

Revista de la Universidad del Zulia

Fundada en 1947
por el Dr. Jesús Enrique Lossada



Ciencias

del Agro

Ingeniería

y Tecnología

Año 5 N° 11

Enero - Abril 2014
Tercera Época
Maracaibo - Venezuela

REVISTA DE LA UNIVERSIDAD
DEL ZULIA
Tercera Época
Ciencias del Agro, Ingeniería y Tecnología

Año 5 Nº 11 Enero-Abril 2014



PUBLICACIÓN AUSPICIADA
POR LA UNIVERSIDAD DEL ZULIA
Y LA GOBERNACIÓN BOLIVARIANA DEL ESTADO ZULIA

Esta revista fue impresa en papel alcalino.

*This publication was printed on acid-free paper that meets
the minimum requirements of the American National Standard
for Information Sciences-Permanence for Paper for
Printed Library Materials, ANSI Z39.48-1984*

**Indizada, registrada y/o catalogada
electrónicamente en las siguientes bases de datos:**

**REVENCYT
REVICYHLUZ
LATINDEX
CLASE
PERIODICA**

Issuu:

<http://Issuu.com/revistadelauniversidaddelzulia>

REVISTA DE LA UNIVERSIDAD DEL ZULIA

© 2014. Universidad del Zulia

ISSN 0041-8811

Depósito legal pp 76-654

Portada:

Concepto gráfico: Laura González

Diagramación final: Javier Ortiz

Diagramación e impresión: Ediciones Astro Data, S.A.

Teléfono: 0261-7511905. Fax: 0261-7831345

edicionesastrodata@cantv.net

Maracaibo - Venezuela

REVISTA DE LA UNIVERSIDAD DEL ZULIA.

Calle 67 (prolongación Cecilio Acosta) con Av. 16 (Guajira).

Nueva sede rectoral de la Universidad del Zulia. Edificio Fundadesarrollo.

Maracaibo, estado Zulia, Venezuela. Teléfono/Fax: 58-261-7831611.

Correos electrónicos: revistauniversidaddelzulia@gmail.com, revistadeluz@gmail.com

Revista de la Universidad del Zulia

Tercera Época

ISSN 0041-8811 ~ Depósito legal pp 76-654

El Dr. Jesús Enrique Lossada, luego de trabajar infatigablemente hasta lograr la reapertura de la Universidad del Zulia, el 01 de octubre de 1946, le aportó a esta institución su primera revista científica: la *Revista de la Universidad del Zulia*, fundada por este insigne zuliano, el 31 de mayo de 1947. En su Tercera Época la revista mantiene la orientación que le asignara su fundador: es un órgano científico de difusión de trabajos parciales o definitivos de investigadores y/o equipos de investigación nacionales y extranjeros. La revista posee un carácter multidisciplinario, por ello su temática se divide en tres grandes ejes: a. ciencias sociales y arte; b. ciencias del agro, ingeniería y tecnología; c. ciencias exactas, naturales y de la salud. Su publicación es cuatrimestral. Cada número, de los tres del año, se corresponde con uno de los tres ejes temáticos. La *Revista de la Universidad del Zulia*, por su naturaleza histórica y patrimonial, está adscrita a la Cátedra libre Historia de la Universidad del Zulia.

Directores y Responsables

Eméritos

Jesús Enrique Lossada
José Ortín Rodríguez
José A. Borjas Sánchez
Felipe Hernández
Antonio Borjas Romero
César David Rincón
Sergio Antillano

Directora

Imelda Rincón Finol

Coordinador

Reyber Antonio Parra Contreras

Editoras Asociadas

Thaís Ferrer
Gioconda Brun

Comité Editorial

Imelda Rincón (LUZ)
Reyber Parra (LUZ)
Teresita Álvarez (LUZ)
Jesús Medina (LUZ)
José Lárez (UNERMB)
Marielis Villalobos (LUZ)

Comité Asesor

Nelson Márquez (LUZ)
Judith Aular (LUZ)
Rutilio Ortega (LUZ)
Thaís Ferrer (LUZ)
Alí López (ULA)
Antonio Castejón (LUZ)
Ana Judith Paredes (LUZ)
María Dolores Fuentes Bajo
(Universidad de Cádiz, España)
Néstor Queipo (LUZ)
Ana Irene Méndez (LUZ)
Mayela Vílchez (LUZ)
Modesto Graterol (LUZ)
Mario Ayala (UBA Argentina)
Tomás Fontaines (UDO)
Enrique Pastor Seller
(Universidad de Murcia, España)
Lourdes Molero (LUZ)

Colaboradora

Nancy Feria
(FUNDADESARROLLO-LUZ)



Autoridades

Jorge Palencia
Rector

Judith Aular de Durán
Vice Rectora Académica

María Guadalupe Núñez
Vice Rectora Administrativa

Marlene Primera
Secretaria

Imelda Rincón Finol
*Coordinadora de la Cátedra Libre
Historia de la Universidad del Zulia*

Contenido

7 Thaís Ferrer de Molero
Presentación

11 María Moreno, Martha Medina, Nixon Molina, Jesús Díaz
Variabilidad espacial de la fertilidad de los suelos agroforestales en la Sierra de Perijá, municipio Rosario de Perijá /// Spatial Variability of Agroforestry Soil Fertility in the Perijá Mountain Range, Rosario de Perija Municipality

27 C. Tuemmers, C. Nuñez, Willgert K., M. Serri
Anisakiasis y Diphilobotriasis. Ictiozoonosis de riesgo para la salud pública asociada al consumo del pescado crudo en Chile /// Anisakiasis and Diphyllobothriasis. Ichthy Zoonoses, a Public Health Risk Associated with Raw Fish Consumption in Chile

40 Enio Ortiz Valenzuela
Normativa de origen automotriz del acuerdo de alcance parcial comercial N° 28 Colombia-Venezuela /// Regulation about Automotive Origin in the Colombia-Venezuela Partial Trade Agreement N°28

56 Ana Barboza D., Juan González L., Sandra Viada A., Axa Rojas
Parámetros fundamentales para una iluminación energéticamente eficiente en oficinas y áreas de trabajo /// Basic Parameters for Energy-Efficient Lighting in Offices and Work Areas

79 Ede Coromoto Martínez, Lesvia Pérez Laurens,
Celso E. Llimpe, Magalis Gallardo

Aislamiento acústico de prototipos de techos ecológicos multicapas. Hacia una arquitectura verde con calidad acústica /// Soundproofing Multilayer Green Roof Prototypes. Toward a Green Architecture with Sound Qualityh Sound Quality

106 Rosalinda del V. González Gómez

Reflexión y refracción en componente de conducción de luz natural /// Reflection and Refraction in the Conduction Component for Natural Light

135 Normas para la presentación de trabajos

Presentación

Sostenibilidad. Compromiso transversal de las ciencias

“Desarrollo que satisface las necesidades del presente sin poner en peligro las capacidades de las generaciones futuras”

Cumbre Mundial del Desarrollo Sostenible 2002

La alarma ecológica y la crisis energética reflejada en la calidad ambiental del Sistema Tierra, es una realidad. Todas las ciencias desde su naturaleza y perspectiva aplican criterios de sostenibilidad, con desafío de generar estrategias innovadoras que permitan el equilibrio social, económico y ambiental en el desarrollo del hábitat humano.

Las ciencias desempeñan un importante papel en la tarea de preservar el planeta Tierra como sustentador de la vida y facilitador del desarrollo del hombre en todas las generaciones futuras; se hace necesaria la interacción entre las ciencias con la formulación y puesta en práctica de políticas integracionistas con la sociedad, considerando las comunidades con respecto a sus etnias y culturas.

Al respecto, la Conferencia Internacional sobre un Programa de Ciencia para el Medio Ambiente y el Desarrollo en el Siglo XXI (ASCEND 21), concluye en lo siguiente:

1. Refuerzo de la base científica para la ordenación sostenible.
2. Aumento de los conocimientos científicos.
3. Mejoramiento de la evaluación científica a largo plazo.
4. Aumento de la capacidad científica.

Estos aspectos no refieren a una ciencia en particular; de igual manera, no refieren a los actores e instituciones que lleven esa responsabilidad; todas las ciencias, las universidades, las empresas, los gobiernos, las comunidades deben llevar adelante estrategias metodológicas instrumentadas mediante políticas públicas, conjuntamente con mentalidad creadora e innovadora para preservar el Sistema Tierra.

Desde las Ciencias del Agro, se proponen nuevos modelos de producción en el manejo sustentable de los cultivos con cuidados ecológicos, en el marco de la ética y compromiso moral.

Desde la Ingeniería, la sostenibilidad y respeto por los recursos naturales se convierten en el eje rector de la planificación y ejecución de los grandes proyectos inherentes a su naturaleza, respetando el ambiente y comunidades, sin perder su eficiencia y criterios de calidad.

Para la Arquitectura sostenible se busca optimizar los recursos y materiales, disminuir al máximo el consumo energético, promover la energía renovable y la eficiencia energética, implementando estrategias de diseño bioclimático, con el apoyo de la tecnología que propicie el desarrollo humano y ambiental en forma honesta y responsable.

En este número 11, la *Revista de la Universidad del Zulia* aspira abrir una ventana con temas de vital importancia para el mundo globalizado, de tal forma que recordemos la altísima responsabilidad que tiene una institución de enseñanza de educación superior, como garante de la vigencia, actualización y pertinencia de las ciencias y su incubación en temáticas trascendentales para salvaguardar el Sistema Tierra.

Los artículos que se incluyen en el número 11, desde las Ciencias del Agro, Ingeniería y Tecnología, son los siguientes:

1. *Variabilidad espacial de la fertilidad de los suelos agroforestales en la Sierra de Perijá, municipio Rosario de Perijá*, presentado por María Moreno, Martha Medina, Nixon Molina y Jesús Díaz, cuyo enfoque determina características de fertilidad de los suelos del sistema agroforestal del sector Caña Brava.

2. *Anisakiasis y Difilobotriasis. Ictiozoonosis de riesgo para la salud pública asociada al consumo del pescado crudo*, presentado por C.L. Tuemmers y otros, cuyo contenido trata sobre los efectos en la salud producida por el consumo de pescado crudo, observándose un aumento de enfermedades zoonóticas.
3. *Normativa de origen automotriz del acuerdo de alcance parcial comercial N° 28 Colombia-Venezuela*, presentado por Enio Ortiz Valenzuela; introduce la comprensión de las relaciones comerciales automotrices entre estos dos países, enfocando esta industria en el intercambio normativo bilateral.
4. *Parámetros fundamentales para una iluminación energéticamente eficiente en oficinas y áreas de trabajo*, de los autores Ana Barboza, Juan González, Sandra Viada y Axa Rojas. Enfocan el consumo energético determinando parámetros fundamentales para un sistema eficiente de iluminación.
5. *Aislamiento acústico de prototipos de techos ecológicos multicapas. Hacia una arquitectura verde con calidad acústica*; presentado por Ede Coromoto Martínez, Lesvia Pérez Laurens, Celso E. Llimpe, Magalis Gallardo desarrollan una investigación hacia la búsqueda de una arquitectura verde y ciudades sostenibles.
6. *Reflexión y refracción en componentes de conducción de luz natural*, cuya autora es Rosalinda González; presenta como objetivo analizar el fenómeno de la reflexión y refracción de la luz a partir de la evaluación de una propuesta de componente de conducción de luz natural, que utiliza una superficie interna reflectante en el elemento transmisor y el agua como medio, en el elemento difusor.

Una vez más la comunidad investigadora de las Instituciones de Educación Universitaria, son paradigmas de disciplina investigativa, contribuyendo a la verdad científica.

Variabilidad espacial de la fertilidad de los suelos agroforestales en la Sierra de Perijá, municipio Rosario de Perijá

*María Moreno**
*Martha Medina**
*Nixon Molina***
*Jesús Díaz**

RESUMEN

Con el propósito de determinar las características de fertilidad de los suelos del sistema agroforestal del sector Caña Brava de la Sierra de Perijá (Zulia, Venezuela), se tomaron muestras de suelos a 20 cm de profundidad, las cuales fueron georeferenciadas con GPS. Se determinó el potencial de mineralización del nitrógeno, actividad enzimática, respiración microbiana, pH, textura, conductividad eléctrica, carbono orgánico, nitrógeno total, amonio, nitrato, C/N, fósforo disponible y bases intercambiables. Se realizaron análisis geoestadísticos y mapas de distribución espacial por medio de la interpolación con la técnica de krigage. Las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos mostraron una alta variabilidad espacial, a excepción del pH que tuvo una menor variación espacial. La distribución espacial de respiración microbiana, C/N, potasio y el contenido de arena describieron patro-

* Universidad del Zulia, Facultad de Agronomía, Departamento de Ingeniería, Suelos y Aguas. mariamoreno1968@gmail.com

** Universidad del Zulia, Facultad de Arquitectura y Diseño, Instituto de Investigaciones de Arquitectura.

nes similares. Calcio y el contenido de arcilla presentaron una distribución espacial muy diferente a los anteriores.

PALABRAS CLAVE: Producción agroforestal, fertilidad del suelo, variabilidad espacial, agricultura de precisión, mapas de fertilidad.

Spatial Variability of Agroforestry Soil Fertility in the Perijá Mountain Range, Rosario de Perija Municipality

ABSTRACT

In order to determine soil fertility characteristics for the agroforestry system in the Caña Brava sector of the Perijá mountain range (Zulia, Venezuela), samples of soil were taken at 20 cm depth, which were geo referenced with GPS. The mineralization potential for nitrogen, enzymatic activity, microbial respiration, pH, texture, electrical conductivity, organic carbon, total nitrogen, ammonium, nitrate, C/N ratio, available phosphorus and interchangeable bases were determined. Geostatistical analysis and spatial distribution maps were created using interpolation with the krigage technique. Physical, chemical and biological properties of the soils showed high spatial variability, except for pH, which had a lower spatial variation. The spatial distribution of microbial respiration, C/N, potassium and sand content described similar patterns, while calcium and clay content showed a spatial distribution quite different from the previous.

KEYWORDS: Agroforestry production, soil fertility, spatial variability, precision agriculture, fertility maps.

Introducción

La producción agroforestal en la Cuenca del Lago de Maracaibo, desarrollada en la Sierra de Perijá, responde a sistemas de producción tradicionalistas, poco tecnificados, con baja aplicación de insumos agrícolas, y por ende, obteniéndose bajos rendimientos, que generan pocos excedentes en la producción agrícola para la comercialización en los mercados lo-

cales. En la actualidad, se han establecido pequeñas parcelas agrícolas, en algunas áreas de la Sierra de Perijá perteneciente al municipio Rosario de Perijá, donde se han desarrollando diversos cultivos de subsistencia, tales como maíz, frutales y algunos hortícolas; sin embargo, con el apoyo de un programa financiero gubernamental se ha promocionado la producción de cacao en estas zonas forestales con fines de comercialización, por lo que se debe garantizar altos rendimientos, los cuales son significativamente bajos en Venezuela ($418 \text{ Kg} \cdot \text{ha}^{-1}$), en comparación con el promedio mundial (FEDEAGRO, 2013).

De esta manera, es importante la gestión de los recursos naturales y de producción a través de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para aplicar un paquete tecnológico adaptado a los distintos agrosistemas de producción agroforestal, los cuales generalmente incluyen la producción integral de varios cultivos dentro de una misma parcela (Campo, 2005). Uno de los aspectos primordiales para los SIG de estos sistemas agroforestales es conocer las características físicas y bioquímicas de los suelos y el reciclaje de nutrientes que determinan la fertilidad de los mismos (Cerde, 2008), afectando la respuesta de los cultivos a la aplicación de cualquier práctica agronómica, entre ellas la fertilización. Los planes de fertilización en estos sistemas agroforestales deben tener en cuenta un manejo racional de los agroquímicos, ya que se trata de un área donde se localizan importantes fuentes de agua, así como las nacientes de muchos caños y ríos de la Cuenca del Lago de Maracaibo, por lo que se debe evitar la contaminación de suelos y acuíferos.

Esta investigación tuvo como propósito principal determinar las características de fertilidad de los suelos para la producción agroforestal de cultivos en la Sierra de Perijá, con el fin de realizar un manejo sitio-específico de la fertilización de los mismos, sin perjuicio de este frágil medio agroecológico.

1. Materiales y metodología

El área de estudio estaba constituida por parcelas de aproximadamente ocho hectáreas ubicadas en el sector Caña Brava de la Sierra de Perijá, en el municipio Rosario de Perijá. La precipitación de la zona varía entre 1200-2000 mm anuales y temperaturas entre 26-28 °C. Los suelos que predominan son Inceptisoles (Tropets) asociados con Entisoles (Orthents) distribuidos discontinuamente en el área de estudio (COPLANARH, 1975).

Las parcelas estaban divididas en conucos con cultivos diferentes como frutales, cambures y plantaciones jóvenes de cacao criollo (menores a tres años) principalmente, establecidos entre la vegetación forestal de la zona. Se tomaron muestras de suelos georeferenciadas en forma aleatoria de las parcelas a 20 cm de profundidad. La georeferenciación se realizó con GPS tipo Garmin. Las muestras se dividieron en dos partes: una parte se almacenó a 4°C para determinar los parámetros biológicos de los suelos; la otra parte, se secó al aire y se tamizó a 2 mm para establecer las propiedades físico-químicas de los suelos. Entre los parámetros biológicos del suelo, se midieron la respiración microbiana por evolución del CO₂, el potencial de mineralización del nitrógeno por incubación del suelo y extracción de nitratos con KCL 1N, la ureasa por incubación del suelo con una solución de úrea, a 37 °C por una hora, y la fosfatasa ácida y alcalina por transformación del p-nitrofenol a p-nitrofenil y lectura por colorimetría. Las características físico-químicas evaluadas fueron la textura por Bouyoucos, pH y la conductividad eléctrica medidas en suspensión 1:2,5 suelo: agua, carbono orgánico por Walkley-Black, nitrógeno total por Kjehdahl, fósforo disponible por Olsen y potasio, calcio y magnesio disponibles por el método de Morgan modificado. Además se calcularon las relaciones C/N, K/Ca, K/Mg y (Ca+Mg)/K.

Las estadísticas descriptivas de las variables medidas se realizaron con SAS v. 8.01 (SAS, 1991). El programa geoestadístico GS⁺ (Robertson, 2000) fue utilizado para llevar a cabo los análisis espaciales y obtener los mapas para el manejo sitio-específico de la fertilidad de los suelos, por interpolación de las observaciones georeferenciadas empleando la técnica de krigage.

2. Resultados y discusión

La textura de los suelos fue predominantemente franca y en algunos sectores franco-arenosos, con pH ligeramente ácido a neutro, tenores de medios a bajos de CO, NT y Mg, en tanto que los contenidos de P, K y Ca fueron de medios a altos (cuadro 1). Estas características químicas tienen su origen en el material parental de estos suelos pertenecientes a las formaciones geológicas Colón (subgrupo Cogollo), La Luna (miembro Tres Esquinas) y Río Negro, los cuales son ricos en minerales calcáreos, fosfáticos, feldespáticos y piritas, entre otros (Stainforth, 1962).

CUADRO 1. Características físicas y químicas de los suelos del sector Caña Brava de la Sierra de Perijá

| | Media | Desviación Estándar | Error Estándar | CV (%) | Mín. | Máx. | Rango |
|--------------------------------|--------|---------------------|----------------|--------|--------|--------|--------|
| pH (1:2,5) | 6,58 | 0,47 | 0,08 | 7,09 | 5,90 | 7,60 | 1,70 |
| CE (1:2,5 dS.m ⁻¹) | 0,05 | 0,02 | 0,00 | 29,70 | 0,03 | 0,09 | 0,06 |
| CO (%) | 1,06 | 0,44 | 0,08 | 41,20 | 0,13 | 1,86 | 1,73 |
| NT (%) | 0,48 | 0,41 | 0,08 | 86,86 | 0,129 | 1,491 | 1,43 |
| C/N | 3,41 | 2,51 | 0,48 | 73,63 | 0,18 | 7,75 | 7,41 |
| P (ppm) | 91,00 | 51,81 | 9,79 | 56,93 | 8,00 | 184,00 | 176,00 |
| K (mg.Kg ⁻¹) | 113,27 | 75,41 | 13,77 | 66,58 | 25,00 | 289,00 | 264,00 |
| Ca (mg.Kg ⁻¹) | 318,58 | 110,41 | 19,83 | 34,66 | 104,00 | 531,00 | 427,00 |
| Mg (mg.Kg ⁻¹) | 38,41 | 14,56 | 2,70 | 37,90 | 12,00 | 67,00 | 55,00 |
| Ca/Mg | 4,77 | 1,94 | 0,35 | 40,72 | 1,60 | 8,66 | 7,06 |
| Ca/K | 5,95 | 5,04 | 0,97 | 73,38 | 0,93 | 20,45 | 19,52 |
| Mg/K | 1,65 | 1,33 | 0,24 | 80,68 | 0,21 | 4,40 | 4,19 |
| (Ca+Mg)/K | 8,82 | 6,7 | 1,24 | 76,01 | 1,29 | 23,90 | 22,61 |
| Arena (%) | 42,29 | 8,66 | 1,61 | 20,48 | 29,60 | 58,80 | 29,20 |
| Limo (%) | 39,82 | 6,99 | 1,30 | 17,55 | 27,20 | 53,60 | 26,40 |
| Arcilla (%) | 18,31 | 5,83 | 1,05 | 31,86 | 7,60 | 27,60 | 20,00 |

En general, las propiedades de los suelos mostraron una alta variabilidad en el área de estudio, a excepción del pH que mostró el más bajo coeficiente de variación (CV=7,09 %), seguido por el contenido de arena y de limo cuyos coeficientes de variación fueron menores al 20%. Estos resultados indicaron que el pH, arena y limo de estos suelos poseen distribución espacial más o menos uniforme en el terreno. Contrariamente, el resto de las propiedades químicas evaluadas presentaron una alta variabilidad en el área, con coeficientes de variación que oscilaban alrededor del 40% para CE, textura, Ca, Mg, Ca/Mg y CO, y superior al 50% para NT, P, K, Ca/K, Mg/K y (Ca+Mg)/K. Estos resultados coinciden con los encontrados en suelos agrícolas con aporte de materia orgánica en forma periódica previo al inicio de los ciclos de producción (Moreno, 2009).

Las propiedades biológicas mostraron un comportamiento similar al de la mayoría de las propiedades físico-químicas en estos suelos (cuadro 2). El PMN, N-NH₄, URE y FAC presentaron coeficientes de variación inferiores al 40%, mientras que RM, N-NO₃ y FAL mostraron altos índices de variación en el terreno.

Además de los altos coeficientes de variación de la mayoría de las propiedades de estos suelos, el análisis espacial evidenció un comportamiento aleatorio del PMN, la actividad enzimática, CO, NT, P, Mg, pH, Ca/K y (Ca + Mg)/K; en tanto que RM, C/N, K, Ca, Mg/K y las fracciones arenosas y arcillosas mostraron una dependencia espacial. El comportamiento espaciales de muchas propiedades de los suelos en los sistemas agroforestales, es afectada por factores como la pendiente, topografía, precipitaciones, deposición de materiales orgánicos, lixiviación, etc. (Cerdeña, 2008). En este caso, el comportamiento espacial de las propiedades de estos suelos probablemente está asociado a las diferencias agroclimáticas, los procesos de erosión y degradación identificados en este sistema agroforestal montañoso con pendientes variables (figura 1).

