

PROPIEDADES ÓPTICAS DEL ARBOLADO URBANO EN EL CÁLCULO DE LA ILUMINACIÓN NATURAL. EL CASO DE LA ESTACIÓN OTOÑO EN PLÁTANOS Y MORERAS.

Pattini, A.¹, Córlica, L.², Correa, E.⁴, Martínez, C.³, Cantón, M.A.⁴.

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: apattini@mendoza-conicet.gob.ar

RESUMEN: Los flujos radiativos que ocurren en un entorno urbano son de gran complejidad. Esto se agrava en aquellos con fuerte presencia de arbolado. Uno de los datos necesarios para lograr mayor precisión en los cálculos de iluminación es el referido a las propiedades ópticas de la superficie arbórea del recinto. En este trabajo se presentan los resultados de estas propiedades en dos especies forestales típicas de la ciudad de Mendoza, para muestras del entorno de alta densidad y fuera de la ciudad, de la estación otoño. Los resultados muestran por un lado el impacto de ambas especies en la reflectancia espectral que aportan al flujo luminoso y la disminución de reflectancia por efecto de la polución típica de zonas altamente densificadas. La información de cromaticidad puede servir de input para software de cálculo de iluminación mejorando la precisión del dato.

Palabras clave: reflectancia, Iluminación natural, arbolado urbano

INTRODUCCIÓN

La iluminación natural en entornos urbanos genera flujos luminosos, que determinan el potencial de luz con que cuentan los espacios exteriores e interiores para iluminarse. La luz que reciben estos espacios está condicionada principalmente por:

- El clima luminoso local (Pattini, et al., 1996) (Pattini y Betman, 1998; Pattini, 2007)
- La morfología del entorno (Córlica, 2010)
- El factor de visión de cielo (Córlica y Pattini, 2008)
- La reflectancia del entorno (Compagnon, 2004; Brotas y Wilson, 2006)

El resultado de la cantidad de luz disponible se ve afectado por la forma en que el flujo luminoso incidente es reflejado, transmitido y/o absorbido por las superficies del recinto urbano construido y natural. Como resultado, la cantidad y distribución de la luz natural recibida puede ser modificada por los elementos del entorno. Esto no sólo quiere decir que se modifica la potencialidad de ahorrar energía eléctrica para iluminación diurna, sino que también puede afectar la visibilidad en el entorno urbano exterior, el aspecto del espacio público urbano y generar impactos de luz directa o sombras en espacios residenciales privados.

En el “Informe Tedeschi”, de la Oficina de Planeamiento Urbano y Código de Edificación de la Municipalidad de la Capital de la Provincia de Mendoza el Arquitecto E. Tedeschi manifiesta: “La suma de los elementos constitutivos de la calle (vereda, calzada, acequia, árbol) se equilibra dimensionalmente con el volumen de la edificación que la bordea creando sensaciones armónicas de espacio, luz y formas, lo que provoca un verdadero placer estético al transitar por ellas, exaltándose el goce de vivir. Muchas veces la fronda de las calles forma verdaderos túneles verdes donde los rayos solares, infinita y caprichosamente fragmentados, producen los más inesperados juegos espaciales y lumínicos que se extienden sobre el suelo y la masa edificada” (Tedeschi, 1961).

Muchos análisis predictivos simplificados omiten o minimizan el impacto de la reflectancia de los elementos presentes en los recintos. Esto adquiere relevancia en aquellos en que el bosque urbano altera el flujo luminoso nocturno, contribuyendo al efecto negativo denominado polución lumínica (Cabello y Kirschbaum, 2001), y diurno, modificando el potencial de aprovechamiento de la luz natural (Córlica y Pattini, 2008). El efecto de modificación de flujo luminoso tanto diurno como nocturno, además varía estacionalmente, ya sea por variación de superficie foliar o por variaciones de color en sus hojas en distintas estaciones del año, modificando la componente reflejada exterior.

