

El efecto de los árboles urbanos del parque El Ejido en la regulación del microclima de Quito: interacción entre medio ambiente, salud y bienestar

Paulina Guarderas¹, Marcela Coello¹ y Xavier Silva¹

¹Carrera de Ciencias Biológicas y Ambientales, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Central del Ecuador

Rev Fac Cien Med (Quito), 2016; 41 (1): 81-90

Recibido: 17/01/16; Aceptado: 21/02/16

Correspondencia:

Paulina Guarderas

Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Central del Ecuador

apguarderas@uce.edu.ec

Resumen

La presente investigación observacional y transversal evaluó el efecto de regulación microclimática de árboles urbanos en el parque El Ejido de la ciudad de Quito. Se comparó la temperatura, intensidad de luz y humedad relativa debajo de la sombra de las especies predominantes de árboles en el parque, comparado con áreas abiertas del mismo espacio público. Los resultados muestran valores significativamente inferiores bajo la sombra de los árboles en comparación con los espacios abiertos del parque para las variables de intensidad de luz (U Mann-Whitney $p = 0,001$) y temperatura promedio (U Mann-Whitney $p = 0,006$), mientras que, a pesar de observarse valores mayores de humedad relativa debajo de los árboles, no existen diferencias significativas con los valores registrados en espacios abiertos. La temperatura promedio bajo la sombra de los árboles fue de $20,96^{\circ}\text{C}$ versus $22,50^{\circ}\text{C}$ registrada en el espacio abierto, lo que demuestra un efecto de reducción de $1,55^{\circ}\text{C}$ en la temperatura ambiental promedio. En relación a los efectos de las diferentes especies de árboles evaluadas, se aprecia que el plátan (*Platanus aserifolia*), el ciprés (*Cupressus macrocarpa*) y la acacia (*Acacia melanoxylon*) aportan de manera diferencial en la regulación térmica. Estas diferencias interespecíficas son consistentes para las variables de temperaturas máximas e intensidad lumínica promedio y máxima, variables que muestran diferencias estadísticamente significativas (Kruskal Wallis $p < 0,001$). Se concluye que los árboles urbanos aportan significativamente en la regulación microclimática, un servicio ecosistémico relevante en el contexto actual donde las urbes pueden contribuir a la mitigación y adaptación al cambio climático.

Palabras clave: regulación microclimática, árboles urbanos, Quito, servicios ecosistémicos, regulación térmica

Abstract

The present observational and cross-sectional research has evaluated the role of the urban trees of El Ejido park of the city of Quito in the microclimatic regulation. Temperature, light intensity and relative humidity under the shade of prevalent tree species in the park were compared with open areas in the same public space. The results showed significantly lower values under the shade of the trees compared to the open spaces of the park for the variables of light intensity (U Mann-Whitney $p = 0.001$) and average temperature (U Mann-Whitney $p = 0.006$), whereas, despite higher values of relative humidity under the trees, there are no significant differences with the values registered in open spaces. The average temperature under the shade of the trees was of 20.96°C versus 22.50°C in the open space which demonstrates a reduction effect of 1.55°C in the average ambient temperature. Related to the effects of the different species of trees evaluated, *Platanus (Platanus aserifolia)*, cypress (*Cupressus macrocarpa*) and acacia (*Acacia melanoxylon*) contributed in a differential way in thermal regulation. These interspecific differences are consistent for the variables of maximum temperatures and average and maximum light intensities, variables that show statistically significant differences (Kruskal Wallis $p < 0.001$). It is



concluded that urban trees contribute significantly to microclimate regulation, a relevant ecosystem service in the current context of climate change where cities can contribute to heat mitigation.

Introducción

La población humana crece de una manera acelerada y constante; según un reporte la Organización de las Naciones Unidas, la población alcanzó 7200 millones de personas en el año 2014 (Centro de Noticias ONU). Esta numerosa población urbana genera, entre otros efectos, un constante cambio en la geografía de sus asentamientos observado, especialmente de ciudades en rápida expansión. El fenómeno puede evidenciarse a nivel local, regional y global, pues el humano elimina zonas de vegetación natural reemplazando con concreto y asfalto o bien creando industrias que generan aumento en la temperatura ambiental. En varias ciudades se ha evidenciado un gradiente de temperatura cuyo cúspide se encuentra en zonas de alta concentración urbana bajando hasta zonas rurales y de bosques naturales alejados de las urbes; este efecto urbano se le conoce como isla de calor ⁽¹⁾. La vegetación, debido a sus características fisonómicas naturales, absorbe varias afectaciones ambientales de origen humano como la precipitación de CO₂ y el ruido con mayor presencia en mega ciudades, justifica plenamente la conservación y expansión del medio ambiente natural como conservador de energía pasiva y viceversa ⁽²⁾. Si bien, los efectos de las áreas verdes en la regulación de la temperatura ambiental, los efectos de las islas de calor urbanas y evaluaciones del cambio climático a nivel local son estudiadas en ciudades alrededor del mundo, se cuentan con escasos estudios de esta temática en ciudades latinoamericanas ⁽³⁾, menos aún en urbes ecuatorianas. Es importante señalar que la latitud ecuatorial, además de la elevada altitud (2800 msnm) donde se localiza la ciudad de Quito, presenta una serie de características únicas e interesantes para explorar y caracterizar efectos del microclima en ecosistemas urbanos y su contribución al clima global.