CUADRO 2. Características biológicas de los suelos del sector Caña Brava de la Sierra de Perijá

| | Media | Desviación Estándar | Error Estándar | CV (%) | Mín. | Máx. | Rango |
|---|--------|---------------------|----------------|--------|--------|--------|--------|
| RM (mg CO ₂ .Kg ⁻¹ .d ⁻¹) | 14,35 | 8,918 | 1,716 | 62,14 | 2,37 | 36,78 | 34,40 |
| N-NH ₄ (mg N-NH ₄ .Kg ⁻¹) | 33,80 | 12,090 | 2,418 | 35,76 | 7,77 | 57,23 | 49,46 |
| N-NO ₃ (mg N-NO ₃ .Kg ⁻¹) | 27,44 | 16,492 | 3,174 | 60,11 | 0 | 58,14 | 58,14 |
| PMN (mg N.Kg ⁻¹) | 60,32 | 11,058 | 2,128 | 18,33 | 38,84 | 76,87 | 38,03 |
| URE (μg N-NH ₄ .g ⁻¹ .h ⁻¹) | 79,59 | 28,43 | 5,58 | 35,73 | 28,72 | 135,63 | 106,91 |
| FAC (μg PNP.g ⁻¹ .h ⁻¹) | 237,79 | 70,74 | 14,75 | 29,75 | 118,59 | 364,24 | 245,65 |
| FAL (μg PNP.g ⁻¹ .h ⁻¹) | 208,21 | 109,13 | 22,28 | 52,41 | 3,00 | 370,56 | 367,59 |

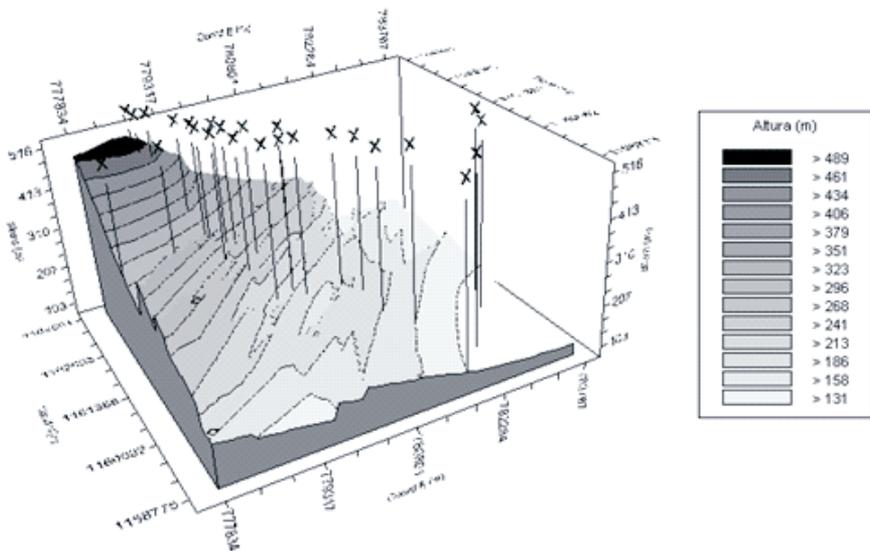


FIGURA 1. Modelo digital de elevación del sector Caña Brava de la Sierra de Perijá, municipio Rosario de Perijá del estado Zulia

La estructura espacial de RM, C/N, Mg/K, Ca y las fracciones arenosas y arcillosas fue explicada por modelos matemáticos esféricos y la del K fue ajustada a un modelo exponencial; además mostraron un comportamiento espacial dependiente de la dirección y la altitud del terreno (anisotropía). Trabajos precedentes en paisajes de colinas y montañas concluyeron que el movimiento de suelos y agua desde las zonas altas y su acumulación en las zonas bajas, originan variaciones importantes en la fertilidad del suelo, la respuesta de los cultivos a las aplicaciones fertilizantes y su rendimiento (Roberts, 2000).

Se observó que RM, C/N, K, Mg/K y la fracción arenosa tenían una mayor dependencia espacial en la dirección de 31° azimuth; en tanto que el Ca y el contenido de arcilla mostraron el mayor eje de anisotropía en la dirección del ángulo formado a los 82° azimuth. Esto demuestra que las propiedades de estos suelos tienen patrones espaciales diferentes, y por tanto los modelos de distribución espacial han sido ajustados a estos ejes de mayor anisotropía, para exponer con mayor precisión las variaciones de la fertilidad en el área de estudio.

Los distintos modelos generados para las propiedades del suelo con dependencia espacial están resumidos en el cuadro 3. El comportamiento espacial de las propiedades de estos suelos ha sido descrito por modelos esféricos, a excepción de K cuya distribución espacial ajustó mejor con un modelo exponencial.

Según los valores estimados del *efecto pepita* o *nugget* (Co) en los modelos de distribución espacial, la textura de estos suelos y las bases intercambiables mostraron una amplia variabilidad espacial a corta distancia, tal como lo describieran precedentemente los coeficientes de variación de estas propiedades. La mayoría de las variables regionalizadas mostraron una fuerte dependencia o estructura espacial (78, 7-87,2 %), sin embargo las propiedades biológicas RM y C/N mostraron una dependencia espacial equiparable a su comportamiento aleatorio (alrededor del 50 %). Esta situación se explicaría en que las propiedades biológicas del suelo son fuertemente influenciadas en su distribución espacial por los patrones de deposición de la materia orgánica y la humedad de los suelos, los cuales tienen una alta variabilidad en el terreno (Moreno, 2009).

El *rango* de dependencia espacial (Ao) estuvo alrededor de 10.000 m, a partir del cual estas propiedades del suelo tienen un comportamiento aleatorio, a excepción de K, cuyo rango fue menor que 2.000 m, probablemente por la alta variabilidad espacial originada por la distribución en el terreno de los minerales feldespáticos ricos en potasio (Stainforth, 1962).

CUADRO 3. Semivariogramas de las propiedades físico-químicas y biológicas de los suelos del sector Caña Brava de la Sierra de Perijá

| Variable | Modelo | Co | Co + C | C/Co + C | Ao | R ² | RSS |
|----------|-------------|----------|-----------|----------|----------|----------------|----------|
| RM | Esférico | 0,000340 | 0,01483 | 0,510 | 10110,00 | 0,860 | 9,63E-06 |
| C/N | Esférico | 4,450 | 9,088 | 0,510 | 10110,00 | 0,415 | 8,42 |
| K | Exponencial | 1000,000 | 7829,000 | 0,872 | 1993,00 | 0,941 | 1,78E+06 |
| Mg/K | Esférico | 0,260 | 1,743 | 0,850 | 10110,00 | 0,714 | 0,25 |
| Ca | Esférico | 5310,000 | 27780,000 | 0,808 | 10110,00 | 0,827 | 2,99E+07 |
| arena | Esférico | 30,100 | 195,500 | 0,846 | 10104,00 | 0,899 | 869,00 |
| Arcilla | Esférico | 15,100 | 71,200 | 0,787 | 9489,00 | 0,727 | 392,00 |

Los valores de RM expusieron que la actividad microbiológica tenía una alta variabilidad en estos suelos, oscilando entre 2,4-36,8 mg CO₂·Kg⁻¹·d⁻¹; estos resultados fueron semejantes a los reportados en suelos de sabanas arbóreas y bosques de galería del estado Aragua (Sánchez *et al.*, 2005) y en sistemas agroforestales en Costa Rica y México (Cerdea, 2008; Álvarez y Anzueto, 2004). La actividad microbiana registrada es relativamente baja en comparación con aquella reportada normalmente en suelos tropicales (Cerdea, 2008), originada por lo bajos contenidos de materia orgánica de estos suelos que limitan la disponibilidad de sustrato orgánico para la actividad microbiológica, originando posibles deficiencias nutricionales que afectarían el rendimiento de los cultivos (Uribe *et al.*, 2009); los trabajos de Armado *et al.* (2009) expusieron resultados semejantes en suelos con bajo contenido de materia orgánica cultivados con cacao en los estados Mérida y Zulia (Venezuela). De igual manera, Sánchez *et al.* (2005), reportaron una mayor RM en los suelos con alto contenido de CO en sabanas arbóreas y bosques de galería del estado Aragua (Venezuela).

En este orden de ideas, los mapas de distribución espacial (figuras 2 y 3) evidenciaron patrones espaciales similares entre la actividad microbiana y C/N de estos suelos. De hecho, los análisis de correlación entre las propiedades de estos suelos (datos no publicados), demostraron que hay una relación positiva (p 0,05) entre la RM, CO y C/N.

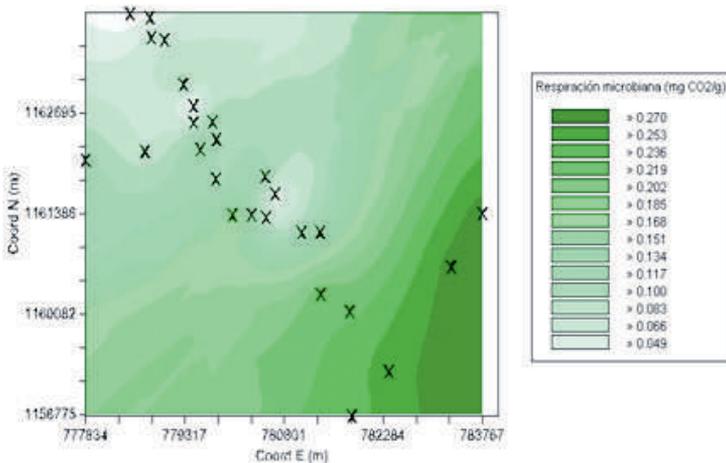


FIGURA 2. Distribución espacial de la actividad microbiana de los suelos del sector Caña Brava de la Sierra de Perijá

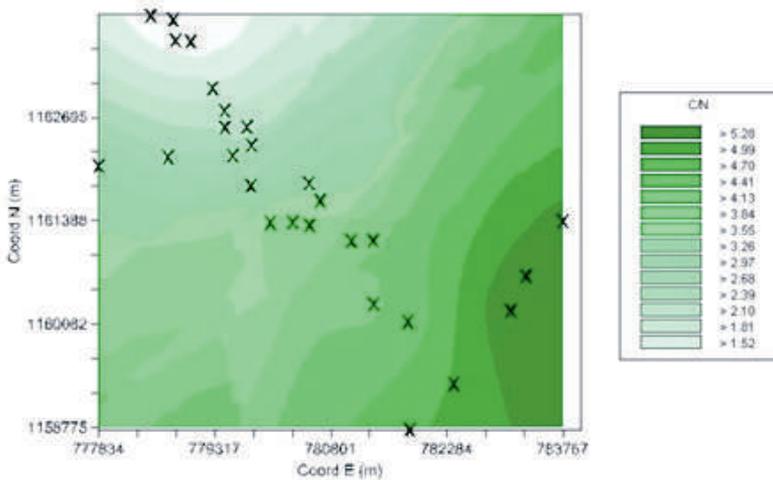


FIGURA 3. Distribución espacial de C/N de los suelos del sector Caña Brava de la Sierra de Perijá

La actividad microbiana y C/N fueron significativamente muy bajos en las zonas con mayor altitud del área de estudio, en tanto que en las zonas bajas se observó un aumento de los mismos, llegando RM hasta valores considerados óptimos ($> 26,0 \text{ mg CO}_2 \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$). Estas variaciones espaciales habrían sido originadas por el movimiento de suelos y materiales desde las zonas altas depositándose en las bajas (Roberts, 2000), así como por el poco aporte de materia orgánica debido a la deforestación de las parcelas para establecer cultivos y la presencia de minerales de calcita presentes en las zonas altas.

Los bajos valores de C/N evidenciarían que el poco material orgánico incorporado al suelo por los aportes foliares de las especies forestales de la zona, presentaba poco nivel de humificación, debido a la baja actividad microbiana. Se distingue entonces la necesidad de incorporar fuentes orgánicas al suelo en forma periódica, especialmente en las zonas altas, para disminuir las pérdidas de suelos, elevar la disponibilidad de sustrato orgánico que favorezcan la actividad microbiana y el reciclaje de nutrientes, mejorando la fertilidad de los suelos (Cerda, 2008).

La distribución espacial de RM mostró patrones diferentes con respecto a las bases intercambiables; de esta manera, los mapas mostraron similitudes en los patrones de distribución espacial de RM y K, en tanto que se observó un comportamiento casi opuesto para aquellos descritos por

RM y Ca (figuras 4 y 5). Estos resultados también fueron respaldados por las correlaciones ($p < 0,05$) positivas observadas entre RM y C/N con K, así como también por las relaciones negativas ($p < 0,05$) de RM y C/N con Ca, Ca/K, Mg/K y (Ca+Mg)/K (datos no publicados); cabe señalar que las correlaciones negativas encontradas entre RM y Ca en este estudio, fueron opuestas a aquellas reportadas en investigaciones precedentes en suelos agroforestales (Cerdeira, 2008; Álvarez y Anzueto, 2004).

Es obvio que en las zonas de mayor altitud se encuentran elevadas concentraciones de Ca debido a la presencia de minerales de fosfatos de calcio y calcitas dentro del material parental (Stainforth, 1962); estas concentraciones de Ca van disminuyendo hacia las zonas bajas del área de estudio. Caso contrario, la disponibilidad de K era mayor en las zonas bajas donde había una menor concentración de Ca, debido a las relaciones antagónicas entre estos dos elementos que afectan su disponibilidad en el suelo. Del mismo modo, los valores más bajos de Mg fueron observados en estas zonas ricas en minerales de Ca.

Las marcadas variaciones en la concentración de Ca y K en las zonas más altas y bajas del área estudiada, respectivamente, han originado valores de Ca/Mg ($\geq 8,0$), Ca/K (< 15), Mg/K (< 8) y (Ca+Mg)/K (< 20), que

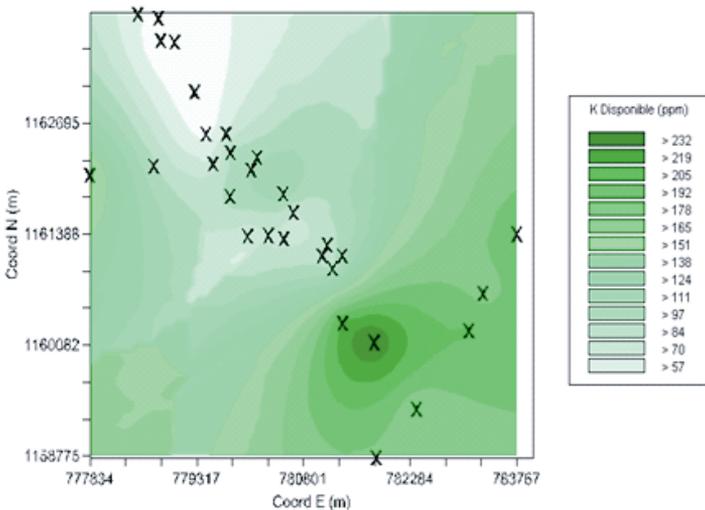


FIGURA 4. Distribución espacial del potasio de los suelos del sector Caña Brava de la Sierra de Perijá

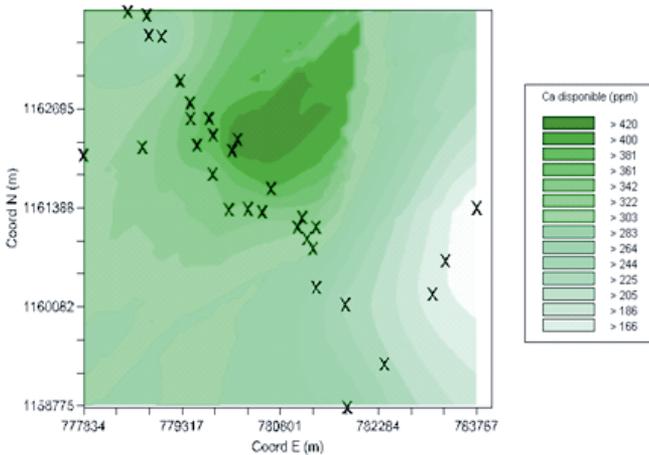


FIGURA 5. Distribución espacial del calcio de los suelos del sector Caña Brava de la Sierra de Perijá

revelan desequilibrios que afectarían la adecuada disponibilidad de estos nutrientes para los cultivos.

Los bajos contenidos de CO que producen una baja actividad microbiana en estas zonas ricas en calcitas y fosfatos de calcio, dejan claro que las aplicaciones periódicas de fuentes orgánicas en estas parcelas de producción agroforestal, deben estar acompañadas de fuentes fertilizantes que aporten K, así como Mg y micronutrientes, de tal manera de mejorar su disponibilidad para los cultivos establecidos.

Según el análisis espacial la disminución en la actividad microbiana en las zonas con altos contenidos de calcitas y fosfatos de calcio, harían presumir una subsecuente disminución en la actividad enzimática en estas áreas. Sin embargo, por un lado, Contreras *et al.* (1992) encontraron una elevada actividad de la ureasa en suelos con presencia de carbonatos de calcio, mientras que Yoshioka *et al.* (2006) obtuvieron correlaciones positivas entre la actividad de la fosfatasa alcalina y los contenidos de fósforo disponible en plantaciones agroforestales de café asociado con plátano. Cabe señalar que los valores de la actividad de la ureasa y de las fosfatasa de los suelos evaluados en este trabajo fueron normales y hasta superiores que aquellos reportados por otros trabajos de investigación en la Cuenca del Lago de Maracaibo y en sistemas agroforestales (López *et al.*, 2007; Armado *et al.*, 2009).

Tal como lo muestran los mapas obtenidos (figuras 6 y 7), la granulometría del suelo expuso patrones opuestos en la distribución espacial de las arcillas y las arenas. Se observó que en las zonas altas del área de estudio los suelos poseen mayor contenido de arcilla que en las zonas bajas.

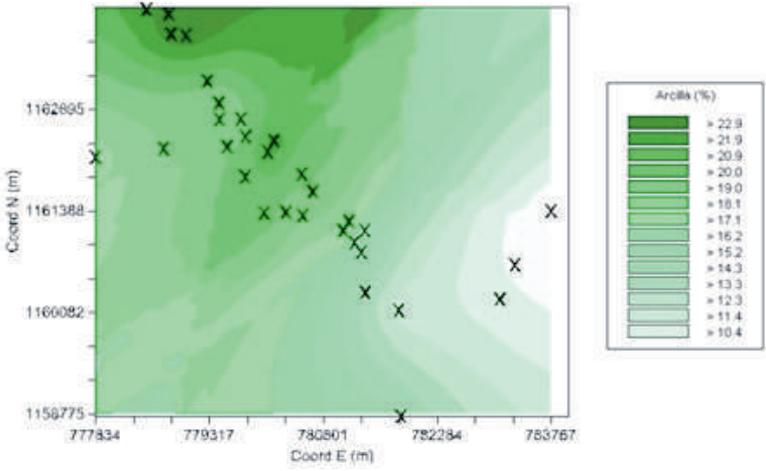


FIGURA 6. Distribución espacial de la arcilla de los suelos del sector Caña Brava de la Sierra de Perijá

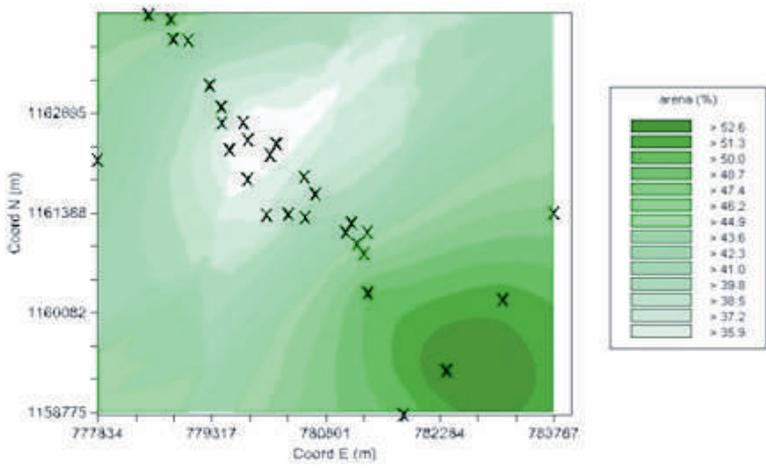


FIGURA 7. Distribución espacial de la arena de los suelos del sector Caña Brava de la Sierra de Perijá

Esto evidencia que los cultivos de las zonas bajas tendrán mayor demanda de agua y riegos más frecuentes en las épocas de sequía; por otra parte, el predominio de las fracciones arenosas en estas zonas determina menor contenido de materia orgánica y nutrientes en el suelo.

Estas variaciones en la distribución de la granulometría originarían diferencias en los contenidos de humedad, el potencial de mineralización del nitrógeno y la actividad microbiana en estos suelos. En este sentido, es importante destacar que se han encontrado correlaciones positivas entre el contenido de humedad de suelos forestales y la mineralización del nitrógeno orgánico (Prasolova *et al.*, 2000).

El patrón de distribución espacial de las arcillas evidenció que en las zonas con predominancia de esta fracción granulométrica, había una disminución de la actividad microbiana; esto fue confirmado por las correlaciones negativas ($p < 0,05$) observadas entre RM y el contenido de arcilla de estos suelos (datos no publicados). La disminución de la actividad microbiana en aquellas zonas con mayor contenido de arcillas en el suelo, estaría asociado a la formación de complejos arcillo-húmicos estables que protegen a la fracción orgánica de los procesos de mineralización-inmovilización microbiológica.

Conclusiones

Los coeficientes de variación calculados expusieron una distribución espacial muy heterogénea de las propiedades físico-químicas de estos suelos, siendo el pH el que mostrara el más bajo coeficiente de variación.

La distribución espacial de la actividad microbiana, C/N, K y la fracción arenosa describieron patrones similares en estos suelos, y opuestos a aquellos descritos por Ca y el contenido de arcilla.

El análisis espacial mostró una relación estrecha entre la actividad microbiana y CO de estos suelos, así como los desequilibrios en la disponibilidad de las bases intercambiables, por las diferencias en la distribución espacial de Ca y K en estos suelos.

La granulometría de estos suelos mostró diferencias significativas en la distribución de las fracciones arcillosas y arenosas, afectando la actividad microbiana de los mismos.