El presente trabajo muestra los resultados de la reflectancia espectral difusa realizada sobre muestras de hojas de dos especies forestales predominantes en el Área Metropolitana de la Ciudad de Mendoza en la estación de otoño, sobre muestras tomadas

¹ Investigadora Independiente CONICET

² Investigadora Asistente CONICET

³ Becaria CONICET

⁴ Investigadora Adjunta CONICET

en el interior del entorno urbano de alta densidad y fuera de la trama urbana. La medición de color de las hojas otorga información precisa sobre la componente reflejada de uno de los elementos principales de los recintos urbanos de ciudades oasis.

Sumado al comportamiento luminoso, la fenología de las distintas especies forestales permite conocer los cambios en el entorno radiante y así determinar el balance térmico de los espacios, por ello, caracterizar el comportamiento de las especies forestales respecto de la radiación difusa reflejada en el rango del IR cercano nos permitiría cuantificar el impacto de cada especie sobre el balance energético y las condiciones de confort del espacio. Es decir, contar con este tipo de análisis sería crucial para determinar cómo influyen las interacciones entre los componentes de un espacio urbano y su vegetación a fin de garantizar la habitabilidad térmica y proponer diseños apropiados para los espacios abiertos vegetados –canales viales, plazas y parques- (Correa et al., 2008).

REFLECTANCIA ESPECTRAL Y DIFUSA DE HOJAS DE ÁRBOLES

Como se mencionara anteriormente, una de las superficies que influyen en la composición de los flujos radiantes presentes en el recinto urbano consolidado de la Ciudad de Mendoza, está constituida por la masa arbórea urbana, correspondiente al arbolado de implantación, llegando a su máxima expresión en la tipología *túnel* que forman los recintos con *plátanos* o la superficie de las copas alineadas de las moreras (Cantón et al., 2001; Córca y Pattini, 2008a; 2009b).

Como se grafica en la figura 1, el bosque urbano de la ciudad de Mendoza conforma una superficie que modifica y determina el flujo luminoso diferente en verano (Fig 1, foto izq.) y en otoño (Fig.1, foto der.). Las especies predominantes son el plátano (Fig. 2 y 4) y la Morera (Fig. 3 y 5).

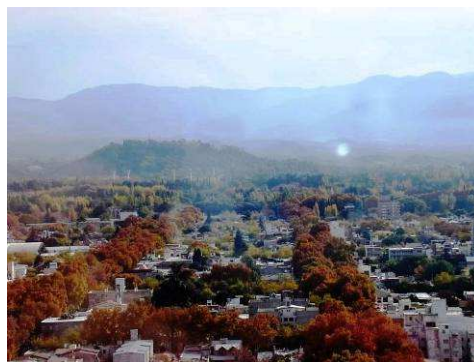
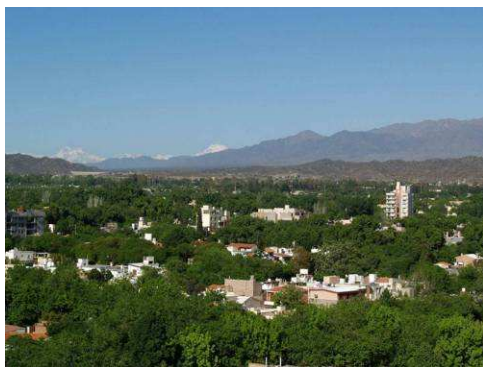


Figura 1: Foto Izq. Bosque urbano en verano. Foto der. Bosque urbano otoño



Figura :2 Calle con Plátanos en otoño

Figura 3: Calle con Moreras en otoño



Figura 4: Follaje y hoja de Plátano otoño



Figura 5: Follaje y hojas de Morera otoño

El comportamiento de la luz que llega a una superficie depende del color y la textura de ésta. El color determina la cantidad de radiación reflejada, en el rango de longitudes de onda visibles. La textura influye en la dirección en que la luz es reflejada o transmitida. Todo análisis descriptivo y predictivo del flujo luminoso en este tipo de entornos deberá contener la mayor precisión posible de la componente reflejada, en este sentido se comenzó a estudiar las propiedades fotométricas y ópticas de las superficies foliares.

