

UTILIZACIÓN DE SISTEMAS PASIVOS DE ILUMINACION NATURAL EN SALAS DE PROPAGACIÓN AGÁMICA DE PLANTAS

Ferron, L^{1*}, García V^{2}, Villalba, A^{3*}, Iriarte, A^{4**}, Pattini, A^{5*}, Lesino, G^{6***}.**

^{*}Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda – INCIHUSA CCT CONICET Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) Centro Científico y Tecnológico CONICET Mendoza, Argentina. Tel. 0261-4288797 – Fax 0261-4287370. Correo electrónico: apattini@lab.cricyt.edu.ar

^{**}Grupo de Energías Renovables Catamarca, INENCO – CONICET- Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Catamarca, Argentina.

^{***}Instituto de Investigaciones en Energías No Convencionales, INENCO – CONICET – Universidad Nacional de Salta⁷.

RESUMEN

El trabajo presentado muestra los resultados lumínicos obtenidos dentro de una Sala de propagación agámica de plantas, gracias a la aplicación de un Sistema Pasivo de Iluminación Natural. Se evaluó, por una parte, las características de la distribución de iluminancias dentro de la sala, para tres diferentes alturas y distintos momentos del día, y por otra parte, el aporte lumínico del sistema medido en flujo. Finalmente, se calculó cuál es el ahorro energético que el sistema genera. Los resultados mostraron la utilización de Sistema Pasivo de Iluminación Natural en aplicaciones de producción agámica de plantas puede redundar en un importante ahorro de la energía eléctrica utilizada diariamente por los sistemas de iluminación artificial.

PALABRAS CLAVE: Iluminación natural, Producción de plantas, Sistemas pasivos

INTRODUCCIÓN

La integración de Sistemas Pasivos de Iluminación Natural (SPIN) a edificios de uso agroindustrial permite alcanzar resultados óptimos en relación a la cantidad y calidad de luz utilizada en el interior de los recintos, disminuyendo además de manera considerable el empleo de recursos energéticos no renovables y el impacto ambiental derivado de los mismos (Kodim et. al. 2001). En la Argentina, la explotación económica de ciertos tipos de cultivos depende directamente de la producción de plantas como actividad industrial. Dentro de este campo, las técnicas de obtención más utilizadas son la propagación por estacas, por injertos y por acodamiento. Sumado a estas, una de las tecnologías de producción que está comenzando a difundirse más ampliamente es la propagación agámica de plantas o la micropropagación por cultivo de tejidos (propagación in vitro).

Estos cultivos in Vitro son incubados generalmente en salas de crecimiento o cría, predominantemente bajo condiciones de luz artificial con regímenes controlados de luz y temperatura. La salas acondicionadas para su realización están generalmente equipadas con tubos fluorescentes, lo que origina altos costos de consumo y mantenimiento, y su gestión está vinculada al suministro de energía eléctrica, lo que frecuentemente implica interrupciones por cortes de servicio o por dificultades en la reposición de fuentes rotas o depreciadas. Por otra parte, estas prácticas constructivas y de producción propenden a que el conocimiento y la tecnología para construir salas de cría sean desarrollados a partir de una fuerte dependencia económica de productos de importación (Govil and Gupta, 1997).

En cuanto a los requisitos energéticos que la propagación agámica exige, encontramos que es crítico solventar la provisión de iluminación, tanto en lo referido a la cantidad como a la calidad de luz entregada. En este sentido, la iluminación natural presenta ciertas ventajas frente al uso de iluminación artificial: en primer lugar, al ser provista por el sol, es una fuente de energía renovable que no posee consumos energéticos asociados, en segundo lugar, se trata de una iluminación más eficiente, ya que la distribución espectral de la luz entregada posee todos los componentes de la radiación fotosintéticamente activa (PAR) necesaria para el desarrollo del tejido vegetal y, en tercer lugar, se reducirían costos vinculados al acondicionamiento térmico ya que la luz solar directa introduce menos calor por lumen que la mayoría de las fuentes de iluminación eléctrica. El adecuado diseño de un SPIN puede generar un potencial de ahorro en energía eléctrica de hasta un 90% y, dependiendo de las condiciones lumínicas de cielo, proporcionar niveles elevados de iluminancia en las horas diurnas para una considerable parte del año, obteniéndose en teoría una iluminancia interior promedio de aproximadamente 1000lux (Pattini et. al. 2009).

