.46	20.39

17	01139	AO	24957.57	11.29	39.86	60.14	0.00	0.00	0.00	1.00	13.25	7.12	33.80	13.23	20.57
18	01140	AO	92252.83	6.00	70.28	29.72	0.00	0.00	0.00	1.00	8.40	11.15	33.66	13.04	20.62
19	01150	AO	83413.44	12.73	34.49	21.05	44.46	0.00	0.00	0.00	12.55	6.90	33.56	13.12	20.44
20	01160	AO	72840.83	7.53	35.32	16.53	48.15	0.00	0.00	1.00	11.22	11.73	34.86	15.57	19.28
21	01160	AO	58047	3.24	44.03	55.97	0.00	0.00	0.00	1.00	3.52	14.73	35.26	14.44	20.82
22	01180	AO	142446.03	0.82	66.39	33.61	0.00	0.00	0.00	1.00	1.76	90.64	33.91	14.50	19.41
23	01200	AO	44313.03	1.34	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.14	47.67	35.23	14.12	21.12
24	01209	AO	136019.17	11.00	33.81	27.32	19.95	18.92	0.00	1.00	30.95	10.05	37.29	15.80	21.49
25	01219	AO	285099.8	38.83	8.68	11.03	10.14	6.64	63.52	1.00	37.00	4.67	36.64	12.99	23.65
26	01219	AO	1984129.11	44.48	2.98	4.10	8.90	14.28	69.74	0.00	31.16	4.86	35.85	13.44	22.41
30	01230	AO	22061.8	7.87	22.23	0.00	77.77	0.00	0.00	0.00	1.22	16.29	37.00	15.99	21.01
31	01230	AO	11892.69	0.82	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.50	0.00	37.11	16.23	20.88
32	01250	AO	22655.24	5.73	69.80	30.20	0.00	0.00	0.00	1.00	9.70	2.47	37.15	16.24	20.91
33	01250	AO	37807.51	3.95	34.03	0.00	65.97	0.00	0.00	0.00	1.98	47.28	37.13	16.36	20.77
35	01260	AO	118241.6	0.28	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.44	250.75	37.34	16.60	20.74
36	01260	AO	23292.49	0.27	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.28	0.00	37.49	17.18	20.31
37	01260	AO	130129.58	17.78	6.22	1.64	6.76	85.38	0.00	1.00	60.50	10.47	37.20	17.28	19.92
38	01269	AO	26330.42	5.57	13.60	0.00	86.40	0.00	0.00	1.00	14.97	18.98	37.60	17.48	20.12
39	01270	AO	57871.86	10.35	7.12	14.55	0.00	78.32	0.00	0.00	4.00	34.18	36.07	18.23	17.84
40	01270	AO	248758.11	7.87	2.79	6.68	5.37	20.54	64.63	0.00	4.60	42.92	36.06	18.12	17.94
41	01278	AO	110828.54	35.51	1.89	7.02	9.07	49.73	32.29	0.00	100.63	0.64	35.92	17.66	18.26
42	01280	AO	61529.46	2.08	61.84	38.16	0.00	0.00	0.00	1.00	2.69	8.71	36.00	18.14	17.86
43	01280	AO	61116.32	2.82	55.10	44.90	0.00	0.00	0.00	1.00	2.80	35.21	35.80	17.25	18.55
44	01280	AO	73711.28	1.62	14.97	0.00	85.03	0.00	0.00	1.00	0.44	56.75	36.01	18.18	17.83
45	01296	AO	132309.25	0.18	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	4.02	198.80	37.22	17.44	19.78
47	01298	AO	311970.83	18.10	14.09	5.81	5.60	0.00	74.49	1.00	7.97	10.53	36.07	17.82	18.25
48	01299	AO	175702.39	9.22	11.56	14.94	18.40	55.11	0.00	1.00	24.29	10.88	36.01	17.77	18.23
49	01320	AO	205234.8	15.25	9.40	12.89	30.06	47.64	0.00	0.00	17.92	13.17	36.35	14.26	22.10
50	01377	AO	319722.54	20.98	5.88	8.11	10.68	4.78	70.55	0.00	45.81	11.53	36.87	16.22	20.64
51	01389	AO	190820.49	220.92	0.76	0.83	0.00	0.00	3.33	0.00	17.20	10.78	35.80	14.49	21.31
52	01400	AO	140661.31	15.19	9.66	6.81	15.39	0.00	68.14	1.00	3.79	17.47	36.42	18.96	17.46
53	01408	AO	168787.41	17.78	5.86	3.04	0.00	0.00	91.10	1.00	18.42	34.31	36.23	18.45	17.78
54	01419	AO	272868.45	3.72	40.06	3.55	16.44	39.95	0.00	0.00	4.12	11.93	36.02	18.35	17.67
55	01430	AO	742546.32	24.69	4.88	2.17	1.36	6.96	84.63	1.00	18.62	24.48	36.24	18.41	17.84
56	01450	AO	27793.88	21.58	11.62	0.00	17.71	70.67	0.00	0.00	40.22	16.98	36.47	19.08	17.38
57	01460	AO	438359.3	9.34	65.27	14.98	8.74	11.01	0.00	1.00	15.24	8.85	35.55	18.37	17.18
58	01480	AO	652971.32	24.33	11.51	8.98	12.94	37.72	28.86	1.00	86.74	6.23	36.56	19.22	17.34
59	01500	AO	371408.4	11.43	9.99	4.29	5.80	79.93	0.00	1.00	27.31	12.87	36.29	16.73	19.56
60	01507	AO	21945.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	35.87	15.33	20.53
61	01510	AO	297349.9	27.01	5.81	2.21	6.03	54.94	31.01	1.00	72.31	8.04	36.61	16.69	19.92
62	01520	AO	79545.69	16.81	3.54	0.00	0.00	0.00	96.46	1.00	0.79	30.98	36.70	16.66	20.05
63	01530	AO	14510.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	36.64	16.08	20.56
64	01530	AO	57710.75	0.30	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.04	158.96	36.69	16.15	20.54
65	01538	AO	73618.62	40.86	2.26	0.00	0.00	10.90	86.85	1.00	30.63	0.04	36.13	14.56	21.58
66	01539	AO	46360.84	44.57	0.00	0.00	7.01	35.60	57.39	1.00	3.21	0.00	36.25	14.80	21.44

67	01540	AO	56391.79	0.34	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	2.96	120.71	37.10	19.59	17.51
68	01549	AO	38313.43	14.49	14.44	0.00	25.56	60.01	0.00	1.00	16.15	11.51	36.81	18.59	18.23
69	01550	AO	92172.95	15.07	2.54	0.00	17.15	80.31	0.00	1.00	74.62	51.62	36.27	18.24	18.03
70	01560	AO	68394.25	1.84	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	12.85	30.06	36.29	18.07	18.22
74	01610	AO	60453.47	7.88	27.77	17.63	54.60	0.00	0.00	1.00	6.38	16.28	36.47	19.18	17.29
75	01619	AO	65860.28	0.41	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.61	34.21	36.48	19.26	17.22
76	01630	AO	56608.22	12.25	9.05	0.00	0.00	90.95	0.00	1.00	16.92	17.13	37.42	20.82	16.61
77	01630	AO	56693	15.71	1.10	0.00	0.00	98.90	0.00	1.00	51.11	4.41	37.54	21.26	16.28
78	01640	AO	111327.43	0.29	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.36	119.93	36.73	19.57	17.16
79	01650	AO	49877.14	9.71	1.67	0.00	0.00	98.33	0.00	1.00	0.05	73.58	37.31	20.43	16.88
80	01650	AO	113929.12	54.19	3.40	1.12	2.84	0.00	92.63	1.00	11.20	5.96	37.01	19.45	17.56
81	01650	AO	32956.01	34.37	0.61	0.00	0.00	99.39	0.00	1.00	12.27	5.35	37.29	20.46	16.83
82	01700	AO	124707.94	28.96	8.15	10.99	6.26	8.50	66.10	1.00	17.67	8.43	37.65	22.83	14.82
83	01700	AO	136294.71	25.15	9.87	10.05	6.51	13.16	60.41	1.00	30.93	13.20	37.64	22.61	15.03
84	01708	AO	86904.92	46.89	4.47	2.00	10.16	83.37	0.00	1.00	93.23	8.89	37.68	22.72	14.96
85	01710	AO	520982.19	20.77	22.56	17.75	25.18	21.74	12.77	1.00	20.08	6.32	36.89	19.96	16.93
86	01730	AO	189184.77	34.38	1.16	5.63	0.00	0.00	93.21	1.00	8.04	28.55	37.60	21.88	15.73
87	01740	AO	150632.31	0.98	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.67	39.28	37.70	22.47	15.23
88	01750	AO	242673.24	23.01	6.05	2.46	4.43	5.42	79.98	1.00	14.43	12.66	36.77	20.13	16.64
89	01750	AO	51511.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	36.60	19.66	16.95
90	01760	AO	15823.94	4.15	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	22.05	19.45	37.73	23.05	14.68
91	01760	AO	208026.22	34.68	6.42	8.17	14.39	26.12	44.90	1.00	51.12	9.29	37.25	21.60	15.65
92	01780	AO	1434383.22	32.51	4.88	9.54	11.61	26.42	47.55	1.00	43.96	8.56	37.58	23.14	14.44
93	01780	AO	323237.6	15.79	7.78	8.52	9.02	9.60	65.09	0.00	15.47	18.14	37.69	23.04	14.66
94	01810	AO	639188.42	20.60	13.80	16.10	10.92	35.18	23.99	1.00	21.41	10.82	36.65	18.26	18.39
95	01840	AO	838424.2	47.27	2.20	3.87	5.96	16.45	71.52	1.00	68.28	10.28	37.41	21.31	16.10
96	01870	AO	166423.38	20.69	12.03	5.12	6.03	76.82	0.00	1.00	12.90	13.45	37.26	20.56	16.69
97	02010	AZC	130259.66	8.76	56.35	43.65	0.00	0.00	0.00	1.00	9.56	10.46	41.19	7.14	34.05
98	02020	AZC	311981.65	26.71	10.18	7.44	11.61	34.27	36.50	1.00	11.40	9.16	40.38	6.60	33.78
99	02040	AZC	63871.74	12.10	51.25	35.16	13.59	0.00	0.00	1.00	15.54	8.65	40.10	6.36	33.74
100	02060	AZC	54541.14	4.39	75.48	24.52	0.00	0.00	0.00	1.00	7.08	14.74	39.12	5.28	33.84
101	02070	AZC	184551.12	6.85	63.16	36.84	0.00	0.00	0.00	1.00	10.40	10.95	40.01	6.41	33.60
102	02080	AZC	745657.09	14.79	39.27	23.86	7.83	18.17	10.87	1.00	22.94	7.39	39.15	5.62	33.53
103	02099	AZC	370751.5	18.18	27.59	21.31	23.45	27.65	0.00	1.00	17.13	6.35	39.67	6.26	33.41
104	02100	AZC	1624352.52	20.49	14.70	14.27	10.97	23.53	36.52	1.00	28.81	6.10	48.78	9.09	39.69
105	02109	AZC	48325.94	26.33	14.86	20.47	64.66	0.00	0.00	1.00	20.10	4.59	48.97	9.23	39.74
106	02110	AZC	98101.2	31.54	6.23	14.29	23.96	11.33	44.19	1.00	325.36	6.12	48.46	9.36	39.10
107	02125	AZC	262516.51	28.09	8.62	16.44	16.76	32.52	25.67	1.00	69.87	4.77	48.55	9.24	39.31
108	02128	AZC	364253.72	17.13	12.24	6.80	9.66	43.78	27.52	1.00	2.02	10.27	45.30	8.66	36.65
109	02130	AZC	196664.17	7.90	53.90	46.10	0.00	0.00	0.00	1.00	11.90	9.04	46.30	9.00	37.30
110	02160	AZC	370072.4	11.95	25.74	26.59	21.44	0.00	26.23	1.00	38.21	7.47	41.95	7.55	34.40
111	02200	AZC	256184.59	3.34	79.42	3.83	16.75	0.00	0.00	1.00	4.11	17.42	42.55	7.73	34.82
112	02240	AZC	238456.44	5.91	68.31	24.78	6.91	0.00	0.00	1.00	4.83	14.42	42.11	7.57	34.54
113	02310	AZC	114436.72	3.10	33.50	28.98	37.52	0.00	0.00	1.00	1.74	31.85	44.47	8.90	35.57
114	02340	AZC	920886.56	8.65	24.94	24.20	12.43	38.43	0.00	1.00	9.23	10.83	39.34	6.97	32.38