METODOLOGÍA

A los fines de conocer la reflectancia espectral de las hojas de Plátanos y Moreras en la estación otoño, se realizaron las primeras mediciones de color sobre muestras obtenidas de especies locales.

Para la especie Morera se seleccionó un árbol ubicado en Calle Rivadavia (M1) seleccionando una hoja de árbol urbano localizado en alta densidad, y una hoja de Morera ubicada en el Parque General San Martín (M2) de un árbol fuera del entorno urbano. Para la especie Plátano, se recolectó una hoja de un árbol de calle Montevideo (P1) de árbol en alta densidad y una hoja de un árbol en el parque General San Martín (P2) para muestra fuera del entorno urbano. (Figuras 6 y 7).

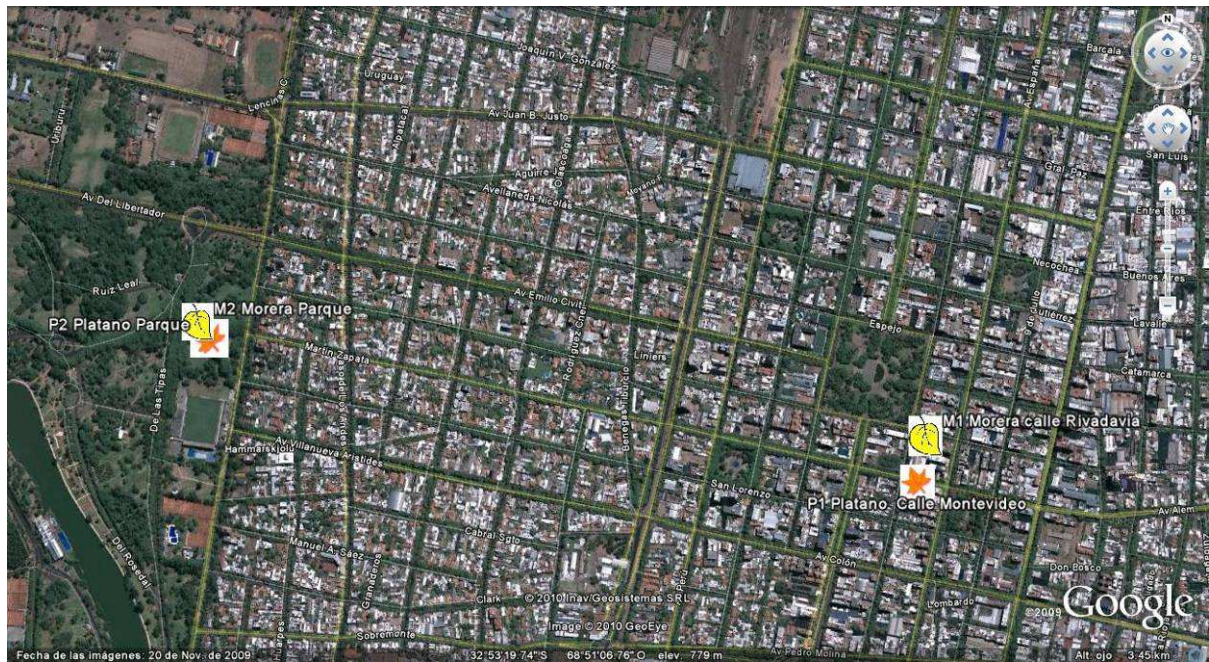


Figura 6. Ubicación de las muestras seleccionadas



Figura 7: Muestra Morera M1 y M2, muestra Plátano P1 y P2

Los periodos de tiempo en que las hojas de los árboles tienen una determinada apariencia de color dependen de la secuencia de eventos biológicos recurrentes (fases fenológicas). Las primeras muestras fueron seleccionadas el 26 de mayo de 2010, incluyéndose en la estación otoño. A modo de ejemplo se presenta la fase fenológica de la especie morera para la estación bajo análisis (Tabla I). Se ha planificado tomar muestras de los mismos ejemplares en la estación verano y realizar los mismos ensayos de propiedades ópticas de las hojas.