¹ Becario PosDoctoral, CONICET

² Facultad de Ciencias Agrarias, UNCa

³ Becaria Tipo 1, CONICET

⁴ Investigador CONICET

⁵ Investigadora Independiente, CONICET

⁶ Investigadora, CONICET

⁷ Financiamiento PICTO 32140 UNCa-INTA

En trabajos anteriores se presentó un monitoreo y simulación de un edificio utilizado para la experimentación y propagación agámica de plantas. En ellos se planteó la necesidad de incorporación de sistemas de iluminación natural y añadir algunas estrategias de diseño que permitan brindar bienestar y confort a las personas que trabajan en el laboratorio. (García et al 2008 y 2009). El presente trabajo muestra los valores lumínicos registrados de la aplicación de un Sistema Pasivo de Iluminación Natural sobre una sala de cría experimental construida por el GERCA, UNCa - CONICET, Catamarca durante la temporada invernal. Finalmente, se presenta cuál sería el consumo eléctrico requerido para equiparar los resultados lumínicos obtenidos mediante una instalación de tubos fluorescentes, estimando de esta forma el potencial ahorro energético alcanzado.

MATERIALES Y METODOS

Sistema anidólico y Sala de Cría

La sala de cría intervenida es un prototipo experimental ubicado en la provincia de Catamarca, República Argentina, 28°45' Latitud Sur -65°78' Longitud Oeste. Consiste en una habitación de 4mt x 4mt, cuya única puerta de acceso está ubicada sobre el muro sur, y en su interior tiene una reflectancia de muros y techos de 0.79%. Todo el aporte de iluminación fue inicialmente proyectado por medio de tubos fluorescentes por lo que no posee ninguna entrada de luz natural. En esta oportunidad, se adaptó sobre el muro orientado al Ecuador un sistema pasivo de iluminación natural de tipo anidólico, que posee una longitud de 4mt y una altura de 0,20mts. Una vez instalado, este dispositivo sobresale 0, 40mt fuera del plano de la fachada (Figura 1).



Figura 1: Izquierda, vista de la ubicación; Derecha, exterior de la fachada norte. Sobre la parte superior se ve el sistema anidólico; la ventana que se encuentra debajo fue clausurada.

El sistema pasivo de iluminación natural desarrollado consistió en un colector anidólico construido sobre la base de funcionamiento de un concentrador parabólico compuesto (CPC) compuesto por un par de reflectores especulares simétricos parabólicos, enfrentados entre ellos de modo que todos los rayos que penetran en el CPC son transmitidos luego, al interior por al menos una reflexión (Courret, Paule et al. 1996). En la figura 2 se pueden ver el esquema de diseño y el corte de la instalación del Sistema sobre la Sala de Cría. También se representa sintéticamente el trazado de rayos para las alturas solares de invierno y verano.



Figura 2: Izquierda, esquema del SPIN utilizado; Derecha, graficación de la trayectoria de rayos

Distribución de luz en el espacio

En el interior de la Sala se trazó una grilla de 28 puntos y se tomaron valores de iluminancia en tres alturas diferentes, correspondientes a las alturas donde se ubicarían los recipientes esterilizados con material vegetal (1,88mt; 1,44mt; 0,425mts) lo que sumó un total de 84 por cada medición. Se utilizaron para los registros de iluminancia un radiómetro LI-COR 189 y un sensor fotométrico LI-210 SB con base niveladora 2003S, y se tomaron registros durante los días 19, 20 y 21 de Julio de 2011, a las 10am, 13:20pm y 16pm. (Figura 2). Las condiciones lumínicas de cielo durante las evaluaciones fueron cielo cubierto (isotrópico) y cielo despejado (CIE, 2003). Como control se tomaron los valores de iluminancia exterior al comienzo y a la finalización de cada medición, comprobando una variación de niveles de iluminancia menor al 5%.



Figura 2: Equipamiento utilizado; Columna con alturas pre-fijadas y sensor fotométrico LI-210 SB.