115	02400	AZC	711243.4	8.74	29.33	16.51	19.61	15.63	18.92	1.00	20.11	10.57	42.96	8.38	34.59
116	02419	AZC	77838.24	13.99	29.83	24.85	16.45	28.87	0.00	1.00	87.07	5.35	47.70	9.30	38.41
117	02420	AZC	502496.3	40.23	9.01	8.59	20.53	26.51	35.36	1.00	15.42	3.98	46.11	9.34	36.78
118	02450	AZC	14299.96	7.57	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	9.89	6.67	42.93	8.05	34.88
119	02460	AZC	188691.41	11.27	45.56	28.91	25.54	0.00	0.00	1.00	5.96	8.39	41.83	7.59	34.24
120	02490	AZC	110513.47	14.82	31.24	15.27	13.44	40.04	0.00	1.00	3.87	9.67	41.07	7.19	33.88
122	02540	AZC	56262.87	23.55	10.00	33.17	29.84	27.00	0.00	1.00	53.74	9.68	39.05	5.21	33.84
123	02630	AZC	452293.66	5.45	54.80	20.68	24.52	0.00	0.00	1.00	4.79	10.90	38.97	7.60	31.37
124	02660	AZC	246941.92	19.50	22.07	9.83	12.59	55.51	0.00	1.00	12.31	8.60	39.00	5.95	33.05
125	02700	AZC	628605.14	6.16	49.93	39.20	10.86	0.00	0.00	1.00	4.21	12.10	41.34	8.16	33.18
126	02718	AZC	157511.66	15.81	41.39	26.52	13.13	18.96	0.00	1.00	36.10	4.73	42.27	9.00	33.27
127	02720	AZC	262520.27	15.16	32.33	28.31	20.32	19.04	0.00	1.00	45.24	6.30	41.57	7.90	33.67
128	02730	AZC	138139.05	6.96	42.20	46.12	11.68	0.00	0.00	1.00	14.23	9.28	40.69	6.98	33.70
129	02760	AZC	137565.86	33.59	9.36	7.16	16.86	0.00	66.62	1.00	29.07	3.22	40.91	7.46	33.44
130	02790	AZC	271622.85	14.31	16.98	14.33	4.76	16.08	47.85	1.00	13.43	10.63	40.20	6.70	33.49
131	02810	AZC	117509.08	7.31	69.03	30.97	0.00	0.00	0.00	1.00	39.41	12.34	38.99	5.03	33.96
132	02840	AZC	361581.9	16.56	30.09	18.34	21.77	29.79	0.00	1.00	16.81	7.12	38.94	5.20	33.74
133	02870	AZC	322561.47	5.06	42.09	24.57	33.34	0.00	0.00	1.00	7.28	12.64	38.82	5.41	33.41
134	02920	AZC	135089.13	31.48	12.03	9.60	18.23	22.28	37.86	0.00	54.12	6.55	38.90	5.46	33.44
135	02950	AZC	237404.5	15.18	34.35	19.22	24.53	21.90	0.00	1.00	21.17	6.44	38.69	5.99	32.70
136	02980	AZC	351666.05	5.47	73.01	14.11	12.88	0.00	0.00	1.00	10.81	10.93	38.02	6.80	31.21
137	03000	BJU	253890.25	9.41	29.96	35.00	17.93	17.11	0.00	1.00	17.48	9.44	29.56	10.26	19.30
138	03023	BJU	1476055.03	11.39	42.15	26.38	14.19	3.73	13.55	1.00	25.41	8.16	29.86	11.96	17.90
139	03100	BJU	277919.41	17.31	37.65	38.27	24.08	0.00	0.00	1.00	30.45	5.74	34.18	16.32	17.87
140	03200	BJU	558116.31	27.40	13.70	11.56	2.81	0.00	71.94	1.00	15.83	8.37	35.15	16.94	18.21
141	03240	BJU	340996.9	16.40	32.45	25.60	8.68	6.39	26.88	1.00	20.99	7.53	36.69	17.50	19.18
142	03310	BJU	916489.96	11.42	31.61	27.66	11.08	29.65	0.00	1.00	24.14	8.83	36.16	16.47	19.70
143	03330	BJU	564934.43	18.70	16.00	12.22	12.48	18.17	41.12	1.00	26.67	7.94	37.09	16.91	20.17
144	03410	BJU	243334.18	13.30	31.68	21.89	5.27	0.00	41.16	1.00	17.56	9.40	28.50	12.06	16.43
145	03440	BJU	339634.4	7.50	58.71	34.46	6.83	0.00	0.00	1.00	17.32	9.70	29.42	12.75	16.67
146	03520	BJU	185865.5	13.11	24.31	10.16	0.00	65.53	0.00	1.00	17.80	9.99	27.09	10.86	16.23
147	03550	BJU	121595.1	5.03	68.12	31.88	0.00	0.00	0.00	1.00	11.98	12.69	30.66	13.62	17.04
148	03580	BJU	195122.28	10.43	30.30	21.66	0.00	48.05	0.00	1.00	15.77	11.56	34.81	16.18	18.63
149	03610	BJU	240462.38	6.52	66.18	27.06	6.76	0.00	0.00	1.00	10.48	11.63	29.43	12.73	16.70
150	03640	BJU	31929.53	3.86	64.95	35.05	0.00	0.00	0.00	1.00	4.68	30.96	29.94	13.09	16.85
151	03700	BJU	593456.16	11.55	41.65	24.29	14.46	19.60	0.00	1.00	16.54	7.44	34.90	17.49	17.40
152	03730	BJU	334701.83	10.46	31.18	28.24	12.51	28.07	0.00	1.00	11.44	11.19	35.15	17.50	17.65
153	03810	BJU	238662.68	7.00	63.08	36.92	0.00	0.00	0.00	1.00	40.90	12.31	33.79	16.18	17.61
154	03820	BJU	105438.06	5.19	51.87	23.91	24.22	0.00	0.00	1.00	11.69	18.44	33.21	12.81	20.40
155	03920	BJU	441980.06	16.28	29.96	19.35	20.36	30.33	0.00	1.00	20.89	6.99	35.75	17.83	17.92
156	04000	COY	105235.04	26.67	26.88	12.60	13.34	47.18	0.00	1.00	37.15	3.40	38.01	16.35	21.66
157	04020	COY	43515.89	42.67	10.14	8.87	22.06	58.94	0.00	1.00	66.70	3.06	38.00	16.13	21.87
158	04030	COY	519431.24	22.17	23.85	27.29	23.56	25.31	0.00	1.00	26.95	4.76	37.99	16.33	21.67
159	04100	COY	1688027.53	43.57	12.43	13.32	12.49	12.77	49.00	1.00	45.32	3.54	37.79	16.48	21.30
160	04110	COY	67465.61	22.91	17.59	11.40	11.23	59.77	0.00	1.00	53.60	3.40	37.30	17.33	19.97

