

## **INFLUENCIA DE LAS MORFOLOGÍAS ARBÓREAS EN LAS CONDICIONES DE ILUMINACIÓN EN RECINTOS URBANOS DEL ÁREA METROPOLITANA DE MENDOZA.**

C. F. Martínez<sup>1</sup>, L. Bastías<sup>2</sup>, M. Endrizzi<sup>2</sup>, L. Córlica<sup>1</sup>, A. Pattini<sup>3</sup>, A. Cantón<sup>3</sup>.

Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda - Instituto Ciencias Humanas Sociales y Ambientales (LAHV INCIHUSA)

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

Centro Regional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas – CRICYT C.C.131 C.P. 5500 – Mendoza

Tel. 0261-4288797 – Fax 0261-4287370 e-mail: cmartinez@lab.cricyt.edu.ar; lbastias@lab.cricyt.edu.ar

**RESUMEN:** La condición arbolada de la ciudad de Mendoza, Argentina genera desde el punto de vista climático beneficios asociados a la mitigación de la condición de aridez del emplazamiento, la disminución del efecto de isla de calor y la regulación de la iluminación natural.

El trabajo cuantifica la disponibilidad del recurso lumínico en recintos urbanos forestados con las especies más representativas del Área Metropolitana de Mendoza (AMM): “plátanos”, “moreras” y “fresnos”, en las estaciones extremas – verano e invierno–. Para ello se desarrollaron mediciones de iluminancia horizontal (Eh) al mediodía solar, en condiciones de cielo claro, sobre una grilla estructurada en torno a cinco ejes longitudinales al canal vial. Los resultados obtenidos muestran que las condiciones de iluminación dependen fundamentalmente de la morfología arbórea y la condición estacional de las especies. Las estructuras abovedadas de “plátanos” regulan el recurso en la totalidad del canal vial disponiendo del mismo en un rango porcentual entre verano e invierno de 15–42% en calzadas y de 4–10% en veredas. Las estructuras de porte individual –“fresnos”– no modifican sustancialmente las condiciones de iluminación en calzadas y generan en verano contrastes entre puntos asoleados y sombreados. En etapas futuras se prevé avanzar en torno a la evaluación de la iluminancia vertical (Ev) en fachadas, con el objeto de cuantificar el recurso mediato a la edificación para su aprovechamiento en el acondicionamiento de los espacios interiores del hábitat construido.

**Palabras clave:** morfología arbórea, recurso lumínico, ambiente urbano.

### **INTRODUCCION**

Mendoza se emplaza en el centro–oeste de Argentina, en una zona desértica natural de la región. Los asentamientos humanos se desarrollan en tres oasis –oasis Norte, Centro y Sur– que resultan del manejo y distribución de las aguas de deshielo de la cordillera de los Andes. El Oasis Norte se genera a partir de la sistematización del agua de los ríos Mendoza y Tunuyán, y representa el más extenso de la provincia, albergando al Área Metropolitana de Mendoza y la mayor concentración poblacional –1.000.000 habitantes\*– (Fig. 1)

Desde el punto de vista urbano, en la actualidad, la ciudad de Mendoza es el resultado de un trazado post–terremoto que data del siglo XIX. En su estructura combina la condición de ciudad fundada por los españoles con características particulares que se desprenden de la condición árida y sísmica del emplazamiento. Es decir, presenta un trazado en damero, amplias calles y avenidas y un sistema de riego que sustenta una red verde conformada por el arbolado que bordea el perímetro de las manzanas. Si bien estas características se extienden al AMM, la red verde –estructurada en torno a la plantación de ejemplares caducos, criterios de uniformidad de especie por cuadra e intervalos de plantación regulares– ha sufrido transformaciones en el tiempo, dando lugar a nuevos modelos asociados a la plantación de ejemplares de diversos tipos en el contexto de las manzanas urbanas. (Cantón et al., 2004) (Fig. 2)

Los beneficios del bosque urbano están asociados a la calidad estética del paisaje urbano y a la disminución de la contaminación ambiental y sonora derivada del elevado tránsito vehicular. (Boyer,1979; McPherson, 1988). Desde el punto de vista climático las arboledas no sólo mitigan la condición de aridez del emplazamiento y disminuyen el efecto de isla de calor sino también, actúan como reguladoras de la iluminación natural controlando un recurso abundante dada la intensidad de la radiación solar y la cantidad elevada de días con cielo claro.