Fenología de <i>Morus alba</i> L. "morera"			
Fase fenológica	Fecha		
	Año 2008	Año 2009	Año 2010
Inicio de amarillamiento de hojas	28 marzo	21 abril	20 abril
Menos del 50% de hojas amarillas	11 abril	27 abril	27 abril
Amarillamiento total	18 abril	7 mayo	30 abril
caída de las primeras hojas	29 abril	18 mayo	11 mayo
caída de menos del 50% de las hojas	22 mayo	1 junio	27 mayo
caída de todas las hojas	3 junio	30 junio	11 junio

Tabla I: Seguimiento realizado sobre ejemplares jóvenes en condición de vivero. Ing. Agr. Claudia Martínez.

Las muestras seleccionadas fueron medidas utilizando un espectroradiómetro Optronic Modelo OL-750 por el Ing. Sergio Gor, en el ILAV (Instituto de Investigación en Luz, Ambiente y Visión) UNTucumán-CONICET.

El ensayo de reflectancia difusa fue realizado entre 310 a 1900 nm, cada 5 nm; con detector HSD 300; PTFE originales y fuente incandescente a 6.5 amp. La selección del rango espectral fue realizada hasta el mayor valor posible del equipamiento para poder obtener valores de alcance del IR.

Para la medición de color, se obtuvo la información en los formatos:

Valores Triestímulo (X, Y, Z)

Coordenadas de Cromaticidad CIE 1931 (x, y, z)

Coordenadas UCS 1960 (u, v)

UCS 1976 (u', v')

Temperatura Correlacionada de Color (K)

RESULTADOS

Los resultados obtenidos hacen posible la estimación del grado de reflectancia en la estación otoño de la superficie ocupada por la masa foliar. La medición demuestra la diferencia de la reflectancia entre los colores de las hojas de Morera y Plátano y también podría inferirse el efecto de la deposición superficial sobre las hojas de la suciedad ambiental en entorno urbano de alta densidad, efecto que es más marcado en la Morera (color más claro de hoja). En la figura 8 puede observarse la diferencia de reflectancia espectral según porción Ultravioleta, Visible e Infrarroja de las muestras analizadas.