En las últimas décadas, la ciudad de Quito evidenció un crecimiento urbano acelerado; los grandes edificios atrapan más calor del sol, son barreras eólicas; afectan la sombra vegetal en áreas verdes de parques. Según datos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, se ha detectado un incremento sostenido de la temperatura en la ciudad de Quito; el aumento registrado ha sido de 0,8 °C desde el año 1960 hasta 2006; mientras que los registros térmicos promedio registrados en la ciudad sugieren un incremento de 0,9°C en la última década ⁽⁴⁾

Desde la implementación de la Ordenanza Municipal N° 213, una regulación orientada a la prevención y control del medio ambiente, se han incrementado áreas verdes en el Distrito Metropolitano de Quito, contando hasta el año 2015 con más de 149000 hectáreas, lo cual permite disponer en la urbe de un alto índice verde (20,9 m² por habitante), que supera lo recomendado por la OMS (9 m²) por habitante ⁽⁵⁾. Pese a este beneficio, se tiene un conocimiento limitado sobre la relación entre los servicios ambientales que proveen estas áreas y su cobertura vegetal en la cantidad de oxígeno que producen, el porcentaje de CO₂ que capturan o en el rol que cumplen con relación a la regulación del clima local.

Con estos antecedentes, la presente investigación planteó como objetivo evaluar el efecto de regulación microclimática que proporcionan los árboles urbanos predominantes en el parque El Ejido de la ciudad de Quito en relación con áreas abiertas descubiertas de árboles; además, comparar si las distintas especies evaluadas tienen un efecto diferencial en las variables climáticas estudiadas: temperatura ambiental, intensidad de luz y humedad relativa bajo de la sombra de los árboles.

Material y métodos

Previo al inicio del proyecto se realizó un muestreo aleatorio, utilizando cuadrantes de 10 x 10 m², para evaluar la estructura de la comunidad de especies arbóreas del parque El Ejido y, así, determinar las especies más representativas del parque que corresponden a los objetos de estudio. Tanto la fase del muestreo de la comunidad arbórea como el desarrollo del proyecto de determinación del efecto de regulación microclimática de los árboles en el parque urbano se ejecutó con apoyo de estudiantes de la Carrera de Ciencias Biológicas y Ambientales de la Facultad de Ciencias Médicas de la Universidad Central del Ecuador como proyecto de investigación formativa. Las coordenadas geográficas del parque El Ejido son: 0°12'32.58"S, 78°29'55.05"O.

El registro de las variables ambientales se levantó entre marzo y abril de 2016, durante las horas de mayor intensidad lumínica (11h00 y 14h00). Se registraron las variables ambientales temperatura (T), humedad relativa (Hr) e intensidad de luz (Il), con sensores específicos en intervalos de diez minutos (HOBO Data loggers U23-001 y UA-002-64) para estas variables, instalados a una altura de 1.5 metros sobre el suelo, tanto debajo de la sombra de cada árbol como en un área aledaña desprovista de cobertura vegetal de 60 especímenes escogidos aleatoriamente de seis especies de árboles y/o arbustos predominantes del

parque El Ejido; paralelamente se midió las variables climáticas en espacios abiertos de este espacio público⁽⁶⁾. A partir del registro de las variables meteorológicas, se obtuvo valores promedio diarios (máximos y mínimos) en cada árbol y lugar previamente seleccionado, a fin de obtener mediciones independientes y de relevancia ecológica.

Una vez que no se comprobó la homogeneidad y homocedasticidad de los datos mediante las pruebas de Kolmogorov-Smirnov y el test de Levene, se realizaron pruebas estadísticas no paramétricas (U Mann-Whitney) para comparar el efecto de la sombra de los árboles frente a los espacios abiertos del parque sobre las variables de temperatura, intensidad de luz y humedad relativa; así mismo, se realizaron estas pruebas estadísticas no paramétricas (Kruskal Wallis) para evaluar si las especies estudiadas presentaron diferencias sobre el efecto microclimático de la sombra de los árboles.

Resultados

La tabla 1 incluye especies de árboles y/o arbustos que forman parte de la flora del parque El Ejido, espacio público localizado en el centro norte de la ciudad de Quito. La identificación de las distintas especies se realizó en el periodo marzo-abril de 2016; por su frecuencia destacan el tilo (*Sambucus nigra*), sauce (*Salix babilónica*), ciprés (*Cupressus macrocarpa*), acacia (*Acacia melanoxylon*), aliso (*Alnus acuminata*) y platán (*Platanus acerifolia*). Predominan especies introducidas siendo el aliso una especie nativa. En la misma tabla constan valores promedio del diámetro a la altura del pecho (DAP), altura del árbol y ancho de la copa. Se estudiaron árboles que poseen un DAP (variación entre 11,80 cm del tilo a 34,66 cm que posee el platán); la altura de los árboles varió entre 6,18 m a más de 10 m y un diámetro de copa o corona entre 4,43 m a 7,92 m (ver tabla 1).