Referencias

- Álvarez-Solís, J. y Anzueto-Martínez, M. (2004). Actividad microbiana del suelo bajo diferentes sistemas de producción de maíz en los altos de Chiapas, México. *Agrociencia*, 38 (1): 13-22.
- Armado, A., Contreras, F., García, P. y Paolini, J. (2009). Correlación de actividades enzimáticas con la respiración basal en suelos cacaoteros del occidente venezolano. *Avances en Química*, 4 (2): 73-77.
- Campo, J. (2005). Venezuela se olvida del cacao. Observatorio de la Economía Latinoamericana, Nro. 46. <http://www.eumed.net/cursecon/ecolat/ve/2005/cjm.htm>
- Cerda, R. (2008). Calidad de suelos en plantaciones de cacao (*Theobroma cacao*), banano (*Musa AAA*) y plátano (*Musa AAB*) en el valle de Talamanca, Costa Rica. Tesis. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación. Escuela de Postgrado. Turrialba, Costa Rica, 66 p.
- Comisión del Plan Nacional de Aprovechamiento de los Recursos Hidráulicos (COPLANARH). 1975. Atlas Inventario Nacional de Tierras. Región Lago de Maracaibo. Tecnicolor S. A. Caracas, Venezuela. 275 p.
- Contreras, F., Rivero, C. y Paolini, J. (1992). Efecto de la incorporación de residuos orgánicos y dos tipos de labranza sobre la actividad de la ureasa en un alfisol. *Revista Venesuelos* 3(1):2-6.
- Federación de Asociaciones de Productores Agropecuarios (FEDEAGRO). 2013. <http://www.fedeagro.org/produccion/Rubros.asp>
- López, M., López, I., España, M., Izquierdo, A. y Herrera, L. (2007). Efecto de la fertilización inorgánica sobre la disponibilidad de nutrimentos en el suelo, nivel nutricional de la planta y hongos micorrícicos arbusculares en plantaciones de *Theobroma cacao*. *Agronomía Trop.*, 57 (1): 85-92.
- Moreno, M. (2009). Efecto de la distribución espacial de las propiedades edáficas sobre el manejo de la fertilidad de dos suelos agrícolas. *Rev. Científica UDO Agrícola* 9 (4): 21-32.
- Prasolova, N. V., Xub, Z. H., P.G. Safagnaa, P. G. and Dieters, M. J. (2000). Spatial-temporal variability of soil moisture, nitrogen availability indices and other chemical properties in hoop pine (*Araucaria cunninghamii*) plantations of subtropical Australia. *Forest Ecology and Management* 136: 1-10
- Roberts, T. (2000). Manejo sitio específico de nutrientes-Avances en aplicaciones con dosis variable, INTA. <http://www.elsitioagricola.com/articulos/roberts/Manejo%20Sitio%20Especifico%20de%20Nutrientes.asp>

- Robertson, G. (2000). *Geostatistics for the Environmental Science. GS⁺ User's Guide. Version 5.1*, Gamma Design Software.
- Sánchez, B., Ruiz, M. y Ríos, M. (2005). Materia orgánica y actividad biológica del suelo en relación con la altitud, en la cuenca del río Maracay, estado Aragua. *Agronomía Trop.* 55(4): 507-534.
- SAS Institute Inc. (1991). *SAS/STAT Software and User's guide. Versión 8.01*.
- Stainforth, W. V. (1962). Some new stratigraphic units in western: Venezuela. *Asociación Venezolana de Geología, Minería y Petróleo.* 5:279-282. <http://www.pdvs.com/lexico/t430w.htm>
- Uribe, A., Méndez H. y Mantilla J. (2009). Efecto de niveles de nitrógeno, fósforo y potasio sobre la producción de cacao en suelo del Departamento de Santander. *Revista Suelos Ecuatoriales*, Nro. 28:31-36.
- Yoshioka, I., Sánchez, M. y Bolaños, M. (2006). Actividad de fosfatasa ácida y alcalina en suelo cultivado con plátano en tres sistemas de manejo. *ACAG*, 55 (2): 1-8. http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/211/512#_ftnref1.

Anisakiasis y Difilobotriasis. Ictiozoonosis de riesgo para la salud pública asociada al consumo del pescado crudo en Chile

C. Tuemmers*

C. Nuñez*

Willgert K.**

M. Serri***

RESUMEN

Con el aumento del consumo de pescado crudo o poco cocinado se ha observado un aumento de enfermedades zoonóticas. En Chile, las intoxicaciones por consumo de Sushi fueron más del doble durante los cuatro primeros meses de 2013, comparados con el mismo período del año anterior. La mayoría de las infecciones por el consumo de pescado crudo o poco cocido son causadas por Nemátodos, Trematodos, Cestodos o Protozoos, siendo *Anisakis spp.* y *Diphyllobothrium spp.* los más comunes. La infección por Anisákidos se ha asociado con el consumo de pescado crudo en platos como ceviche o pescado ahumado; sin embargo, con la popularidad del Sushi y del pescado crudo ha aumentado la exposición a los parásitos correspondientes. Para actualizar la información disponible se realizó una revisión bibliográfica do-

* Escuela de Medicina Veterinaria, Universidad Católica de Temuco, Temuco, Chile. ctuemmers@uct.cl

** Royal Veterinary College, London, England.

*** Hospital Clínico FACH.

cumental tendiente a conocer los antecedentes de estas zoonosis, concluyendo que a pesar de la información disponible no existe un adecuado conocimiento de los riesgos del consumo de Sushi o pescado crudo por parte de la población, manteniéndose la presencia de Anisákidos o Diphilobótridos como un riesgo para la salud pública, el cual podría evitarse si se aplicaran las medidas preventivas adecuadas.

PALABRAS CLAVE: Zoonosis, Anisakis, *Diphyllobothrium*, pescado crudo.

Anisakiasis and Diphyllobothriasis. Icthyo Zoonoses, a Public Health Risk Associated with Raw Fish Consumption in Chile

ABSTRACT

With the increased consumption of raw or undercooked fish, there has been an increase in zoonotic diseases. In Chile, intoxications from sushi consumption more than doubled during four months of 2013 compared to the same period last year. Most infections due to consuming raw or undercooked fish are caused by nematodes, trematodes, cestodes or protozoa where *Anisakis spp* and *Diphyllobothrium spp* are the most common. Anisakiasis infection has been associated with raw fish consumption in dishes such as ceviche or smoked fish. However, exposure to the corresponding parasites has increased with the popularity of sushi and raw fish. To update the available information, a bibliographic and documentary review was conducted in order to know the antecedents of these zoonoses. Conclusions were that despite the available information, there is no adequate knowledge about the risks of sushi or raw fish consumption by the population, maintaining the presence of *Anisakis* or *Diphyllobothrium* as a public health risk that could be avoided if proper preventive measures are applied.

KEYWORDS: Zoonoses, *Anisakis*, *Diphyllobothrium*, raw fish.

Introducción

Con el aumento del consumo de comidas basadas en pescado poco cocinado o crudo, como el Sushi, se ha detectado un aumento de enfermedades zoonóticas (Scholz y col, 2009: 146-160). La gran popularidad del Sushi japonés (trozos pequeños de arroz cocido, cubierto con pescado crudo, huevos o verduras y envuelto en alga marina), y Sashimi (lonjas de pescado crudo) junto a otros platos populares podrían también estar implicados en este aumento. Entre éstos podemos señalar: filetes salados, adobados o ahumados al frío sin procesar, y en América Latina el pescado ligeramente marinado llamado ceviche (Scholz y col, 2009: 146-160). En la Región Metropolitana (Chile), los casos de intoxicaciones alimentarias causadas por el Sushi se incrementaron en un 100% durante los primeros cuatro meses de 2013 en comparación con el año anterior (Seremi de Salud RM, 2013). La mayoría de las intoxicaciones alimentarias que resultan del consumo de pescado o marisco crudo o semicrudo son causadas por Nematodos, Tremátodos, Céstodos o Protozoos (Butt y col, 2004:294-300; Craig, 2012: 654-658). Los agentes etiológicos presentes en cuadros clínicos asociados al consumo de pescado crudo son: *Diphyllobothrium* spp. y *Anisakis* spp. (Ferre, I. 2001). La infección por larvas de Anisákidos se ha asociado con el consumo de pescado crudo en comidas como el ceviche y pescado ahumado (Torres y col, 2000:111-117). Sin embargo, con la creciente popularidad del Sushi en el pasado reciente, el consumo de pescado crudo está aumentando junto con la exposición a parásitos relacionados. La presencia de larvas vivas de Anisákidos o Difilobótridos en pescado no suficientemente congelado constituye un riesgo de salud pública para los consumidores de Sushi, siendo un riesgo que se podría prevenir aplicando las medidas sanitarias apropiadas. En relación al riesgo para la salud pública es importante señalar que “el hombre es un hospedador aberrante, ya que en él la larva no consigue alcanzar la madurez sexual” (López-Serrano, 2000:230-236).

1. Anisakiasis

Anisakiasis es una ictiozoonosis causada por la ingestión de pescado crudo o semicrudo contaminado con larvas de nematodos de la familia Anisakidae (Akbar y Ghosh, 2005:7-9). Las especies más comunes asocia-

dos con anisakiasis son *Anisakis simplex* y *Pseudoterranova decipiens* (Butt y col, 2004:294-300).

Las formas adultas de *Anisakis* viven en el intestino del hospedador definitivo que son los mamíferos marinos y aves. La hembra produce los huevos que son eliminados por las heces del hospedador y eclosionan en el agua de mar, formando la primera etapa de larva (L1), tras mudar a etapa de larva dos (L2), son ingeridos por crustáceos donde se desarrolla a la etapa tres (L3) y se vuelven parásitos. Las larvas L3 son ingeridos por pescados y cefalópodos por consumo de crustáceos infestados. Cuando el huésped muere, la larva migra a los músculos, y por depredación se transmite de pez a pez (Akbar y Ghosh, 2005: 7-9). Estos hospedadores intermediarios suelen presentar larvas en localización intestinal pudiendo pasar a la musculatura superficial en la cavidad abdominal, e incluso penetrar en su musculatura tras la muerte o captura del pescado donde pueden ser localizadas posteriormente durante la inspección (Berruezo, 2000:11-32). El ser humano no es un huésped primario, infectándose solo si consume pescado crudo o semicrudo infectado con la larva (Butt y col., 2004: 294-300; Akbar y Ghosh, 2005: 7-9).

El hombre es un hospedador ocasional y en él la larva no puede completar su ciclo vital. Las larvas al ingresar al organismo pueden parasitar preferentemente estómago o localizarse en duodeno, yeyuno, íleon o colon, así como también en el esófago (Ishikura y col, 1993:43-102).

Cuando peces y cefalópodos infectados con L3 de la larva son ingeridos por mamíferos marinos o aves piscívoros, la larva se muda dos veces para transformarse en adulto.

Existen dos tipos de anisakiasis humana: gástrica e intestinal. La presentación clínica más común incluye gastritis aguda asociado con náuseas y vómitos (Jofre y col., 2008:200-206). Los síntomas con dolor epigástrico intenso se presentan en las primeras 12 horas después de la ingesta y puede durar hasta 14 días (Mercado y col, 2001: 653-655; Takei y Powell, 2007:350-352). La mayoría de los pacientes eliminan el anisákido espontáneamente, aunque en algunos casos se tiene que realizar endoscopia para removerlo (Jofre y col, 2008: 200-206).

Anisakis también puede causar diferentes reacciones alérgicas, desde urticaria hasta anafilaxia mediada por inmunoglobulina E (Audicana y col,

1995:558-560). Los síntomas alérgicos se presentan dentro de cinco a 26 horas desde la exposición (Jofre y col, 2008: 230-236).

Las larvas de anisákidos se han hallado en numerosas especies de pescado de consumo y su localización geográfica es prácticamente universal. Ocasionalmente se han hallado larvas en peces de agua dulce, si bien se ha atribuido al hecho de haber sido alimentados con desechos marinos infestados y no tratados.

El salmón, al tener parte de su ciclo en el mar, puede estar parasitado (Díaz. 1992:57-61). Especies en las cuales se ha reportado anisákidos incluyen Abadejo, Arenque, Bacalao, Bonito, Cabrilla, Cojinova, Congrio, Jurel, Lenguado, Merluza, Pescadilla, Pejerrey, Reineta, Salmón y Sardinias, además de crustáceos como el Calamar Nylon, Langostino Colorado y en el Calamar (Jofre y col., 2008:200-206). Torres y col.. (2000) reportan el hallazgo tanto de *A. simplex* como *P. decipiens* en peces comercializados en Chile.

Se ha registrado una menor prevalencia de *A. simplex* que *P. decipiens* en pescado comercializado en el país (Torres y col, 2000:107-113). En peces comercializados adquiridos en locales de venta en Valdivia, Chile, la prevalencia de anisákidos osciló entre 29.4 y 43.8% en diferentes especies (Torres y col, 2000: 107-113), encontrándose anisákidos en *Merluccius gayi* (merluza) *Macrouronus magellanicus* (merluza de cola), *Genypterus chilensis* (congrío colorado), *Paralichthys microps* (lenguado de ojos chicos), y *Trachurus murphyi* (jurel), los cuales pertenecen a las 10 especies de pescado más consumidas en Valdivia (Torres y col, 2000: 107-113).

En otro estudio de peces capturados en la costa central de Chile, se encontró prevalencias de anisákidos entre 16.7 y 41%, siendo las especies afectadas *Sebastes capensis* (cabrilla española), *Paralabrax humeralis* (cabrilla) y *Seriola lalandii* (vidriola) (Jofre y col, 2008:200-206).

La enfermedad humana ocurre en áreas donde habitualmente se consume el pescado crudo, como Japón, la costa Pacífico de Sudamérica, y algunos países en el norte de Europa (Akbar y Ghosh, 2005: 7-9). En Japón, aproximadamente 1000 casos de anisakiasis son reportados por año, mientras que en Estados Unidos donde existe la costumbre de consumir el pescado y los mariscos más cocidos, sólo se han documentado 50 casos (Butt y col., 2004:294-300).

En Chile, el primer caso fue descrito en 1976 (Sapunar y col, 1976:79-83) habiéndose reportado hasta el 2007 28 casos de anisakiasis, en la mayoría de los cuales el agente etiológico fue *P. decipiens* (Torres y col, 2007:440-443).

Al no existir una norma actualizada para la notificación de enfermedades parasitarias transmitidas por alimentos, y la baja conciencia de este tipo de enfermedades por parte de los funcionarios de los servicios médicos (Jofre y col, 2008:200-206), los casos de anisakiasis reportados probablemente se encuentran subestimados respecto a la ocurrencia real.

2. Difilobotriasis

Por lo menos 13 diferentes especies del genero *Diphyllobothrium* han sido asociados con intoxicación alimentaria humana, siendo *Diphyllobothrium latum* y *D. dendriticum* las más comunes (Butt y col, 2004: 294-300).

Los difilobótridos adultos habitan el intestino delgado del hospedero definitivo donde las proglótidas eliminan huevos inmaduros (Butt y col, 2004:294-300). Los huevos salen con las heces y embrionan en el agua. La coracidia eclosiona del huevo después de dos semanas en el agua fresca y es ingerido por crustáceos, siendo el primer huésped intermediario, donde desarrolla a la primera etapa larval (procercoide). Cuando crustáceos infectados son ingeridos por peces pequeños de agua dulce, la larva procercoide emerge del crustáceo y migra en las fibras musculares donde se desarrolla la segunda etapa larval (pleurocercoide), la cual es la etapa infecciosa. Los peces pequeños son consumidos por peces depredadores, permitiendo la transmisión del difilobótrido. El huésped definitivo, como seres humanos y otros mamíferos, son infectados con *Diphyllobothrium* spp. al consumir pescado crudo o semicrudo con origen de agua dulce o especies anádromas, como los salmones, los cuales viven en agua salada pero se reproducen en agua dulce (Craig, 2012: 654-658). Transcurrido un período de tres a cinco semanas se desarrolla la Tenia madura pudiendo crecer desde dos metros hasta 15 metros de longitud, siendo el parásito más grande conocido para los seres humanos. Puede vivir durante 20 años o más en el intestino del huésped, y puede eliminar un gran número de huevos por día (Dick y col: 59-76., 2001; Chai y col, 2005:1233-1254; Santos y de Faro, 2005: 585-586; Scholz y col, 2009:146-160).

La infección con *Diphyllobothrium* en humanos muchas veces es asintomática. En aproximadamente uno de cinco ocasiones la infección resulta en diarrea, dolores abdominales o molestia; otros síntomas de difilobotriasis pueden ser fatiga, constipación y, a veces, dolor de cabeza y reacciones alérgicas (Scholz y col, 2009:146-160).

El *D. latum* compite con el huésped humano por vitamina B₁₂ pudiendo provocar anemia perniciosa (Butt y col, 2004:294-300). Aproximadamente 40% de los individuos infectados con *D. latum* tienen niveles de B₁₂ bajas pero solo el 2% o menos de los casos resulta en anemia clínica. La deficiencia de vitamina B₁₂ puede causar daños al sistema nervioso como neuropatía periférica y lesiones degenerativas del sistema nervioso central (Scholz y col., 2009:146-160). La severidad de la infección depende directamente de la carga de gusanos y sus productos derivados. Para el caso de anemia perniciosa se registra actualmente un bajo nivel de denuncia, y en los pacientes afectados los niveles de vitamina B₁₂ regresan a niveles normales dentro de unos meses después de un tratamiento exitoso (Scholz y col, 2009:146-160).

Los *Diphyllobothrium* pueden sobrevivir por meses y hasta años en el estado de pleurocercoides en el cuerpo de los peces, convirtiéndolos en un reservorio significativo del parásito (Scholz y col, 2009: 146-160). Peces que pueden funcionar como huésped intermediario y, así mismo, fuente de infección humana con difilobotriasis generalmente son peces predadores de agua dulce o salmónidos (salmón, corégono y trucha entre otros) (Scholz y col, 2009: 146-160).

En un estudio de peces capturados del lago Panguipulli en el sur de Chile, se encontraron prevalencias entre 2,1 y 83,3% de *Diphyllobothrium* spp. en diferentes poblaciones de especies de peces, incluyendo *Oncorhynchus mykiss* (trucha arcoiris), *Percichthys trucha* (trucha criolla), *Basilichthys australis* (pejerrey chileno), *Odonthestes (Cauque) mauleanum* (cauque del Maule), y *Galaxias maculatus* (puye) (Torres y col, 2004: 111-117).

Datos sobre la ocurrencia de *Diphyllobothrium* en peces marinos son limitados pero casos sospechosos de infección humana como resultado de consumo de pescado marino han ocurrido (Scholz y col., 2009:146-160).

El número de casos de difilobotriasis humana ha disminuido en áreas endémicas pero ha subido en otras partes del mundo, incluyendo América del Sur, posiblemente debido a un aumento del consumo de pescado cru-

do (Scholz y col, 2009: 146-160; Craig, 2012:654-658). Se estima que 20 millones de personas están infectados con *Diphyllobothrium* en el mundo (Scholz y col, 2009:146-160).

El primer caso humano de Difilobotriasis en Chile fue reportado en 1950 y resultó de la infección por consumo de Trucha Arcoíris infectada por agua contaminada con huevos de Difilobótridos eliminados por turistas e inmigrantes de Norteamérica (Neghme y col 1950: 16-17, citado en Chai y col., 2005:1233-1254). Desde entonces, las infecciones humanas y animales con estos parásitos han sido detectadas en varios lagos del sur de Chile (Neghme y col, 1950: 16-17; Torres y col, 1998: 31-45).

Se han descrito tres especies del género *Diphyllobothrium* en el país: *D. latum*, *D. dendriticum* y *D. pacificum*, de los cuales sólo *D. latum* y *D. pacificum* se han identificado en infecciones humanas (Torres y Pérez, 1992:203-212). Se piensa que *D. latum* y *D. dendriticum* fueron introducidos en América del Sur por inmigrantes Europeos, mientras *D. pacificum* parece ser un parásito antiguo del continente (Scholz y col, 2009: 146-160). En Choshuenco (Región De Los Ríos), en donde se estimó una alta prevelencia de difilobótridos en algunas especies de peces, se observó una prevalencia de 2,8% de infección humana con *D. latum* (Torres y col, 2004:111-117).

Otros estudios han reportado una prevalencia de 0,1 a 0,2% en la misma área (Torres y col, 2004:111-117). La baja prevalencia de difilobotriasis humana se debería al infrecuente consumo de pescado crudo y, asimismo, se notó una prevalencia superior de difilobotriasis en sitios con mayor consumo de pescado ahumado (Torres y col, 2004: 111-117).

3. Prevención

Anisakiasis y difilobotriasis son enfermedades prevenibles y es esencial que las personas asociadas a la venta de Sushi o platos preparados con pescado crudo tengan el conocimiento adecuado sobre el riesgo de salud pública planteada por la Anisakiasis y Difilobotriasis, tanto como las medidas para su prevención.

Las medidas de prevención de la infección humana pueden aplicarse en la cosecha, procesamiento o después del procesamiento del pescado (Butt y col, 2004:294-300). Antes de la cosecha, se puede establecer el tipo y tamaño del pez, hábitos alimenticios, y su medio ambiente. Los Ani-

sákidos y Difilobótridos se acumulan dentro del huésped durante la vida del pez, por lo tanto, cosechando a peces más jóvenes se puede reducir la probabilidad de altos cantidades de contaminación parasítica en el pescado (Butt y col, 2004:294-300). Después de la captura, el enfriamiento y evisceración inmediata impide la migración del parásito desde los intestinos a la musculatura, disminuyendo de esta manera la cantidad de parásitos en la carne. La larva Anisákido es inactivada con congelación a -20°C durante 7 días o a -35°C por 15 horas (Butt y col, 2004:294-300). Escabeche y salmuera puede reducir el riesgo de infección, pero no lo elimina totalmente. En solución salina al 5%, la larva puede sobrevivir por más de 17 semanas y al 8-9% persiste de cinco a seis semanas (BIOHAZ, 2010: 1543). La Difilobotriasis humana causado por consumo de pescado crudo puede ser evitada congelando el pescado a -18°C durante 24 a 48 horas antes de su consumo (Scholz y col, 2009: 146-160). Sin embargo, la principal medida para impedir la infección humana con Anisákidos y Difilobótridos es evitar el consumo del pescado crudo o insuficientemente cocido (Jofre y col, 2008: 200-206; Scholz y col, 2009: 146-160).

También se puede aumentar la seguridad alimentaria de pescado realizando una inspección visual detallada del producto. Para facilitar la inspección visual del parásito, se puede aplicar trans-iluminación, no obstante, la detección de parásitos depende del grosor del filete, la presencia de piel, el contenido de aceite en el pescado, pigmento, y la experiencia del observador. Parásitos detectados pueden ser quitados con pinzas o proceder a eliminar completamente la parte infectada (Adams y col, 1997:652-660). En entrevista realizada a encargados y trabajadores de locales de venta de Sushi en la ciudad de Valdivia se pudo observar un bajo conocimiento respecto a enfermedades zoonóticas que pueden ser transmitidas a través del consumo de pescado crudo y su prevención.

4. Legislación nacional e internacional

Según el Reglamento Sanitario de los Alimentos, Decreto 997, en Chile los pescados deben ser eviscerados inmediatamente después de ser capturados. El pescado que no haya sido eviscerado en seguida sólo puede ser comercializado en Chile si ha sido congelado inmediatamente a -18°C , medido en su centro térmico (Ministerio de Salud, 2013), el mismo

reglamento postula que moluscos cefalópodos comercializados para el consumo humano deben ser libres de quistes de parásitos.

Aunque el Reglamento Sanitario de los Alimentos Chileno toca el tema del manejo de pescado para la venta, el incremento marcado de casos de ictiozoonosis en 2013, indica que la legislación actual no es suficiente en prevenir este tipo de casos. La evisceración por sí sola de pescados destinados para consumo crudo es insuficiente para eliminar el riesgo de infección humana con parásitos como *Anisakis*. La congelación del pescado puede efectivamente prevenir la Anisakiasis y Difilobotriasis humana causado por consumo de pescado crudo. Sin embargo, en la legislación no se contempla la duración requerida de congelación efectiva para la muerte de los parásitos más resistentes, lo cual debería quedar explicitado. Además en el Reglamento Sanitario de los Alimentos para el caso de moluscos cefalópodos no contempla ninguna especificación de manejo para obtener moluscos cefalópodos exentos de parásitos, como sucede en la legislación de la Unión Europea (Anónimo, 2011).

En la Unión Europea, se requiere por ley que los productos de pescado y moluscos cefalópodos para consumo crudo sean tratados por congelación para evitar parásitos que podrían involucrar un riesgo para la salud del consumidor. El tratamiento de congelación implica que todas las partes del material primo ó el producto final tienen que ser mantenidos bajo -20°C durante por lo menos 24 horas o bajo -35°C por lo menos 15 horas (Anónimo, 2011). Sin embargo, el tratamiento de congelación no es necesario con el permiso de las autoridades competentes cuando haya suficientes datos epidemiológicos que indiquen que el área de pesquería no contiene un riesgo de salud con respecto al parásito. También se puede estar exento del requisito de tratamiento de congelación si el producto fue producido en piscicultura bajo condiciones medioambientales y diétales que garanticen que el pescado sea libre de parásitos (Anónimo, 2011).

Además, los negocios de alimento tienen que asegurar que los productos pesqueros hayan sido examinados para el control de parásitos visibles antes de entrar al mercado. Aquellos productos evidentemente contaminados con parásitos no pueden entrar al mercado destinado al consumo humano (Anónimo, 2004). Así mismo, la Administración de Alimentos y Medicamentos de Estados Unidos (FDA por sus siglas en inglés) recomienda que pescado para consumo crudo o semicrudo deba ser congelado a bajo -35°C durante 15 horas o a -20°C durante 7 días (FDA, 2011).