161	04120	COY	166510.45	16.80	37.32	26.15	36.53	0.00	0.00	1.00	16.53	5.36	37.72	16.79	20.92
163	04240	COY	104507.2	10.42	53.82	14.97	31.21	0.00	0.00	1.00	24.87	5.85	35.81	19.52	16.30
164	04260	COY	471313.47	15.69	32.51	22.37	32.34	12.77	0.00	1.00	42.64	4.87	35.30	20.29	15.00
165	04270	COY	123336.45	15.94	58.25	16.76	24.98	0.00	0.00	1.00	9.43	5.24	37.49	21.12	16.36
167	04309	COY	164962.12	13.74	46.03	13.63	6.46	33.88	0.00	0.00	11.40	5.50	40.40	24.96	15.44
168	04318	COY	153148.27	14.29	41.87	25.82	10.42	21.88	0.00	1.00	45.79	6.77	40.88	26.16	14.72
169	04319	COY	154745.06	26.31	23.53	15.02	16.64	44.80	0.00	1.00	20.63	3.86	38.09	20.82	17.27
170	04320	COY	178753.61	16.14	39.20	18.63	23.16	19.01	0.00	1.00	26.32	5.87	38.02	22.02	16.00
172	04327	COY	27639.17	21.67	34.35	38.24	27.40	0.00	20.99	1.00	19.07	1.73	38.26	19.17	19.09
174	04330	COY	176323.02	15.05	41.16	23.34	10.83	24.67	0.00	1.00	9.97	2.66	40.14	24.27	15.87
176	04330	COY	52699.23	9.72	61.78	38.22	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	6.24	38.80	20.27	18.54
177	04330	COY	9212.93	9.16	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	41.60	8.96	38.52	19.31	19.21
178	04340	COY	44147.56	1.45	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	32.32	31.70	38.20	17.70	20.50
179	04350	COY	49448.59	11.05	78.80	21.20	0.00	0.00	0.00	1.00	23.78	6.53	37.86	22.73	15.13
180	04359	COY	40150.59	31.16	21.13	25.15	29.81	23.91	0.00	1.00	77.58	4.37	38.38	22.20	16.18
181	04360	COY	82010.83	18.50	45.82	21.83	32.35	0.00	0.00	1.00	24.00	3.30	38.64	22.56	16.08
184	04370	COY	403426.89	26.82	21.26	15.21	3.07	36.53	23.93	1.00	35.21	4.08	39.26	22.40	16.86
185	04380	COY	303238.86	16.60	41.17	25.42	14.97	18.44	0.00	1.00	11.65	4.35	40.23	24.65	15.58
186	04390	COY	127672.93	7.71	51.56	48.44	0.00	0.00	0.00	1.00	6.94	12.11	41.71	28.21	13.50
187	04400	COY	33556.17	30.28	46.24	29.04	24.73	0.00	0.00	1.00	90.76	1.48	38.68	21.26	17.42
188	04440	COY	269683.01	13.51	35.27	26.38	25.51	12.83	0.00	1.00	46.63	5.10	37.52	23.42	14.09
189	04470	COY	512327.14	16.84	36.91	9.26	9.14	44.69	0.00	1.00	18.03	5.23	38.49	23.69	14.80
190	04480	COY	28868.22	24.97	37.62	29.24	33.14	0.00	0.00	1.00	168.13	3.98	37.83	23.47	14.36
191	04480	COY	36708.44	18.56	32.62	7.17	0.00	60.21	0.00	0.00	37.97	4.31	37.27	24.04	13.23
192	04480	COY	76750.52	44.44	4.98	10.66	20.57	63.79	63.79	0.00	111.60	2.37	37.27	23.85	13.42
193	04489	COY	138447.75	28.19	13.59	4.80	18.57	31.00	32.04	1.00	49.63	4.15	37.74	24.48	13.26
194	04530	COY	573354.17	13.29	30.29	22.44	24.47	22.80	0.00	1.00	23.03	4.93	38.88	26.74	12.14
195	04600	COY	14162.93	11.62	51.09	48.91	0.00	0.00	0.00	0.00	14.66	2.09	43.40	32.18	11.22
196	04620	COY	360212.92	31.35	18.28	12.77	16.97	27.40	24.58	1.00	21.09	3.79	42.46	30.05	12.41
197	04630	COY	574936.5	3.80	90.05	9.95	64.88	0.00	0.00	1.00	6.08	13.79	43.44	31.98	11.46
200	04660	COY	93643.28	0.63	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.63	62.23	42.66	31.21	11.45
201	04700	COY	109718.2	49.54	16.13	10.60	28.94	19.72	24.60	0.00	83.53	1.22	40.10	28.15	11.95
203	04710	COY	131464.87	17.10	39.79	20.32	24.63	15.27	0.00	0.00	18.49	4.84	41.32	29.85	11.47
204	04730	COY	240525	39.63	15.55	6.33	7.08	16.79	54.26	1.00	60.28	2.00	42.56	31.50	11.06
205	04738	COY	411002.98	15.87	48.19	18.07	23.46	10.27	0.00	1.00	79.63	3.33	41.76	30.18	11.58
206	04800	COY	158004.78	24.12	32.12	13.74	24.42	29.73	22.06	1.00	21.41	3.41	39.04	25.91	13.13
207	04815	COY	161434.06	10.18	68.90	22.09	9.01	0.00	0.00	1.00	55.74	6.76	41.35	28.01	13.34
208	04859	COY	44998.09	19.73	25.65	33.08	0.00	41.27	0.00	1.00	96.93	1.61	42.64	31.05	11.59
209	04870	COY	471412.41	11.89	46.08	29.24	17.33	7.35	0.00	1.00	15.46	6.51	42.32	30.06	12.26
210	04899	COY	234898.86	17.34	38.34	22.32	12.26	27.07	0.00	1.00	18.73	6.23	42.14	30.08	12.05
211	04909	COY	368328.31	34.81	21.09	9.30	10.69	31.71	27.21	1.00	73.06	2.39	37.95	25.15	12.80
212	04909	COY	115430.38	19.83	28.37	14.15	21.19	36.29	0.00	1.00	51.74	3.49	38.83	26.99	11.84
213	04919	COY	206993.27	9.26	54.79	28.64	16.56	0.00	0.00	1.00	16.57	5.25	38.38	24.95	13.42
214	04920	COY	82129.01	21.18	28.06	4.99	9.22	57.72	0.00	1.00	9.50	5.30	41.52	29.98	11.55
215	04930	COY	284441.07	38.89	18.70	10.32	6.62	42.05	22.31	0.00	34.85	2.21	38.93	27.28	11.64

216	04939	COY	222928.24	17.66	38.67	17.22	26.98	17.13	0.00	1.00	54.69	4.98	39.41	27.64	11.77
217	04960	COY	452381.26	34.72	29.88	18.47	21.97	29.67	0.00	1.00	39.52	1.35	39.10	27.65	11.44
219	05060	CUM	83271.23	0.14	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.35	203.57	34.05	9.10	24.95
220	05100	CUM	70501.14	40.84	7.74	5.49	19.83	26.76	40.18	1.00	37.00	3.68	34.52	10.11	24.42
221	05100	CUM	506939.19	44.45	2.91	2.59	2.98	0.00	91.51	0.00	225.55	5.08	34.39	9.65	24.74
222	05120	CUM	659855.92	25.15	21.22	15.53	9.41	17.03	36.81	1.00	27.24	4.72	36.17	11.73	24.45
224	05130	CUM	216469.52	18.86	12.05	15.74	3.17	39.88	29.16	0.00	16.32	7.26	34.80	10.87	23.93
225	05200	CUM	115083.93	0.22	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.03	34.20	34.02	9.05	24.97
226	05240	CUM	344263.38	3.99	61.94	9.70	28.36	0.00	0.00	1.00	3.24	14.50	34.11	9.24	24.87
228	05310	CUM	149880.85	6.63	36.56	11.70	12.46	39.27	0.00	1.00	0.72	15.09	34.34	9.79	24.55
229	05310	CUM	27846.52	16.62	6.52	0.00	31.43	62.05	0.00	0.00	52.57	28.44	34.15	9.34	24.81
230	05348	CUM	2222011.32	53582.76	2.42	1.69	0.67	6.18	89.03	0.00	9.55	11.22	34.75	11.05	23.70
231	05370	CUM	384067.37	16.63	9.98	3.21	2.64	10.67	73.51	0.00	17.58	13.16	34.25	9.60	24.65
233	06030	CUA	585980.68	10.87	44.57	37.10	18.33	0.00	0.00	1.00	18.68	5.15	31.48	8.83	22.65
234	06170	CUA	368970.68	15.22	32.96	24.56	37.37	5.11	0.00	1.00	31.43	6.49	32.37	10.88	21.50
235	06240	CUA	218535.87	7.01	56.36	43.64	0.00	0.00	0.00	1.00	20.48	11.51	31.51	11.34	20.17
236	06280	CUA	111947.64	11.94	57.39	6.51	36.10	0.00	0.00	1.00	21.75	5.87	30.72	11.10	19.62
237	06400	CUA	1971186.81	11.05	48.26	20.05	14.41	17.28	0.00	1.00	14.00	5.26	35.20	7.14	28.06
238	06470	CUA	1057073.25	8.52	54.05	21.06	6.75	18.14	0.00	1.00	12.52	7.12	33.41	8.00	25.41
239	06700	CUA	2280333.74	15.46	38.92	24.91	21.70	10.12	4.35	1.00	25.80	4.33	30.63	9.57	21.06
240	06760	CUA	1189339.22	7.34	69.43	29.41	1.16	0.00	0.00	1.00	13.17	8.01	30.49	10.41	20.08
241	06820	CUA	588475.37	7.55	65.40	21.82	12.78	0.00	0.00	1.00	9.93	8.51	26.83	9.35	17.48
242	06860	CUA	205024.11	2.92	55.38	10.93	0.00	33.69	0.00	1.00	11.35	10.09	27.06	9.47	17.59
243	06890	CUA	325530.32	7.90	68.72	15.86	0.00	15.42	0.00	1.00	14.82	7.61	26.89	9.95	16.94
244	07000	GAM	524877.6	1.98	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	3.35	17.74	35.50	14.50	21.00
245	07020	GAM	814222.89	10.93	37.48	13.28	20.43	28.81	0.00	1.00	25.17	7.29	36.91	13.95	22.95
246	07058	GAM	200168.56	5.46	86.04	13.96	0.00	0.00	0.00	1.00	27.39	7.10	36.17	15.32	20.85
247	07070	GAM	82940.34	2.25	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.72	14.93	37.65	16.22	21.43
248	07090	GAM	540125.36	7.39	36.97	50.84	12.18	0.00	0.00	1.00	13.20	10.16	40.52	17.70	22.82
249	07100	GAM	262405.81	13.34	27.35	24.49	22.37	25.78	0.00	1.00	10.34	8.64	48.73	18.72	30.01
250	07130	GAM	67555.69	6.14	81.17	18.83	0.00	0.00	0.00	1.00	6.36	9.46	52.34	20.42	31.92
251	07140	GAM	365691.52	14.22	24.52	8.57	0.00	18.96	47.95	0.00	17.59	8.37	49.75	19.87	29.88
252	07164	GAM	85466.82	1.83	72.33	27.67	0.00	0.00	0.00	0.00	3.35	25.54	52.15	19.25	32.90
253	07170	GAM	48694.21	10.22	22.73	38.42	38.85	0.00	0.00	1.00	2.80	7.64	47.69	18.53	29.15
254	07180	GAM	274741.17	5.51	52.29	29.80	17.91	0.00	0.00	1.00	4.55	14.33	48.54	19.47	29.06
255	07190	GAM	203994.31	8.02	40.46	50.57	8.97	0.00	0.00	1.00	6.52	12.90	48.69	18.50	30.19
256	07200	GAM	120806.05	11.55	20.91	11.01	0.00	68.07	0.00	1.00	9.50	16.50	48.09	18.15	29.95
257	07207	GAM	138656.18	1.30	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.55	29.13	48.74	18.06	30.68
258	07210	GAM	1891225.13	18.95	17.53	10.63	9.86	27.20	34.77	0.00	6.42	7.84	51.62	18.31	33.31
259	07230	GAM	719885.53	2.17	85.25	4.92	9.83	0.00	0.00	1.00	2.59	21.51	48.89	17.39	31.51
261	07249	GAM	52353.01	44.95	11.25	3.40	29.21	56.14	0.00	0.00	36.80	1.06	47.42	17.42	30.00
262	07268	GAM	843972.3	37.37	10.15	11.03	8.94	22.29	47.60	0.00	26.26	2.59	48.97	16.18	32.79
264	07269	GAM	248813.08	13.21	31.99	32.24	35.77	0.00	0.00	1.00	57.31	6.84	47.92	16.72	31.20
265	07279	GAM	608398.07	24.62	17.27	16.96	17.43	32.28	16.06	1.00	37.87	4.54	47.17	15.61	31.56
267	07309	GAM	73145.38	12.65	26.49	28.19	10.93	34.39	0.00	1.00	17.50	8.79	37.38	12.67	24.72