Tabla 1. Medidas morfométricas de las especies predominantes de árboles y arbustos del parque El Ejido, valor promedio de cada variable con intervalos de confianza (LI límite inferior y LS límite superior).

Especie	Procedencia	DAP (cm)	IC 95% de la media		Altura (m)	IC 95% de la media		Diámetro corona (m)	IC 95% de la media	
			LI	LS		LI	LS		LI	LS
<i>Sambucus nigra</i>	Introducida	11,80	9,82	13,79	6,18	4,98	7,38	4,43	3,69	5,17
<i>Salix babilónica</i>	Introducida	14,93	11,10	18,76	8,14	6,10	10,17	4,71	3,40	6,02
<i>Cupressus macrocarpa</i>	Introducida	21,61	17,97	25,26	12,67	9,68	15,66	6,32	5,03	7,62
<i>Acacia melanoxylon</i>	Introducida	21,80	18,87	24,73	15,37	13,36	17,38	5,99	4,94	7,04
<i>Alnus acuminata</i>	Nativa	22,19	19,50	24,88	21,51	15,49	27,52	8,16	7,13	9,18
<i>Platanus acerifolia</i>	Introducida	34,66	27,74	41,59	10,98	10,00	11,96	7,92	6,69	9,14

DAP Diámetro a la altura del pecho

La figura 1 presenta el efecto de la sombra de los árboles en contraste con la acción directa que ejerce la radiación solar sobre el espacio abierto del parque, determinándose tres variables meteorológicas: temperatura, humedad relativa e intensidad de luz. La temperatura promedio bajo la sombra de los árboles fue 20,96°C versus 22,50°C registrada en el espacio abierto (figura 1); esta disminución de la temperatura ambiental promedio de 1,55°C es estadísticamente significativa (U Mann-Whitney p =0,006). Respecto a la intensidad lumínica, existe diferencia significativa al comparar la medición bajo la sombra de los árboles comparado con el espacio abierto del parque (U Mann-Whitney p =0,001). La variable humedad relativa es mayor bajo la sombra de los árboles, sin embargo, no existe diferencia significativa respecto a la humedad relativa medida en los espacios abiertos del parque (figura 1).

Figura 1. Efecto de la sombra de los árboles sobre la temperatura (A), la humedad relativa (B) y la intensidad de luz (B) promedio en comparación con la influencia directa de la radiación solar sobre los espacios abiertos en el Parque El Ejido. Las barras representan el 95% intervalo de confianza para la media.

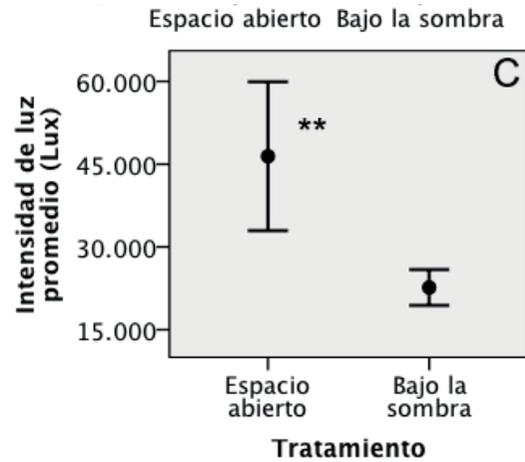
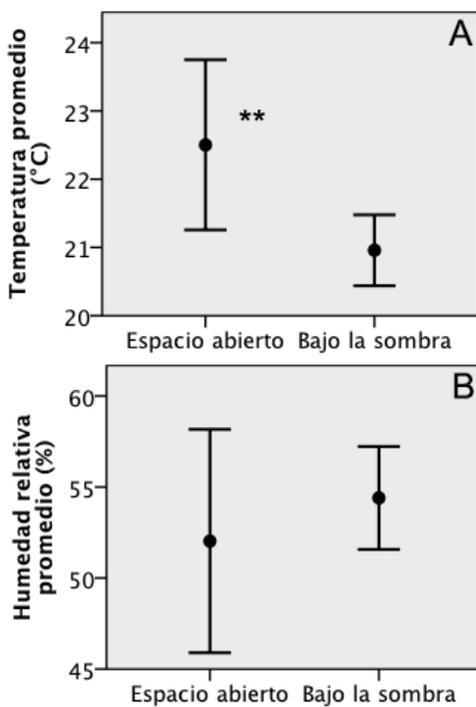
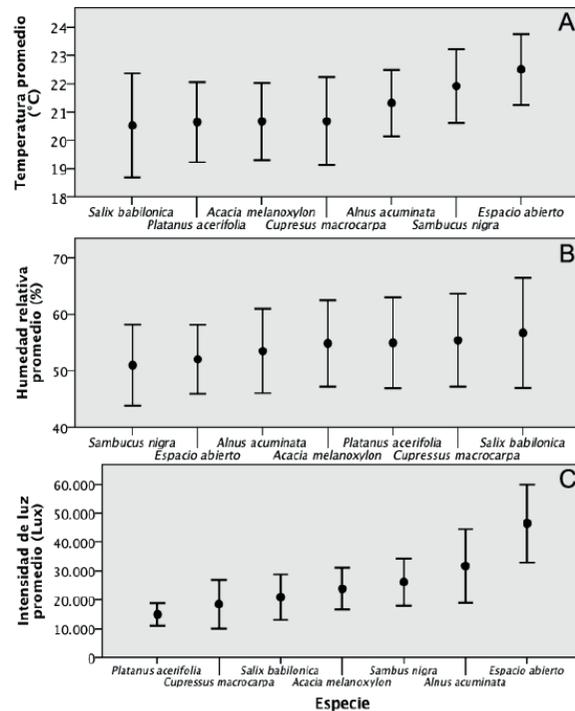