Conclusiones

El aumento reciente de Ictiozoonosis en algunas zonas de Chile requiere una evaluación actualizada de su epidemiología, factores de riesgo asociados y medidas de prevención. En zonas en las cuales la costumbre del consumo de pescado crudo o Sushi se encuentra establecida en la población, se recomienda implementar campañas educativas sobre enfermedades transmitidas por los alimentos, destacando los riesgos de las ictiozoonosis, además de iniciativas de educación dirigida a los cocineros que elaboran Sushi. La difusión sobre los riesgos asociados con el consumo de pescado crudo tiene que ser continuamente actualizada en una población donde las costumbres de consumo alimentario están cambiando, enfocando esta actividad a las distintas etapas de la cadena de elaboración de alimentos. Lo anterior contribuiría a prevenir la exposición a infecciones ictiozoonóticas. La emergencia de casos de Anisakiasis y Difilobotriasis refuerza el hecho de que el conocimiento general sobre la prevención de Ictiozoonosis es insuficiente. Finalmente la fiscalización de los recintos que expenden este tipo de alimentos es otro aspecto que debe ser considerado en la estrategia necesaria para enfrentar este tipo de zoonosis.

Referencias

- Adams A. M., Murrell KD y Cross J. H. (1997). Parasites of fish and risks to public health. *Rev. Sci tech Off int Epiz*; 16: 652-660.
- Akabar S. y Gosh S. Anisakiasis (2005). A neglected diagnosis in the West. *Dig Liver Dis*; 37: 7-9.
- Anónimo Regulation (EC) No 853/2005 of the European Parliament and of the Council of 29 April 2004 laying down specific hygiene rules for on the hygiene of foodstuffs. *Official Journal of the European Union* 2004: L139/55.
- Anónimo. Commission Regulation (EU) No 1276/2011 of 8 December 2011 amending Annex III to Regulation (EC) No 853/2004 of the European Parliament and of the Council as regards the treatment to kill viable parasites in fishery products for human consumption. *Official Journal of the European Union* 2011: L 327/39.
- Audicana M. T., Fernández de Corres L., Muñoz D., Fernández E., Navarro J. A. y Del Pozo M. D. (1995). Recurrent anaphylaxis caused by *Anisakis simplex* parasitizing fish. *J Allergy Clin Immunol*;96: 558-60.

- 38** Anisakiasis y Difilobotriasis. Ictiozoonosis de riesgo para la salud pública...
- Berruezo G. R. (2000). Anisakidos en pescado y su relación con la seguridad alimentaria. *Anales de la Real Academia de Ciencias Veterinarias de Andalucía Oriental*; 13: 11-32.
- BIOHAZ (EFSA Panel on Biological Hazards). 2010. Scientific Opinion on risk assessment of parasites in fishery products. *EFSA Journal*; 8: 1543.
- Butt A. A., Aldridge K. E. y Sanders C. V. (2004). Infections related to the ingestion of seafood. Part II: parasitic infections and food safety. *Lancet Infect Dis*; 4: 294-300.
- Chai J., Darwin Murrell K. y Lymbery A. J. (2005). Fish-borne parasitic zoonoses: Status and issues. *Int J Parasitol*; 35: 1233-1254.
- Craig N. Fish. (2012). Tapeworm and sushi. *Can Fam Physician*; 58: 654-658.
- Díaz Estruch J. (1992). Parasitosis por nematodos. *Alimentaria Junio*, 57-61. CITA
- Dick T. A., Nelson P. A. y Choudhury A. Diphyllobothriasis (2001). Update on human cases, foci, patterns and sources of human infections and future considerations. *Southeast Asian J Trop Med Public Health*; 32: 59-76.
- FDA (Food and Drug Administration). Fish and Fishery Products Hazard and Controls Guidance. 2011; <http://www.fda.gov/downloads/Food/GuidanceRegulation/UCM251970.pdf>
- Ferre I. (2001). Anisakiosis y otras zoonosis parasitarias transmitidas por consumo de pescado. *Revista AquaTIC*, nº 14, <http://www.revistaaquatic.com/aquatic/art.asp?t=&c=122>
- Ishikura H., Kikuchi K., Nagasawa K., Ooiwa T., Hiroshi T., Sato N. y Sugane K. (1993). Anisakidae and Anisakidosis. *Prog Clin Parasitol*; 3: 43-102.
- Jofre M., Neira P., Noemí I, y Cera J. L. (2008). Pseudoterranovosis y sushi. *Rev Chil Infect*; 25: 200-206.
- López Serrano M. C., Alonso-Gómez A.; Moreno-Ancillo A., Daschner a, Suárez de Parga J. (2000). *Alergol Inmunol Clin*; 15: 230-236.
- Mercado R., Torres P., Muños V. y Apt W. (2001). Human Infection by *Pseudoterranova decipiens* (Nematoda, Anisakidae) in Chile: Report of Seven Cases. *Mem Inst Oswaldo Cruz*; 96: 653-655.
- Ministerio de Salud. Aprueba reglamento sanitario de los alimentos. Legislación chilena 2013; Decreto 977. <http://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=71271&idVersion=2013-07-08>.
- Neghme A., Bertin V., Tagle I., Silva R. y Antigas J. (1950). *Diphyllobothrium latum* en Chile. II Primera encuesta en el Lago Colico. *Bol Inform. Parasitol. Chile*; 5: 16-17.

- Santos F. L. y de Faro L. B. (2005). The first confirmed case of *Diphyllobothrium latum* in Brazil. Mem. Inst. Oswaldo Cruz; 100: 585-586.
- Sapunar J., Doerr E. y Letonja T. (1976). Anisakiasis humana en Chile. Bol Chil. Parasitol; 31: 79-83.
- Scholz T., García H. H., Kuchta R. y Wicht B. (2009). Update on the human broad tapeworm (genus *Diphyllobothrium*), including clinical relevance. Clin. Microbio. I Rev.; 1: 146-60.
- Seremi de Salud RM. Seremi de Salud RM refuerza vigilancia aumentan un 100% brotes de enfermedades alimentarias por consumo de sushi. 2013; <http://www.asrm.cl/paginasSegundoNivel/nivelPrensa.aspx>.
- Takei H. y Powell S. Z. (2007). Intestinal anisakidosis (anisakiasis). Ann. Diagn. Pathol.; 11: 350-352.
- Torres P. y Pérez C. (1992). Parasitología Clínica. Atías A. Publicaciones Técnicas Mediterráneo. Tercera Edición, Santiago de Chile; 24: 203-12.
- Torres P., Gesche W., Montefusco A., Miranda J. C., Dietz P. y Huijse R. (1998). Diphyllobothriosis humana y en peces del lago Riñihue, Chile: efecto de la actividad educativa, distribución estacional y relación con sexo, talla y dieta de los peces. Arch. Med. Vet.; 30: 31-45.
- Torres P., Moya R. y Lamilla J. (2000). Nematodos anisákidos de interés en salud pública en peces comercializados en Valdivia, Chile. Arch. Med. Vet.; 32: 107-113.
- Torres P., Cuevas C., Tang M., Barra M., Franjola R., Navarrete N., Montefusco A., Otth L., Wilson G., Puga S., Figueroa L. y Cerda O. (2004). Introduced and Native Fishes as Infection Foci of *Diphyllobothrium* spp. in Humans and Dogs from two Localities at Lake Panguipulli in Southern Chile. Comp. Parasitol.; 71: 111-117.
- Torres P., Jercic M. I., Weitz J. C., Dobrew E. K. y Mecado R. A. (2007). Human Pseudoterranovosis, an Emerging Infection in Chile. J Parasitol; 93: 440-443.

Normativa de origen automotriz del acuerdo de alcance parcial comercial N° 28 Colombia-Venezuela

*Enio Ortiz Valenzuela**

RESUMEN

El presente trabajo introduce la comprensión de las relaciones comerciales automotrices entre Colombia y Venezuela, mediante suscripción del Acuerdo de Alcance Parcial N°28. Venezuela ya no pertenece a la Comunidad Andina (CAN), sin embargo, la Asociación Latinoamericana de Integración (ALADI), permitió rescatar las relaciones comerciales entre ambos países. Como objetivos se pretende identificar si este acuerdo resulta favorable para reimpulsar la industria automotriz bilateral, revisar comportamiento del intercambio comercial en período 2000-2012. Esta es una investigación documental, apoyado con diseño descriptivo. Como resultados destacados se encuentra que Venezuela no aprovecha las normas de origen para generar exportaciones al vecino país.

PALABRAS CLAVE: Colombia, comercio, exportaciones, normas de origen, industria automotriz, Venezuela.

* Personal Académico de la Universidad Simón Bolívar-Sede del Litoral, Departamento de Tecnología de Servicios, Área: Aduanas y Comercio Exterior. (Camurí Grande, Estado Vargas-Venezuela). eniortiz@usb.ve

Regulation about Automotive Origin in the Colombia-Venezuela Partial Trade Agreement N°28

ABSTRACT

This work introduces an understanding of automotive trade relationships between Colombia and Venezuela through signing of the Partial Trade Agreement N°28. Venezuela is no longer a member of the Andean Community (CAN); nevertheless, the Latin American Integration Association (LAIA / ALADI) made it possible to rescue trade relationships between the two countries. Objectives of this research were to identify whether this agreement is favorable for stimulating the bilateral automotive industry and to review trade interchange behavior during the 2000-2012 period. This is documentary research with a descriptive design. Results highlight that Venezuela does not take advantage of the origin rules to generate exports to the neighboring country.

KEYWORDS: Colombia, trade, exports, origin rules, automotive industry, Venezuela.

Introducción

Desde la adhesión de Venezuela al Pacto Andino en 1973, hasta su denuncia del Acuerdo de Cartagena en el año 2006, las relaciones entre Colombia y Venezuela han sido de particular importancia para desarrollar dinámicas industriales para ambos países acompañado del ineludible compromiso de mantener una política comercial y arancelaria derivada de diversas prácticas de la integración económica, concebidas en función de facilitar el intercambio comercial bilateral y, a su vez, en el marco multilateral con diferentes países de la región, son factores que hacen posible elaborar una plataforma para impulsar el desarrollo productivo de sectores claves de la economía.

Un ejemplo de ello es el sector automotriz, rama industrial que representa una vital importancia para Venezuela en los procesos de transporte de bienes y personas e intervenir en los canales de distribución de diversos productos que se consumen o se procesan en el país. Adicional-

mente, genera importantes fuentes de empleo, desarrollo tecnológico y atracción de inversiones para el país.

De acuerdo a la Asociación Latinoamericana de Integración (ALADI), las reglas de origen representan los requisitos mínimos de fabricación, elaboración o transformación que debe cumplir un producto para ser considerado como originario del país exportador por parte del país importador de la mercadería.

En este sentido, para poder insertar los bienes automotores en el mercado regional y otorgar beneficios preferenciales a productos similares manufacturados en países socios, es importante justificar las preferencias arancelarias mediante la aplicación de normas de origen, instrumento de política comercial esencial para verificar los procesos productivos e incorporar materias primas nacionales en la elaboración de bienes finales objetos de exportación.

En el plano de la integración regional, estas normas juegan un rol esencial como mecanismo de acceso a mercados y adecuación de procesos industriales; en el caso del sector automotriz ha podido ser incluido en negociaciones comerciales en el marco de la Comunidad Andina o la Asociación Latinoamericana de Integración (ALADI), escenario que permitió el desarrollo de un acuerdo de carácter bilateral con Colombia.

La siguiente investigación, representa un estudio de las normas de origen aplicadas en el seno de la CAN como en el AAP.C N°28 aplicadas tanto por Venezuela y Colombia, para estimular el crecimiento económico sectorial de ambos países durante el período 2000 – 2012, particularmente el caso de vehículos ensamblados.

1. Aplicación de requisitos específicos de origen automotriz entre Colombia y Venezuela

Tanto en la CAN como en la ALADI y demás acuerdos de integración regional, se emplean las normas de origen generales los cuales en muchos casos deben ser remplazados por los Requisitos Específicos de Origen (REO), a razón que muchos bienes por su grado de complejidad o sensibilidad no llegan a cumplir con los criterios básicos de origen; por tal razón se diseñan normas especiales, las cuales demandan la incorporación de procesos productivos particulares, incorporación de porcentajes de materia prima nacional o

regional, o incentivar innovaciones científicas o tecnológicas que propicien la competitividad, la diversificación y la sustitución de importaciones.

Estos prevalecen sobre los criterios generales de origen cuando no sean suficientes para calificar el carácter originario de los productos. Un ejemplo de ello lo tenemos en los REO aplicados al sector automotriz en el marco del Acuerdo de Alcance Parcial suscrito entre Colombia y Venezuela, o los aplicados en el extinto marco del Convenio Automotor Andino de la Comunidad Andina.

La República Bolivariana de Venezuela durante la primera década del siglo XXI fue beneficiario del Convenio Automotor Andino, programa para el desarrollo de las empresas ensambladoras y autopartistas en países de la Comunidad Andina, acuerdo con naturaleza autónoma, puesto que el mismo fue suscrito por Colombia, Ecuador y Venezuela; mientras que Bolivia y Perú no formaron parte del mismo, y se regían por sus normativas internas para administrar el comercio de productos automotrices en su territorio.

Este Convenio venía acompañado de la Resolución 323, la cual establecía un REO a efectos de regular el intercambio de vehículos armados y demás bienes automotrices entre países suscriptores del Convenio, que tuvo una vigencia de 10 años hasta el 31 de Diciembre de 2009.

La Resolución 323 de la Comunidad Andina ya no está vigente, una vez hecha la salida de Venezuela de la CAN el 22 de abril de 2006; se mantienen a partir de esta fecha las ventajas otorgadas del libre comercio por espacio de 5 años en virtud de la aplicación del artículo 135 del Acuerdo de Cartagena. Sin embargo, los compromisos asumidos de integración subregional fueron cesados.

Posterior al 11 de abril de 2011, se hizo necesario replantear las negociaciones de acuerdos bilaterales con cada uno de los países andinos. Este escenario se hizo factible en virtud que Venezuela y los países de la CAN son miembros de la Asociación Latinoamericana de Integración (ALADI), generándose para noviembre del año 2011 la suscripción de un Acuerdo de Alcance Parcial Comercial entre Colombia y Venezuela (AAP.C N° 28), el cual da continuidad a las relaciones económicas preferentes entre estos países vecinos.

Mediante el AAP.C N° 28 se incluye al sector automotriz entre los bienes negociados, el cual está administrado mediante un Requisito Espe-

cífico de Origen que rige el intercambio comercial automotor entre ambas naciones. En este sentido, el Apéndice I del AAP.C N° 28 contiene criterios especiales para calificar como originario los vehículos ensamblados en el territorio de países signatarios del acuerdo. En el mismo, se aplican condiciones similares a las establecidas en la derogada Resolución 323 de la CAN, si bien la norma aplica de manera transitoria para los años 2012 y 2013, para luego generar nuevas exigencias.

A continuación se hace un cuadro comparativo sobre aspectos esenciales de la norma de origen automotriz que rige el comercio bilateral entre Venezuela y Colombia, en el marco del Acuerdo de Alcance Parcial N°28 y la antigua Resolución 323 que regulaba el intercambio comercial con preferencias arancelarias entre países socios del Convenio Automotor Andino (Colombia, Ecuador y Venezuela) (cuadro 1).

De acuerdo al cuadro presentado se puede apreciar que con la firma del Acuerdo de Alcance Parcial con Colombia N°28 se incluye un Requisito Específico de Origen para vehículos armados, expresado a partir de una fórmula de materiales, siguiendo los pasos para el desarrollo y cumplimiento de metas para el intercambio comercial y productivo de vehículos establecido en la antigua Resolución 323 de la Comunidad Andina.

De acuerdo a esta estructura, la fórmula utilizada por Venezuela en el AAP N° 28 se basa en la sumatoria de insumos nacionales e importados, determinando la incidencia de componentes locales en el total de materiales para ensamblar vehículos. La fórmula sólo evalúa la integración de materiales originarios, no contempla incorporación de costos de bienes de capital, o mano de obra y no establece restricciones cuantitativas a las exportaciones.

Sobre los porcentajes para cumplir con el AAP.C N°28 se establece como punto de partida los niveles mínimos de contenido nacional establecidos como meta para el año 2009 en la Resolución 323, manteniéndose el requerimiento para la Categoría 1 (34,6%), Categoría 2a (34,9% vehículos y 18% chasis) y Categoría 2b (18%), por un período transitorio de un año con entrada en vigencia desde el 16 de abril del 2012, donde se reconocen los componentes originarios de ambos países para ser integrados en el proceso de ensamblaje de vehículos armados. En este sentido, la disposición complementaria sobre “acumulación” también se cumple para dar facilidad al cumplimiento del origen en el comercio bilateral AAP. C N° 28.

CUADRO 1. Comparativo AAP 28 / Resolución 323

| Comparación requisitos específicos de origen acuerdo de alcance parcial Colombia-Venezuela AAP.C N°28 Y Resolución 323 CAN | | |
|--|---|---|
| Tema | AAP N°28 Colombia Venezuela | Comunidad Andina |
| Normativa de Origen | Apéndice I, Anexo II Requisito Específico de Origen Automotor | Resolución 323 Requisito Específico de Origen Automotor |
| Vigencia | 16 abril 2012-16 abril 2013. Según su artículo 5 tiene una duración de 1 año desde su período de vigencia. La Comisión Administradora debe revisar y acordar los niveles y fórmula aplicables posterior al período transitorio. Hasta no acordar la implementación de un nuevo requisito se aplicarán los vigentes. | 01 de Enero 2000 - 31 Diciembre de 2009. (Artículos 10 y 12 del Convenio de Complementación en el Sector Automotor) |
| Naturaleza del Acuerdo | Acuerdo de Alcance Parcial de Naturaleza Comercial N° 28 suscrito entre la República de Colombia y la República Bolivariana de Venezuela de conformidad a las disposiciones del Tratado de Montevideo de 1980. | Sustitución de las Resoluciones 336 y 442 de la Junta del Acuerdo de Cartagena sobre Requisitos Específicos de Origen para productos del sector automotor. Instrumento de apoyo del Convenio de Complementación en el Sector Automotor. |
| Ámbito de aplicación | Vehículos para el transporte de pasajeros hasta 16 personas y vehículos para transporte de mercancías con un peso total de carga hasta 4,537 Toneladas, Vehículos para el transporte de pasajeros de más de 16 personas, los demás vehículos. Incluye motocicletas (Artículo 1) | Vehículos para el transporte de pasajeros hasta 16 personas y vehículos para transporte de mercancías con un peso total de carga hasta 4,537 Toneladas, Vehículos para el transporte de pasajeros de más de 16 personas, los demás vehículos (Artículo 2) |

CUADRO 1 (Continuación)

Comparación requisitos específicos de origen acuerdo de alcance parcial Colombia-Venezuela AAP.C N°28 Y Resolución 323 CAN

| Tema | AAP N°28 Colombia Venezuela | Comunidad Andina |
|---|---|--|
| Categorías de Vehículos | 1,2a,2b (Artículo 1) | 1, 2a, 2b (Artículo 2) |
| Requisito Específico de Origen para vehículos | $VO = [MO / (MO + MNO)] \times 100$ (Artículo 2) | $IS = MO / MO + MNO \times 100$ (Artículo 3) |
| Porcentaje mínimo para cumplir origen | Período 2012-2013: Categoría 1: 34,6% Categoría 2a: 34,9% y chasis 18% Categoría 2b: 18% (Artículo 2) | Año 2000 2001 2002 2003 2004 2005 2006 2007 2008 2009 Cat.1 Cat.2a Cat.2b 24,8% 25,8% 26,8% 27,8% 28,8% 30,4% 31,5% 32,6% 33,7% 34,6% 24,8% 25,8% 26,8% 27,8% 28,8% 30,4% 31,5% 32,6% 33,7% 34,9% 13,5% 14% 14,5% 15% 15,5% 16% 16,5% 17% 17,5% 18% |
| Tratamiento Preferencial | Según Apéndice A, Anexo 1, AAP N°28 sobre Tratamiento Arancelario Especial. Los vehículos están 100% libres de aranceles para ambos países. (Artículo 2, Anexo I, Apéndice A, AAP.C N° 28). | Tratamiento Arancelario de 100% Preferencias (Artículo 76 Decisión 563 CAN) |

CUADRO 1 (Continuación)

| Comparación requisitos específicos de origen acuerdo de alcance parcial Colombia-Venezuela AAP.C N°28 Y Resolución 323 CAN | | |
|--|---|---|
| Tema | AAP N°28 Colombia Venezuela | Comunidad Andina |
| Material de Ensamblaje (MEIV) | Permitido. Comprende bienes de Categoría 1, 2a y 2b ubicados en el Anexo I de la Resolución. Admite bienes motores importados con grado de desensamblable: 1) Estructura de cabina o carrocería sin pintar ni acabado, desarmada en piso, techo y laterales de cabina; 2) Chasis desensamblado; 3) Bastidor de chasis desensamblado en rieles y travesaños; 4) Tren motriz desensamblado en los siguientes conjuntos: motor, transmisión, embrague, ejes delanteros y traseros. Comprende material de carrocería de bienes automotores de la Categoría 2a. (Artículo 3) | Permitido. Comprende bienes de Categoría 1, 2a y 2b ubicados en el Anexo I de la Resolución. Admite bienes motores importados con grado de desensamblable: 1) Estructura de cabina o carrocería sin pintar ni acabado, desarmada en piso, techo y laterales de cabina; 2) Chasis desensamblado; 3) Bastidor de chasis desensamblado en rieles y travesaños; 4) Tren motriz desensamblado en los siguientes conjuntos: motor, transmisión, embrague, frenos, suspensión, ejes delanteros y traseros. Comprende material de carrocería de bienes automotores de la Categoría 2a. (Artículo 4) |
| Calificación del Origen para Autopartes | Se aplicarán las Normas Generales de Origen. En caso de no cumplir con el salto de partida arancelaria se aplicará un Requisito Específico de Origen donde el Valor CIF de los componentes importados no debe exceder del 55% del Valor FOB (Artículo 6) | Para la determinación del origen de los subsistemas destinados al mercado de reposición, se aplicarán las normas de origen establecidas en la Decisión 416 o en el artículo 6 de la Resolución. (Idem AAP N°28). En caso de no cumplir con el salto de partida arancelaria se aplicará un Requisito Específico de Origen donde el Valor CIF de los componentes importados no debe exceder del 55% del Valor FOB (Artículo 4) |

Fuente: AAPC.N°28: Colombia-Venezuela/Resolución 323 CAN/Elaboración propia.

Así mismo, se aprecia continuidad en la denominación de las categorías, preferencias arancelarias, calificación de origen para las autopartes, tratamiento para la importación de materiales para ensamblaje MEIV, los cuales son indicadores esenciales para calificar los productos finales como originarios. No obstante, se adicionan algunas variantes en el AAP.C N° 28, como la inclusión de motocicletas dentro del ámbito de aplicación del Requisito Específico de Origen del sector automotriz.

Además, el año de vigencia del instrumento representa una transición para la determinación de nuevas metas en la incorporación de componentes nacionales a fin de garantizar el incremento de partes y piezas nacionales y procesos productivos que fortalezcan los procesos de ensamblaje y alianzas estratégicas en las industrias del ensamblaje y autopartistas venezolana y colombiana.