<sup>1</sup> Becaria CONICET

<sup>2</sup> Becaria ANPCYT

<sup>3</sup> Investigadora Adjunta CONICET

\* Fuente: Dirección de Estadísticas e Investigaciones Económicas. Censo Nacional de Población y Vivienda 2001

El trabajo cuantifica la disponibilidad del recurso lumínico en los modelos de uniformidad de especies para los tipos más representativos de la Ciudad Capital de Mendoza: “*morera*” (***Morus alba***) 38,27%, “*plátano*” (***Platanus acerifolia***) 21,52% y “*fresno*” (***Fraxinus sp.***) 26,3%, en las estaciones extremas y en áreas residenciales de baja densidad edilicia, a los efectos de minimizar el impacto de la morfología urbana (Cantón, 2003).

Dicha cuantificación tiene por objeto no sólo establecer porcentajes de disponibilidad del recurso asociados a las distintas morfologías arbóreas sino también evaluar otras variables relacionadas a las características intrínsecas del arbolado – foliación, densidad de copa en condiciones de máxima y mínima expresión vegetativa, etc– y a su condición urbana – alineación de ejemplares, tareas de poda, convivencia con los servicios, etc.–

Los resultados obtenidos permitirán disponer de una metodología de análisis aplicable a contextos urbanos forestados insertos en zonas climáticas diferentes y contar con datos ajustados a la realidad de Mendoza, de utilidad para planificadores y hacedores de la ciudad comprometidos con el mejoramiento de su calidad ambiental.

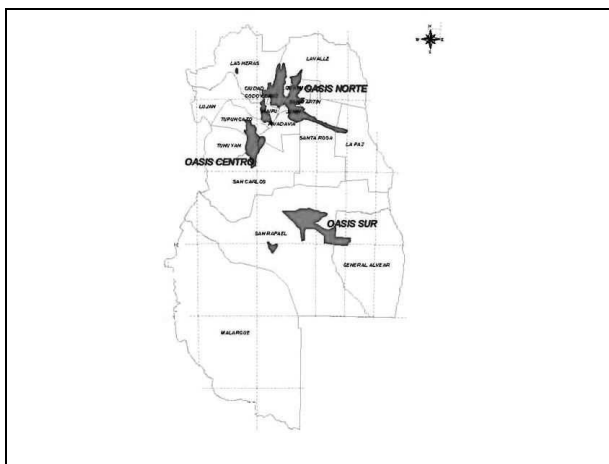


Figura 1: Oasis de la Provincia de Mendoza.



Figura 2: Área Metropolitana de Mendoza

## METODOLOGÍA

### Casos de estudio

Los casos de estudio corresponden a cañones urbanos con orientación Norte-Sur, en donde los parámetros físicos en cuanto a variables urbanas (ancho de calle: 10m; ancho de vereda: 5m) y edilicias (altura de edificación: 3-6m) son similares. El arbolado de alineación presenta características particulares referidas a: cantidad de ejemplares, altura, relación tronco-copa, superposición de copas y estado vegetativo, que se describen para cada caso de estudio. (Fig. 3)

- Escenario 1: PLÁTANOS

Canal vial forestado con “*plátanos*” (***Platanus acerifolia***), forestales adultos, de primera magnitud que superan los 18 metros de altura y forman túneles densos y continuos, creando una bóveda amplia sobre calzada y veredas.

Los ejemplares se presentan en forma alineada en ambas veredas, con algunos defasajes derivados de especies faltantes. El estado vegetativo en general es bueno y no evidencia intervenciones por poda, que se refleja en una adecuada relación tronco-copa, posicionando a éstas últimas por encima de los 10 metros de altura.

En el sentido longitudinal del canal vial vegetan 30 árboles distribuidos en ambas veredas, y a intervalos de plantación que oscilan entre 5,40m y 6,00m. Sobre ambas veredas los ejemplares arbóreos forman un túnel denso, con gran parte del ramaje extendido hacia la edificación y la calzada, creando una bóveda completa y homogénea. No obstante en algunos tramos de veredas el desarrollo de las copas se presenta más laxo, debido a la mayor amplitud del entorno derivado de la presencia de vacíos urbanos y, a nivel de calzada, se observan ventanas o huecos en el follaje denominados “gaps”. El volumen de follaje verde presente en la estación de máxima expresión vegetativa, es sucedido, por el follaje seco que se mantiene en las copas durante la estación fría, hasta que se inicia la nueva brotación.