Figura 2. Efecto de la sombra de las especies de árboles más abundantes sobre la temperatura (A), la humedad relativa (B) y la intensidad de luz (C) en comparación con la influencia directa de la radiación solar sobre los espacios abiertos en el Parque El Ejido. Las barras representan el 95% intervalo de confianza para la media.



Los valores máximos de las variables temperatura e intensidad lumínica presentan diferencias significativas entre el espacio abierto y bajo la sombra de los árboles (U Mann-Whitney p=0,001, ver tabla 2). Se observa una diferencia en la temperatura máxima de cerca de 2°C entre el espacio abierto y debajo de la sombra de los árboles (tabla 2); sobre la intensidad

de luz máxima en el espacio abierto, fue casi el doble que bajo la sombra de los árboles (tabla 2). Los valores mínimos de las tres variables estudiadas no presentaron diferencias significativas entre el espacio abierto y bajo la sombra de los árboles; así mismo,

ninguno de los valores de humedad relativa (promedio, máximo o mínimo) presentaron diferencias significativas entre los tratamientos observados (sombra *versus* espacio abierto) (tabla 2).

Tabla 2. Efecto de la sombra de los árboles en el parque El Ejido sobre variables climáticas (mínimas y máximas). LI = Límite inferior y LS = Límite superior del intervalo de confianza; ** = variables que presentan diferencias estadísticamente significativas entre los grupos.

Variable	N	Media	Intervalo de confianza para la media al 95%	
			LI	LS
Temperatura máxima **	20	25,43	24,15	26,71
	60	23,59	22,99	24,18
Temperatura mínima	20	19,44	17,94	20,95
	60	18,82	18,11	19,53
Intensidad de luz máxima **	20	106029,06	71994,32	140063,79
	60	55657,55	43103,03	68212,07
Intensidad de luz mínima **	20	12291,12	8084,22	16498,01
	60	8089,50	6403,83	9775,16
Humedad relativa máxima	20	63,16	55,04	71,29
	60	64,11	60,41	67,82
Humedad relativa mínima	20	42,16	37,61	46,72
	60	44,99	42,82	47,17

Se examinaron también diferencias de las variables climáticas entre las distintas especies estudiadas y el espacio abierto del parque; a partir de este análisis se aprecia que el platán (*Platanus aserifolia*), el ciprés (*Cupressus macrocarpa*) y la acacia (*Acacia melanoxylon*) aportan de manera diferencial en la regulación térmica (tabla 3). Estas diferencias interespecíficas son consistentes para las variables de temperaturas máximas e intensidad lumínica promedio y máxima, variables que muestran diferencias estadísticamente significativas (Kruskal Wallis $p < 0,001$). La temperatura máxima en el espacio abierto tuvo un valor promedio entre los distintos días de muestreo de 25,4°C, mientras que la variación de esta variable entre las distintas especies de árboles fue de 22,3 a 24,6°C; (tabla 3). La intensidad lumínica promedio registró un valor mayor de 64000 lux en el espacio abierto y una variación entre 14000 lux y más de 31000 entre las distintas especies de árboles.

Tabla 3. Efecto de la sombra de los árboles en el parque El Ejido sobre variables climáticas (mínimas y máximas). LS = Límite inferior y LS = Límite superior del intervalo de confianza; ** = variables que presentan diferencias estadísticamente significativas entre los grupos.

Especie - tratamiento	N	Temperatura máxima (°C) **	Intervalo de confianza para la media al 95%		Intensidad de luz máxima (Lux) **	Intervalo de confianza para la media al 95%		Humedad Relativa máxima (%)	Intervalo de confianza para la media al 95%	
			LI	LS		LI	LS		LI	LS
Espacio abierto	20	25,43	24,15	26,71	106029,06	71994,32	140063,79	63,16	55,04	71,29
<i>Alnus acuminata</i>	10	24,19	23,26	25,12	106851,55	51108,93	162594,17	61,45	52,55	70,36
<i>Acacia melanoxylon</i>	10	22,37	20,86	23,87	45398,08	19832,92	70963,24	63,03	53,82	72,25
<i>Cupressus macrocarpa</i>	10	22,32	20,67	23,97	37475,81	14249,19	60702,43	64,21	54,69	73,73
<i>Platanus acerifolia</i>	10	22,84	20,86	24,81	24731,27	18591,73	30870,81	63,64	53,42	73,86
<i>Salix babilonica</i>	10	25,18	24,30	26,06	57867,05	37716,23	78017,87	73,01	59,40	86,62
<i>Sambucus nigra</i>	10	24,63	22,89	26,37	61621,52	32048,12	91194,92	59,33	50,18	68,47