Cabe destacar que la plataforma de la Industria Automotriz Venezolana actual, en su mayor parte, ha sido el resultado de la aplicación del programa para el desarrollo de este sector mediante el Convenio Automotor Andino y el programa de liberación económica de la Comunidad Andina, es decir, manteniendo la preferencia arancelaria de cien por ciento (100%) en este sector, aunado a que Venezuela en la actualidad mantiene niveles de producción similares a Colombia, de acuerdo a cifras de la OICA, lo que hace viable mantener la complementariedad comercial con este país andino.

Adicionalmente, es importante destacar que mediante el Convenio Automotor Andino se mantuvo por una década (entre el año 2000 al 2009) un acuerdo con naturaleza propia para el desarrollo industrial y competitivo del sector.

La denuncia del Acuerdo de Cartagena, no implicó retirarse automáticamente del Convenio de Complementación Industrial en el Sector Automotor para Venezuela, toda vez que en su Artículo 10 se establecía una vigencia de 10 años prorrogables automáticamente por períodos iguales para dar continuidad al Convenio. Sin embargo, pese a que Venezuela no solicitó la renovación de este mecanismo, el AAP.C N° 28 permite restablecer el vínculo comercial con Colombia, lo que facilita seguir perfeccionando la complementación productiva y ampliar mercado entre ambos países.

Por otra parte, el cumplimiento de la normas de origen bilateral también beneficia a las empresas automotrices de Venezuela al seguir aplicándose el régimen del MEIV para garantizar los procesos productivos en las ensambladoras según modelo y categoría de vehículo, además de poder satisfacer la demanda de unidades armadas en el mercado interno como los destinados a exportación, y buscar fortalecer la balanza comercial en su relacionamiento comercial con Colombia.

No obstante, existen aspectos que preocupan en el AAP.C N° 28 en la citada continuidad de porcentajes mínimos a cumplir en la fórmula asociada al REO de materias primas. Se trata que las metas exigidas para el período 2012-2013 son las mismas que las requeridas para el último año de vigencia del Convenio Automotor Andino (año 2009) y su correspondiente Resolución 323, es decir mantiene la meta aplicada sobre la Categoría 1 (34,6%), Categoría 2a (34,9% y chasis 18%) y Categoría 2b (18%).

Esto se traduce que tanto Venezuela como Colombia no han avanzado en la adición de mayores niveles de integración de partes y piezas locales, situación que hace vulnerable reactivar el comercio bilateral y simétrico en el corto plazo.

De igual manera, la fórmula y porcentaje mínimo exigido para el intercambio son flexibles, toda vez que la incidencia del REO se concentra en evaluar la incidencia de materiales nacionales del total de insumos que intervienen en los procesos productivos, permitiéndose la acumulación o inserción de materiales colombianos en los procesos de ensamblaje al ser considerados como nacionales y permitir un intercambio de vehículos sin estar condicionados a comercio administrado o cuotas de importación, como si ocurre en el actual contexto de países MERCOSUR.

Por otra parte, el no alcanzar el porcentaje mínimo de integración significa que vehículos pertenecientes a una categoría no podrán obtener el certificado de origen y entrar con disfrute de preferencias al territorio del país importador. No obstante, el proceso de integración de materiales se facilita mediante el criterio complementario de origen conocido como "acumulación" que de acuerdo al artículo 5 del Anexo II del Régimen de Origen del AAP.C N° 28, se reconocen los componentes producidos en cualquiera de los países signatarios, sea Venezuela o Colombia, siempre y cuando ingresen con certificado de origen.

Por último, para el caso de las autopartes, estos están sujetos a la aplicación de las normas generales de origen, siempre y cuando, cumplan con el salto de partida arancelaria. En caso de no cumplirla estarán sujetas a las condiciones de cumplimiento establecidas a los REOS que establezca la normativa. Estas deben cumplir con las normas generales establecidas en el artículo 3 Anexo II del Régimen de Origen, salvo que dichos productos incumplan con el salto de partida arancelaria. En estos casos, el artículo 6 Apéndice I establece un REO para autopartes, se fija la condición que el valor CIF de los componentes no originarios no exceda el cincuenta y cinco por ciento (55%) del Valor FOB de exportación del producto final.

Por otra parte, el éxito de este Acuerdo de Alcance Parcial abre las puertas para realizar un tratado comercial y diseño de una normativa de origen similar con otro antiguo socio del Convenio Automotor Andino, como es el caso de Ecuador.

2. Análisis de resultados del comportamiento del intercambio comercial de vehículos de Colombia y Venezuela, durante el período 2000-2012

Visto los Requisitos Específicos de Origen que aplican en el AAP.C N°28, se puede apreciar que existen diferencias en la aplicación de fórmulas y metas de incorporación de componentes nacionales para cumplir las reglas del origen. Por otra parte, el escenario comercial automotriz venezolano presenta una alta demanda de vehículos, donde se comercializan tanto vehículos producidos a nivel nacional como aquellos procedentes del exterior.

En el cuadro 2 se presentan las importaciones de vehículos armados de Venezuela procedentes de la CAN y Terceros Países período 2000-2012.

Cabe recordar que en el ámbito andino, el comportamiento del intercambio comercial fue el resultante entre los países firmantes del Convenio Automotor Andino, en los cuales Bolivia ni Perú formaban parte del mismo, entendiéndose que este se desarrollaba entre Colombia, Ecuador y Venezuela.

Al respecto, se observa una tendencia creciente de las importaciones de vehículos procedentes de la CAN hasta el año 2006. Sin embargo, a partir del año 2007 caen drásticamente las importaciones andinas cediendo

CUADRO 2. importaciones de vehículos de Venezuela con la CAN y terceros países (unidades)

| | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 |
|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|
| CAN | 25.764 | 14.290 | 3.257 | 15.841 | 32.405 | 44.722 | 43.620 | 20.644 | 2.770 | 1.149 | 20 |
| Terceros países | 65.115 | 38.742 | 10.889 | 15.169 | 56.807 | 141.134 | 292.745 | 114.855 | 23.732 | 14.813 | 17.660 |
| Total | 90.879 | 53.032 | 14.146 | 31.010 | 89.212 | 185.856 | 336.365 | 135.499 | 26.502 | 15.962 | 17.680 |

Fuente: CAN/CAVENEZ/FAVENPA/ACOLFA/Datos Propios.

do paso a las similares de terceros países. Posterior a la culminación del Convenio Automotor Andino se llega a la irrisoria suma de 20 unidades de vehículos para finales del año 2011.

Por su parte, Colombia vio disminuido su ingreso de vehículos al mercado venezolano al no contar desde el año 2010 con preferencias arancelarias, y exportando las 20 unidades que ingresaron a territorio venezolano para el año 2011. El cuadro 3 refleja el comportamiento de las exportaciones hacia países de la CAN entre los años 2000 a 2012:

En cuanto a las exportaciones de vehículos, los mismos se destinaban exclusivamente a Colombia y Ecuador, en virtud de los beneficios derivados del Convenio Automotor Andino y la Resolución 323. No obstante, por las mismas razones de la salida de Venezuela de la CAN se genera una interrupción de decrecimiento inminente hacia el único mercado de exportación, sin registrarse cifras a otros mercados ni unidades exportadas desde el año 2010.

Aunado a esto, si bien el régimen de origen del AAP.C N° 28 puede ser un camino para reactivar el comercio de vehículos de manera recíproca, se debe tomar en cuenta que el histórico de exportaciones venezolanas se concentraba exclusivamente hacia Colombia y Ecuador, pero al no registrarse exportaciones a partir del año 2010 (según cifras CAVENEZ) el intercambio comercial para el país se encuentra en estancamiento y am-

CUADRO 3. exportaciones de vehículos de Venezuela a la CAN (unidades)

| | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|------|------|------|------|
| CAN | 3.747 | 5.870 | 5.841 | 5.975 | 8.597 | 9.899 | 22.216 | 13.754 | 1.191 | 55 | 0 | 0 | 0 |

Fuente: CAVENEZ / FAVENPA.

plia desventaja con Colombia, que si ha mantenido un ritmo creciente de exportaciones, exportando para los años 2010 y 2011 unas 12.019 y 14.586 unidades de vehículos.

Las últimas exportaciones de vehículos registradas en Venezuela fueron para el año 2009 con solo 55 unidades, dirigidas al mercado andino. No obstante, esta nueva norma de origen bilateral constituye una brillante oportunidad adaptada a la realidad venezolana de cumplir con metas tangibles ya trabajadas en su momento como país andino.

Por otra parte, Venezuela –en el escenario actual– para competir en condiciones justas debe tener en cuenta los niveles de producción de vehículos de sus principales socios comerciales como Colombia, por su acuerdo comercial bilateral en el AAP.C N° 28. Esta condición resulta indispensable para poder aprovechar debidamente las bondades del acuerdo comercial para garantizar la debida incorporación de componentes no producidos en territorio venezolano y complementarlos con partes y piezas elaboradas en Colombia, lo que permitiría no sólo el cumplimiento de las normas de origen, sino generar mayor encadenamiento al incluir a empresas autopartistas de ambos países en ayudar a cumplir con las metas propuestas de incremento de unidades de vehículos producidas, y ser esta razón extensiva para las autopartes.

En el cuadro 4 se observa que Colombia antes de la culminación del Convenio Automotor Andino presentaba niveles de producción inferiores a los de Venezuela, pero a partir del año 2010 período mediante el cual el Convenio Automotor Andino pierde vigencia, se observa un panorama reverse en los niveles de producción de ambos países, donde Venezuela disminuye la cantidad de vehículos producidos a niveles muy inferiores a los obtenidos entre los años 2004 a 2009, y Colombia si bien tuvo caídas en sus niveles de producción entre los años 2008 y 2009, en los años posteriores su volumen de producción se ha incrementado a niveles superiores a Venezuela, situación que de mantenerse su caída productiva le hará muy difícil competir en el intercambio comercial con su socio colombiano.

Los niveles mínimos de incorporación de componentes nacionales son los mismos a los topes exigidos para el último año de la Resolución 323 de la CAN (2009), lo que permite reactivar el intercambio tomando como base los resultados alcanzados durante la década de vigencia del Convenio Automotor Andino. Sin embargo, esto representa un reto para

CUADRO 4. Comparativo de principales productores de vehículos en Suramérica

| País / Cifras de Producción | | |
|------------------------------------|-----------------|------------------|
| Año | Colombia | Venezuela |
| 2000 | 50.716 | 89.432 |
| 2001 | 75.997 | 136.767 |
| 2002 | 81.000 | 82.805 |
| 2003 | 32.566 | 46.884 |
| 2004 | 93.363 | 111.053 |
| 2005 | 109.333 | 154.961 |
| 2006 | 138.690 | 171.715 |
| 2007 | 183.721 | 172.418 |
| 2008 | 110.766 | 135.042 |
| 2009 | 91.118 | 111.554 |
| 2010 | 128.265 | 104.357 |
| 2011 | 154.261 | 102.409 |
| 2012 | 138.872 | 104.083 |
| Total | 1.388.668 | 1.523.480 |

Fuente: OICA/ANFAVEA/Datos Propios.

las empresas ensambladoras de vehículo venezolanas de recuperar el intercambio comercial con Colombia en una nueva etapa de relaciones económicas, pero con niveles de producción muy inferiores a los que existieron durante el período de vigencia del Convenio Automotor Andino.

Conclusiones

Las normas de origen juegan un rol primordial para el desarrollo comercial e industrial del país, además de permitir la unificación de políticas que permitan profundizar procesos de integración y cooperación en diversos campos de la economía como el financiero, fiscal o tecnológico-industrial.

Al respecto, los beneficios que deriven de las normas de origen se extienden al plano donde el exportador se le facilite el ingreso de sus productos a países socios, garantizando un mercado más seguro para el importador, obteniendo bienes deseados, liberado de los derechos aduaneros, abaratando los costos en relación a bienes similares de terceros países. Los Estados participantes deben aprovecharlas para incrementar su producción como consecuencia del sacrificio fiscal generada por la apertura comercial.

Asimismo, en la medida que una normativa de origen se hace más exigente, la misma compromete al industrial a generar mayor incorporación de contenido local, implica mayor cooperación para el caso de las empresas ensambladoras venezolanas con las empresas autopartistas para integrar procesos productivos y alianzas estratégicas que generen beneficios al sector.

De igual manera, el relacionamiento de Venezuela con Colombia y otros países suramericanos se debe traducir en buscar mecanismos para el intercambio comercial complementario, no solo para facilitar las exportaciones, sino la atracción de inversiones extranjeras, mediante el establecimiento de empresas multinacionales que permitan al país insertarse en el mercado regional y obtener la correspondiente transferencia de tecnología.

Igualmente, el acuerdo de alcance parcial N°28 denota una vital importancia, toda vez que Colombia históricamente ha sido y será uno de los principales mercados naturales de Venezuela; el mantener el espíritu del Convenio Automotor Andino, permitirá desarrollar un intercambio comercial sostenible y de mucha complementariedad.

Adicionalmente, este esquema se puede aplicar a futuro en el desarrollo de las bases para un acuerdo comercial bilateral con Ecuador, antiguo país socio del Convenio Automotor Andino, bajo la figura de un posible Acuerdo de Alcance Parcial Comercial o Acuerdo de Complementación Económica bajo el contexto de la ALADI.

Referencias

- Asociación Latinoamericana de Integración (2011). Acuerdo de Alcance Parcial N°28 suscrito entre la República de Colombia y la República Bolivariana de Venezuela suscrito el 11 de Noviembre de 2011. Montevideo, Uruguay.
- Asociación Latinoamericana de Integración (1999). Resolución 252. 04 de Agosto de 1.999
- Cámara Automotriz de Venezuela (CAVENEZ) (s/f). Disponible en: <http://www.cavenez.com>
- Cámara de Fabricantes Venezolanos de Productos Automotores – FAVENPA (2012, Enero). Boletín Estadístico No 02-2012 Resumen Ventas 2011. Disponible en: <http://www.favenpa.org/estadisticasy-estudios/boletines-estadisticos/2012?start=72>
- Comunidad Andina (1997, 2003). Decisión 563. Acuerdo de Cartagena. Lima, Perú
- Comunidad Andina (1999). RESOLUCION 323. Sustitución de las Resoluciones 336 y 442 de la Junta del Acuerdo de Cartagena sobre Requisitos Específicos de Origen para productos del sector automotor. Lima, Perú.
- Comunidad Andina (2006). Acuerdo de Cartagena [versión electrónica]. Sistema de Información sobre Comercio Exterior (SICE). Disponible en: http://www.sice.oas.org/trade/junac/carta_ag/cartag1s.asp[2006, marzo]
- Comunidad Andina (1997). Decisión 417: Criterios y Procedimientos para la fijación de Requisitos Específicos de Origen. [Versión electrónica] Normativa Andina, Decisiones. Disponible en: <http://intranet.comunidadandina.org/Documentos/decisiones/dec417.doc>
- Guzmán, G. (2012). Las Reglas de Origen del Comercio Internacional. Bogotá. Colombia. Legis Editores, S.A.
- Ministerio del Poder Popular para el Comercio. (s/f). Disponible en: <http://www.mincomercio.gob.ve>
- Ojeda Hernández, F. (1989). Léxico de origen de las mercancías y términos afines al comercio internacional. Valencia, Venezuela. Vadell Hermanos Editores.

Parámetros fundamentales para una iluminación energéticamente eficiente en oficinas y áreas de trabajo

*Ana Barboza D.**
*Juan González L.***
*Sandra Viada A.***
*Axa Rojas**

Resumen

En Venezuela, el consumo energético por A/A e iluminación representa más del 60% para oficinas, por lo cual es necesario iluminar eficientemente. Para ello, este estudio tiene como objetivo, determinar los parámetros fundamentales para un sistema eficiente de iluminación de oficinas; se tomó como caso de estudio y módulo experimental el Rectorado de la Universidad del Zulia haciendo un diagnóstico de la situación actual de iluminación respecto a un edificio referente cuyo diseño de iluminación es eficiente; en ambos casos, se aplicó una encuesta a usuarios, investigando su bienestar relacionado con iluminación. Se registraron variables como: flujo luminoso, iluminancia, temperatura de color, deslumbramiento, reflectividad, índice de reproducción cromática y consumo energético. A partir del análisis comparativo, el edificio

* Universidad del Zulia. Facultad de Arquitectura y Diseño, División de Estudios para Graduados, Programa de Maestría en Arquitectura y Diseño. anabarboza26@gmail.com

** Universidad del Zulia. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Mecánica.

rectoral resultó ser ineficiente y sus usuarios desinformados respecto al confort e iluminación eficiente. Por tanto, se recomienda actualizar la Norma COVENIN 1993, respecto a parámetros fundamentales evaluados en este estudio, estableciendo valores deseables según tipos de espacio.

Palabras clave: Iluminación eficiente, parámetros fundamentales, oficinas.

Basic Parameters for Energy-Efficient Lighting in Offices and Work Areas

Abstract

In Venezuela, air conditioning and lightning for offices represents over 60% of energy consumption, so it is necessary to illuminate efficiently. The objective of this study was to determine basic parameters for an efficient office lighting system. The LUZ Directorate building was taken as a case study and experimental module; a diagnosis of the current lighting situation was performed in the aforementioned building whose lighting design is efficient. In both buildings, a survey was applied to users to investigate their well-being related to lighting. Variables such as luminous flux, illuminance, color temperature, glare, reflectivity, color rendering index and energy consumption were registered. Based on the comparative analysis, the Directorate building was inefficient and its users were misinformed regarding comfort and efficient lighting. Hence, the study recommends updating the 1993 COVENIN Regulation regarding the basic parameters assessed in this study by establishing desirable values according to types of space.

Keywords: Efficient lighting, basic parameters, offices.

Introducción

Actualmente, Venezuela encabeza la lista de los países latinoamericanos con mayor consumo per cápita de energía eléctrica y agua. Para el año 2008, la nación contabilizó 4126 KWh/habitante; para el 2009, Venezuela había superado los 4370 KWh/habitante (Diploos, Política Exterior Venezuela <http://diploos.com/>, 2010). El explosivo incremento en el consumo energético, conduce a un conflicto con el concepto de desarrollo

sustentable, conocido como trilema energético, caracterizado por tres elementos fundamentales: las limitaciones de los recursos energéticos, los factores económicos y los efectos ambientales asociados a la transformación y el consumo energético (Camporeale y col., 2002). Desde que la sociedad ha comenzado a sentir las dificultades para proveerse de energías por efecto de sequías o agotamiento de los recursos naturales, expresiones como utilización eficiente de la energía y uso racional de la misma, se escuchan y escriben a menudo (Flores, 2010).

La utilización eficiente de la energía implica que se emplee la menor cantidad posible de la misma para lograr un fin específico, como por ejemplo iluminar un recinto acorde a los requerimientos visuales de la función que se ejecute en él (Durán, 2008). La iluminación es un factor importante en el diseño interior y exterior de un área. Ésta ha dejado de tener como única función propiciar buenas condiciones de seguridad y visibilidad (Barboza, 2010).

El mayor porcentaje de consumo energético en una edificación en Venezuela, se produce a través de los sistemas de aire acondicionado y de iluminación. En oficinas, el consumo de energía generado por esos sistemas representa más del 60% (Sosa y col., 2004).

El consumo energético excesivo en iluminación se debe al empleo de tecnología ineficiente en equipos y bombillos, como por ejemplo la utilización masiva de bombillos incandescentes, los cuales ofrecen sólo un 10% en emisión lumínica y 90% en emisión calórica, esto produce un aumento en la cantidad de puntos necesarios a ser colocados en el espacio para satisfacer las necesidades de iluminación del mismo, así como también una mayor generación de calor, que ocasiona un desgaste de los equipos de enfriamiento artificial del aire del espacio (Durán, 2008). Debido a esto, las estrategias de eficiencia energética deben estar dirigidas a establecer técnicas de diseño arquitectónico apropiadas, en las que se promueva la utilización de equipos de iluminación eficientes, unidos al empleo de sistemas de regulación y control adecuados a las necesidades del local a iluminar (Sosa y col., 2004), que además propicien el bienestar y la productividad de sus usuarios en un ambiente de trabajo sano, seguro y ergonómico.

Esta investigación se planteó como objetivo, establecer los parámetros fundamentales para el logro de un sistema eficiente de iluminación de oficinas y áreas de trabajo, utilizando como proyecto piloto el edificio Rec-

toral de LUZ. Para ello, se realizó un diagnóstico de la situación actual, respecto al nivel de confort lumínico de sus usuarios. Dicho diagnóstico, permitió detectar deficiencias en el sistema existente a través de la comparación con el desempeño de un edificio diseñado con criterios de iluminación eficiente. A través de este estudio, se obtuvieron resultados, referidos a cuáles son los parámetros fundamentales a aplicar en el diseño eficiente de iluminación en oficinas. Parámetros estos, que permiten proponer y establecer valores y criterios de diseño de iluminación, utilizando sistemas energéticamente eficientes para ambientes de oficinas con el fin de complementar los estudios realizados por el Programa ECOLUZ de la Universidad del Zulia, que puedan ser llevados a los organismos competentes a nivel institucional y complementar la normativa elaborada por la Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN), cuya última actualización fue en el año 1993.

1. Metodología

1.1. Descripción del entorno físico del proyecto

El edificio Rectoral de LUZ constituye una de las obras más destacadas en la ciudad de Maracaibo, debido a su forma, altura e importancia como edificio institucional. Se localiza en la Av. Universidad, dentro del Campus de la Universidad del Zulia (figura 1).



FIGURA 1. Edificio Rectoral de la Universidad del Zulia
(Toma propia, 2012).

1.2. Población y muestra

Para establecer la población y muestra de la investigación se tomaron un módulo de control y un módulo experimental. Al final de la investigación se realizaron comparaciones entre un módulo y otro con el fin de demostrar la efectividad de la aplicación de parámetros fundamentales de diseño de iluminación y criterios de diseño establecidos en las normas nacionales e internacionales.

1.2.1. Módulo de control

Este módulo consiste en un espacio de oficinas de morfología rectangular y dimensiones de 3 m de altura, 13,50 m de ancho 5 m de largo y 0,80 m de altura del plano de trabajo, ubicado en la Prolongación de la Avenida Las Américas, Edificio Brunini Sector Los Monos, en Puerto Ordaz, estado Bolívar, sede de las oficinas principales de la empresa Suministro de Materiales Eléctricos C.A SUMECA. En este módulo, se localizan una oficina tipo celda (presidencia) y el resto del espacio se configura en una oficina tipo colmena (área de cubículos). En este espacio, se desempeñan un total de 14 personas en un horario de 8 horas, comprendido entre las 8 am a 12 m y 2 pm a 6 pm. Al ser una empresa dedicada al suministro de materiales eléctricos y proyectos de iluminación, el espacio fue concebido bajo criterios de eficiencia energética en esta materia que proporcione confort a todos los empleados, utilizando la más alta tecnología disponible para lograr tal fin (figura 2)".



FIGURA 2. Planta distribución espacios y luminarias en el módulo de control
(Fuente: Seib, 2008).

En este sentido, el diseño de iluminación fue realizado siguiendo los lineamientos establecidos en el I.E.S.N.A Lighting Handbook (2002); las Normas COVENIN no fueron tomadas en cuenta debido a que la última revisión de las mismas se realizó en el año 1993, considerándose muy antiguas para los requerimientos lumínicos deseados (Seib, 2008). En este caso, se colocaron 10 luminarias a 3 m de altura, éstas poseen una óptica diseñada para proveer iluminación volumétrica; de esta manera se obtiene un espacio más amplio, uniformidad en el campo visual, sensación de bienestar para los empleados y minimización del efecto caverna. De igual manera, las luminarias empleaban solo 2 tubos fluorescentes T8 de 32 W lo cual garantiza una reducción del mantenimiento y la depreciación, ahorro energético y prolongación de la vida útil de los recursos y equipos utilizados (Seib, 2008) (figuras 3 y 4).



FIGURA 3. Modelo Luminaria empleada en edificio referencia
(Fuente: Lithonia Lighting, 2008).