- Escenario 2: MORERAS

Canal vial forestado con “*moreras*” (***Morus alba***), ejemplares adultos de segunda magnitud que alcanzan una altura cercana a los 12 metros. La distancia de plantación varía entre 5,50 y 6,30m. El estado vegetativo es bueno a regular. Esta especie conforma un túnel continuo a modo de pantalla sobre vereda con alto porcentaje de superposición de copas, que se interrumpe sobre la calzada debido al menor desarrollo de las copas de los ejemplares respecto del canal de “*plátanos*” y a la presencia de ejemplares jóvenes de reposición. También se observan ventanas derivadas de irregularidades en los intervalos de plantación de los árboles. Para esta especie las diferencias estacionales son marcadas, en verano la densidad del follaje es alta, mientras que en invierno presenta ausencia total del mismo.

- Escenario 3: FRESNOS

Cañón urbano arbolado con ejemplares de “fresnos” en sus dos especies más comunes: “fresno europeo” (**Fraxinus excelsior**) y “fresno americano” (**Fraxinus americana**). Los ejemplares, si bien son adultos y corresponden a especies de segunda magnitud (Carrieri S., 1997), no se encuentran en su máxima expresión. El desarrollo vegetativo en general es regular, con copas desequilibradas y con crecimientos laterales disímiles, debido a intervenciones por podas y falta de vigor. La estructura morfológica del cañón es discontinua dado que los ejemplares conservan su individualidad en función de las dimensiones en las copas e intervalos de plantación dilatados (6-8m). Los ejemplares arbóreos presentan una marcada estacionalidad en cuanto a su expresión fenológica (al igual que los ejemplares de “morera”).

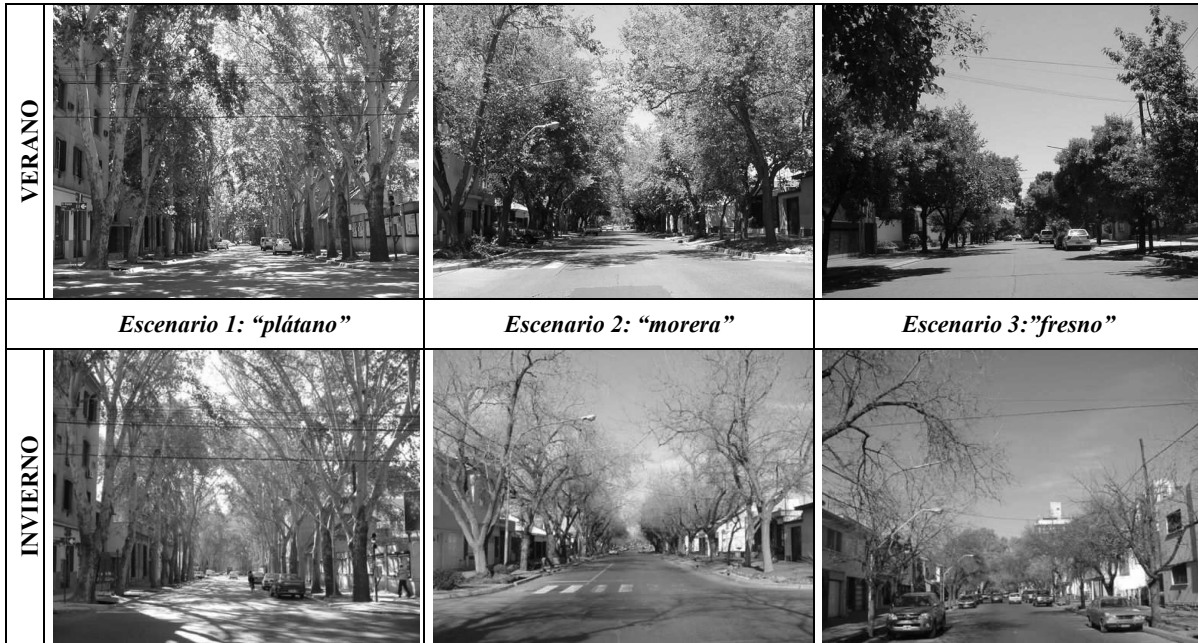


Figura 3: Casos de estudio

**Método de medición** (Fig. 4)

A los efectos de evaluar la disponibilidad del recurso lumínico se desarrollaron mediciones de iluminancias:

- Iluminancia horizontal (Eh) a nivel del piso sobre calzada y vereda; e
- Iluminancia vertical (Ev) medida a 1,50m sobre veredas en dirección hacia la calzada a los efectos de obtener la cantidad de luz que incide sobre las fachadas.