Especie - tratamiento	N	Temperatura mínima (°C)	Intervalo de confianza para la media al 95%		Intensidad de luz mínima (Lux)	Intervalo de confianza para la media al 95%		Humedad relativa mínima (%)	Intervalo de confianza para la media al 95%	
			LI	LS		LI	LS		LI	LS
Espacio abierto	20	19,44	17,94	20,95	12291,12	8084,22	16498,01	42,16	37,61	46,72
<i>Alnus acuminata</i>	10	19,39	17,62	21,16	9905,15	3379,28	16431,02	45,12	38,70	51,54
<i>Acacia melanoxylon</i>	10	18,99	17,19	20,79	9808,11	5266,30	14349,92	47,18	40,80	53,56
<i>Cupressus macrocarpa</i>	10	18,86	16,86	20,86	7187,09	3786,37	10587,81	47,14	40,58	53,70
<i>Platanus acerifolia</i>	10	18,85	17,01	20,69	6463,75	3590,87	9336,63	47,26	40,35	54,17
<i>Salix babilonica</i>	10	17,36	14,80	19,93	7388,37	1677,13	13099,61	40,40	36,98	43,81
<i>Sambucus nigra</i>	10	19,47	17,65	21,28	7784,50	3165,13	12403,87	42,86	37,33	48,39

En el caso de la temperatura promedio, en el espacio abierto la temperatura es mayor (22,5 °C) que bajo la sombra de las distintas especies de árboles, cuyos valores oscilan entre 20,5 y 21,9 °C. No se observan diferencias estadísticamente significativas. Las especies de árboles con menores temperaturas debajo de su copa fueron el sauce, el platán y la acacia. En relación a la humedad relativa entre las distintas especies en el espacio abierto presenta mayor humedad relativa que bajo la sombra de los árboles (figuras 1 y 2, tabla 3); sin embargo estas tendencias no son estadísticamente significativas. Es importante resaltar que las especies que muestran mayor humedad relativa debajo de la copa de sus copas son el sauce con 56%, seguido del ciprés con 55% (figura 2).

Discusión

Las ciudades pueden ser consideradas como importantes laboratorios vivos que permiten analizar problemáticas sociales y ecológicas fundamentales como el entendimiento del papel que cumplen los espacios verdes urbanos en la prestación de servicios ecosistémicos⁽³⁾. Quedó en la realidad nuestra comprensión ecológica quedó relegada a las áreas no urbanas, principalmente debido a la noción ampliamente extendida de que los seres humanos alteran las condiciones y procesos ecológicos naturales que los científicos están tratando de entender⁽³⁾. Limitados estudios abordan los efectos ecológicos del crecimiento urbano en los países en desarrollo, donde los niveles de biodiversidad son más altos y la urbanización progresa rápidamente⁽⁷⁾. En este contexto, el estudio constituye un aporte importante para la ecología urbana, ya que permite entender el rol que cumplen las áreas verdes en la regulación microclimática en la ciudad de Quito, urbe ubicada en una de las zonas más biodiversas del mundo⁽⁸⁾. Así mismo, por la perspectiva aplicada de la presente investigación, aporta estrategias de mitigación y adaptación para reducir los efectos negativos de las actividades humanas, en particular aquellas relacionadas con el cambio climático.

En el proyecto se encontró que la diferencia térmica entre la zona abierta y la sombra provocada por los árboles es de 1,5 °C, con una variación de 1,16 a 2,53 °C; estudios similares realizados en latitudes subtropicales, como en el caso de la ciudad de Taipei, demuestran un efecto significativo de disminución de la temperatura promedio del aire, varía entre 0,64 a 2,52 °C⁽⁶⁾; lo que demuestra la similitud de los resultados. Se comparó solamente las variables meteorológicas en el aire a una altura de 1,5 m desde el suelo entre zonas abiertas y bajo de la sombra de los árboles; los investigadores Lin y Lin⁽⁶⁾ evaluaron también la diferencia a nivel del suelo, demostrando que el efecto de reducción de la temperatura a nivel del suelo puede ser tan alto como 3,28 a 8,07 °C⁽⁶⁾. Los árboles influyen en los cambios de temperatura ya que interceptan la radiación de luz solar hasta el 90%, sumado a la función de transpiración del agua. Esto se evidencia a la sombra donde percibe fresca y la humedad relativa⁽⁹⁾. En cuanto a la humedad relativa, los resultados del presente estudio demuestran mayores valores bajo la sombra de los árboles, sin embargo, no se aprecia una diferencia significativa con los espacios abiertos del parque, este resultado concuerda con la afirmación de Ochoa de la Torre⁽¹⁰⁾ que aduce que el efecto de un árbol aislado no es muy significativo, ya que desaparece rápidamente debido a los movimientos del aire ya sea por acción del viento o convección. Tal como se describe en el estudio de la ciudad de Taipei⁽⁶⁾; los resultados de este estudio demuestran que distintas espe-

cies de árboles pueden contribuir de manera diferencial en el microclima urbano específicamente, cuando se compararon temperaturas máximas e intensidad de luz promedio y máxima por día; sin embargo, no se observaron diferencias significativas en los valores promedio por día de muestreo en la temperatura, intensidad de luz y humedad relativa como sí se demostró en otros estudios⁽⁶⁾. Según los resultados de Quito, las especies que proveen mayor contribución en la regulación climática son el platán, el sauce y la acacia.