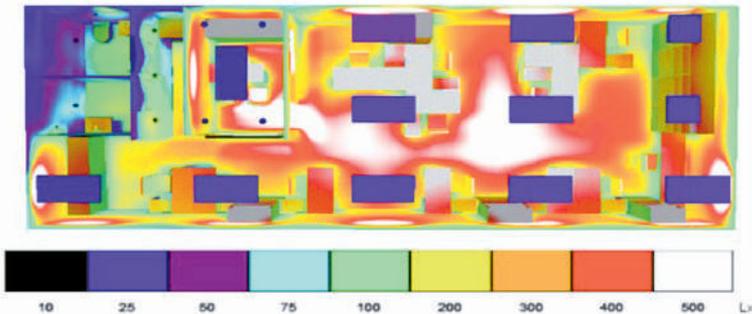


FIGURA 4. Diagrama de colores falsos con su respectiva escala lumínica correspondiente al diseño de iluminación planteado para las oficinas de SUMECA (Seib, 2008).

1.2.2. Módulo experimental

La población tomada para la aplicación de la metodología está constituida por todas las áreas de trabajo interiores del edificio Rectoral de la Universidad del Zulia, siendo la muestra las plantas que funcionan como Secretaría, Rectorado y Vicerrectorado Académico, seleccionadas debido a la cantidad de personal que albergan, por los diversos tipos de espacios que contienen y su importancia dentro de la edificación.

1.3. Evaluación de los parámetros fundamentales

Iriarte (2010) plantea la realización de un diagnóstico energético en el sistema de iluminación a través de las siguientes fases:

1.3.1. Fase 1: Reconocimiento de las condiciones de iluminación para llevar a cabo el reconocimiento, se realizó un recorrido por todas las áreas del centro de trabajo donde los empleados realizan sus tareas visuales, así como también se recopiló información técnica que incluyó:

- Planos de infraestructura donde se especifique la distribución de las áreas de trabajo y del sistema de iluminación.
- Registro fotográfico de las áreas a evaluar.
- Plan de mantenimiento de las luminarias, el cual se utiliza para tener una perspectiva general de la situación de la instalación, así como verificar su cumplimiento.
- Condiciones del lugar o plano de trabajo: tarea realizada, color del plano de trabajo, geometría del lugar, color de piso, color de las paredes, color de techo, número de ventanas, sombras, contrastes, etc.
- Datos generales de luminarias: número de luminarias, tipo de luminaria, número de lámparas, marca de las lámparas, potencia de las lámparas, número de luminarias defectuosas (se toma como luminaria defectuosa aquella que presente una o más lámparas inoperativas), número de luminarias en mal funcionamiento (luminarias que presenta una o más lámparas con efecto estroboscópico o con flujo luminoso bajo, observable a simple vista), posición relativa al techo (colgante o empotrada), altura respecto al piso, altura con respecto al plano de trabajo.

1.3.2. Fase 2: Registro de los valores de los parámetros fundamentales en el sitio.

En esta fase se llevó a cabo un diagnóstico energético en el sistema de iluminación, para determinar los potenciales de ahorro de energía en dichos sistemas.

1.3.2.1. Flujo luminoso

Consiste en la cantidad de luz que sale desde la fuente, la cual está condicionada por el coeficiente o factor de balasto con el que opere la luminaria.

Este parámetro fue determinado a través de la siguiente fórmula:

$$\Phi_R = \Phi * FB$$

Φ_R : Flujo luminoso real.

Φ : Flujo luminoso de la lámpara según especificaciones del fabricante.

FB: Factor de Balasto (San Martín Páramo, 2003).

1.3.2.2. Iluminancia

Iriarte (2010) planteó que con la información obtenida durante el proceso de reconocimiento, se estableciera la ubicación de los puntos de medición de las áreas de trabajo seleccionadas. El procedimiento seguido fue el siguiente:

- Cuando se utiliza iluminación artificial, se debe verificar que las luminarias tengan media hora de operatividad como mínimo, antes de registrar los valores de iluminación puntual.
- En cuanto a la ubicación de los puntos de medición, estos deben ser seleccionados en función de las necesidades y características de cada centro de trabajo.
- En los pasillos o escaleras, el plano de trabajo a evaluar debe ser un plano horizontal a 75 cm sobre el nivel del piso, realizando mediciones en los puntos medios entre luminarias contiguas. El equipo utilizado para estos procedimientos será un Luxómetro marca EXTECH, modelo 403125.

1.3.2.3. Coeficiente de reflectancia de las superficies en áreas y puestos de trabajo

Para evaluar este parámetro, se registraron los colores de piso, techo, paredes y plano de trabajo y su coeficiente de reflectancia fue consultado en la tabla respectiva establecida por Camporeale y col. (2002).

1.3.2.4. Temperatura de color e índice de reproducción cromática

Ambos parámetros fueron evaluados revisando las especificaciones otorgadas por el fabricante de las fuentes lumínicas.

1.3.2.5. Uniformidad

Según Iriarte (2010), este parámetro se refiere a los límites de heterogeneidad del campo luminoso. Según San Martín Páramo (2003), para determinar el factor de uniformidad sobre el plano de trabajo se utiliza la siguiente fórmula:

$$F_u = \frac{E_{\min}}{E_{\text{med}}}$$

E_{\min} = Nivel de Iluminancia Mínimo.

E_{med} = Nivel de Iluminancia Medio.

F_u = Factor de Uniformidad.

1.3.2.6. Eficiencia energética del sistema de iluminación

Un sistema de iluminación está compuesto por 3 elementos fundamentales, que son:

- Luminaria: Se evaluó la información fotométrica, así como también el material y piezas que la componen.
- Lámpara: se evaluó a través de la identificación de su tecnología la cantidad de lúmenes emitidos por Watt consumido, así como también de su vida útil, nivel de depreciación y porcentaje de generación de calor.

$$\text{Lúmenes}/(\text{Watts consumidos}) = \text{eficiencia } \mu$$

- Equipo auxiliar: Se evaluó a través de la identificación de los elementos que lo componen (balasto, ignitor, condensador, según el caso),

detectando el tipo de tecnología, la vida útil, el factor de balasto, el factor de potencia, y su influencia en el grado de descarga lumínica de la lámpara.

1.3.2.7. Consumo energético

Este dato fue evaluado determinando los tipos, cantidades y consumos unitarios de las luminarias, con el fin de obtener el consumo energético total de cada espacio evaluado.

1.3.2.8. Excesos en el tiempo operativo del sistema de iluminación

Fueron evaluados realizando una resta de la cantidad de horas registradas como período de uso diario del espacio respecto a la cantidad de horas que se encuentra operativo el sistema de iluminación, destacando el consumo energético en total de dicho sistema.

$$H_{\text{exc}} = H_1 - H_2$$

H_{exc} : Horas de exceso.

H_1 : Horas operativas del sistema de iluminación.

H_2 : Horas de la jornada laboral diaria.

La evaluación del sistema de iluminación, se realizó tomando en cuenta los lineamientos existentes en la Gaceta Oficial N°39.694, del 13 de junio del 2011, N°77, artículo 3, parte 3, referente al uso racional y eficiente de la energía en sistemas de iluminación interior y exterior en organismos públicos. Esta información será registrada en la planilla de evaluación correspondiente.

1.3.2.9. Instrumento de recolección de datos

El instrumento de recolección de datos para esta fase de la investigación, constituyó una planilla de registro de información.

1.3.3. Fase 3: Encuesta a los usuarios del espacio

La percepción de los usuarios fue incorporada, mediante la repartición de dos modelos de encuestas vía web y en físico, en los módulos de control y experimental, respectivamente a la totalidad de los usuarios de cada módulo, con el fin de establecer la forma en la que los factores lumínicos inciden en las actividades laborales y el nivel de bienestar o incomodidad generada en los usuarios de dichos espacios.

1.3.4. Fase 4: Procesamiento y evaluación de resultados

Los resultados obtenidos en la fase 2 fueron registrados, contabilizados, verificados y comparados con las normas nacionales e internacionales, referidas a dichos parámetros. En relación a los resultados obtenidos en la fase 3, se realizó el registro, la contabilización, elaboración de gráficos referenciales y el análisis estadístico correspondiente; éstos fueron comparados entre los obtenidos del estudio en el edificio rectoral y los obtenidos en el edificio con diseño de iluminación eficiente usado como referencia. Esta prueba piloto fue realizada con el fin de establecer las bases para llevar a cabo futuros diseños de iluminación en oficinas y áreas de trabajo, donde se realice un ahorro energético eficaz sin sacrificar las necesidades lumínicas del espacio y el bienestar físico y mental de los trabajadores del mismo. Dicho análisis, fue realizado utilizando el programa Microsoft Excel 2010.

Por otra parte, los procesos ejecutados para la medición, evaluación y procesamiento de datos obtenidos en el sitio, serán utilizados como base para la metodología de evaluación de la Iluminación en el Programa de Auditorías Energéticas de la Comisión ECOLUZ. La consideración de cada uno de estos parámetros, será determinante para realizar un diagnóstico efectivo de las condiciones de iluminación y consumo energético de una edificación destinada a oficinas y áreas de trabajo, aplicable no solo al edificio rectoral sino a todos los edificios administrativos de la Universidad del Zulia.

2. Resultados y discusión

A partir de la metodología aplicada para determinar cuáles son los parámetros fundamentales que inciden en la iluminación eficiente en oficinas, se procesaron y analizaron los datos recolectados en campo directamente a través de encuestas efectuadas a los sujetos investigados y monitoreo del entorno, mediante la aplicación de diferentes instrumentos de recolección, para luego proceder a evaluar los parámetros fundamentales. También se realizó un diagnóstico energético en el sistema de iluminación, para determinar los potenciales de ahorro de energía en el mismo, considerando las lámparas, luminarias, la iluminancia, el deslumbramiento, la reflexión, la eficiencia luminosa y el mantenimiento.

Los pasos seguidos para la evaluación fueron los siguientes: reconocimiento de las condiciones de iluminación, revisión de planos de infraestructura donde se especificó la distribución de las áreas de trabajo y del sistema de iluminación, registro fotográfico de las áreas evaluadas, plan de mantenimiento de las luminarias, el cual se utiliza para tener una perspectiva general de la situación de la instalación, así como verificar su cumplimiento, condiciones del lugar o plano de trabajo: tarea realizada, color del plano de trabajo, geometría del lugar, color de piso, color de las paredes, color de techo, contrastes, entre otros, datos generales de luminarias: número de luminarias, tipo de luminaria, número de lámparas, marca de las lámparas, potencia de las lámparas, número de luminarias defectuosas (se toma como luminaria defectuosa aquella que presente una o más lámparas inoperativas), número de luminarias en mal funcionamiento (luminarias que presenta una o más lámparas con efecto estroboscópico o con flujo luminoso bajo, observable a simple vista), posición relativa al techo (colgante o empotrada), altura respecto al piso, altura con respecto al plano de trabajo.

2.1. Condiciones de iluminación del módulo experimental

En términos generales, se observa que en las tres áreas evaluadas dentro del edificio rectoral, se utilizó un sistema de iluminación consistente en luminarias de tipo especular de tres tubos fluorescentes T8 de 32 W cada uno. De igual forma, este sistema es combinado con la entrada de iluminación natural a través de ventanales dispuestos en algunas áreas, los cuales se encuentran parcialmente recubiertos con papel ahumado.

Según las observaciones realizadas en sitio y en los planos de infraestructura, se destaca una disposición del sistema de iluminación discordante con las necesidades morfológicas del mismo, al estar colocadas varias luminarias justo encima de los tabiques y los perfiles de aluminio que los sostienen, lo cual indica que el sistema de iluminación se colocó antes que el mobiliario (figura 4).



FIGURA 4. Disposición errada de las luminarias en Secretaría

2.2. Parámetros fundamentales de la iluminación del sitio

2.2.1. Flujo luminoso

La fuente lumínica consistía en luminarias especulares de tres tubos fluorescentes tipo T8 de 32 W cada una, en las que cada tubo tiene una emisión de 2700 lúmenes, generando un total de 8100 lúmenes de salida. Adicionalmente, debe considerarse el factor de balasto, que en este caso fue 0,85 y aplicando la fórmula para conocer el valor del flujo luminoso real se obtendría lo siguiente:

$$\begin{aligned} \Phi &= 2700 \text{ Lm} * 3; \Phi = 8100 \text{ Lm} \\ & \text{(Totalización del flujo luminoso de los tres tubos T8)} \\ \Phi_R &= \Phi \cdot \text{FB}; \Phi_R = 8100 \text{ Lm} \cdot 0,85 \\ \Phi_R &= 6885 \text{ Lm} \end{aligned}$$

El resultado anterior demostró, que existe una pérdida de 1215 Lm, lo cual representa un 15% del total del flujo luminoso inicial.

2.2.2. Iluminancia

Los valores de iluminancia obtenidos en promedio y a nivel de plano de trabajo según la cantidad de mediciones realizadas fueron los siguientes:

Según las Normas COVENIN (1993), se establece que los valores de iluminancia ideales para oficinas y áreas de trabajo se encuentran entre los 200 y 300 Luxes promedio, mientras que en I.E.S.N.A. Lighting Handbook (2000) se establecen valores entre 400 y 700 Luxes promedio para este tipo de espacios, por lo cual, los valores de iluminancia de los espacios analizados del edificio Rectoral no se encuentran dentro del rango estipulado. Todo esto indica que los usuarios se ven obligados a realizar esfuerzos mayores e innecesarios para visualizar los objetos dentro del espacio en cuestión.

2.2.3. Coeficiente de reflectancia de las superficies en áreas y puestos de trabajo (tablas 1, 2 y 3).

TABLA 1. Coeficientes de reflectancia en el área de Secretaría

| Ubicación | Definición | Acabado | Capacidad de reflectividad |
|------------------------------|----------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| Área de cubículos de trabajo | Paredes perimetrales | Pintura de caucho blanca | 70-75% |
| | Tabiquería | Tabique forrado en tela gris claro | 45-70% |
| | Planos de trabajo | Escritorio de formica blanco | 70-75% |
| | Suelo | Granito pulido | 45-70% |
| Despacho Secretaría | Paredes perimetrales | Pintura de caucho color beige | 50-70% |
| | Plano de Trabajo | Escritorio con tope de mármol negro | 4-6% |
| | Suelo | Granito pulido | 45-70% |
| Cocina | Paredes perimetrales | Pintura de caucho blanca | 70-75% |
| | Plano de Trabajo | Tope de granito gris oscuro | 10-20% |
| | Suelo | Granito pulido | 45-70% |

TABLA 2. Coeficientes de reflectancia en el área de Rectorado

| Ubicación | Definición | Acabado | Capacidad de reflectividad |
|------------------------------|----------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| Área de cubículos de trabajo | Paredes perimetrales | Pintura de caucho blanca | 70-75% |
| | Tabiquería | Tabique forrado en tela gris claro | 45-70% |
| | Planos de trabajo | Escritorio de formica blanco | 70-75% |
| Despacho de Rector | Suelo | Granito pulido | 45-70% |
| | Paredes perimetrales | Pintura de caucho color beige | 50-70% |
| | Plano de Trabajo | Escritorio con tope de mármol negro | 4-6% |
| Cocina | Suelo | Granito pulido | 45-70% |
| | Paredes perimetrales | Pintura de caucho blanca | 70-75% |
| | Plano de Trabajo | Tope de granito gris oscuro | 10-20% |
| | Suelo | Granito pulido | 45-70% |

TABLA 3. Coeficientes de reflectancia en el área de Vicerrectorado Académico

| Ubicación | Definición | Acabado | Capacidad de reflectividad |
|------------------------------|----------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| Área de cubículos de trabajo | Paredes perimetrales | Pintura de caucho blanca | 70-75% |
| | Tabiquería | Tabique forrado en tela gris claro | 45-70% |
| | Planos de trabajo | Escritorio con tope de madera clara | 30-50% |
| | Suelo | Granito pulido | 45-70% |

TABLA 3 (Continuación)

| Ubicación | Definición | Acabado | Capacidad de reflectividad |
|------------------------------------|----------------------|-------------------------------------|----------------------------|
| Despacho de Vicerrectora Académica | Paredes perimetrales | Pintura de caucho color verde claro | 45-70% |
| | Plano de Trabajo | Escritorio con tope de madera clara | 30-50% |
| Cocina | Suelo | Granito pulido | 45-70% |
| | Paredes perimetrales | Pintura de caucho blanca | 70-75% |
| | Plano de Trabajo | Tope de granito gris oscuro | 10-20% |
| | Suelo | Granito pulido | 45-70% |

Según el estudio realizado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología de España (2001), el factor de reflexión existente en las paredes y tabiquería de los espacios estudiados, se encuentran en los niveles adecuados (40% a 70%) mientras que en el suelo dicho coeficiente (45% a 70%) es mayor a los niveles planteados (10% y 30%) es por ello que se generan zonas de brillo en la superficie del mismo.

2.2.4. Temperatura de color

La temperatura de color de las lámparas se registró en 6500K (luz fría); según el Ministerio de Ciencia y Tecnología de España (2001) se recomiendan valores entre 2700 K y 4000 K para estos espacios.

2.2.5. Índice de reproducción cromática

El índice de reproducción cromática es distinto en varias áreas, en algunas de ellas éste se registra en un 80%, en otras en un 70% y en otras no aparece especificado. Según el Ministerio de Ciencia y Tecnología de España (2001) y el Comité Técnico de Normalización Europeo (2002), el índice de reproducción cromática debe estar en un 80% como mínimo.

2.2.6. Uniformidad

Esta se manifiesta numéricamente en la medida que el factor que la representa se acerca al número 1 que indica que existe un 100% de uniformidad; dentro de los resultados obtenidos se evidencia una desigualdad contundente en dos espacios de Secretaría, seis en el Rectorado y cuatro en Vicerrectorado Académico, manifestada en valores de uniformidad inferiores a 0,50 es decir un 50%. Estos resultados numéricos, se hacen visibles mediante altos contrastes lumínicos en el espacio.

2.2.7. Eficiencia energética del sistema de iluminación

- Luminaria: Las luminarias existentes en el rectorado son del tipo especular de tres tubos fluorescentes tipo T8 de 32 W. Camporeale y col. (2002), establecen que dichas luminarias están compuestas por unos espéculos o louvers, los cuales consisten en aditamentos que forman parte de la luminaria y que están ubicados normalmente en la parte inferior de la misma. Su distribución luminosa es bastante concentrada.
- Lámpara: La eficacia de cada tubo fluorescente de 32 W está en 84,75 Lm/W, siendo su depreciación un 10% con respecto a los lúmenes iniciales emitidos por dicha lámpara.
- Equipo auxiliar: Cada luminaria existente en las instalaciones del rectorado posee un equipo auxiliar definido como balasto electrónico, el cual trabaja en altas frecuencias (20 a 40 KHz), de esta forma la vida de la lámpara se extiende notablemente por su arranque instantáneo. Dichos balastos pertenecen al fabricante Osram, cuyo coeficiente es de 0,85, lo que se traduce como el aprovechamiento del 85% del flujo luminoso de una lámpara.

2.2.8. Consumo energético

La Secretaría, el Rectorado y el Vicerrectorado Académico generan consumos de 1762, 1840 y 3110 KWh al mes respectivamente; estos valores tan altos no se justifican debido a la existencia de valores de iluminancia muy bajos que no cubren los requerimientos mínimos exigidos por la Norma COVENIN 1993 para dichas aplicaciones.

2.2.9. Excesos en el tiempo operativo del sistema de iluminación

El horario de encendido del sistema de iluminación se corresponde con la jornada laboral del edificio. Sin embargo, algunos usuarios de dichos espacios, afirmaron que en varias ocasiones, deben quedarse en su cubículo de trabajo por más tiempo para cumplir con asignaciones de carácter urgente, en ese caso permanecen encendidas todas las luminarias de ese nivel, sin importar la ausencia de empleados trabajando en el resto de las áreas, esto se opone también a los lineamientos de la Gaceta Oficial 39.694 (2011) en la que se expone como punto importante el ajuste de los niveles de iluminación a los planteados en la Norma COVENIN 2249:93, así como también al aprovechamiento de la luz natural exterior con el fin de ahorrar energía.

2.3. Medición del nivel de satisfacción de los usuarios en relación a las condiciones lumínicas del sitio

Al revisar los resultados obtenidos en el módulo de control y según la distribución de luminarias módulo experimental, la cantidad de luminarias podría disminuirse en un 50% lo cual implica en una reducción del consumo energético del 50%. Así mismo, la utilización de nuevas tecnologías en iluminación con tubos fluorescentes T8 permiten la utilización de menor cantidad de tubos por luminaria, lo cual implica un ahorro en los costos de mantenimiento del sistema. Por otro lado, según los datos recopilados a través de las encuestas, se evidenció que la mayoría de los usuarios del módulo experimental categorizaron como buena la iluminación de este espacio, lo cual demuestra un desconocimiento generalizado de la importancia de este aspecto en el diseño interior y de sus repercusiones en la salud física de los usuarios. Sin embargo, existe un porcentaje importante de personas que calificaron como regular o mala la iluminación del sitio, esto está atribuido a molestias visuales y corporales que se generan al final de la jornada laboral.

2.3.1. Módulo de control

La iluminación del espacio fue considerada por sus usuarios como buena en un 100%, también manifestaron no presentar dificultades para leer y escribir, así como tampoco se han generado accidentes laborales;

esto demuestra que pueden lograrse paralelamente un consumo de energía mucho menor sin sacrificar la satisfacción de sus usuarios y su nivel de confort para ejecutar sus labores. En el módulo de control, 5 usuarios manifestaron padecer sufrir patologías visuales, las cuales fueron generadas genéticamente.

2.3.2. Módulo experimental

El instrumento de recolección de datos fue repartido a un total de cuarenta usuarios de las áreas de Secretaría, Vicerrectorado Académico y Rectorado, siendo trece, diecisiete y diez personas respectivamente en cada departamento. Las condiciones lumínicas de cada uno de estos sitios, fueron calificadas por los usuarios como Buena, en un 61,54%, 76,47% y 60%, y como regular en un 38,46%, 23,53% y 30%, por los empleados de Secretaría, Vicerrectorado Académico y Rectorado respectivamente, y en un 10% como deficiente por los empleados del Rectorado específicamente.

Con respecto a las actividades de lectura y escritura, en las instalaciones del Secretaría, se reportaron cuatro personas que presentaron dificultad para realizarlas; en el Vicerrectorado Académico se reportaron cinco personas y en el Rectorado tres personas, de las cuales dos señalaron que la causa consistía en exceso de luz en Secretaría, tres y dos indicaron que la causa se trataba de deficiencias en la iluminación, en las áreas de Vicerrectorado Académico y Rectorado, respectivamente.

Con respecto a las patologías visuales, en el área de Secretaría, Rectorado y Vicerrectorado Académico, se reportaron diez, once y seis personas respectivamente, cuya fecha de aparición es muy anterior al inicio de sus labores en las instalaciones en dichos espacios, por lo cual, las condiciones lumínicas de los mismos no están vinculadas directamente con el origen de dichas patologías; más sin embargo, pueden acarrear un agravamiento las mismas a corto, mediano o largo plazo.

En relación a los accidentes laborales, solo se reportaron dos personas que los han sufrido, específicamente en las áreas de Secretaría y Rectorado, ambos casos han sido descritos como accidentes menores ocasionados por la incapacidad para distinguir objetos y obstáculos en el espacio.