El plan de mediciones fue desarrollado para las cuatro estaciones, al mediodía solar, en condiciones de cielo claro. La grilla de medición se extendió al total de la calzada y las veredas, en torno a cinco ejes en el sentido longitudinal del canal vial, – tres ejes corresponden a la calzada y dos a veredas–. Perpendiculares a éstos se trazaron ejes transversales posicionados cada 3 metros. (Endrizzi, Martinez et al, 2005).

El instrumental utilizado en la toma de datos está integrado por un luxímetro LI-COR 189 con sensor fotométrico LI-210 y base niveladora 2003S; y un luxímetro Tenmars DL 201, ambos con corrección de coseno.

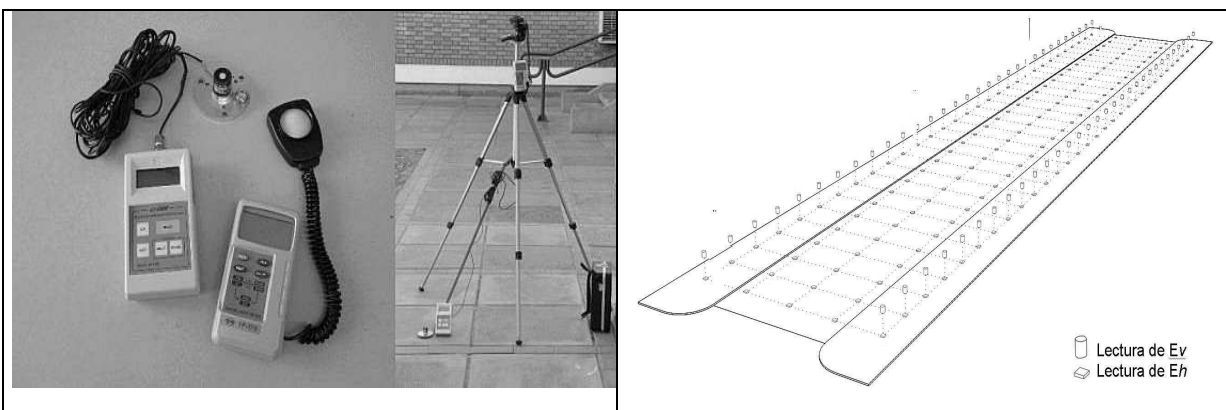


Figura 4: Instrumental utilizado. Grilla de medición

## RESULTADOS

El trabajo presenta los resultados obtenidos de las mediciones de Iluminancia horizontal (Eh) correspondientes a las estaciones extremas –verano e invierno– en los ejes posicionados en centro de calzada y vereda, dado que son los que reflejan los comportamientos más significativos.

El criterio de análisis se ha centrado en evaluar en forma comparativa las diferentes estructuras conformadas por el arbolado de alineación, asumiendo supuestos de simplificación en torno a la realidad urbana que tienen que ver con considerar constante, para todos los casos de estudio, el aporte de la componente reflejada proveniente del entorno mediato.

A tal fin se presentan los resultados de Eh, en valores absolutos y porcentajes de disponibilidad del recurso. Dichos porcentajes se calcularon tomando como valor de referencia –para cada canal vial– las lecturas realizadas en el cruce de calle.

### ESTACIÓN VERANO

#### A- Calzada

Los valores medidos sobre calzada, en términos de cantidad, reflejan que las diferentes disponibilidades del recurso lumínico se asocian a la morfología del perfil arbóreo:

- Las estructuras continuas que conforman un denso túnel sobre la calle –“plátanos”– condicionan el acceso al recurso, permitiendo una disponibilidad del 15,11% respecto del valor de referencia –102.690 lux–. (Tabla 1)
- La “morera”, cuya estructura morfológica conforma pantalla, –es decir una estructura de bóveda más abierta e interrumpida en el centro del canal vial– permite un mayor ingreso del recurso sobre calzada (70,70%).
- Las estructuras discontinuas constituidas por “fresnos”, en donde el desarrollo individual de los árboles no permite una superposición de copas, la disponibilidad del mismo se incrementa en el orden del 92,12% (valor de referencia: 103.100lux).