El platán es una especie ampliamente utilizada en los parques urbanos de latitudes templadas⁽¹¹⁾⁽¹²⁾; su uso se justifica por proveer sombra y regular la temperatura y humedad⁽¹⁰⁾, además por su tolerancia a la contaminación ambiental y a la compactación del suelo⁽¹¹⁾. Para condiciones de invierno, la radiación global más baja se observó en el *Platanus acerfolia* que bloqueaba el 58,9 %, pasando a través de su follaje una radiación global del 9,8%⁽¹⁰⁾. Es importante resaltar que el arbolado urbano del parque El Ejido en Quito está compuesto principalmente por especies que no son nativas de estas latitudes. Entre las especies más abundantes del parque sólo dos especies, el aliso (*Alnus acuminata*) y el yaloman (*Delostoma integrifolium*) son especies propias de los ecosistemas andinos. La presente investigación evaluó el efecto de la sombra de los árboles más abundantes del parque, siendo uno de los objetivos, contrastar el efecto de la regulación climática de las especies nativas; debido a que la siembra de especies nativas es reciente, los árboles de yaloman y aliso son relativamente jóvenes en comparación con otros árboles evaluados y no presentaron mejores condiciones de regulación microclimática que otras especies evaluadas. En el caso de los árboles de yaloman, su altura y circunferencia fue muy inferior a los umbrales establecidos para ser considerados en el estudio, por lo que esta especie no se tomó en cuenta para el análisis.

El aliso, la única especie nativa evaluada en el presente estudio, no presentó mejores condiciones que las especies exóticas para la regulación climática en el parque urbano; se requieren complementar con otros estudios que contrasten los servicios ecosistémicos de regulación térmica de adicionales especies de árboles y arbustos nativos como el cholán (*Tecoma stans*), capulí (*Prunus serotina*), cedro (*Cedrela montana*), pumamaquí (*Oreopanax ecuadorensis*), entre otras especies que han cobrado popularidad para la siembra en espacios urbanos y que por sus características morfológicas, podrían tener un rol importante en este servicio ecosistémico. Según Loughner⁽¹³⁾, idealmente, los árboles urbanos deberían ser a) durables, b) tener la capacidad de crecer saludables en un ambiente urbano, c) poseer índices de área

foliar grandes para maximizar el efecto de la sombra, d) intercambiar calor latente y e) deposición de contaminantes. Se sugiere también que los árboles urbanos deberían producir emisiones bajas de compuestos orgánicos volátiles ya que éstos reaccionan con óxidos de nitrógeno y producen ozono troposférico. Se suma el hecho que las tasas de reacción dependen de la temperatura. La decisión para implementar la siembra de árboles urbanos debe balancear los diferentes servicios ecosistémicos que se plantea manejar, entre ellos la provisión de hábitat para especies nativas como aves e invertebrados; la regulación del clima, la estabilización y fertilidad del suelo, la purificación del aire, la disponibilidad de agua, entre otros. Así mismo, otras consideraciones importantes en la composición del arbolado urbano deberían tomar en cuenta la disminución de problemas de manejo como son: podas regulares, caída de ramas y podredumbre de las raíces.

Si bien el presente estudio no contrastó el efecto de regulación microclimática en zonas aledañas del parque urbano como aceras, edificios, calles, entre otras; nuestros resultados sugieren incluso un mayor impacto de regulación microclimática en zonas aledañas ya que éstas presentan materiales constitutivos como el concreto y asfalto, cuyas características de reflectividad determinan mayor absorción térmica que el suelo del parque que está constituido por césped o suelo descubierto. En este contexto, estudios realizados en varios parques urbanos ⁽¹⁴⁾ registraron valores significativos de cambio de la temperatura dentro y fuera del parque ⁽¹⁵⁾; esto contribuye a resaltar la función que tiene la vegetación de los parques urbanos en la regulación de la temperatura ambiental de la ciudad.

En un contexto de cambio climático, el consumo y la producción de recursos para su uso dentro de los entornos urbanos tienen implicaciones locales y regionales para la provisión de servicios ecosistémicos como el hidroclima, la disposición de energía, la salud, y otros factores que intervienen en el bienestar humano ⁽¹⁶⁾. La conversión continua de vegetación natural a paisajes urbanos tiene el potencial de provocar un efecto deletéreo en el clima local y regional, contribuyendo de esta manera al calentamiento global. Actualmente, la decisión de cómo las ciudades opten por expandirse y desarrollarse, será fundamental para definir qué exitosa será la sociedad futura en el tema de la adaptación al cambio climático mundial. Porque las ciudades son, en un sentido real, unidades fundamentales tanto para el incremento del cambio climático como para la adaptación y mitigación; las opciones de desarrollo en el próximo siglo supondrán la exacerbación significativa o la reducción significativa de los impactos del cambio climático global ⁽¹⁷⁾.