Por otra parte en el área de Secretaría, siete usuarios manifestaron presentar anomalías físicas al final de la jornada laboral, cuatro de

ellos padecían ardor en los ojos y dolor de cabeza, dos de ellos indicaron dificultad para distinguir los objetos y seis de ellos expresaron que sentían molestias en la nuca y/o columna vertebral debido a la adopción de posturas inadecuadas para tratar de distinguir los objetos en su área de trabajo. En el área de Rectorado, tres de los diez usuarios encuestados manifestaron presentar anormalidades físicas al final de la jornada laboral, tres de ellos padecían ardor en los ojos, molestias en la nuca y en la columna vertebral, uno de ellos expresó sentir dolor de cabeza y otro indicó dificultad para distinguir objetos. En el área de Vicerrectorado Académico, se reportaron cuatro personas que afirmaron presentar anormalidades luego de la jornada laboral, todos ellos padecían molestias en la nuca y columna vertebral, tres de ellos expresaron que sentían ardor en los ojos, uno de ellos indicó dolor de cabeza y otro de ellos manifestó presentar dificultad para distinguir objetos. Estas anormalidades existentes entre los usuarios de las distintas áreas, constituyen síntomas de la fatiga visual, por lo cual se requiere de atención médica inmediata y la planificación de exámenes ocupacionales para los empleados

Debido a lo antes expuesto, un sistema de iluminación eficiente, no sólo se trata de aquel que permita ahorrar energía, sino que a sus vez satisfaga los requerimientos lumínicos del área en cuestión y propicie que sus usuarios experimenten confort y sean más productivos en la ejecución de sus labores minimizando la posibilidad de que éstos sufran algún tipo de patología visual o accidente laboral.

Conclusiones

- Los parámetros fundamentales para una iluminación energéticamente eficiente en oficinas son el flujo luminoso, la iluminancia, la eficacia y la reflectancia. La eficiencia energética viene dada al lograr las condiciones óptimas de estos parámetros, así como también un bienestar físico y mental en los usuarios del espacio, consumiendo la mínima cantidad de energía posible.
- Los factores lumínicos que inciden directamente en el desempeño de los usuarios del espacio son la iluminancia, el índice de reproducción cromática, la temperatura de color, la uniformidad y el porcentaje de deslumbramiento al generar sensaciones de agrado o moles-

tia en los mismos, condicionando su nivel de confort e incluso su productividad dentro del área de trabajo.

- Al revisar la experiencia en el módulo de control, la cantidad de luminarias podría disminuirse al implementar nuevas tecnologías en iluminación con tubos fluorescentes T8, las cuales permiten la utilización de menor cantidad de tubos por luminaria, lo cual implica un ahorro en los costos de mantenimiento del sistema.
- Según los datos recopilados a través de las encuestas, se evidenció que la mayoría de los usuarios del módulo experimental categorizaron como buena la iluminación de este espacio, a pesar de las molestias que presentan al final de la jornada laboral, las cuales son síntomas de la fatiga visual. Todo esto demuestra un desconocimiento generalizado de la importancia de este aspecto en el diseño interior, así como también sus repercusiones en la salud física de los usuarios. Sin embargo, existe un porcentaje considerable de personas que calificaron como regular o mala la iluminación del sitio, esto está atribuido a molestias visuales y corporales que se generan al final de la jornada laboral.

Recomendaciones

- Se recomienda la elaboración de una propuesta que permita cumplir con los requerimientos lumínicos acordes a las funciones realizadas, lo cual conllevará a generar un ahorro en energía, material y mano de obra.
- Se recomienda la planificación de charlas y conferencias al personal del edificio Rectoral de LUZ acerca de la eficiencia energética tanto en iluminación, como en equipos de aire acondicionado, entre otros, a fin de que adquieran conciencia en relación a estos aspectos y puedan ponerla en práctica en sus actividades diarias.
- Se recomienda el planteamiento de exámenes periódicos para evaluar la salud de los usuarios de los espacios del edificio Rectoral, a fin de llevar un control y poder detectar el desarrollo de alguna nueva anomalía en los mismos. La periodicidad de dichos exámenes será planteada por el médico ocupacional de la institución.

- Se recomienda realizar una revisión exhaustiva de la normativa COVENIN referente a la iluminación de áreas de trabajo, para lo cual se deben elaborar y desarrollar estudios e investigaciones que conlleven al establecimiento de valores mínimos de uniformidad, índice de reproducción cromática, nivel de deslumbramiento y temperatura de color recomendada para cada espacio.

Referencias

- Camporeale, P. y Dutt, G. (2002). *Manual de Iluminación Eficiente*. Universidad Tecnológica Nacional y Efficient Lighting Initiative (ELI). Buenos Aires, Argentina.
- C.I.E: Commission Internationale De L'éclairage (1995). "Publicación CIE nº 118: CIE collection in colour and vision". Viena, Austria.
- Comisión Venezolana de Normas Industriales (1993). "Norma Venezolana 2249-93: Iluminancias en tareas y áreas de trabajo". Caracas, Venezuela.
- Diploos, Política Exterior Venezuela <http://diploos.com/> (2010). "Venezuela es el país latinoamericano con mayor consumo per cápita de electricidad y agua". Entrevista a Cristóbal Francisco, viceministro de agua del Ministerio del Ambiente.
- Durán, L. (2008). "Iluminación Eficiente (Ahorro de Energía)". Santiago de Chile, Chile.
- Flores, N. (2010). *Guía Teórica-Eficiencia Lumínica 2010*. Universidad de Chile. Santiago de Chile, Chile.
- Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela nº38.236 (2011). "Uso racional y eficiente de la energía eléctrica en Organismos Públicos". Caracas, Venezuela.
- Illuminating Engineering Society of North America I.E.S.N.A. (2002). *Lighting Handbook*. 10ma Edición. Nueva York, E.E.U.U.
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (2008). "Iluminación en los Centros de Trabajo". Madrid, España.
- Iriarte, A. (2010). "Manual de procedimientos para realizar auditorías energéticas en edificios no residenciales, oficinas y locales comerciales". Trabajo especial de Grado, Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia. Maracaibo, Venezuela.
- Lithonia Lighting (2008). "ES8, High Performance T8 Lighting" Acuity Brands Lighting Inc. Catálogo nº134.29. Conyers, E.E.U.U.

Ministerio de Ciencia y Tecnología, Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía y Comité Español de Iluminación (2001). "Guía Técnica de Eficiencia Energética en Iluminación (Oficinas)". Madrid, España.

San Martín Páramo, R. (2003). *Manual de Luminotecnia*. OSRAM. Madrid, España.

Sosa, M. y Siem, G. (2004). "Manual de diseño para edificaciones energéticamente eficientes". FONACIT, Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción (IDEC) y Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela.

Aislamiento acústico de prototipos de techos ecológicos multicapas. Hacia una arquitectura verde con calidad acústica

*Ede Coromoto Martínez**
*Lesvia Pérez Laurens**
*Celso E. Limpe***
*Magalis Gallardo**

Resumen

Este trabajo se inscribe en el debate contemporáneo de la sostenibilidad y el confort ambiental, hacia la búsqueda de una arquitectura verde y ciudades sostenibles. El mismo tuvo como objetivo determinar el aislamiento acústico de prototipos de techos multicapas con materiales ecológicos. La investigación se desarrolló desde una perspectiva hermenéutica, heurística y experimental proponiéndose techos ecológicos con distintos materiales naturales como especies vegetales (Laurel y Sábila) y sustratos de fibra de coco superpuestos sobre un techo base liviano, de bajo costo, impermeabilizado y con materiales antiraíces. Al sustrato se le varió su espesor de 10 a 20 cm, sus condiciones seca o húmeda y su densidad: 100% fibra de coco, 66% fibra de coco (con mezcla de 17% de capa vegetal y 17% de abono) y 33% fibra de coco (con mezcla de 33% de capa vegetal y 33% de abono). En los resul-

* Facultad de Arquitectura y Diseño, Universidad del Zulia. Maracaibo, Venezuela.
perezLaurens@gmail.com

** Laboratorio de Acústica, Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú.

tados de los experimentos se detectó que las especies vegetales no aportaron aislamiento, a mayor espesor y densidad del sustrato se incrementó la reducción sonora, el aislamiento acústico del techo en condición seca fue mayor que en condición húmeda. La presente investigación proporciona aportes a la medición del aislamiento acústico a ruido aéreo para techos verdes multicapas bajo ensayos in situ, el empleo de los materiales de procedencia local como los utilizados en esta investigación fomenta el respeto por la naturaleza y producen un menor impacto ambiental.

Palabras clave: Aislamiento acústico, ensayo in situ, techos ecológicos multicapas, arquitectura verde.

Soundproofing Multilayer Green Roof Prototypes. Toward a Green Architecture with Sound Quality

Abstract

This work is part of the contemporary debate about sustainability and environmental comfort in the search for green architecture and sustainable cities. Its main purpose was to determine soundproofing for multilayer green roof prototypes built with ecological materials. The research was developed according to an experimental, hermeneutic and heuristic perspective. Green roofs were proposed made of different natural materials, such as aloe vera and laurel, and coconut fiber substrata overlapped on a waterproofed, low-cost, lightweight roof made of root-proof materials. Substratum thickness varied from 10 to 20 cm; its conditions were dry or humid. Densities studied were: 100% coconut fiber, 66% coconut fiber (mixed with 17% topsoil and 17% compost) and 33% coconut fiber (mixed with 33% topsoil and 33% compost). Among the results of the experiments, it was detected that plants do not contribute to soundproofing; the greater the thickness and density of the substratum, the more the noise was reduced. A roof's soundproofing was greater in dry than in humid conditions. This research provides contributions to air-borne soundproofing measurement for on-site multilayer

green roofs. Utilization of local materials like those used in this study promotes respect for nature and produces a lower environmental impact.

Keywords: Soundproofing, on-site testing, multilayer ecological roofs, green architecture.

Introducción

La preocupación por el medioambiente ha acentuado las estrategias enfocadas a la creación de edificios verdes o sostenibles de manera que se establezca una relación más estrecha y respetuosa entre el hombre y la naturaleza, buscando el aprovechamiento intensivo de los recursos naturales, un alto nivel de confort y calidad de vida (Alfaro, 2015). Por otro lado, el rápido crecimiento urbano y el incremento de los niveles de ruidos en las ciudades, dado el elevado aumento de la población, exige mayores requerimientos de confort acústico para el mejoramiento de la calidad de vida en zonas urbanas, obligando a considerar en el diseño de edificios el uso de materiales acústicos para la protección sonora (Recuero 1999; Arau 1999; Van Renterghem y Botteldooren 2009, Edwards 2009). Es importante destacar que el estudio del aislamiento acústico de los materiales puede ser en laboratorio o bajo ensayo in situ; no existe una norma para determinar el aislamiento acústico de los materiales en techos bajo ensayo in situ, pero si existen para las fachadas.

Desde ámbito descrito, en estas últimas décadas la investigación acústica comienza a centrar su atención en los techos ecológicos por ser una opción natural utilizada en ambientes externos que proporciona un aislamiento acústico en áreas urbanas expuestas a altos niveles de ruido de tráfico vehicular y de ruido de baja frecuencia de los aviones (Van Renterghem y Botteldooren, 2009; Wong *et al.* 2010). En este artículo se abordó el estudio de los techos ecológicos o verdes dado los beneficios ambientales que proporcionan en el aislamiento térmico y acústico, el manejo de la escorrentía de agua de lluvia, la reducción del efecto de la isla de calor urbano y la protección de la membrana impermeable del techo que reduce el costo de mantenimiento y extienden su vida útil (Dinsdale *et al.* 2006; Environmental Affairs Department, 2007; Getter *et al.* 2007; Glass, 2007; Connelly y Hodgson, 2008; Nicholas *et al.* 2010; Lin y Lin, 2011), Figura 1.



FIGURA 1. Arquitectura verde

Fuente: <http://www.iconosdevenezuela.com/?p=19481>.

En la búsqueda de la calidad acústica y de nuevas soluciones constructivas, en este trabajo se propusieron techos multicapas con materiales ecológicos de una localidad tropical, con el objetivo de determinar su aislamiento acústico a través de ensayos in situ, buscando el mejor desempeño de aislamiento acústico a ruido aéreo.

La investigación se estructuró en tres fases: hermenéutica, heurística y experimental. En la fase hermenéutica se interpretaron experiencias experimentales previas, entrevistas a expertos, normas internacionales y teorías de referencia sobre la arquitectura verde, los techos verdes multicapas y las metodologías para determinar el aislamiento acústico de los materiales. De la comprensión del significado de estos aspectos, se inició una fase heurística o fase proyectiva, de invención o de las propuestas planteándose una metodología para determinar el aislamiento acústico de techos ecológicos multicapas bajo ensayo in situ y el diseño de prototipos de techos multicapas con materiales ecológicos. La fase experimental se abordó desde una perspectiva cuantitativa-positivista y una visión sistémica, interdisciplinaria y compleja porque se vincularon conocimientos de la arquitectura, agronomía, física y las tecnologías de información y comunicación. La metodología propuesta se aplicó a tres casos de estudio, obteniéndose la retroalimentación y validación de la misma.

1. Techos verdes multicapas con materiales ecológicos

Los techos verdes son aquellos que están constituidos por vegetación en su parte superior, son una opción natural utilizada en ambientes externos que pueden mitigar los niveles de ruido inaceptables que afectan la salud, la seguridad y el bienestar de la población, proporcionan grandes ventajas medioambientales y un beneficio a la comunidad (Ecoticias, 2013). Existen dos tipos principales de techos verdes o ecológicos: intensivo y extensivo. Los intensivos incluyen vegetación con árboles pequeños y arbustos, están diseñados para ser accesibles y pueden cubrir sólo una pequeña fracción de la superficie del techo, requieren un sustrato con una profundidad mayor de 20 cm, de una irrigación, mantenimiento y refuerzo estructural adicional. Las cubiertas extensivas incluyen especies herbáceas tolerantes al clima, pueden cubrir superficies extensas del techo, requieren mínima irrigación y un sustrato con profundidades menor de 20 cm. (Briz, 2004; Environmental Affairs Department, 2007; Nicholas *et al.* 2010).

Por lo general, las cubiertas ecológicas extensivas están sobre un techo plano que es el soporte estructural, principalmente están compuestas de varias capas, cada una tiene su función específica: una capa de vegetación con especies autóctonas, un sustrato orgánico o inorgánico de poco espesor, bajo peso y con nutrientes suficientes para el desarrollo vegetativo de las especies, capa anti-raíces, capa aislante opcional, capa filtrante para la retención de las partículas finas, capa drenaje y capa de impermeabilización para proteger el edificio. En este trabajo se realizaron experimentos utilizando como capa vegetal dos especies autóctonas: *Aloe barbadensis* (Sábila) y *Widelia Trilobata* (Laurel); asimismo se utilizó como sustrato la fibra de coco por ser una alternativa local de material ecológico de menor costo (Lin y Lin, 2011), la arcilla expandida se utilizó como capa drenaje y retención de la humedad. La pelusa de coco fue usada como parte de la capa aislante (tabla 1).

1.1. Sustrato de fibra de coco

Los sustratos de cultivo son medios en los cuales se desarrollan las plantas sustituyendo las funciones del suelo natural; cultivar en estos sustratos implica que las plantas van a desarrollar sus raíces en un volumen restringido, por lo que se requiere evaluar la calidad del material en los as-

TABLA 1. Materiales ecológicos

| | | |
|---|---|---|
|  |  |  |
| Aloe barbadensis | Widelia trilobata | Fibra de coco 100% |
|  |  |  |
| Mezcla con Fibra de coco | Arcilla expandida | Pelusa de coco |

Fuente: Elaboración propia (2015).

pectos de la capacidad de retención y distribución de agua y aire en espacio poroso, grado de evolución de la materia orgánica, además de tener en cuenta aspectos de tipo químico como: la salinidad, la acidez, el contenido en carbonatos y en nutrientes (Briz, 2004). Los componentes de los sustratos pueden ser orgánicos o inorgánicos. Entre los materiales orgánicos que se utilizan están la turba, residuos forestales y agrícolas como corteza de pino, fibra de coco, cáscara de arroz, entre otros; por otra parte, entre los materiales de origen mineral están las gravas, arenas, tierra volcánica y los procesados, lana de roca, arcilla expandida, entre otros (Briz, 2004).

La fibra de coco es una fibra multicelular que tiene como principales componentes la celulosa y el leño, lo que confiere elevados índices de rigidez, dureza y durabilidad. Es un producto natural y versátil indicado para aislamiento térmico y acústico (Colegio oficial de Aparejadores y Arquitectos, 2008). Además, es un sustrato orgánico utilizado en el sector hortícola posee propiedades físicas y químicas que mejoran el nivel nutricional de las plantas siendo un medio de crecimiento adecuado para muchos cultivos, se utiliza sola o en combinación con otros materiales.

Las buenas propiedades físicas de la fibra de coco tales como la porosidad, capacidad de retención de agua, capacidad de drenaje, buena aireación y sus propiedades químicas como pH adecuado, conductividad eléctrica óptima, baja conductividad al calor, su naturaleza orgánica y buena degradación no conlleva a contaminación, mejora las propiedades químicas de los sustratos y hace a los cultivos tolerantes a la sequía (Wira et

al. 2011). Para usos comerciales en las paredes, la fibra de coco debe ser mezclada con aditivos para mejorar sus características como su rigidez, resistencia a los hongos y propiedades inflamables (Glé *et al.* 2011; Hosseini *et al.* 2011).

2. Prototipos de techos verdes multicapas con materiales ecológicos

La escasa literatura en materia de aislamiento acústico en techos, sugiere el uso de la tecnología de techos verdes para incrementar la masa y la pérdida de transmisión sonora en todas las frecuencias (Connelly y Hodgson, 2008). En este sentido, para incrementar el aislamiento acústico sin tener que aumentar la masa considerablemente, se utiliza un número de capas más delgadas de materiales distintos de tal manera que el sonido se reduzca por etapas. Este método también se usa para reducir costos, peso y restricciones de espacios (Rossing 2007). Desde esta perspectiva, se diseñaron y construyeron tres prototipos de techos con materiales ecológicos propios de la región, compuesto por multicapas con diferentes configuraciones y sobre ellas vegetación del trópico húmedo. Por cada superposición de estas multicapas se realizaron ensayos *in situ*, determinándose los parámetros de aislamiento acústico. Los ensayos se desarrollaron adaptando la metodología de medición recomendada para fachadas por la normativa internacional ISO 140-5.

En el Prototipo de Techo Ecológico 1 se realizaron cinco ensayos considerando las distintas multicapas, variando el espesor y las condiciones seca y húmeda del sustrato de fibra de coco, para determinar cómo varía el aislamiento acústico de acuerdo a su espesor y condición. Así mismo, se determinó el aislamiento acústico de la especie vegetal *Aloe barbadensis* (figura 2). En el Prototipo de Techo Ecológico 2 se realizaron cuatro ensayos considerando las distintas multicapas y variando la densidad del sustrato de fibra de coco (figura 3). En el Prototipo de Techo Ecológico 3 se realizaron cuatro ensayos de aislamiento acústico de las distintas multicapas, el efecto de una cámara de aire, de la densidad del sustrato y el comportamiento acústico de una especie vegetal *Widelia Trilobata* (Laurel), figura 4.

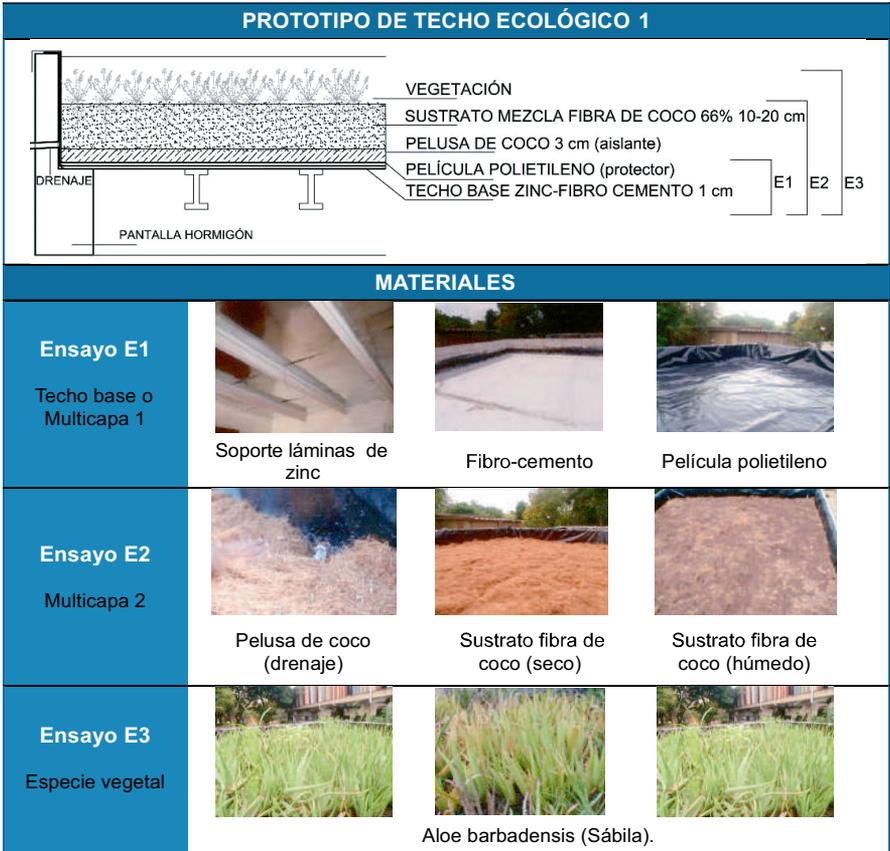


FIGURA 2. Configuración de prototipo de techo ecológico 1
 Fuente: Elaboración propia (2015)

El sistema de aislamiento del Prototipo de Techo Ecológico 1 estuvo conformado por tres multicapas: la primera (techo base) que cumple la función de soporte y protección de la humedad; la segunda compuesta por materiales ecológicos que tienen la función de aislante, drenaje y sustento de la especie vegetal; y la última constituida por una vegetación autóctona de la región tropical.

La primera multicapa o techo base se apoyó sobre vigas metálicas y está conformado por materiales locales livianos de fácil remoción y de bajo costo tales como: lámina metálica de zinc lisa galvanizada de espesor 0.20 mm/Calibre 35, lámina de fibrocemento de 1 cm de espesor con un



FIGURA 3. Configuración de prototipo de techo ecológico 2
 Fuente: Elaboración propia (2015).

acabado final de pintura impermeabilizante y una película de polietileno de baja densidad y espesor de 200 micras, que cumple una función protectora de la humedad del sustrato, antiraíces y tiene un drenaje para la salida del agua. En la Figura 2 se detallan los materiales de las distintas multicapas.

El sistema de aislamiento del Prototipo de Techo 2 estuvo conformado por tres multicapas: la primera o techo base; la segunda conformada por el material aislante, de protección de la humedad y drenaje; la tercera constituida por un sustrato de fibra de coco de diferentes densidades. Para cada una de ellas se realizaron ensayos de aislamiento acústico in situ.

El sistema de aislamiento acústico del Prototipo de Techo Ecológico 3, estuvo compuesto por tres multicapas: la primera conformada por el te-

3. Metodología de mediciones in situ para el aislamiento acústico de techos multicapas

Los ensayos in situ para determinar el aislamiento acústico de los materiales de los prototipos de techos multicapas se realizaron en un módulo experimental ubicado en el Instituto de Investigaciones de la Facultad de Arquitectura y Diseño de la Universidad del Zulia, en Maracaibo-Venezuela, el cual se acondicionó acústicamente para controlar la transmisión de ruido exterior (figura 5). El módulo tiene un área de 2,77 m x 2,76 m y una altura de 2,45 m. El área de techo en ensayo es de 10,5 m².

Los ensayos acústicos se realizaron empleando el método global con altavoz el cual requieren una plataforma tecnológica que funcione de manera integrada, constituida por equipos acústicos de emisión y recepción sonora, los equipos de computación y los software utilizados para la ecualización y el monitoreo de la señal acústica (figura 6).