268	07320	GAM	361028.84	21.10	21.46	12.88	20.60	19.83	25.24	0.00	25.58	7.03	43.52	15.46	28.06
272	07340	GAM	237836.71	4.52	17.65	18.54	22.57	41.24	0.00	0.00	30.16	2.83	43.04	15.34	27.70
273	07340	GAM	18384.95	24.24	56.54	43.46	0.00	0.00	0.00	1.00	28.38	2.35	44.01	17.08	26.93
274	07360	GAM	811595.66	37.51	6.62	9.76	15.29	11.70	56.63	0.00	28.79	3.64	42.62	13.19	29.43
275	07370	GAM	243283.2	9.60	22.77	10.38	4.62	62.23	0.00	1.00	33.02	13.27	36.55	11.51	25.03
276	07400	GAM	612992.05	5.98	53.86	16.87	13.17	16.10	0.00	1.00	5.06	7.78	36.60	16.35	20.25
277	07420	GAM	295046.89	7.65	34.38	27.73	23.24	14.64	0.00	0.00	12.31	7.28	35.57	17.08	18.50
278	07430	GAM	197944.35	4.98	36.21	32.02	31.77	0.00	0.00	0.00	4.51	18.90	38.27	17.57	20.70
279	07450	GAM	23482.54	13.79	28.01	35.19	36.80	0.00	0.00	0.00	0.00	5.97	33.90	16.27	17.63
280	07457	GAM	66917.83	15.55	37.03	39.54	23.43	0.00	0.00	0.00	11.83	5.16	34.51	16.32	18.19
281	07459	GAM	16761.68	19.08	29.15	70.85	0.00	0.00	0.00	1.00	104.71	7.41	35.42	16.19	19.23
282	07470	GAM	225213.17	1.94	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.55	17.61	34.19	15.51	18.68
283	07500	GAM	515403.68	4.40	35.73	16.23	5.59	42.45	0.00	0.00	2.74	16.38	33.38	16.85	16.52
284	07509	GAM	104171.14	6.15	72.87	27.13	0.00	0.00	0.00	1.00	8.93	11.69	32.89	16.86	16.03
285	07530	GAM	1115047.02	0.74	90.24	9.76	0.00	0.00	0.00	0.00	2.24	42.87	34.89	17.03	17.87
287	07540	GAM	16487.38	0.44	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	35.15	17.04	18.11
288	07550	GAM	970572.64	0.58	81.65	18.35	0.00	0.00	0.00	1.00	1.13	48.70	34.56	16.91	17.66
289	07580	GAM	1068494.37	4.28	27.80	5.32	13.53	18.16	35.18	1.00	2.33	17.42	33.47	16.92	16.55
290	07630	GAM	439174.94	5.47	33.19	18.92	31.26	16.62	0.00	1.00	7.85	12.89	49.36	13.26	36.10
291	07670	GAM	272718.98	1.82	77.78	22.22	0.00	0.00	0.00	1.00	7.99	30.09	47.84	14.96	32.88
292	07700	GAM	230402.34	6.93	66.87	22.03	11.11	0.00	0.00	0.00	26.05	4.74	43.67	11.66	32.00
293	07707	GAM	213731.23	24.78	18.67	13.19	20.03	48.12	0.00	0.00	10.43	4.85	43.77	14.97	28.80
294	07708	GAM	11590.63	8.22	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.55	8.08	43.43	14.82	28.61
295	07708	GAM	10157.9	10.88	43.10	56.90	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	9.87	43.44	14.69	28.76
297	07730	GAM	511115.51	7.21	39.26	14.86	4.17	41.71	0.00	1.00	14.80	13.26	40.22	11.26	28.95
298	07740	GAM	176016	8.98	29.33	16.32	54.35	0.00	0.00	1.00	16.80	10.80	38.67	10.46	28.21
299	07760	GAM	339497.45	15.39	28.22	18.90	22.61	30.27	0.00	1.00	4.44	6.33	38.60	8.67	29.94
300	07780	GAM	120200.8	3.00	81.62	18.38	0.00	0.00	0.00	1.00	1.71	21.09	37.48	8.38	29.10
301	07790	GAM	109407.36	3.31	72.16	27.84	0.00	0.00	0.00	1.00	25.54	21.77	36.71	8.62	28.08
302	07820	GAM	246695.69	6.28	31.82	10.99	57.19	0.00	0.00	1.00	6.65	20.65	33.22	15.25	17.97
303	07839	GAM	423568.25	4.26	64.68	27.04	8.28	0.00	0.00	1.00	4.91	12.73	32.24	16.22	16.02
304	07840	GAM	5844.67	3.28	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.60	0.82	31.57	11.97	19.61
305	07850	GAM	165398.73	2.05	57.25	0.00	42.75	0.00	0.00	1.00	5.68	45.93	32.65	15.07	17.58
306	07859	GAM	69451.62	6.25	30.32	13.05	56.62	0.00	0.00	1.00	9.12	6.62	32.01	15.39	16.62
307	07860	GAM	433141.59	2.56	72.95	3.94	23.11	0.00	0.00	1.00	4.34	15.71	32.86	14.40	18.46
308	07870	GAM	403264.06	14.59	22.61	15.57	2.58	37.83	21.40	1.00	26.24	6.83	35.97	11.53	24.44
309	07889	GAM	236442.94	4.15	60.48	22.81	16.72	0.00	0.00	1.00	4.50	12.43	31.91	12.88	19.02
310	07890	GAM	240878.69	7.45	25.17	11.48	16.89	46.47	0.00	1.00	16.37	15.37	30.70	14.43	16.28
311	07910	GAM	2725722.08	55.89	5.57	4.75	7.14	15.20	67.34	1.00	64.26	1.68	31.38	17.71	13.68
312	07919	GAM	253724.18	14.72	29.73	23.80	26.44	20.03	0.00	1.00	53.30	3.23	31.61	17.40	14.20
313	07939	GAM	130439.99	9.02	55.75	35.37	8.88	0.00	0.00	0.00	4.61	6.20	33.12	16.49	16.63
314	07950	GAM	30763.89	9.07	82.98	17.02	0.00	0.00	0.00	1.00	22.54	7.42	32.92	16.64	16.28
315	07950	GAM	24852.63	2.04	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.70	12.39	32.26	17.18	15.08
316	07950	GAM	847531.86	4.92	41.60	33.38	17.57	7.45	0.00	1.00	5.05	12.09	31.97	17.14	14.83
318	07959	GAM	149688.24	12.17	41.41	25.59	0.00	33.00	0.00	1.00	12.18	7.13	31.62	17.81	13.81