Los habitantes de Quito perciben que, en los últimos años, se han experimentado cambios de temperatura en la ciudad. Estas percepciones son corroboradas por estudios realizados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), cuyos reportes muestran que los patrones de temperatura en la ciudad se están alterando; entre 1960 y 2006 la temperatura se incrementó 0,8 °C mientras que en la última década los registros térmicos promedio en la ciudad sugieren un incremento de 0,9°C ⁽⁴⁾. Se estima que en las próximas tres décadas, la variación de temperatura será entre 2° y 3 °C en la capital ecuatoriana. A nivel global, Instituciones internacionales como la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) monitorean el fenómeno de cambio climático ⁽¹⁸⁾. El más reciente informe del clima global demuestra que las temperaturas atmosféricas registran un incremento de 0,85 °C desde el periodo pre-industrial ⁽¹⁸⁾.

Es interesante contrastar que, según los resultados de la presente investigación, el efecto que provocan los árboles en el parque urbano, sometido a estudio, es una reducción de más de un grado de temperatura, además que la intensidad lumínica también se reduce significativamente con la presencia del arbolado urbano y, pese a no existir diferencias significativas en cuanto a la humedad relativa bajo la sombra de los árboles urbanos, las condiciones de humedad relativa son mayores que en zonas descubiertas de vegetación arbórea. De esta manera se comprueba la importancia del arbolado urbano para la regulación del microclima; si bien se requieren mayores estudios para extrapolar los resultados obtenidos hacia la urbe en general, nuestros resultados sugieren un rol importante de los árboles urbanos en la mitigación del cambio climático en las ciudades.

Así mismo los resultados de esta investigación pueden tener implicaciones en la salud humana. La contaminación del aire empeora a medida que aumenta la temperatura ⁽¹⁹⁾; las temperaturas altas provocan un aumento de los niveles de ozono y de otros contaminantes del aire que agravan las enfermedades cardiovasculares y respiratorias. Adicionalmente, los niveles de pólen y otros alérgenos también son mayores en caso de calor extremo; pueden provocar asma ⁽¹⁹⁾, por citar una patología respiratoria.

En el Distrito Metropolitano de Quito, precisamente, los problemas de salud más frecuentes son de carácter respiratorio; el 37,32% del total de enfermedades en la urbe corresponde a enfermedades del aparato respiratorio ⁽²⁰⁾; además que los niveles de contaminación atmosférica en Quito son altos y tienen una tendencia creciente ⁽²¹⁾. Según la Secretaría Metropolitana de Ambiente del DMQ en septiembre de 2015 la contaminación llegó a niveles de precaución en Quito ⁽²²⁾ y justamente, la

temperatura durante este periodo superó niveles históricos; por lo que se evidencia la importancia del arbolado urbano en ciudades como Quito que sufren los efectos nocivos de la contaminación atmosférica asociados al incremento de temperaturas ⁽²³⁾.

Por la localización ecuatorial y altitudinal (a casi 3000 msnm) de la ciudad de Quito los niveles de radiación UV son elevados en esta región del mundo ⁽²⁴⁾. Esta alta radiación solar que recibe la ciudad de Quito y que abarca los nocivos rayos Ultra Violeta (UV) tiene serias implicaciones en la salud humana; las radiaciones de este tipo podría generar alteraciones genéticas en las personas, lo cual podría causar enfermedades como el cáncer ⁽²⁵⁾. Según las estadísticas que maneja SOLCA, en Quito, el cáncer de piel es el que ocupa el primer lugar en afecciones de ese tipo a nivel de la población y dado, que en los últimos años la radiación solar en el territorio nacional ha superado los límites tolerables establecidos por la Organización Mundial de la Salud, las afecciones causadas por la alta incidencia de rayos UV podría exacerbarse ⁽²⁵⁾. En este contexto, la disminución significativa de la intensidad de luz que se aprecia bajo la sombra de los árboles, podría también contribuir en disminuir los efectos nocivos de los rayos UV sobre las personas.

Es ampliamente reconocido que las ciudades pueden alterar el clima local ⁽¹⁾, ⁽²⁶⁾. Esta alteración del clima es causada por la impermeabilidad de las zonas urbanas que disminuye la evapotranspiración, afecta la absor-

ción de la radiación solar, incrementa la liberación de calor antropogénico y produce cambios en la temperatura del aire cerca de la superficie, humedad, velocidad del viento, en el bajo nivel de convergencia, divergencia, convección y precipitación ⁽¹³⁾.

Conclusión

En este contexto la presente investigación, a más de cuantificar el rol del arbolado urbano en la regulación térmica, pretende ampliar el entendimiento sobre el recurso forestal urbano, (numerosos valores y recursos). Los resultados pueden aportar en mejorar las políticas de planificación y gestión para mejorar la salud humana y la calidad ambiental en las zonas urbanas, como estrategias de mitigación y adaptación para reducir los efectos negativos del cambio climático y fomentar la protección de la diversidad biológica.

Agradecimiento:

La presente investigación fue financiada por los fondos semilla de investigación formativa, proyecto cif-cv-fcm-24 de la Universidad Central del Ecuador. Los autores reconocen el apoyo de los estudiantes de la Carrera de Ciencias Biológicas y Ambientales que participaron en el registro de los datos en el campo y en la revisión y procesamiento de la información en bases de datos.