Flujo de iluminación natural

Se determinó el flujo lumínico aportado por el SPIN por medio de la utilización de la técnica TIP-HDRI, presentada en 2009 por investigadores de la universidad de Monfont, UK y el MIT, USA (Mardaljevic, et. al., 2009) La técnica se basa en el concepto de que las imágenes de alto rango dinámico (HDR) contienen la información de la luminancia de la escena real en cada uno de los píxeles que la componen, esto permite determinar mediante la captura de imágenes con una cámara digital (en este trabajo, una Cannon A570IS) con sensor de semiconductores de óxido de metal (CMOS por su siglas en inglés), cuál es el flujo luminoso emitido por dispositivos de grandes áreas, como pueden ser ventanas o lumiductos.

Para su aplicación, fue necesario determinar el valor del coeficiente de transmisión de luminancia en el espectro visible de un material difuso (q). En este caso, se caracterizó una lámina de papel blanco, de 80gr, que fue colocada como filtro difusor de los haces de luz que travesaban el área de emisión del sistema anidólico. Seguidamente se realizó sobre el papel una serie de fotografías con una apertura de diafragma $f4$ y velocidad de obturación variable, desde $1/2000s$ hasta $1/5s$ (Figura 3). Finalmente se compusieron las imágenes HDR a través de la herramienta on line WebHDR (<http://www.jaloxa.eu/webhdr/>).



Figura 3: Izquierda, modelo de cámara utilizado; Derecha, muestra de fotografías tomadas con diferentes velocidades de obturación.

Los resultados obtenidos luego del procesamiento de los datos de luminancias de las imágenes fueron operados mediante la ecuación:

$$F = E \times A = q^{-1} (L_w - L_r) \times A \quad (1)$$

Donde q^{-1} es el coeficiente de transmisión de luminancia en el espectro visible de un material difuso (sr^{-1}), L_w y L_r son el promedio de luminancia registrado a través del papel y el promedio de la luminancia reflejada por el papel hacia el sensor de la cámara respectivamente (cd/m^2) y A es el área de emisión del dispositivo evaluado (m^2).

RESULTADOS

Fotometría del espacio

Las mediciones dentro de la Sala de Cría fueron tomadas variando las condiciones de iluminación mediante la aplicación o no de un cielo raso suspendido difusor, en este caso, una placa de policarbonato alveolar de 8mm de acabado transparente (Figura 4).



Figura 4: Situación interior con y sin cielo raso difusor (izquierda y derecha).

El relevamiento lumínico programado para la caracterización del espacio se puede visualizar en la tabla 1.

Cielo cubierto			Cielo despejado			Alturas	Tipo de techo
10am	13:20pm	16pm	10am	13:20pm	16pm		
-	Gráfico 1a	Gráfico 1b	-	Gráfico 2a	Gráfico 2b	1,88mt; 1,44mt;	Sin difusor
-	-	-	Gráfico 3a	Gráfico 3b	-	0,425mt	Con difusor

Tabla 1: Esquema de mediciones

Los gráficos 1 a 3 muestran los resultados lumínicos obtenidos en el interior de la Sala de Cría. En cada uno de ellos se muestran los registros en lux para las tres alturas de medición que se consideraron: las superficies naranjas corresponden a los valores a 1,88mt de altura, los valores rojos a 1,44mt de altura y los valores violetas a 0,425mt desde el nivel del piso. Debido a la orientación norte del SPIN, en todos los casos se consideró que los niveles registrados durante las horas de la mañana o de la tarde, podrían ser considerados simétricos.