VERANO	PLÁTANO			MORERA			FRESNO		
	Cruce de calle (lux)	Eh media (lux) centro de calzada.	%	Cruce de calle (lux)	Eh media (lux) centro de calzada.	%	Cruce de calle (lux)	Eh media (lux) centro de calzada.	%
	102.690	15.518	15,11	102.770	72.407	70,46	103.100	94.980	92,12

Tabla 1: Iluminancia horizontal (Eh) en el centro de calzada. Disponibilidad porcentual del recurso lumínico. Estación Verano

En términos de comportamiento (Fig.5), el “plátano” presenta uniformidad de valores en el 90% de los puntos medidos dada la sombra proyectada por el túnel, mientras que sólo un 10% corresponde a valores cercanos al valor de referencia. Esto se debe a huecos en el follaje y a la proximidad con el cruce de calles.

En el caso de “moreras”, la relación porcentual cambia: la mayor cantidad de los puntos se encuentran cercanos al referente (70% de puntos oscilan los 102.770 lux), mientras que el 30% restante se posiciona en el orden de los 18.000 lux. Los valores absolutos muestran un comportamiento heterogéneo. Los máximos se deben a la morfología de la especie que permite una mayor apertura de las copas sobre calzada. Los mínimos se relacionan con sombras eventuales del árbol por un desarrollo puntual sobre calzada y al menor índice de permeabilidad de la especie. (Permeabilidad: plátano: 16,39%, morera: 14,50%) (Cantón et al, 2001)

Para el escenario conformado por “fresnos” en comparación con el “plátano”, la situación se invierte. El 88% de los puntos se encuentran en condición de cielo abierto alcanzando el valor de referencia dado el menor nivel de obstrucción derivado de la geometría de la especie (diámetro de copas) y su condición de porte individual. El 12% de los puntos registran valores que oscilan entre 29.000 y 45.000 lux, debido a sombras puntuales del arbolado.

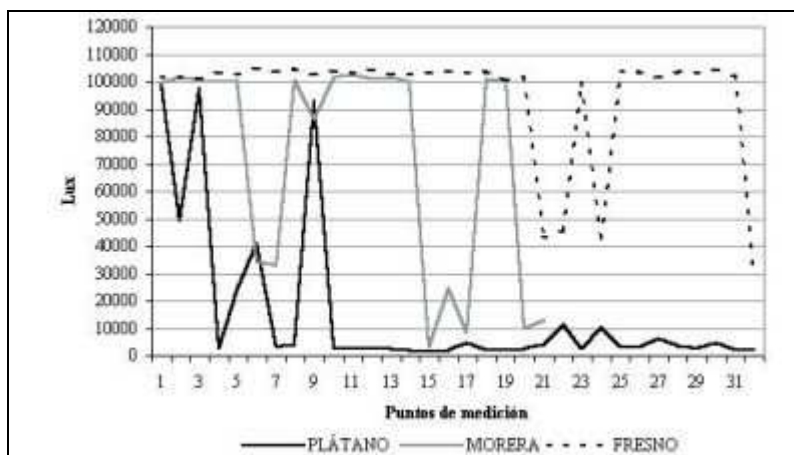


Figura 5: Iluminancia horizontal(Eh) en valores absolutos en calzadas. Estación Verano.

## B- Veredas (Tabla 2)

Se presentan los resultados correspondientes a la vereda. Este dato que, en función de los objetivos del trabajo, es la que permite con mayor claridad aislar la influencia de las arboledas respecto a las variables edilicias.

Los escenarios con “plátanos” y “moreras” muestran rangos de valores medios que oscilan entre 4.500 y 5.180 lux (4 y 5%), y reflejan la escasa disponibilidad del recurso debido a la densidad del follaje y a la superposición de las copas sobre las mismas. Los valores que se desprenden de dicho rango se deben a los mismos factores determinados al analizar el comportamiento en calzada. Es decir: ventanas en el follaje, retiros de la edificación respecto a la línea municipal y vacíos urbanos.

En el escenario con “fresnos” el valor de Eh asciende a 43.500 lux (42%). Este valor, notoriamente superior a los otros casos, no sólo se debe a la morfología de desarrollo individual de la especie, sino también a un mayor distanciamiento entre ejemplares y a la presencia de forestales jóvenes de reposición. El resultado de la sumatoria de estos factores se traduce en un mayor nivel de iluminancia.