Referencias:

1. Landsberg E. The Urban Climate New York: Academic press; 1981.
2. Spangenberg J. The growth discourse, growth policy and sustainable development: two. Journal of Cleaner Production. 2010;(18).
3. Mc.Donell M. The ecological future of cities. Science. 2016;(352(6288):936-938).
4. Frias E. El Comercio: El clima de Quito tiene sus desfases. 2016 diciembre.
5. Rivadeneira JF. La función ecológica de las áreas verdes en Quito. Disertación. Quito: Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales Sede Ecuador FLACSO; 2014.
6. Lin B, Lin Y. Cooling effect of shade trees with different characteristics in a subtropical urban park. Hortscience. 2010;(45(1):83-86).
7. MacGregor-Fort I, Ortega-Alvarez R. Eds.2013.Ecología urbana:Experiencias en America Latina. 1st ed.; 2013.

8. MECN. Ecosistemas del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) Publicacion miscelanea N6.Serie de Publicaciones del Museo Ecuatoriano de Ciencias Naturales(MECN)-Fondo Ambiental del MDMQ: Imprenta Nuevo Arte; 2009.
9. Puliafito SE, Bochata F, Allende D. Contribución de los parques urbanos en la regulación de la ciudad de Guatemala. Proyecciones. 2013; Vol.11 No.2.
10. Ochoa de la Torre JM. La vegetación como instrumento para el control microclimatico. Barcelona 1999. Tese(Doctorado e, Arquitetura-Universitat Politècnica, Escola Tècnica Superior de Arquitectura de Barcelona. 1999..
11. Hull RA. Short Guide to the London Plane. [Online].; 2009 [cited 2015 Diciembre 15. Available from: http://www.treetree.co.uk/treetree_downloads/The_London_Plane.pdf.2009.
12. Barcelona Ad. Gestión del arbolado vario de Barcelona. Area de Medi Ambient i Serveis Urbans.Ajuntament de Barcelona. 2011..
13. Loughner C, Allen D, Zhang D, Pickering K, Dickerson R. Roles of urban tree canopy and buildings in urban heat island effects:Parameterization and preliminary results.. Journal of applied meterology and climatology. 2012;(51:1775-1793).
14. Almendros Coca MA. Análisis térmicode los pequeños parques urbanos madrileños. La climatología española en los albores del siglo XXI:[aportaciones presentadas al I Congreso de la Asociación de Climatología],1999.ISBN 84-281-0979-6, págs. 33-42; 1999.
15. Machuca Mejía N, Duarte SC, Garcia MJ. Contribución de parques urbanos en la regulación de la temperatura ambiental en la ciudad de Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala.Volumen 4. Guatemala; 2013.
16. Grimm N, Faeth S, Golubiewski N, Redman C, Wu J, Bai x, et al. Global change and the ecology of cities. Science. 2008;(319(5864):756-760).
17. Georgescu M, Morefield B, Bierwagen B, Weaver C. Urban Adaptation can roll back warming of emergin megapolitan regions. 2014;(3(1):37-40).
18. climático PIpec. Cambio climático 2013. Resumen para responsables de políticas, resumen técnico y preguntas frecuentes. Contribución del grupo de trabajo I al Quinto informe de evaluacion del Grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático. OMM,PNUMA. ; 2013.
19. Salud OMdl. Cambio climatico y salud. Npota descriptiva No. 266. [Online].; 2016 [cited 2016 dicembre 15. Available from: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs266/es/>.
20. altura Sd. Publicaciones de salud de altura. [Online].; 2007 [cited 2016 diciembre 15. Available from: <http://www.saluddealtura.ec/informacion-profesionales-salud/publicaciones-salud-gratuitas.2007>.
21. Rodriguez MA. Contaminación atmosférica y justicia ambiental de Quito(Disertación). Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales Sede Ecuador (FLACSO). 2015..
22. D. P. Estado de precaución en Quito por incremento del ozono a casusa de incendios. El Comercio. 2015 septiembre.
23. Hidrología INdMe. 2016 fue considerado el año más caluroso de la historia. [Online].; 2016 [cited 2016 diciembre 18. Available from: <http://www.elcomercio.com/tendencias/clima-quito-desfases-lluvia-atmosfera.html>.
24. Organization WH. Ultraviolet radiation and health. [Online].; 2016 [cited 2016 diciembre 15. Available from: http://www.who.int/uv/uv_and_health/en/;2016.
25. E. J. Los rayos UV tienen picos alarmantes en la ciudad de Quito.El Comercio 2015 sep 14;Sec. Actualidad. [Online].; 2015 [cited 2016 diciembre 19. Available from: <http://www.elcomercio.com/actualidad/rayos-ultravioleta-quito-sol-piel.html.2016>.
26. Romero H, Salgado M, Smith P. Cambios climáticos y climas urbanos:Relaciones entre zonas termanles y condiciones socioeconomicas de la población de Santiago de Chile. Revista INVI. 2010;(25,2-20).
27. Georgescu M, Morefield B, Bierwagen B, Wraver C. Urban adaptation can roll back warming of emerging megapolitan regions. Nat Clim Chang. 2013;(3(1):37-40).
28. Georgescu M, Moustauoui M, Mahalov A, Dudhia J. Summer-time climate impacts of projected megapolitan expansion in Arizona. Nat Clim Chang. 2013;(3(1):37-40).