319	07960	GAM	165543.77	23.81	17.95	17.87	41.87	22.32	0.00	0.00	30.56	4.29	30.71	16.29	14.43
320	07970	GAM	953966.64	16.98	23.02	21.45	17.75	11.04	26.74	1.00	26.77	5.72	31.01	17.61	13.40
321	07990	GAM	113991.7	6.41	19.77	44.44	35.79	0.00	0.00	1.00	9.10	17.18	32.01	18.07	13.94
322	08010	IZTAC	113168.47	11.45	60.94	15.07	23.99	0.00	0.00	1.00	15.91	5.63	29.58	16.52	13.06
323	08029	IZTAC	55962.26	31.91	33.42	23.06	13.58	29.94	0.00	1.00	8.45	1.40	27.19	12.20	15.00
324	08160	IZTAC	260877.12	11.15	50.85	25.12	24.03	0.00	0.00	1.00	24.79	4.67	31.27	19.05	12.23
325	08220	IZTAC	301715.24	13.30	60.33	21.25	5.81	12.60	0.00	0.00	19.85	5.35	26.00	9.89	16.11
326	08300	IZTAC	39872.48	3.35	74.57	25.43	0.00	0.00	0.00	1.00	3.87	37.52	26.13	10.08	16.05
327	08320	IZTAC	94232.58	3.26	66.75	0.00	33.25	0.00	0.00	0.00	16.48	17.86	26.08	10.14	15.94
328	08420	IZTAC	111985.24	4.25	72.62	27.38	0.00	0.00	0.00	1.00	9.25	14.33	30.31	17.46	12.85
329	08510	IZTAC	274870.3	5.83	64.01	25.02	10.97	0.00	0.00	1.00	9.71	11.52	30.28	17.65	12.63
330	08600	IZTAC	170319.1	3.58	88.51	11.49	0.00	0.00	0.00	1.00	2.83	15.91	24.50	8.52	15.98
331	08620	IZTAC	10031.9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	25.42	9.47	15.95
332	08620	IZTAC	41782.9	2.75	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	2.53	27.71	25.15	9.20	15.95
333	08650	IZTAC	191895.77	4.57	70.81	7.87	21.32	0.00	0.00	1.00	3.77	14.73	24.83	8.88	15.95
334	08730	IZTAC	338378.27	15.86	24.24	8.00	17.91	27.67	22.18	1.00	12.39	6.84	26.79	11.66	15.13
335	08760	IZTAC	29604.92	19.98	42.16	19.38	38.46	0.00	0.00	0.00	11.66	10.20	26.61	11.33	15.28
336	08770	IZTAC	96113.86	12.60	47.52	26.84	25.64	0.00	0.00	1.00	22.80	8.08	25.36	9.65	15.72
337	08820	IZTAC	188041.72	6.35	60.76	26.62	12.62	0.00	0.00	1.00	9.70	12.02	25.22	9.18	16.03
338	08830	IZTAC	720142.13	9.71	48.43	19.45	13.52	18.60	0.00	1.00	14.57	7.88	25.90	9.83	16.08
339	08910	IZTAC	90504.11	2.27	80.62	19.38	0.00	0.00	0.00	1.00	1.69	24.85	24.25	8.26	15.99
340	08930	IZTAC	607969.29	5.11	60.11	29.44	10.45	0.00	0.00	1.00	5.40	9.75	24.19	8.21	15.98
341	09000	IZTAP	499080.31	13.10	43.89	15.46	20.38	20.28	0.00	1.00	13.68	7.65	33.61	21.88	11.73
342	09000	IZTAP	844526.55	9.10	34.82	24.97	30.86	9.35	0.00	1.00	9.60	10.53	31.77	18.53	13.25
343	09010	IZTAP	280044.38	11.62	24.53	27.58	21.85	26.05	0.00	1.00	13.94	9.72	31.41	19.59	11.83
344	09040	IZTAP	567277.91	18.39	19.93	9.54	8.07	46.19	16.27	1.00	22.90	6.99	30.68	18.44	12.24
345	09070	IZTAP	835838.47	10.82	23.50	18.38	31.05	27.08	0.00	1.00	14.72	7.21	30.36	16.04	14.31
346	09089	IZTAP	475342.62	17.26	37.59	28.93	16.97	0.00	16.50	1.00	29.11	3.43	30.13	13.94	16.19
347	09100	IZTAP	1423996.73	5.12	37.67	16.61	20.03	25.69	0.00	0.00	4.29	14.04	35.77	26.88	8.89
348	09130	IZTAP	584959.24	11.44	13.90	11.36	25.90	30.07	18.76	0.00	9.22	13.33	36.59	28.29	8.30
349	09160	IZTAP	398439.78	4.16	67.39	32.61	0.00	0.00	0.00	0.00	11.34	19.49	35.52	26.45	9.07
350	09200	IZTAP	1762606.64	15.08	29.93	25.09	10.40	16.39	18.19	1.00	44.63	7.02	35.94	26.95	8.99
351	09210	IZTAP	869472.66	4.14	44.42	23.00	22.37	10.21	0.00	1.00	25.67	17.21	34.69	25.03	9.66
352	09225	IZTAP	76685.5	5.94	48.06	14.42	37.53	0.00	0.00	1.00	1.66	8.63	35.23	25.99	9.24
353	09229	IZTAP	316210.3	9.83	40.52	23.84	35.64	0.00	0.00	1.00	17.33	8.38	36.05	27.37	8.68
354	09230	IZTAP	746644.5	36.35	2.51	2.72	6.13	15.51	73.13	0.00	21.83	11.40	36.08	27.42	8.66
355	09240	IZTAP	225716.98	6.80	75.18	24.82	70.71	0.00	0.00	1.00	8.48	12.31	36.63	28.26	8.38
356	09250	IZTAP	49564.45	13.92	38.90	15.94	45.16	0.00	0.00	1.00	7.80	6.81	36.35	27.66	8.69
357	09270	IZTAP	346458.96	14.30	35.60	14.14	26.82	23.44	28.73	1.00	29.45	6.85	36.32	27.04	9.27
358	09300	IZTAP	824944.78	10.33	26.50	5.77	14.04	39.06	14.63	0.00	10.24	11.70	36.18	27.48	8.70
359	09310	IZTAP	718211.56	5.18	64.32	35.68	0.00	0.00	0.00	1.00	8.64	14.27	34.89	25.42	9.47
360	09310	IZTAP	1112812.64	7.46	51.01	30.80	13.59	4.61	0.00	1.00	9.71	10.53	34.69	25.10	9.59
361	09319	IZTAP	18263.68	42.54	6.67	17.86	75.47	0.00	0.00	1.00	0.51	6.68	33.47	23.02	10.45
362	09359	IZTAP	105773.06	6.41	41.10	58.90	0.00	0.00	0.00	0.00	7.31	17.21	36.75	28.50	8.25
363	09360	IZTAP	299757.94	7.22	36.54	21.73	23.60	18.14	0.00	1.00	9.04	11.47	36.62	27.94	8.67

364	09369	IZTAP	85807.59	14.28	47.82	6.07	21.82	24.30	0.00	1.00	44.91	5.66	36.93	28.86	8.07
365	09400	IZTAP	469270.97	6.40	75.34	24.66	0.00	0.00	0.00	1.00	7.68	9.15	27.01	11.47	15.55
366	09410	IZTAP	89990.44	4.24	76.77	23.23	0.00	0.00	0.00	1.00	6.99	13.14	27.04	11.85	15.20
367	09410	IZTAP	310231.71	18.39	12.33	12.25	13.16	25.12	37.14	1.00	12.50	11.47	27.97	13.23	14.74
368	09420	IZTAP	121265.84	3.44	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	6.79	14.93	26.64	11.44	15.20
369	09430	IZTAP	407191.91	3.85	53.01	28.95	0.00	18.04	0.00	1.00	4.27	11.51	24.48	8.55	15.94
370	09440	IZTAP	269119.65	5.84	33.97	8.01	29.92	28.10	0.00	0.00	7.48	15.01	27.54	11.51	16.03
371	09440	IZTAP	111800.97	1.25	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.66	37.57	27.20	11.15	16.06
372	09460	IZTAP	162482.56	7.71	65.30	24.72	9.98	0.00	0.00	1.00	11.46	8.14	31.49	14.62	16.87
373	09480	IZTAP	182061.58	6.16	51.49	24.68	23.83	0.00	0.00	1.00	25.09	13.90	34.63	16.58	18.04
374	09500	IZTAP	546786.79	3.63	45.77	18.22	15.22	20.79	0.00	1.00	2.95	17.45	35.43	27.05	8.38
375	09520	IZTAP	396276.81	3.79	54.08	28.08	17.85	0.00	0.00	1.00	3.24	14.55	35.61	26.86	8.74
376	09530	IZTAP	1018871.27	7.31	30.83	24.32	9.69	35.16	0.00	1.00	10.84	13.96	36.18	27.58	8.60
377	09578	IZTAP	668703.33	19.42	12.29	8.09	3.80	16.23	59.59	0.00	2.30	4.32	35.41	26.28	9.13
378	09609	IZTAP	976030.79	2.29	51.28	34.62	14.10	0.00	0.00	1.00	2.64	23.23	35.82	28.02	7.80
379	09630	IZTAP	18506.83	0.65	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.46	80.58	37.35	31.00	6.35
380	09630	IZTAP	286949.14	2.90	53.69	16.49	29.82	0.00	0.00	0.00	3.61	22.41	37.21	30.56	6.65
381	09640	IZTAP	743451.01	1.40	70.01	9.55	20.44	0.00	0.00	1.00	0.87	20.33	36.79	30.00	6.79
382	09670	IZTAP	497223.68	5.27	30.99	28.97	15.75	24.28	0.00	0.00	13.07	12.46	36.66	29.16	7.51
383	09698	IZTAP	441986.83	2.90	35.32	38.01	26.67	0.00	0.00	0.00	4.42	20.12	36.16	28.77	7.38
384	09700	IZTAP	1404914.51	2.24	37.88	29.81	19.45	12.85	0.00	0.00	2.68	15.97	36.86	29.77	7.08
385	09704	IZTAP	55120.71	0.93	24.43	75.57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	16.35	36.92	29.78	7.14
386	09708	IZTAP	202156.37	3.85	64.21	10.29	25.50	0.00	0.00	1.00	3.12	5.76	36.66	28.93	7.73
387	09720	IZTAP	436288.07	2.70	86.31	13.69	0.00	0.00	0.00	1.00	2.94	15.22	36.27	26.54	9.74
388	09730	IZTAP	148970.1	2.75	65.17	34.83	0.00	0.00	0.00	1.00	3.00	24.56	36.31	28.32	7.99
389	09750	IZTAP	561897.46	6.75	46.58	23.08	30.34	0.00	0.00	1.00	13.07	12.15	36.42	28.09	8.33
390	09760	IZTAP	1447608.24	9.25	14.10	5.58	5.76	61.46	13.11	0.00	3.09	15.93	36.67	28.81	7.86
391	09780	IZTAP	144891.95	2.86	27.62	13.18	59.20	0.00	0.00	1.00	1.12	26.05	36.40	25.26	11.14
392	09800	IZTAP	71268.71	16.26	14.25	11.48	8.45	65.83	0.00	1.00	138.78	22.97	35.22	21.96	13.26
393	09800	IZTAP	573066.85	7.26	32.66	28.40	12.93	26.01	0.00	1.00	7.01	18.60	36.32	23.48	12.84
394	09800	IZTAP	187844.32	15.40	16.66	10.13	15.29	57.92	0.00	1.00	280.90	8.30	35.68	22.47	13.21
395	09800	IZTAP	113444.24	2.74	54.72	45.28	0.00	0.00	0.00	1.00	3.39	37.22	34.94	22.03	12.91
396	09809	IZTAP	267052.73	15.31	27.39	20.13	24.28	28.20	0.00	0.00	12.46	7.47	34.85	21.40	13.45
397	09810	IZTAP	517149.71	5.90	32.90	31.56	12.10	23.44	0.00	1.00	4.43	13.42	32.75	17.57	15.19
398	09820	IZTAP	79166.65	5.74	62.98	37.02	0.00	0.00	0.00	1.00	5.70	12.53	33.93	21.96	11.97
399	09820	IZTAP	218258.92	22.44	4.63	9.98	12.41	7.27	65.71	0.00	100.89	12.96	34.63	22.80	11.83
400	09830	IZTAP	187641.95	34.83	7.73	5.53	7.27	15.85	63.62	0.00	8.96	10.21	35.88	26.37	9.51
401	09830	IZTAP	627260.14	6.20	67.76	32.24	0.00	0.00	0.00	1.00	7.10	10.74	36.38	27.08	9.30
402	09836	IZTAP	44664.58	12.28	53.33	46.67	0.00	0.00	0.00	1.00	16.20	8.70	34.41	23.30	11.12
403	09839	IZTAP	204776.32	39.18	4.76	8.59	12.42	6.74	67.49	0.00	287.51	3.74	36.26	26.37	9.89
404	09839	IZTAP	143775.69	5.83	51.89	6.78	41.34	0.00	0.00	0.00	6.99	19.60	36.29	26.56	9.73
405	09850	IZTAP	385788.73	15.33	15.25	13.24	6.03	38.11	27.36	0.00	10.17	7.54	36.27	24.91	11.37
406	09856	IZTAP	6157.12	107.59	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	14.90	0.00	35.76	25.72	10.03
407	09858	IZTAP	271446.29	12.26	23.29	10.63	21.47	9.94	34.67	0.00	12.13	12.69	36.33	27.07	9.26
408	09860	IZTAP	634880.09	5.66	31.17	29.73	17.23	21.88	0.00	1.00	4.10	13.84	36.28	25.44	10.83