VERANO		Valor de Referencia en cruce de calle (lux)	Eh vereda (lux)	%
	PLÁTANO	102.690	5.180	5
	MORERA	102.770	4.543	4
	FRESNO	103.100	43.563	42

Tabla 2: Iluminancia horizontal (Eh) en Vereda. Disponibilidad porcentual del recurso lumínico. Estación Verano

El comportamiento de las especies “plátano” y “morera” es similar ya que tanto el túnel como la pantalla que conforman, permiten filtrar un porcentaje bajo de luz natural dado que un elevado número de puntos (87-95%) se posiciona en las sombras arrojadas por las copas de los árboles. (Fig. 6)

En el caso de “fresnos” se observa un mayor rango de disponibilidad del recurso. El 50% de los puntos muestran valores que se aproximan al valor de referencia, mientras que el 50% restante corresponde a puntos sombreados.

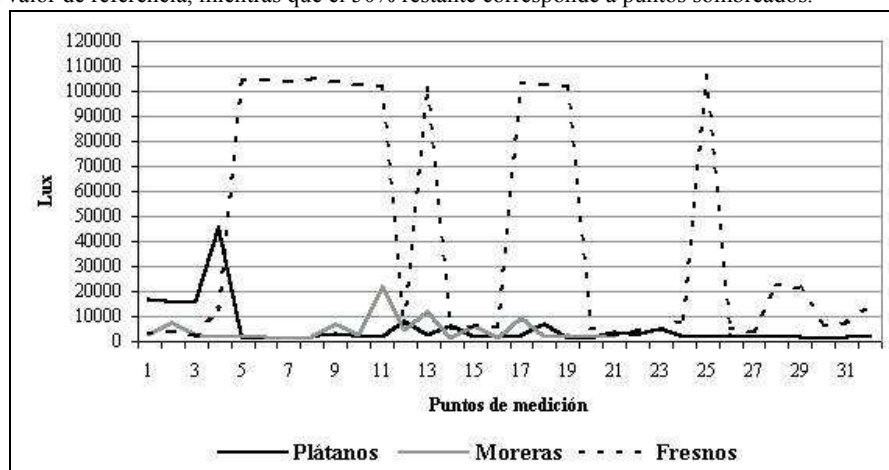


Figura 6: Iluminancia horizontal (Eh) en valores absolutos en Vereda. Estación Verano.

## ESTACIÓN INVIERNO

### A- Calzada

En la estación invernal la disponibilidad del recurso lumínico en calzada que presenta “plátanos” es del orden del 42%, ya que si bien se encuentra en el receso vegetativo, mantiene la mayoría de las hojas secas en la copa, con una leve disminución de la densidad del follaje. (Eh media medida: 25.000 lux – Valor de referencia: 60.890 lux) (Tabla 3).

Para “morera” aumenta el porcentaje debido a la condición abierta de la estructura arbórea (92.42% respecto del referente 65.390 lux), a la ausencia total de follaje y a una interferencia mínima por parte del ramaje.

En el caso del “fresno” la condición estructural respecto de la “morera” se acentúa elevándose el valor a un 98% en relación al valor de referencia de 51.440 lux.

INVIERNO	PLÁTANO			MORERA			FRESNO		
	Cruce de calle (lux)	Eh media (lux) centro de calzada.	%	Cruce de calle (lux)	Eh media (lux) centro de calzada.	%	Cruce de calle (lux)	Eh media (lux) centro de calzada.	%
	60.890	25.782	42,34	65.390	60.433	92,42	51.440	50.590	98,35

Tabla 3: Iluminancia horizontal (Eh) en el centro de calzada. Disponibilidad porcentual del recurso lumínico. Estación Invierno.

En cuanto al comportamiento de las curvas obtenidas, las tres especies en estudio modifican su diagrama manifestando contrastes menores respecto de la estación cálida. Los valores oscilan entre 10.000 y 70.000 lux. Esto se debe a la variación de la geometría solar que dilata las sombras arrojadas por el ramaje y, en el caso particular del “plátano” debido a la disminución del follaje y su cambio de color. (Fig. 7)