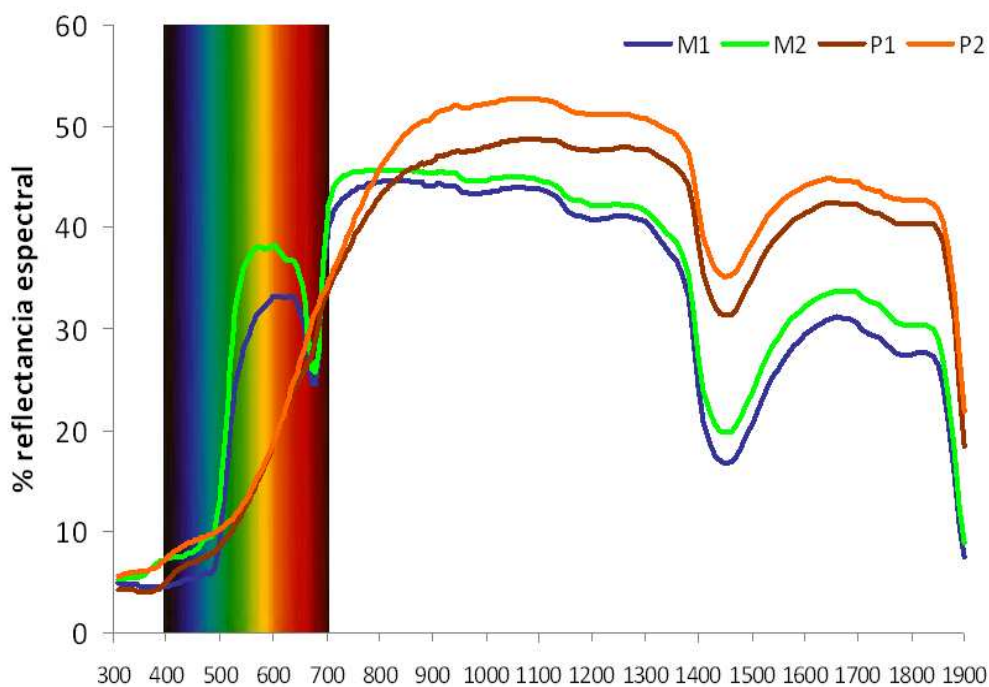


Figura 8: Resultados de medición Reflectancia espectral para las muestras de hojas seleccionadas.

Valores Triestímulo				
	M1	M2	P1	P2
X	2,089.90	3,902.90	2,032.90	2089.90
Y	1,611.90	3,461.30	1,554.20	1611.90
Z	331.52	345.19	261.81	331.52
Coordenadas de cromaticidad CIE 1931				
x	0.5182	0.5063	0.5282	0.5182
y	0.3996	0.4490	0.4038	0.3996
z	0.0822	0.0448	0.0680	0.0822
Coordenadas UCS 1976				
u	0.3066	0.2746	0.3112	0.3066
v	0.5321	0.5479	0.5353	0.5321
Temperatura Correlacionada de Color				
K	1985.10	2417.10	1929.50	1985.10

Tabla II: Resultados de cromaticidad de las muestras analizadas

Los datos obtenidos en formatos de cromaticidad, pueden ser ingresados en software de cálculo de iluminación natural, como el modelo RADIANCE, que permite la creación de nuevos materiales y sus propiedades ópticas.

Un ejemplo de aplicación puede realizarse mediante el uso de la herramienta on-line denominada con la cual se puede elaborar una base de datos de propiedades fotométricas de materiales opacos y transparentes (Bodarta et al., 2008). Esta herramienta permite transformar en dos pasos los datos de cromaticidad, como los obtenidos en la medición realizada en este trabajo, en datos de color en formato RADIANCE e incorporar los mismos en el proceso de simulación numérica y renderizado de iluminación.

Por otra parte, desde el punto de vista térmico, y para las condiciones analizadas vemos como en las especies evaluadas, tanto las ubicadas en el área urbana como en la periferia de la ciudad presentan una reflectividad que oscila entre el 42% y el 52% de la difusa reflejada en el rango de los 800 a los 1300 nm, la reflectividad se modifica con las características de la especie siendo en este caso mayor para el plátano; y decrece de acuerdo a los niveles de polución a los que se encuentra expuesto el forestal, dado que siempre las especies localizadas en entornos urbanos presentan reflectancia inferiores respecto a la misma especie en la periferia.

En todos los casos se produce una mayor absorción de la radiación en el rango que va desde los 1400-1500 nm respondiendo a alguna característica propia de la fisiología vegetal de cada una de las especies, y a partir de los 1500 a 1900 nm la reflectancia decrece, oscilando entre 25% a un 45% para los casos evaluados, siendo además mas marcada la diferencia de reflectancia en este rango, según la especie (ver morera versus plátano en la figura 8).

CONCLUSIONES

La obtención de datos de cromaticidad de las superficies de las hojas analizadas en los formatos anteriormente mencionados, permitirán incorporar en distintos modelos de predicción la medición de color con mayor precisión. Los cálculos que contemplen estos datos mejorarán considerablemente el análisis de la influencia de la componente reflejada por el bosque urbano en la disponibilidad del recurso solar (tanto en la visible como en la infrarroja).

Teniendo en cuenta su impacto sobre los balances radiativos del entorno, la radiación solar reflejada proveniente del piso y las paredes de un espacio urbano que incida sobre la copas de las especies evaluadas durante el otoño, será reflejada nuevamente al espacio en proporción del 40%. Esta situación mejorará la ganancia radiativa del mismo y el entorno radiante sobre los peatones pudiendo resultar beneficioso o no, dependiendo de la configuración del mismo. Si este comportamiento se mantiene durante el verano, acentuará el desconfort térmico del espacio. Esta hipótesis avala la importancia de continuar la evaluación para distintas especies y distintas estaciones, así como analizar un mayor número de muestras cuyos promedios avalen estadísticamente las primeras tendencias observadas.