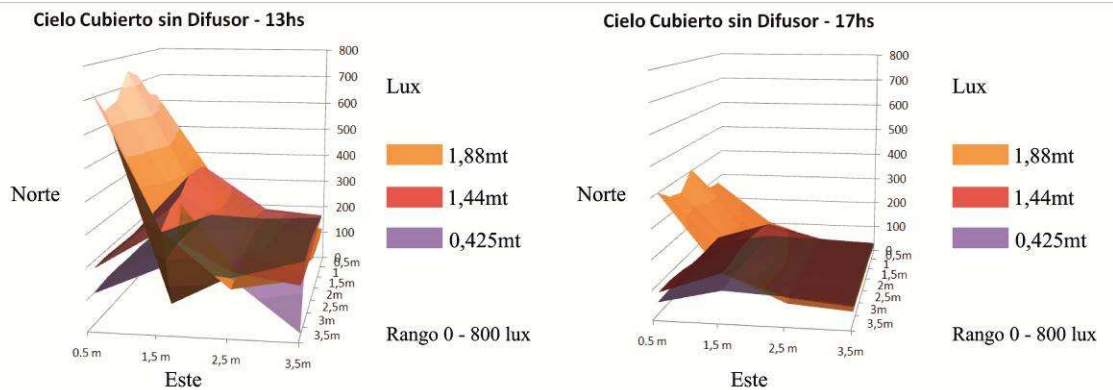


Gráfico 1: Distribución de iluminancias a) Cielo cubierto sin difusor, 13hs rango 0lux – 800lux b) Cielo cubierto sin difusor, 17hs rango 0lux – 800lux

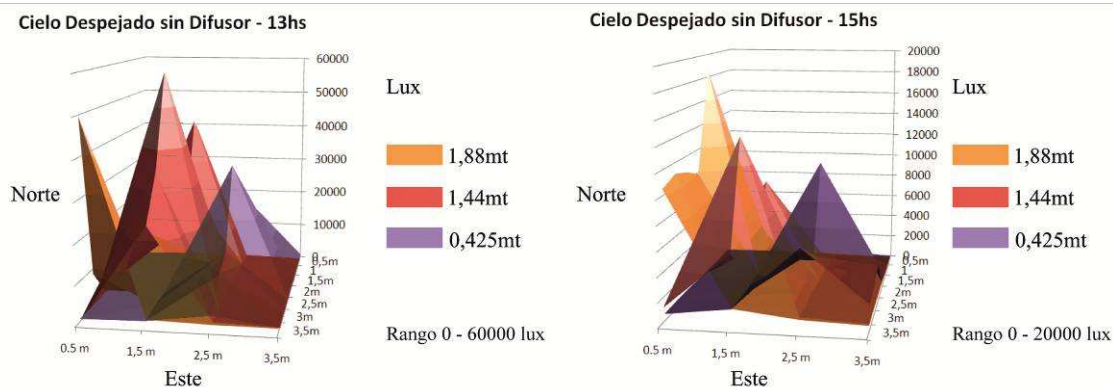


Gráfico 2: Distribución de iluminancias a) Cielo despejado sin difusor, 13hs rango 0lux – 60000lux b) Cielo despejado sin difusor, 15hs rango 0lux – 20000lux

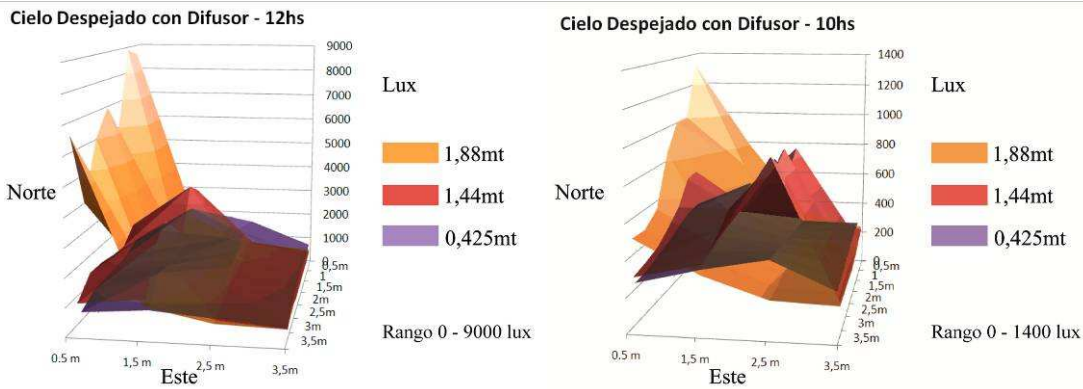


Gráfico 3: Distribución de iluminancias a) Cielo despejado con difusor, 12hs rango 0lux – 9000lux b) Cielo despejado con difusor, 10hs rango 0lux – 1400lux