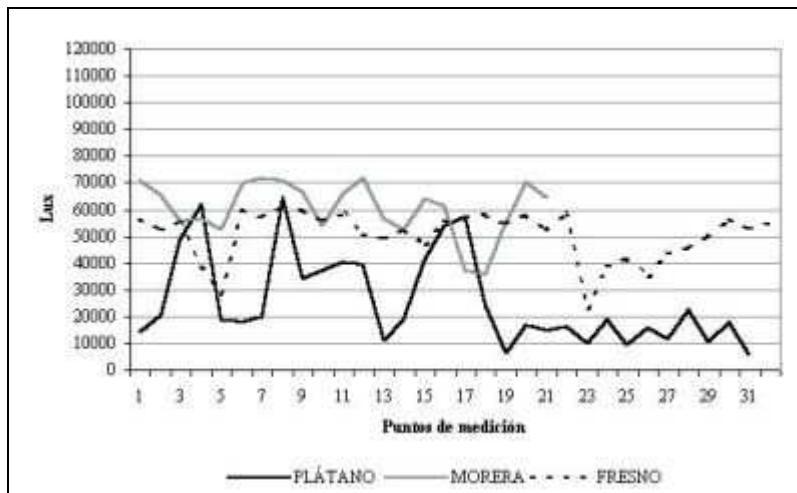


Figura 7: Iluminancia horizontal(EH) en valores absolutos en calzadas. Estación Invierno.

**B-Veredas (Tabla 4)**

El cañón urbano forestado con “plátanos” presenta niveles de Eh del orden de 6.300 lux, lo que representa un 10% de disponibilidad del recurso. Esto confirma el comportamiento del “plátano” como especie *marcescente* –las hojas se secan en la planta sin desprenderse hasta que brotan las nuevas yemas–. Además su condición de árbol de primera magnitud plantado en alineación presenta una importante estructura de ramaje primario y secundario, que bloquea el acceso al recurso, permitiendo que la cantidad de luz incidente sobre vereda sea limitada, con mayor disponibilidad en torno a las ventanas en la copa.

Los escenarios con “moreras” y “fresnos”, superan ampliamente los valores observados en “plátanos” presentando rangos que oscilan entre 32.000 y 41.000 lux (en relación al referente: 53 y 81% respectivamente).

INVIERNO		Valor de Referencia en cruce de calle (lux)	Eh vereda (lux)	%
		PLÁTANO	60.890	6.311
	MORERA	65.390	32.205	45,25
	FRESNO	51.440	41.023	79,74

Tabla 4: Iluminancia horizontal (Eh) en Vereda. Disponibilidad porcentual del recurso lumínico. Estación Invierno

En términos de comportamiento, se mantienen las tendencias observadas en verano: el 90% de puntos medidos presenta baja disponibilidad del recurso en el caso de “plátanos”; porcentajes equilibrados entre puntos de máxima y mínima disponibilidad en “moreras”. Finalmente, en el caso de “fresno” se observa un comportamiento inverso al “plátano”, es decir el 90% de los puntos ofrece la máxima disponibilidad del recurso. (Fig. 8)

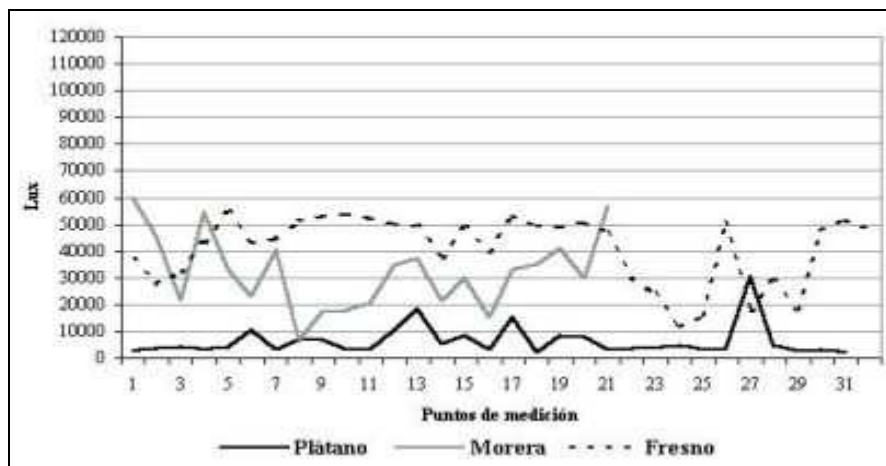


Figura 8: Iluminancia horizontal(Eh) en valores absolutos en Vereda. Estación Invierno.

## CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos permiten identificar que la regulación de la luz natural depende fundamentalmente de la morfología que conforma el arbolado de alineación: las estructuras abovedadas tamizan la luz tanto en veredas como en calzadas mientras que las estructuras que conforman pantallas y las de porte individual regulan el recurso sólo en veredas.