AGRADECIMIENTOS

Las autoras agradecen al Dr. C. Kirschbaum por las consultas efectuadas en el tema del presente artículo., así como al Ing. Sergio Gor del ILAV-UNT CONICET.

REFERENCIAS

Bodarta, M., de Peñarandab, R., Deneyerc, A. y Flamante, G. (2008). Photometry and colorimetry characterisation of materials in daylighting evaluation tools. *Building and Environment* 43: 2046–2058.

Bodarta, M., de Peñarandab, R., 2010. Modelo Materieux. <http://www-energie.arch.ucl.ac.be/materiaux/default.asp> Página consultada el 12/08/2010.

Brotas, L. y Wilson, M. (2006). Daylight in Urban Canyons: Planning in Europe. PLEA 2006, Geneva, Switzerland.

Cabello, A. J. y Kirschbaum, C. (2001). Modelling Of Urban Light Pollution: Seasonal And Environmental Influence. *Journal of the Illuminating Engineering Society* 30: 142-151.

Cantón, M.A., Cortegoso, J.L., de Rosa, C. (2001). Environmental and energy impact of the urban forest in arid zone cities. *Architectural Science Review* 44: 3 - 16.

Compagnon, R. (2004). Solar and daylight availability in the urban fabric. *Energy and Buildings* 36: 321–328.

Córica, L. (2010). Comportamiento de la luz natural en entornos urbanos representativos del modelo oasis en regiones áridas. Caso de estudio: ciudad de Mendoza. Tesis de Doctorado -Departamento de Luminotecnia, Luz y Visión Herberto Büller. Tucumán, Universidad Nacional de Tucumán. Doctorado: 299.

Córica, L. y Pattini, A. (2008). Disponibilidad lumínica en recintos urbanos característicos del modelo oasis de la ciudad de Mendoza. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* 12(1): 139-146.

Córica, L. y Pattini, A. (2009). Study of the potential of natural light in low and high density urban environments in the oasis city of Mendoza, in summer. *Journal of Light & Visual Environment* 33(2): 101-106.

Pattini, A. (2007). Eficiencia Lumínica de dispositivos de control y difusión de la luz solar aplicables a ventanas en aulas, en la provincia de Mendoza, Argentina. DLLYV, Fac. e Ciencias Exactas y Tecnología, UNTucumán. LAHV-INCIHUSA, CCT CONICET Mendoza. San Miguel de Tucumán, Argentina, Universidad Nacional de Tucumán. Doctorado: 165.

Pattini, A. y Betman, E. (1998). Estudios preliminares para evaluar la iluminación natural exterior en Mendoza. *Mediciones y Modelizaciones. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* 2(1).

Pattini A., Mermet A., de Rosa C. (1996). An exterior illuminance predictive model for clear skies in mid-western Argentina. *Energy and buildings* 24(2): 85-93.

Tedeschi E. (1961) Informe Tedeschi, documento final de la Oficina de Planeamiento Urbano y Código de Edificación de la Municipalidad de la Capital, Mendoza, Argentina.

ABSTRACT

The radiative flows that happen in an urban environment are of great complexity. Particularly in those with presence of urban forest. One of the necessary information to achieve major precision in lighting calculations are the optical properties of canopy surface tree. This work presents the results of these properties in two typical tree species of Mendoza City, for samples of high density environment and out of the city, in autumn. The results show on the one hand the impact of both species in the spectral reflectance that they contribute to the luminous flow and the decrease of reflectance for effect of the typical pollution of highly densities zones. The information of chromaticity can serve of input for software of lighting calculation to improve the precision of the information.

Keywords: reflectance, daylighting and urban tree.