409	09860	IZTAP	112887.46	5.19	49.12	20.53	30.35	0.00	0.00	1.00	6.86	18.27	36.23	26.00	10.23
410	09860	IZTAP	202533.29	14.74	22.80	14.68	24.34	38.18	0.00	0.00	64.55	7.11	36.25	26.15	10.10
411	09870	IZTAP	123906.62	29.77	6.12	1.56	8.41	19.43	64.48	0.00	19.58	8.66	36.60	24.03	12.57
412	09880	IZTAP	242960.06	23.20	24.89	9.15	24.47	41.50	0.00	1.00	21.36	5.98	36.70	24.54	12.15
413	09880	IZTAP	540318.7	9.00	29.70	22.56	16.36	31.38	0.00	1.00	12.72	8.58	36.50	24.83	11.68
414	09890	IZTAP	120610.33	2.10	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	7.05	19.21	36.74	24.74	12.00
415	09897	IZTAP	161310.16	8.86	15.01	11.54	17.84	55.62	0.00	0.00	0.69	14.29	37.37	25.56	11.81
416	09900	IZTAP	116778.85	0.88	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.89	81.51	37.05	27.55	9.50
417	09920	IZTAP	694831.31	2.62	43.53	46.41	10.06	0.00	0.00	1.00	8.73	25.29	37.52	27.13	10.39
418	09960	IZTAP	383572.07	2.57	41.98	24.15	33.87	0.00	0.00	1.00	2.12	27.07	37.74	28.99	8.75
419	09960	IZTAP	645971.08	19.48	13.30	10.86	6.15	26.14	43.55	0.00	5.45	8.84	38.02	29.55	8.47
420	09970	IZTAP	128547.67	0.47	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.38	48.22	36.86	29.72	7.14
421	10020	LMC	282534.5	5.83	79.65	13.36	6.99	0.00	0.00	1.00	5.91	11.20	37.84	23.12	14.72
422	10100	LMC	249623.5	21.91	36.61	25.84	27.78	9.77	0.00	1.00	100.98	3.27	37.36	23.21	14.15
423	10200	LMC	505803.97	25.63	23.37	14.39	14.19	7.07	40.98	1.00	24.90	3.56	37.33	23.31	14.02
424	10320	LMC	16392.07	10.90	60.32	39.68	0.00	0.00	0.00	1.00	30.98	13.46	37.50	21.55	15.94
425	10340	LMC	437175.16	27.19	0.25	0.50	1.67	0.00	82.06	1.00	16.09	8.14	37.74	22.54	15.20
426	10370	LMC	74119.04	20.80	15.37	2.92	0.00	81.70	0.00	1.00	11.18	6.46	37.84	22.85	14.99
427	10400	LMC	760187.72	25.97	11.01	15.14	10.53	1.60	45.20	0.00	15.97	5.07	37.79	23.95	13.84
428	10600	LMC	343909.85	10.09	55.64	27.41	16.95	0.00	0.00	1.00	12.10	7.10	38.09	23.80	14.29
429	10640	LMC	415567.24	16.72	29.27	23.73	17.02	29.98	15.45	1.00	24.68	4.86	38.26	24.53	13.73
430	10710	LMC	198622.73	15.80	44.54	23.96	7.44	24.06	0.00	1.00	14.38	5.46	38.13	24.77	13.36
431	10820	LMC	79746.79	4.25	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	21.90	10.28	38.32	25.20	13.12
432	10840	LMC	11896.97	13.73	18.14	0.00	81.86	0.00	0.00	1.00	12.13	0.00	38.48	25.64	12.84
433	11000	MIH	1016729.01	48.37	6.42	6.16	9.57	6.90	70.96	1.00	45.97	2.52	37.32	12.67	24.65
434	11100	MIH	1796030.27	79.20	1.17	1.88	4.52	11.40	81.04	1.00	73.02	1.48	37.71	12.53	25.19
435	11200	MIH	322131.25	13.58	36.73	19.46	24.83	18.98	0.00	1.00	38.94	4.02	39.05	8.10	30.95
436	11200	MIH	195178.12	18.65	58.52	19.44	22.04	0.00	0.00	1.00	28.08	3.35	39.31	7.89	31.42
437	11219	MIH	2425778.51	23.15	12.82	18.76	15.57	21.23	31.61	1.00	24.82	3.34	40.37	7.42	32.95
438	11240	MIH	52076.18	10.38	83.25	16.75	0.00	0.00	0.00	1.00	23.37	6.73	40.00	7.01	32.99
439	11260	MIH	160295.1	5.86	30.90	33.32	35.78	0.00	0.00	1.00	8.08	13.32	38.89	7.22	31.67
440	11280	MIH	247813.54	12.86	44.53	30.85	24.62	0.00	0.00	1.00	20.67	8.57	38.95	6.74	32.21
441	11290	MIH	204619.53	7.89	62.29	37.71	0.00	0.00	0.00	1.00	12.86	7.85	39.50	6.70	32.80
442	11320	MIH	1506106.03	11.19	48.08	22.90	9.24	9.62	10.16	1.00	16.64	6.03	36.35	6.72	29.63
443	11330	MIH	259514.54	37.85	13.27	5.41	10.53	47.83	22.96	1.00	36.90	2.40	36.63	6.45	30.18
444	11360	MIH	359132.74	16.02	23.90	6.17	33.06	36.87	0.00	1.00	13.48	6.28	36.91	6.31	30.60
445	11410	MIH	731470.73	13.55	39.21	23.31	20.71	4.88	11.90	1.00	20.84	6.64	38.75	6.31	32.43
446	11420	MIH	266870.21	26.12	27.34	14.22	3.24	37.47	17.73	1.00	24.47	2.87	38.60	5.70	32.89
447	11440	MIH	283151.62	18.60	31.14	28.37	13.36	27.13	0.00	1.00	27.21	5.65	38.24	6.53	31.71
448	11450	MIH	90756.92	7.38	50.99	21.66	27.35	0.00	0.00	1.00	3.89	10.96	38.11	6.38	31.73
449	11460	MIH	126741.26	12.32	53.76	18.52	8.67	19.04	0.00	1.00	20.67	5.92	37.70	6.34	31.36
450	11470	MIH	425268.21	18.92	23.16	17.04	23.23	20.62	15.95	1.00	19.90	5.78	39.10	7.57	31.53
451	11480	MIH	127169.98	5.41	27.86	9.46	0.00	62.69	0.00	1.00	4.74	27.66	38.52	7.22	31.30
452	11490	MIH	188216.57	11.22	45.22	32.23	4.82	17.74	0.00	1.00	7.76	7.43	37.87	6.76	31.11
453	11510	MIH	119144.41	8.55	37.52	24.72	37.75	0.00	0.00	1.00	25.97	8.44	39.09	8.40	30.69