En primer lugar, los gráficos 1a y 1b muestran la situación lumínica interior durante la medición del espacio para un día de invierno con cielo totalmente cubierto, con una iluminancia global exterior (E_{med}) de 19250lux y 7200lux para las 13hs y 17hs respectivamente. Los valores alcanzados en el horario de mayor altitud solar promedian los 249,5lux, con un valor mínimo registrado de 83lux y máximo de 750lux. La uniformidad de la distribución lumínica fue de $U=0,33$. En términos de eficiencia, el nivel de de iluminancia media representa un 1,33% de la iluminancia global exterior. Por otra parte, durante el horario de tarde los niveles alcanzados promediaron los 95,8lux, con una uniformidad $U=0,23$, con un porcentaje promedio de aprovechamiento respecto de la iluminancia global de 1,33%. En los gráficos 2a y 2b se pueden ver los valores en lux obtenidos para la medición bajo cielo despejado, sin cielo raso difusor. Las iluminancias globales exteriores fueron de 65590lux y 59710lux para las horas 13pm y 15pm respectivamente. Durante el medio día solar el promedio de iluminancia registrado fue de $E_{med}=5944lux$, con un valor mínimo registrado de 399lux y un máximo de 58670lux. La uniformidad de la distribución de intensidades fue de $U=0,10$. La eficiencia promedio del SPIN bajo estas condiciones de cielo fue de un 10,13%. En cuanto a los valores registrados en horas de la tarde, el nivel medio de iluminancia alcanzado fue de $E_{med}=2371lux$, con un mínimo de 324lux, un máximo de 18665lux y una uniformidad U de 0,12. El aprovechamiento de la iluminancia global tomando como parámetro el promedio de iluminancias registrado fue de 3,97%.

Finalmente, en los gráficos 3^a y 3b se observan los niveles medidos para la situación de cielo despejado, esta vez con el cielo raso difusor instalado en el interior de la Sala de Cría. Los horarios de medición fueron las 10am y 12pm, a los que correspondieron respectivamente 27300lux y 63400lux de iluminancia global exterior. Comenzando por la descripción de los datos de la hora 12, encontramos que la E_{med} fue de 1691lux, con un valor mínimo de 382lux y un máximo de 8892lux. La uniformidad de la distribución lumínica fue de $U=0,19$ y podemos decir que el nivel de de iluminancia media del espacio de la Sala representa un 2,66% del valor de la iluminancia global exterior. Por otro lado, los registros de la hora 10 muestran una E_{med} de 386lux, valor cuyos extremos son 138lux y 1325lux, arrojando una uniformidad de $U=0,29$ y una eficiencia promedio de 1,4%

Flujo lumínico aportado

En cuanto al flujo lumínico aportado por el SPIN, se aplicó de la técnica TIP-HDRI para evaluar estimativamente la cantidad de luz ingresada al recinto. En este caso, se pudo tomar registro de 3 situaciones: Aporte de las 13hs con cielo cubierto, aporte de las 10hs con cielo despejado y aporte de las 13:20hs con cielo despejado, en todos los casos, durante el mes de Julio (Figuras 5 a 7)

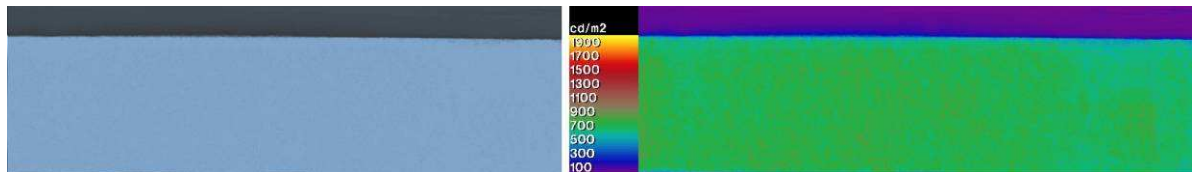


Figura 5: Cielo cubierto, 13hs. Izquierda, imagen HDR sobre la zona de emisión del SPIN; Derecha, visualización de valores en colores falsos, rango: $100cd/m^2$ – $1900cd/m^2$