Dichas estructuras asociadas a la condición estacional de las especies determina que los tipos arbóreos que conservan el follaje en invierno permiten filtrar el recurso lumínico en un rango que varía entre verano e invierno en la especie analizada – “plátano”- entre 15 – 42% en calzada y 5 – 10% en vereda. Las especies que pierden su follaje en invierno ofrecen mayores variaciones, siendo en el caso de la “morera” entre 4 – 53% y en “fresnos” entre 42 – 81%, en veredas.

Por último los mayores distanciamientos en los intervalos de plantación de los ejemplares tamizan en menor medida la luz natural y generan mayores contrastes entre puntos claros y oscuros. Estos contrastes también se observan en torno a los desarrollos asimétricos de los ejemplares provocados por podas desequilibradas.

## FUTURAS INVESTIGACIONES

En próximas etapas el proyecto en marcha financiado por ANPCyT prevé avanzar en el análisis de las mediciones de iluminancia horizontal correspondientes a las estaciones intermedias de modo de obtener curvas anuales de disponibilidad del recurso lumínico a escala urbana.

Por otra parte se evaluará la iluminancia vertical disponible en fachadas con el fin de cuantificar la disponibilidad del recurso mediato a la edificación y su aprovechamiento en el acondicionamiento de los espacios interiores del habitat construido.

## REFERENCIAS

- Boyer Ph. (1979). L'Arbre, un des remèdes aux pollutions et nuisances urbaines. 3eme. Congres Mondial de l'Union Internationale des Associations D'Ingenieur Forestiers.
- Cantón M. A., Mesa A., Cortegoso J. L. y de Rosa C. (2003) “Assessing the solar resource in forested urban environments. Results from the use of a photographic-computational method”. Architectural Science Review. University of Sidney, Australia. Vol.46.2, 115-124.
- Cantón M.A., Mesa A. y de Rosa C. (2004). “Evaluación de modelos de desarrollo del arbolado urbano desde la perspectiva de la habitabilidad de los espacios abiertos en verano”. Entac 04. Guanajato, México.
- Carrieri S. (2004). Diagnóstico y propuesta sobre la problemática del Arbolado de calles en Mendoza. Cátedra de Espacios Verdes. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. Cap.11, 1-6.
- Córica L. y Pattini A. (2005). Protocolo de mediciones de iluminación natural en recintos urbanos. Revista Averma -ISSN 0329-5184. Vol 9, Cap 5, 85-90.
- Endrizzzi M., Martinez C. F., Córica L., Cantón M. A. y Pattini A. (2005). Diagnóstico de las condiciones de iluminación nocturna en los recintos urbanos arbolados a partir de la modificación del sistema de alumbrado público. El caso de Mendoza en la estación invernal. Revista Averma -ISSN 0329-5184. Vol 9, Cap.8, 91-96.
- McPherson, E.G. (1988). Functions of Buffer Plantings in Urban Environments. Agriculture, Ecosystems and Environment, 22/23, pp. 281-298.

## ABSTRACT

The forested condition of the city of Mendoza, in Argentina, generates benefits from the climatic viewpoint. They are associated the mitigation of the aridity condition of the site, the reduction of the heat island effect and the regulation of natural light. The study quantifies the availability of the daylighting resource in forested urban enclosures, with the more representative arboreal species in Mendoza's Metropolitan Area (MMA): “London planes”, “Mulberries” and “European ashes”; in the extreme seasons – summer and winter -. To the purpose, horizontal illuminance measurements (Eh) were performed at solar noon in clear sky conditions on a grid structured on five longitudinal axis on the viaduct channel. The results obtained indicate that the daylighting conditions are fundamentally dependent on the arboreal morphology and the seasonal condition of the species. The vaulted “plane” tree structures totally regulate the resource along the viaduct channel, displaying a percentual range, between summer and winter of 15-42% on causeways and 4-10% on sidewalks. The discontinuous structures do not substantially modify the daylighting conditions on causeways and, in summer, generate contrasts between insolated and shaded points. In future stages it is planned to advance on the assessment of the vertical illuminance (Ev) on facades whit the purpose of quantifying the resource close to building surfaces in order to optimize its use in the interior spaces of the built environment.

**Keywords:** arboreal morphology, daylighting resource, built environment.