454	11529	MIH	465189.32	6.31	37.40	26.29	23.55	12.76	0.00	1.00	24.42	9.31	38.08	7.20	30.88
455	11550	MIH	801048.74	28.01	17.96	15.45	21.54	20.28	24.76	1.00	36.35	3.02	36.29	7.65	28.64
456	11580	MIH	40737.19	7.46	61.23	0.00	38.77	0.00	0.00	1.00	17.80	11.81	34.47	7.97	26.50
457	11590	MIH	450373.84	20.27	41.94	20.71	25.39	11.96	0.00	1.00	28.25	3.64	34.55	7.73	26.82
458	11650	MIH	1480068.69	21.27	21.33	16.92	20.93	20.42	20.40	1.00	33.43	5.74	38.18	9.56	28.62
459	11810	MIH	277699.26	3.03	69.27	30.73	0.00	0.00	0.00	1.00	2.58	20.00	34.66	12.57	22.09
460	11840	MIH	172483.93	12.64	36.92	10.23	11.05	41.80	0.00	1.00	11.51	5.79	33.43	10.50	22.93
461	11870	MIH	615910.7	5.44	50.39	18.17	10.34	21.10	0.00	1.00	8.14	11.01	33.01	12.09	20.92
463	13020	TLAH	881438.21	12.99	27.49	7.47	7.54	57.49	0.00	0.00	8.79	10.14	40.99	42.35	-1.36
464	13060	TLAH	87329.88	3.00	80.46	19.54	0.00	0.00	0.00	1.00	3.08	14.94	40.97	43.50	-2.52
465	13070	TLAH	259517.84	7.52	54.80	26.26	18.95	0.00	0.00	1.00	9.02	10.05	41.01	43.57	-2.56
466	13200	TLAH	2604233.56	3.82	31.89	21.29	24.56	22.26	0.00	0.00	7.15	11.83	38.64	35.45	3.19
467	13210	TLAH	102985.44	5.03	77.90	22.10	0.00	0.00	0.00	1.00	4.11	10.44	37.39	30.48	6.91
468	13219	TLAH	789257.86	16.27	11.07	11.26	18.80	18.66	40.20	0.00	5.49	10.76	37.21	30.37	6.84
469	13220	TLAH	473513.9	6.93	43.23	11.59	6.37	38.82	0.00	0.00	4.02	11.86	37.74	31.96	5.77
470	13270	TLAH	195510.92	1.58	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	1.86	41.69	38.27	33.57	4.70
471	13300	TLAH	36815.82	29.54	23.66	14.34	0.00	58.98	0.00	0.00	22.46	2.72	37.56	31.87	5.70
472	13300	TLAH	1237252.76	12.12	24.26	20.57	18.99	19.85	16.33	0.00	15.23	8.43	37.58	31.76	5.83
473	13300	TLAH	369730.03	10.27	29.29	17.97	26.46	26.28	0.00	0.00	6.99	9.02	38.23	34.39	3.84
474	13300	TLAH	264599.3	8.92	20.76	25.41	15.39	38.44	0.00	0.00	5.96	7.36	37.99	33.52	4.48
475	13319	TLAH	359293.24	1.43	69.22	12.05	18.73	0.00	0.00	1.00	1.22	31.35	37.26	30.86	6.40
476	13400	TLAH	3390131.69	2.03	38.36	22.33	16.61	22.69	0.00	0.00	6.80	9.73	38.41	34.67	3.74
477	13430	TLAH	4251851.1	0.76	79.31	20.69	0.00	0.00	0.00	1.00	7.63	10.39	40.91	41.11	-0.20
478	13440	TLAH	152496.43	11.70	22.22	29.94	47.84	0.00	0.00	0.00	22.71	11.44	38.54	35.59	2.95
479	10720	TLAL	41271.65	37.36	13.87	16.16	19.01	50.97	0.00	1.00	112.63	6.16	38.26	25.12	13.14
480	14000	TLAL	755417.43	15.81	29.07	20.08	32.14	18.71	0.00	1.00	16.66	6.51	41.42	35.00	6.42
481	14010	TLAL	55117.82	19.13	17.43	36.34	12.58	33.65	0.00	0.00	22.70	9.54	39.23	28.03	11.20
482	14010	TLAL	412296.14	23.92	10.88	11.04	14.33	31.52	32.22	1.00	43.57	6.39	39.41	28.49	10.92
483	14020	TLAL	162427.96	23.25	15.50	17.81	9.80	56.90	0.00	1.00	220.01	5.21	39.86	29.69	10.17
484	14040	TLAL	102035.64	4.29	45.52	12.25	42.23	0.00	0.00	1.00	4.00	22.33	41.74	30.97	10.76
485	14050	TLAL	823069.15	22.60	12.97	17.50	32.89	26.72	9.92	1.00	27.13	8.51	41.70	31.52	10.18
486	14060	TLAL	370197.08	43.34	4.34	5.52	9.74	24.41	55.98	1.00	18.00	3.69	40.16	29.89	10.27
487	14070	TLAL	48877.1	6.77	18.93	21.63	59.44	0.00	0.00	1.00	6.94	22.15	40.72	30.38	10.34
488	14090	TLAL	165818.56	7.77	41.05	31.95	27.00	0.00	0.00	1.00	7.37	10.28	41.55	35.23	6.32
489	14100	TLAL	974600.79	13.11	60.54	29.54	4.81	5.11	0.00	1.00	16.09	5.74	39.83	30.45	9.38
490	14100	TLAL	734871.92	11.95	19.94	11.36	15.69	20.97	32.03	1.00	9.63	10.56	38.99	27.29	11.70
491	14110	TLAL	135566.23	24.79	13.00	28.56	18.98	39.46	39.46	1.00	161.42	6.14	38.14	24.91	13.23
492	14130	TLAL	196019.59	28.67	18.15	25.21	22.91	10.59	23.13	1.00	48.98	4.10	38.17	25.19	12.99
493	14160	TLAL	312169.76	2.13	53.85	8.38	37.77	0.00	0.00	1.00	2.91	38.24	38.61	26.30	12.31
494	14200	TLAL	207756.27	24.78	20.98	18.67	21.06	6.98	32.31	1.00	103.42	5.70	38.60	26.35	12.25
495	14210	TLAL	2346770.66	47.87	4.21	4.11	6.01	7.17	78.50	1.00	27.46	5.93	38.74	26.77	11.98
496	14230	TLAL	248967.57	11.46	59.81	24.40	15.79	0.00	0.00	1.00	19.42	6.08	40.17	31.94	8.23
497	14248	TLAL	107062.24	10.63	48.72	27.42	23.87	0.00	0.00	1.00	13.37	6.66	41.40	37.46	3.95
498	14250	TLAL	322553.27	10.64	29.17	36.11	12.29	22.44	0.00	1.00	9.77	9.64	41.03	35.53	5.50
499	14250	TLAL	253772.6	9.60	70.88	10.61	18.51	0.00	0.00	1.00	15.46	8.34	41.00	35.55	5.46

500	14267	TLAL	116366.8	13.30	39.68	5.53	36.39	18.40	0.00	1.00	15.47	8.49	40.50	32.03	8.47
501	14300	TLAL	28496.23	2.20	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	24.78	9.94	42.00	30.71	11.29
502	14307	TLAL	41060.72	3.18	52.99	47.01	0.00	0.00	0.00	1.00	12.39	46.06	41.85	30.63	11.22
503	14310	TLAL	55286.54	15.06	23.80	13.85	62.35	0.00	0.00	1.00	21.43	11.62	42.68	31.30	11.38
504	14310	TLAL	154987.43	18.67	19.34	14.57	20.79	0.00	45.30	1.00	21.68	7.11	42.43	31.03	11.40
505	14325	TLAL	49201.35	4.19	60.29	39.71	0.00	0.00	0.00	1.00	7.37	26.24	40.21	29.00	11.22
506	14328	TLAL	27719	14.57	10.13	29.87	60.00	0.00	0.00	1.00	0.86	4.82	41.10	30.13	10.97
507	14330	TLAL	142510.83	8.97	31.80	39.66	28.54	0.00	0.00	1.00	15.89	9.23	39.93	29.06	10.86
508	14334	TLAL	64302.13	11.92	43.80	35.04	21.16	0.00	0.00	1.00	11.27	9.43	39.81	28.62	11.19
509	14336	TLAL	41757.48	14.07	30.79	21.07	0.00	48.15	0.00	0.00	9.71	10.10	39.35	28.19	11.15
510	14339	TLAL	29262.23	10.07	44.28	55.72	0.00	0.00	0.00	1.00	4.92	10.95	39.33	28.25	11.08
511	14340	TLAL	38965.25	27.26	3.74	8.22	45.83	42.21	0.00	1.00	37.83	11.28	42.63	31.32	11.31
512	14350	TLAL	164880.74	14.81	8.39	7.09	22.25	62.28	0.00	1.00	19.67	13.84	42.32	31.07	11.26
513	14358	TLAL	216565.55	12.73	14.17	17.05	5.87	62.91	0.00	1.00	19.41	16.72	42.22	31.54	10.68
514	14360	TLAL	100748.39	3.63	57.66	11.22	31.12	0.00	0.00	1.00	3.45	28.72	39.86	28.84	11.02
515	14370	TLAL	321984.99	15.53	17.36	19.08	16.77	19.64	27.15	1.00	21.22	10.17	42.49	31.49	11.00
516	14376	TLAL	438981.25	20.59	4.09	3.19	15.04	10.70	66.97	1.00	9.46	21.01	42.35	31.78	10.58
517	14380	TLAL	41152.17	23.44	15.60	12.72	20.89	50.78	0.00	0.00	64.60	4.63	41.75	31.73	10.03
518	14380	TLAL	171425.82	41.35	3.20	3.20	19.43	55.10	19.06	1.00	38.90	4.66	42.17	32.44	9.73
519	14388	TLAL	252809.39	11.32	8.72	18.91	50.46	21.91	0.00	1.00	11.74	13.82	42.08	32.75	9.33
520	14390	TLAL	135384.28	17.80	24.86	33.31	27.42	14.41	0.00	1.00	33.75	5.13	41.87	31.49	10.38
521	14390	TLAL	108912.57	7.72	70.22	16.03	13.75	0.00	0.00	1.00	19.46	9.09	41.67	31.00	10.68
522	14390	TLAL	153260.49	20.42	7.28	2.87	26.68	63.17	0.00	1.00	8.81	10.73	41.65	30.82	10.83
523	14390	TLAL	86485.33	24.03	20.01	14.32	24.96	40.71	0.00	0.00	6.50	5.18	42.13	31.27	10.86
524	14410	TLAL	38413.07	2.52	51.39	48.61	0.00	0.00	0.00	1.00	2.40	51.08	40.95	33.46	7.49
525	14420	TLAL	69995.82	0.43	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.56	87.96	42.01	40.11	1.90
526	14420	TLAL	19711.27	61.72	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	0.00	19.80	0.00	42.22	41.89	0.33
528	14427	TLAL	33918.97	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	17.51	0.00	42.30	42.41	-0.11
529	14429	TLAL	49709.55	8.23	8.73	0.00	0.00	91.27	0.00	0.00	6.70	76.12	42.36	42.54	-0.17
530	14430	TLAL	519916.91	7.75	28.41	14.66	19.43	37.49	0.00	1.00	6.31	15.25	41.93	39.36	2.58
531	14449	TLAL	105134.74	1.95	61.62	38.38	0.00	0.00	0.00	1.00	1.88	38.42	42.52	43.36	-0.83
532	14608	TLAL	328940.13	25.72	11.92	14.36	14.11	22.14	37.47	1.00	48.88	6.10	42.00	33.59	8.41
533	14620	TLAL	752355.01	62.67	1.78	3.19	1.74	17.91	75.38	1.00	28.85	5.60	41.54	34.31	7.23
534	14630	TLAL	159132.85	15.12	18.94	25.30	55.76	0.00	0.00	1.00	14.92	9.03	41.87	38.71	3.15
535	14640	TLAL	474323.4	5.92	31.66	39.55	28.79	0.00	0.00	1.00	11.38	14.68	41.92	37.94	3.98
536	14646	TLAL	118004.72	8.59	59.38	7.97	32.65	0.00	0.00	1.00	5.40	10.14	42.04	37.09	4.95
537	14720	TLAL	31718.8	7.55	80.06	19.94	0.00	0.00	0.00	1.00	13.65	6.67	40.29	32.40	7.89
538	14739	TLAL	213588.24	14.89	42.79	20.16	6.83	30.22	0.00	1.00	17.74	6.35	40.38	32.77	7.61
539	14748	TLAL	159205.18	11.10	48.37	19.65	31.97	0.00	0.00	1.00	13.44	9.13	40.77	34.51	6.26
540	15000	VCA	1047710.12	11.89	33.66	6.71	10.02	17.21	32.40	1.00	14.72	9.89	28.49	14.11	14.38
541	15020	VCA	461435.05	8.60	37.19	7.53	28.06	27.23	0.00	1.00	9.29	9.25	29.92	16.70	13.22
542	15120	VCA	64700.87	16.18	21.01	55.50	23.49	0.00	0.00	1.00	37.80	7.60	26.16	9.15	17.01
543	15220	VCA	121452.99	10.32	48.64	9.38	0.00	41.98	0.00	1.00	6.76	9.32	30.51	11.39	19.11
544	15240	VCA	239933.37	33.41	0.40	1.14	3.49	14.30	0.00	1.00	23.12	5.16	28.85	11.70	17.15
545	15270	VCA	925277.99	5.94	82.53	9.09	2.81	5.57	0.00	1.00	12.63	9.32	28.26	10.62	17.65