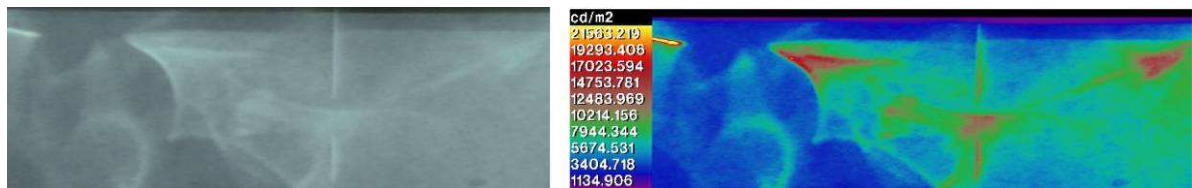


Figura 6: Cielo despejado, 10hs. Izquierda, imagen HDR sobre la zona de emisión del SPIN; Derecha, visualización de valores en colores falsos, rango: $1134cd/m^2$ – $21566cd/m^2$

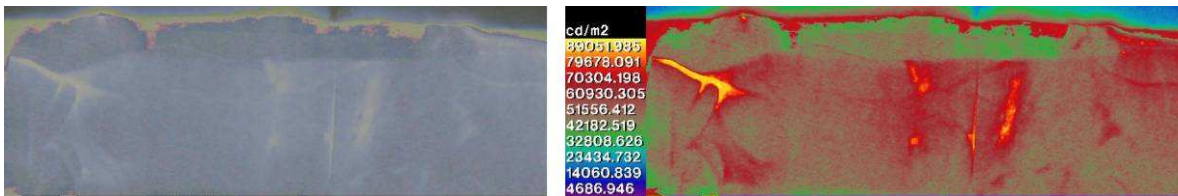


Figura 7: Cielo despejado, 13hs. Izquierda, imagen HDR sobre la zona de emisión del SPIN; Derecha, visualización de valores en colores falsos, rango: 4686cd/m² – 89051cd/m²

Los datos obtenidos se plasmaron en la tabla 2, donde se muestran los resultados en lumens del aporte de luz natural del Sistema al ambiente interior.

Hora	Tipo de cielo	
	Cubierto	Despejado
10	-	50751 lm
13	8269 lm	379473 lm

Tabla 2: Valores de flujo aportados por el sistema anidólico, expresados en lumens.

A partir de estos resultados, y con el objetivo de evaluar cuál es el potencial de ahorro energético generado, se calculó una instalación de tubos fluorescentes cuyo flujo lumínico sea equiparable los niveles de flujo aportados por el sistema anidólico. La comparación entre ambos sistemas permitió establecer una primera aproximación del ahorro en watts/hora factible de ser alcanzado gracias a la utilización del SPIN. De esta manera, se determinó mediante catálogo que los tipos de tubos a utilizar, adecuados por su distribución espectral, poseen una eficiencia aproximada de 38,7 lm/W. (OSRAM, 2008)

En la tabla 3 se puede ver para cada flujo registrado la cantidad de tubos fluorescentes necesarios para lograr un flujo equivalente, el flujo entregado individualmente por cada fuente, y el consumo de la instalación en Wh.

Flujo SPIN	Fuente	Lumens por unidad	Consumo unitario (W)	Cantidad necesaria	Consumo total (W/h)
8269	Fluora L58 W/77	2250	58	3,67	213
50751	Fluora L58 W/78	2250	58	22,5	1308
379473	Fluora L58 W/79	2250	58	168,65	9781

Tabla 3: Consumos estimados en W para instalaciones de iluminación artificial con entrega de flujos equivalentes.

Si bien el cálculo propuesto no contempla el consumo de los sistemas de balastos, necesarios para el funcionamiento de las fuentes fluorescentes, o el consumo eléctrico generado por posibles estrategias de refrigeración que permitan mantener el interior del recinto de la sala de Cría dentro del rango de temperaturas adecuado para el desarrollo de los tejidos vegetales, podemos ver claramente que, aún en las situaciones lumínicas exteriores más desfavorables como son las de los meses de invierno, la aplicación de un Sistema Pasivo de Iluminación Natural permitiría un ahorro estimado del consumo eléctrico destinado a iluminación de entre 213Wh y 9781Wh.