546	15290	VCA	122707.39	8.36	68.74	9.37	21.89	0.00	0.00	1.00	17.67	7.58	26.55	9.57	16.98
547	15300	VCA	260197.05	7.53	64.15	18.91	16.94	0.00	0.00	1.00	15.79	10.40	29.86	13.48	16.38
548	15320	VCA	63587.49	7.38	61.73	38.27	0.00	0.00	0.00	1.00	10.75	10.57	28.07	11.76	16.30
549	15340	VCA	165815.22	9.99	64.59	10.23	25.19	0.00	0.00	1.00	21.14	7.50	27.82	11.25	16.57
550	15370	VCA	161285.66	11.09	32.42	21.02	26.11	20.44	0.00	1.00	33.25	7.16	27.89	11.56	16.33
551	15390	VCA	68014.98	5.83	68.94	31.06	0.00	0.00	0.00	1.00	8.35	10.47	26.83	10.04	16.78
552	15420	VCA	117549.01	5.56	79.63	0.00	20.37	0.00	0.00	1.00	10.77	8.88	30.38	15.73	14.64
553	15450	VCA	149589.18	8.90	84.24	2.73	13.03	0.00	0.00	1.00	20.49	5.89	29.36	14.09	15.27
554	15500	VCA	653499.25	11.97	55.08	11.98	12.47	20.48	0.00	1.00	28.56	7.29	27.20	10.77	16.43
555	15530	VCA	2481313.74	8.34	61.21	17.62	11.18	9.99	0.00	1.00	13.52	7.17	28.87	13.98	14.88
556	15600	VCA	190387.55	19.19	25.84	38.40	35.75	0.00	0.00	1.00	62.82	4.45	31.56	19.35	12.21
559	15640	VCA	78010.63	1.75	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	5.66	40.35	31.50	19.22	12.28
560	15670	VCA	384065.33	2.98	91.05	8.95	0.00	0.00	0.00	1.00	6.31	17.25	30.80	18.04	12.76
561	15700	VCA	874223.01	8.01	57.28	7.97	17.38	17.38	0.00	1.00	10.00	8.97	29.06	14.95	14.11
562	15730	VCA	12784.46	18.61	21.07	78.93	0.00	0.00	0.00	1.00	22.34	5.66	29.71	16.13	13.58
563	15800	VCA	248299.24	2.35	84.66	70.70	0.00	0.00	0.00	1.00	4.67	13.79	26.56	10.28	16.28
564	15830	VCA	166222.47	4.12	38.23	43.12	18.65	0.00	0.00	1.00	33.34	24.73	26.63	9.79	16.84
565	15870	VCA	39060.52	14.70	35.70	15.05	49.26	0.00	0.00	1.00	16.44	7.45	26.51	9.68	16.83
566	15900	VCA	2871213.15	21.69	23.16	12.77	13.77	12.48	24.62	1.00	39.70	5.64	26.96	10.92	16.04
567	15940	VCA	8058.11	9.44	43.18	56.82	0.00	0.00	0.00	1.00	14.95	12.03	27.44	10.33	17.11
568	15970	VCA	675820.25	25.17	14.60	13.61	15.60	18.91	37.27	1.00	105.51	4.79	26.16	9.19	16.98
569	16000	XOC	110417.81	14.08	16.91	30.19	8.07	44.83	0.00	1.00	12.80	12.98	41.50	35.00	6.50
570	16010	XOC	90142.73	12.49	28.08	12.63	0.00	59.29	0.00	1.00	14.75	15.03	41.62	32.09	9.53
571	16010	XOC	31706	2.97	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	20.19	17.45	41.79	32.62	9.17
572	16010	XOC	111671.07	9.35	24.78	38.27	36.96	0.00	0.00	0.00	8.30	9.73	41.58	32.84	8.75
573	16010	XOC	115255.98	29.10	21.77	9.62	18.91	8.85	40.85	1.00	46.39	3.80	41.74	31.91	9.82
574	16020	XOC	1180036.2	22.60	12.13	12.85	20.60	33.88	20.53	1.00	22.66	7.37	41.72	33.29	8.43
575	16029	XOC	96892.23	17.95	15.10	16.75	32.18	35.97	0.00	1.00	5.59	13.36	41.60	34.18	7.42
576	16030	XOC	44307.05	4.02	81.17	18.83	0.00	0.00	0.00	1.00	0.99	13.04	41.46	33.31	8.14
577	16030	XOC	498552.84	22.56	12.95	7.71	11.08	13.80	54.46	0.00	4.34	7.04	41.44	32.85	8.59
578	16030	XOC	23569.16	7.43	76.31	23.69	0.00	0.00	0.00	1.00	6.74	9.85	41.53	33.90	7.63
579	16038	XOC	350841.55	7.46	41.61	36.78	8.11	13.49	0.00	1.00	8.57	13.40	41.57	34.23	7.34
580	16040	XOC	188674.64	3.75	29.28	50.88	19.84	0.00	0.00	1.00	3.44	12.79	41.37	34.73	6.64
581	16050	XOC	126421.75	12.20	30.77	7.92	0.00	61.31	0.00	0.00	43.91	10.62	41.77	35.15	6.61
582	16050	XOC	585090.76	18.77	22.36	11.35	15.46	14.67	36.16	1.00	20.08	5.55	41.70	35.35	6.35
583	16057	XOC	670727.22	21.05	12.26	8.13	15.60	18.29	45.72	0.00	24.55	5.57	41.61	36.08	5.52
584	16070	XOC	149798.69	6.07	18.09	18.80	14.75	48.35	0.00	1.00	2.71	17.79	41.36	35.04	6.32
585	16070	XOC	135987.01	9.04	28.48	22.44	49.09	0.00	0.00	1.00	8.71	11.18	41.46	35.34	6.12
586	16080	XOC	57578.05	15.40	10.46	18.90	36.22	34.42	0.00	1.00	15.87	4.02	41.28	35.42	5.86
587	16090	XOC	1084412.71	26.32	20.12	13.67	17.50	12.75	35.96	1.00	16.39	5.03	41.41	36.22	5.19
589	16300	XOC	50252.91	18.65	23.79	32.15	44.06	0.00	0.00	1.00	46.40	6.73	41.46	36.61	4.85
591	16410	XOC	261735.9	38.83	13.21	7.57	13.63	22.87	42.72	1.00	44.10	3.23	41.36	36.65	4.71
592	16629	XOC	131784.4	28.19	10.18	5.01	2.60	0.00	82.20	0.00	14.23	10.72	40.98	44.04	-3.06
593	16770	XOC	168852.52	23.15	10.16	1.95	18.35	0.00	69.54	0.00	9.04	12.60	41.00	44.63	-3.64
594	16797	XOC	146210.32	12.47	28.49	15.97	35.80	19.75	0.00	0.00	10.59	12.18	41.00	44.96	-3.96

## ANEXO 2. Base de datos con unidad de análisis a nivel de manzana

Para esta base de datos usamos la misma nomenclatura de las variables declaradas en el capítulo 3.

SVU	Nombre de la estación	Delegación	Latitud	Longitud	Superficie de la manzana	Hora <sub>1</sub>	Hora <sub>2</sub>	Y	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>
1	Ajusco Medio	Tlalpan	19.272100	-99.207658	62081.08	67	57	10	34.80	1	19.08
2	Benito Juárez	Benito Juárez	19.371612	-99.158969	79227.72	34	22	12	25.60	1	9.22
3	Camarones	Azcapotzalco	19.468404	-99.169794	6499.77	27	14	13	32.70	1	2.40
4	Centro de Ciencias de la Atmósfera	Coyoacán	19.326200	-99.176100	397016.08	59	50	9	55.80	1	1.64
5	Coyoacán	Coyoacán	19.350258	-99.157101	111445.55	61	39	22	30.30	1	3.80
6	Gustavo A. Madero	Gustavo A. Madero	19.482700	-99.094517	255875.27	33	25	8	16.20	0	4.93
7	Hospital General de México	Cuauhtémoc	19.411617	-99.152207	129798.23	25	20	5	18.60	1	4.08
8	Iztacalco	Iztacalco	19.384413	-99.117641	3003.20	54	39	15	18.60	1	18.66
9	Merced	Venustiano Carranza	19.424610	-99.119594	53210.86	20	7	13	22.00	1	5.66
10	Miguel Hidalgo	Miguel Hidalgo	19.404050	-99.202603	5579.55	22	24	-2	2.70	1	7.80
11	Pedregal	Álvaro Obregón	19.325146	-99.204136	23516.31	83	58	25	81.10	1	1.39
12	San Juan de Aragón	Gustavo A. Madero	19.452592	-99.086095	38571.94	59	29	30	35.90	1	3.90
13	Santa Fe	Cuajimalpa de Morelos	19.357357	-99.262865	257164.92	36	19	17	74.90	0	8.30
14	UAM Iztapalapa	Iztapalapa	19.360794	-99.073880	287804.23	83	57	26	49.90	0	2.80
15	UAM Xochimilco	Coyoacán	19.304441	-99.103629	316178.34	73	61	12	56.80	0	1.31