CONCLUSIONES

El trabajo realizado permitió documentar los niveles de iluminancia horizontal para tres diferentes alturas dentro de una Sala de Cría para la propagación agámica de plantas, entregados por un Sistema Pasivo de Iluminación Natural. Para la época invernal, en el mes de Julio, se verificó que el funcionamiento óptimo del colector anidólico instalado se alcanza durante las horas cercanas al mediodía solar de jornadas con condiciones de cielo despejado, llegando a niveles de eficiencia de hasta el 10% aproximadamente. Por otro lado, para el caso de días de cielo cubierto, este valor desciende hasta llegar a un 1,33% del total de la iluminancia global exterior. Independientemente de la diferencia entre los valores de E_{global} registrados para las distintas condiciones de cielo, podemos decir que el rendimiento del SPIN es óptimo bajo la incidencia de haces de luz solar directa. Este rendimiento está también asociado al ángulo acimutal del sol, y su máximo coincide con el valor de 90°

En lo referido a la distribución de la iluminancia en el interior del recinto, los coeficientes de uniformidad más favorables se registraron, en primer lugar, bajo condiciones de cielo cubierto, y seguidamente bajo condiciones de cielo despejado con la utilización de un cielo raso difusor de policarbonato. Esta estrategia trajo aparejada sin embargo, una disminución de los niveles generales de iluminación de aproximadamente un 71%.

Finalmente, y en cuanto al flujo lumínico aportado por el Sistema, se corroboró analíticamente que las instalaciones de iluminación artificial necesarias para producir los niveles de flujos equivalentes a los aportados por el SPIN, generarían consumos eléctricos en el orden de los 200Wh hasta los 9700Wh.

Los resultados obtenidos sugieren que el diseño e instalación de sistemas pasivos de iluminación natural, proyectados para su uso en salas de producción vegetal por propagación agámica, puede redundar en un importante ahorro de la electricidad utilizada durante horas del día por los sistemas de iluminación artificial. El estudio de la eficiencia de los SPIN durante los meses de verano, así como también el aporte calórico del sistema al interior de las salas y la complementariedad de sistemas de iluminación natural con sistemas de iluminación artificial son aspectos a tomar en cuenta para la prosecución del trabajo realizado.

REFERENCIAS

- CIE (2003) "Spatial Distribution of Daylight", CIE Standard General Sky, ISO 15469:2004 (E) / CIE S 011/E:2003.
- Cárter, D., 2002 "The measured and predicted performance of passive solar light pipe systems". Lighting Resesarch and technol.
- Evans JM, Fernandez Xifra MV, 2002 "Sistemas innovativos para el direccionamiento de luz natural. Peliculas holográficas y lumiductos" AVERMA
- Ferrón, L.; Pattini, A. y Lara, M., 2005 "Disponibilidad comercial de sistemas de transporte de luz natural", AVERMA.
- Govil, S.; Gupta, S. C." Commercialisation of plant tissue culture in India". Plant Cell Tiss. Organ Cult. 51:65 - 73; 1997
- Institut für Licht und Bautechnik FH Köln, 2000 "Systematic zu Tageslichtsystemen" Fachhochschule Köln, Colônia.
- Kodym, a. H., s. Zapata-arias, f. (2001). "Cost reduction in the micropropagation of banana by using tubular skylights as source for natural lighting." In Vitro Cell. Dev. Biol. Plant 37: 237-242.
- Mardaljevic, J., Painter, B., Andersen, M. (2009) "Transmission illuminance proxy HDR imaging: A new technique to quantify luminous flux" Lighting Research and Technology, 41 (1) pp. 27-49
- Pattini, Andrea; García, Víctor; Iriarte, Adolfo; Ferrón, Leandro; Villalba, Ayelén; Flores Larsen, Silvana; Lesino, Graciela "Evaluacion de la iluminación natural, temperatura humedad en una sala de preparación para producción agamica de plantas" IV Conferencia Latino Americana de Energía Solar (IV ISES_CLA) y XVII Simposio Peruano de Energía Solar (XVII- SPES),

ABSTRACT:

This work shows the lighting results obtained thanks the application of a passive natural lighting system in a room for agamic propagation of plants. Was evaluated on the one hand, the characteristics of illuminance distribution into the room for three different heights and different hours, and on the other hand, the luminous flux contribution of the system to the room. Finally, we calculated the electric energy savings generated by the system. The results showed that the use of passive natural lighting systems applicated on agamic plant production can result in significant savings in electricity used daily by artificial lighting.