Los equipos de emisión sonora utilizados fueron: un sistema de altavoces compuesto por un subwoofer de 15" para la emisión de ondas sonoras de baja frecuencia; un sistema de altavoces compuesto por un subwoofer de 12" para la emisión de ondas de media frecuencia y un driver de radiación directa para la emisión de ondas de alta frecuencia; y un amplificador de banda ancha de operación disponible entre 20 Hz y 20 kHz, con sistema integrado de generador de ruido rosado y ecualizador paramétrico. El ruido rosado fue generado de forma digital por un software especializado, transmitido al amplificador y de él al sistema de altavoces.



FIGURA 5. Módulo experimental.
Fuente: Elaboración propia (2014).

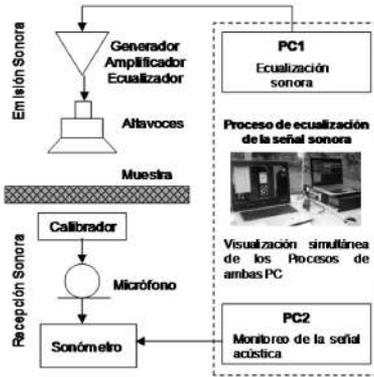


FIGURA 6. Plataforma tecnológica
Fuente: Elaboración propia (2014).

Es importante destacar que el ruido rosado fue ecualizado a través de un ordenador utilizando un Software especializado, lo cual permitió aumentar o disminuir el nivel de presión sonora en cada frecuencia, con el objeto de generar un espectro continuo. Para la transmisión de esta señal ecualizada se utilizaron los dos sistemas de altavoces para cubrir un ancho de banda desde 20 Hz a 20 kHz.

Asimismo, como instrumentación de recepción sonora se utilizaron: un calibrador de campo de nivel sonoro Clase 1; un micrófono de patrón de captación omnidireccional de respuesta plana en el dominio de la frecuencia entre 20 Hz a 20 kHz y un sonómetro analizador Clase 1 en tiempo real (RTA), todos cumplen con los estándares de la IEC 61672. La señal que sale del amplificador y del sistema de altavoces es registrada y guardada por el sonómetro analizador para su posterior análisis. El sonómetro se conectó a un ordenador para facilitar el monitoreo de las mediciones.

3.1. Mediciones en el exterior del módulo experimental

En el aislamiento acústico a ruido aéreo utilizando el método global con altavoz, la norma ISO 140-5 establece las posiciones de los altavoces y del sonómetro para medir los niveles de ruido de fondo exterior y de presión sonora exterior, de modo que minimice las variaciones del nivel de presión sonora sobre la muestra. En los ensayos in situ el sonómetro se ubicó en el centro del techo a una altura de 2 m (en los Prototipos de Techos 1 y 2) y 1,50 m (en el Prototipo de Techo 3). Las posiciones de los altavoces se muestran en la figura 7.

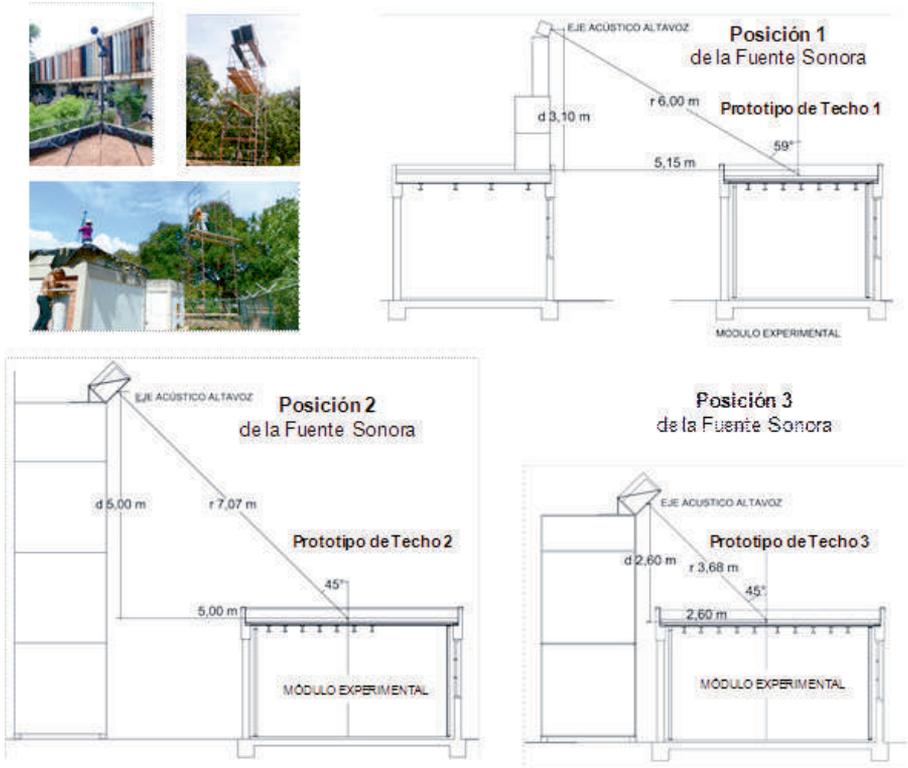


FIGURA 7. Las posiciones de los altavoces
Fuente: Elaboración propia (2015).

Antes de cada ensayo el sonómetro se calibró y luego se realizaron las campañas de medidas. Para obtener el nivel de ruido de fondo exterior medio (L_b) se tomaron seis medidas: tres al inicio del ensayo y tres al final, con una duración de 3 minutos cada una. Sobre este nivel de ruido de fondo se emitió con los altavoces una señal sonora de ruido rosado mayor a 10 dB; esta señal se ecualizó y se realizaron 18 repeticiones de medidas del nivel de presión sonora exterior con una duración de 10 a 30 segundos, para obtener el nivel de presión sonora exterior medio (L_1), en bandas de frecuencia central de 1/3 de octavas.

3.2. Mediciones en el interior del módulo experimental

En el interior del módulo experimental se realizaron las campañas de medidas de los niveles de presión sonora interior (L_2) (combinación del ruido de fondo más el generado por una fuente sonora artificial ubicada en el exterior del módulo), el tiempo de reverberación (T_r) y los niveles del ruido de fondo interior (L_b). Es importante destacar que el campo sonoro en el interior de un recinto varía entre un punto y otro debido a su forma geométrica, a la reflexión y absorción que se produce en las paredes, techo y elementos que se encuentran en el interior del local. Debido a esto, es necesario realizar un muestreo del nivel sonoro en el espacio mediante diferentes posiciones de micrófono (Meza, 2007). Las distancias mínimas que deben mantener los micrófonos son: entre posiciones del micrófono 0,7 m, entre cualquier posición de micrófono y las superficies límites del módulo 0,5 m (ISO 140-5,1998).

Con la emisión sonora del altavoz, se midieron los niveles de presión sonora en el interior del módulo en 18 posiciones (en los Prototipos de Techo 1 y 3). La distribución espacial de las posiciones del micrófono fueron: 9 a una altura de 1,50 m respecto del piso y las otras 9 a una altura de 2 m. Las posiciones se distribuyeron uniformemente dentro del módulo con una separación del micrófono a la pared de 0,50 m y de 0,80 m entre posiciones de micrófonos de acuerdo a la norma ISO 140-5. En el Prototipo de Techo 2 se tomaron 10 medidas: 5 a una altura de 1,50 m respecto del piso y las otras 5 a una altura de 2 m, la duración de cada medida fue de 10 segundos o hasta que se estabilizara la señal sonora (Figura 8).

Los niveles de ruido de fondo en el interior del módulo se midieron tomando 3 medidas en diferentes posiciones (P3, P6, P9) a una altura de 1,50 m con una duración de 3 minutos cada una. El tiempo de reverberación se obtuvo por el método de fuente impulsiva generado por la explosión de globos, se tomaron 6 medidas dentro del módulo experimental en 3 posiciones (P5, P7, P9) con 2 lecturas cada una. Luego de las repeticiones de medida, se promediaron energéticamente los niveles de ruido de fondo (L_b), de presión sonora exterior (L_1) y de presión interior (L_2). El tiempo de reverberación promedio (T_r) se calculó de acuerdo a la ecuación (1), donde T_{ri} (dB) son los tiempos de reverberación medidos desde T_{r1} hasta T_m y el tiempo de reverberación de referencia es $T_0 = 0,5$ s. Cuando se usa una fuente sonora artificial la diferencia de niveles estanda-

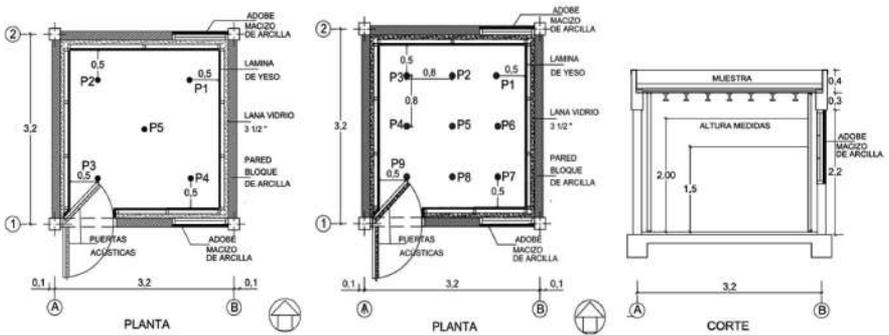


FIGURA 8. Posiciones micrófono para L_2 , L_b y T_r .
 Fuente: Elaboración propia (2015).

rizada (D_{nT}) y el índice de reducción sonora aparente (R_i) por bandas de frecuencia de un 1/3 de octava, se calculan según las ecuaciones (2) y (3).

$$T_r = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_{ri} \quad (1)$$

$$D_{nT} = L_1 - L_2 + 101 \log \left(\frac{T_r}{T_0} \right) \quad (2)$$

$$R_i = L_i - L_2 + 101 \log \left(\frac{S}{A} \right) - 1,5 \quad (3)$$

Donde S es el área del techo bajo ensayo y A es el área de absorción sonora equivalente del local de recepción. El índice de reducción sonora aparente (R_i) corresponde a la medida del aislamiento a ruido aéreo del techo, donde A se calcula de acuerdo a la fórmula de Sabine, siendo V el volumen del local de recepción y T es el tiempo de reverberación (ISO 140-5, 1998):

$$A = \frac{0,16V}{T} \quad (4)$$

3.3. Magnitudes globales para la valoración del aislamiento a ruido aéreo

El método de comparación descrito en la norma ISO 717-1 permite convertir el aislamiento acústico obtenido en bandas de frecuencias de tercio de octava en un solo valor o magnitud global sea ésta la diferencia de nivel estandarizada global (D_{nTw}) o el índice de reducción sonora aparente global (R_{iw}). Estas magnitudes globales se calculan a partir de los valores de medida D_{nt} o R_i y los valores de referencia para el aislamiento a ruido aéreo en el rango de frecuencias de 100 Hz a 3150 Hz (Tabla 2). Con estos valores se obtienen las curvas de medida y la curva de referencia, esta última se desplaza en saltos de 1 dB hacia las curvas de medida hasta que la suma de las desviaciones desfavorables sea lo mayor posible pero no mayor a 32 dB (para mediciones en bandas de tercio de octava). El valor a 500 Hz en las curvas desplazadas es el valor global de D_{nTw} y R_{iw} .

3.3.1. Término de adaptación al espectro

El término de adaptación espectral (C o Ctr) es el valor en decibelios que se añade al valor de la magnitud global para tener en cuenta las características de un espectro de ruido particular: C cuando se calcula con el Espectro Nº 1 (ruido rosa) y Ctr cuando se calcula con el Espectro Nº 2 (ruido de tráfico urbano). El término de adaptación espectral C se calcula según la norma ISO 717-1 mediante la ecuación (8), donde Xw es el valor de la diferencia de nivel estandarizada global (D_{nTw}) o el índice de reducción sonora aparente global (R_{iw}). X_{Ai} se calcula según la ecuación (9), donde i es el índice para las bandas de 100Hz a 3150Hz, L_i son los niveles sonoros a la frecuencia i para el Espectro Nº1 (Tabla 3), X_i es la diferencia estanda-

TABLA 2. Valores de referencia para el aislamiento a ruido aéreo en frecuencias de tercio de octava

| Frecuencia Hz | Valores de referencia ISO 717-1 |
|------------------|---------------------------------------|------------------|---------------------------------------|------------------|---------------------------------------|------------------|---------------------------------------|
| 100 | 33 | 250 | 45 | 630 | 53 | 1600 | 56 |
| 125 | 36 | 315 | 48 | 800 | 54 | 2000 | 56 |
| 160 | 39 | 400 | 51 | 1000 | 55 | 2500 | 56 |
| 200 | 42 | 500 | 52 | 1250 | 56 | 3150 | 56 |

Fuente: ISO 717-1 (1996).

TABLA 3. Espectro de nivel sonoro para calcular el término de adaptación espectral

| Frecuencia (Hz) | Li Espectro N°1 | Frecuencia (Hz) | Li Espectro N°1 |
|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 100 | -29 | 630 | -12 |
| 125 | -26 | 800 | -11 |
| 160 | -23 | 1000 | -10 |
| 200 | -21 | 1250 | -9 |
| 250 | -19 | 1600 | -9 |
| 315 | -17 | 2000 | -9 |
| 400 | -15 | 2500 | -9 |
| 500 | -13 | 3150 | -9 |

Fuente: norma ISO 717-1.

rizada de nivel sonoro (D_{nT}) o el índice de reducción sonora aparente (R_i) a la frecuencia de medida i dada, con una precisión de 0,1dB y redondeado al valor entero más próximo.

$$C = X_{Ai} - X_w \quad (5) \quad X_{Ai} = -10 \lg \sum 10^{(Li - Xi)/10} \quad (6)$$

Las magnitudes globales D_{nTw} y R_{iwr} , cuando se usa ruido rosa como fuente sonora deben expresarse con el término de adaptación espectral C entre paréntesis.

4. Resultados y discusión de resultados

Se diseñaron y construyeron tres prototipos de techos ecológicos multicapas con distintos materiales naturales como las especies vegetales Aloe barbadensis (Sábila) y Widelia Trilobata (Laurel) y sustratos de fibra de coco superpuestos sobre un techo base liviano, de bajo costo, impermeabilizado y con materiales antiraíces. Al sustrato se le varió su espesor de 10 a 20 cm, sus condiciones seca o húmeda y su densidad: 100% fibra de coco, 66% fibra de coco (con mezcla de 17% de capa vegetal y 17% de abono) y 33% fibra de coco (con mezcla de 33% de capa vegetal y 33% de abono).

En los resultados de los experimentos realizados bajo ensayo in situ se detectó que a mayor espesor y densidad del sustrato el aislamiento fue mayor. El sustrato en condiciones secas aisló más que en condiciones húmedas. Las especies vegetales y el sustrato con fibra de coco 100% no aportaron aislamiento acústico al sistema de techo. En la Figura 9 se detalla el aislamiento acústico de las superposiciones de las distintas multicapas de los tres prototipos de techos ecológicos.

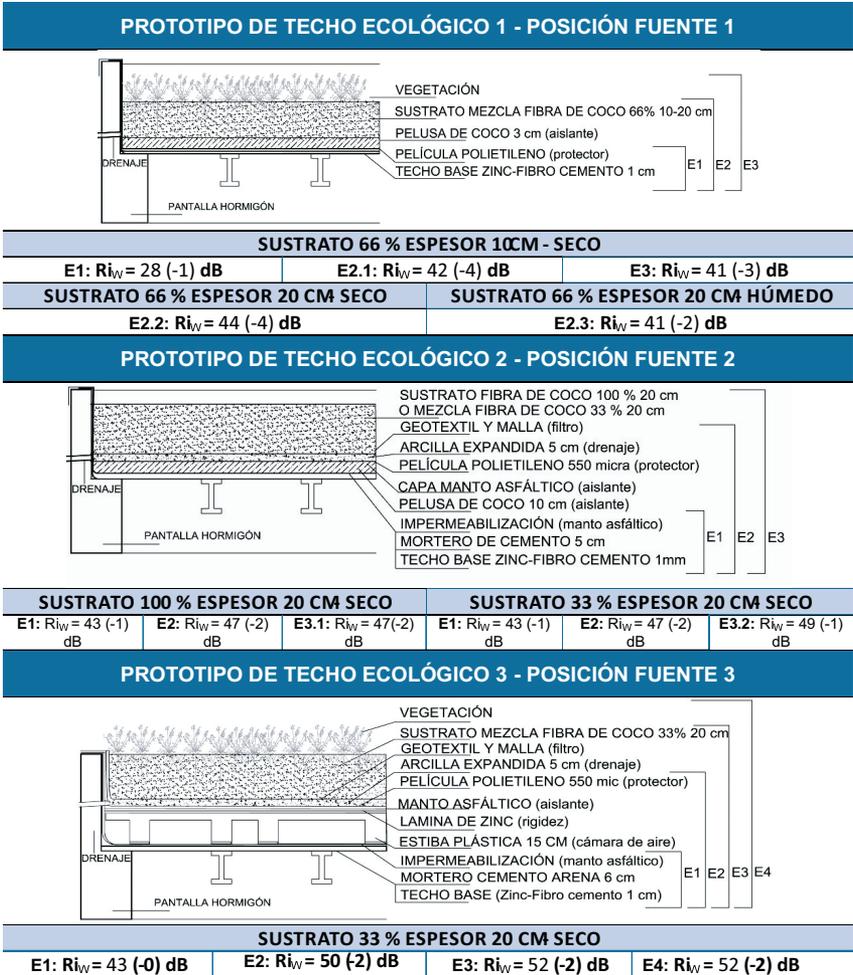


FIGURA 9. Prototipos de techos ecológicos multicapas

Fuente: Elaboración propia (2015).

En el Prototipo de Techo 1 se realizaron cinco ensayos de aislamiento acústico in situ (E1, E2.1, E2.2, E2.3 y E3). Analizando el valor global de aislamiento acústico R_{iw} se detectó que el techo base con su película protectora (ensayo E1) aisló 28 dB. Al adicionarle a éste la pelusa de coco y el sustrato de fibra de coco de 10 cm de espesor constituido por 66% fibra de coco, 17% capa vegetal y 17% abono (Ensayo E2.1) se incrementó el aislamiento a 42 dB. El ensayo E3 se realizó luego de sembrar sobre este sustrato la vegetación Aloe Barbadensis (Sábila) esperando tres meses para que se extienda en toda la superficie del techo, se observó que la vegetación aisló 41 dB, por lo tanto no aportó aislamiento al sistema; la mayor contribución fue la del sustrato, como se observa en la figura 10.

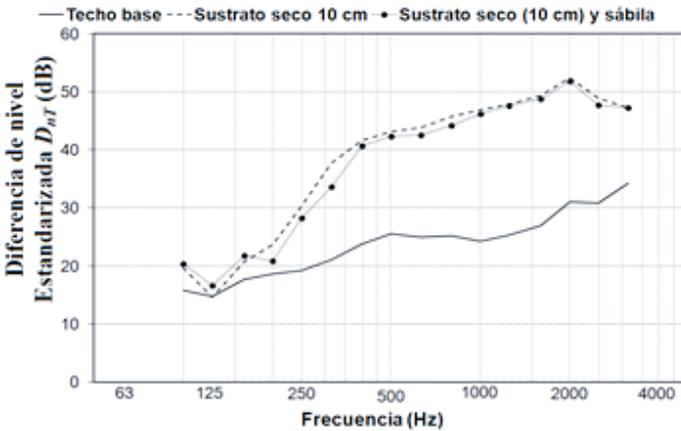


FIGURA 10. Aislamiento acústico analizando la Diferencia de Niveles Estandarizada a distintas frecuencias sonoras
Fuente: Elaboración propia.

El ensayo E2.2 se realizó al incrementarse el espesor del sustrato de fibra de coco a 20 cm sin la especie vegetal en condiciones secas, obteniéndose un aislamiento de 44 dB y en condición húmeda fue de 41 dB. Se observó que al aumentar el espesor del sustrato aumenta el aislamiento. En la Figura 11 se compara la diferencia de nivel estandarizado para dos espesores del sustrato de fibra de coco en condición seca, observándose que a medida que se incrementa el espesor aumenta el aislamiento, lo cual es visible a partir de los 200 Hz. Asimismo, el aislamiento acústico disminuye cuando aumenta la humedad del sustrato; en la Figura 12 se

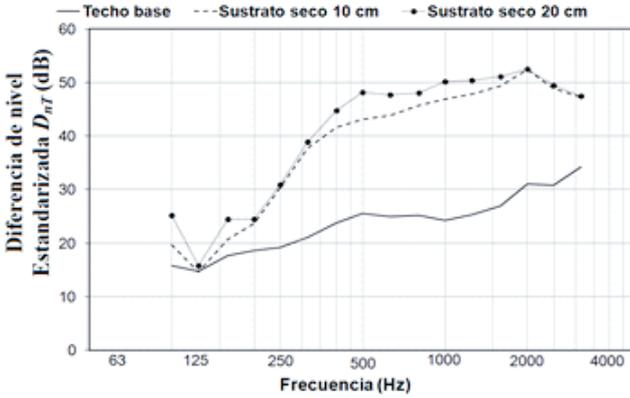


FIGURA 11. Aislamiento acústico analizando la Diferencia de Niveles Estandarizada a distintas frecuencias sonoras
Fuente: Elaboración propia.

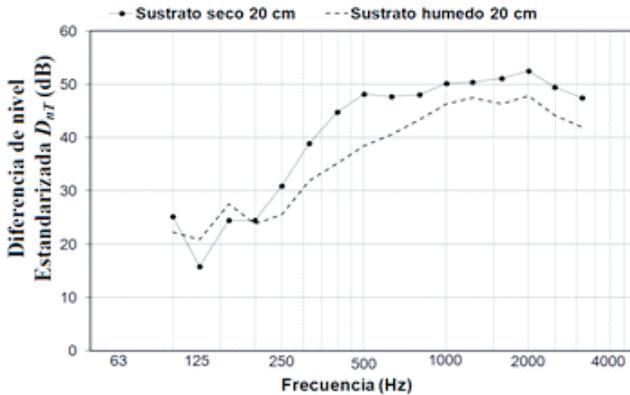


FIGURA 12. Gráfico comparativo Diferencia de Niveles Estandarizada
Fuente: Elaboración propia.

compara la diferencia de nivel estandarizada para ambas condiciones donde a medida que aumenta la frecuencia del sonido mejora el aislamiento del techo.

El Prototipo de Techo Ecológico 2 estuvo conformado por tres multicapas: la primera (techo base) es soporte y protector de la humedad; la segunda conformada por material aislante, de protección de humedad, dre-

naje y filtros; y la tercera constituida por un sustrato con mezcla de fibra de coco (fibra larga y aserrín, obtenida moliendo el mesocarpo del fruto de coco nucífera), capa vegetal (suelo franco arenoso) y abono orgánico (materia orgánica sedimentada en la desembocadura de los ríos), para cada multicapa se realizaron ensayos de aislamiento acústico in situ (E1, E2, E3.1 y E3.2). Analizando el valor global de aislamiento acústico R_{iw} se detectó que la primera multicapa o techo base (ensayo E1) aisló 43 dB. El ensayo E2 se realizó después de superponérsele al techo base la segunda multicapa la cual incrementó el aislamiento a 47 dB. El ensayo E3.1 se realizó luego de adicionarle a esta multicapa un sustrato de 100% fibra de coco de 20 cm de espesor en condiciones secas, el cual aisló 47 dB observándose que se comportó como la vegetación del Prototipo de Techo 1 al no aportar mayor aislamiento al sistema. El ensayo E3.2 se realizó al aumentar la densidad del sustrato en 33% fibra de coco, 33% capa vegetal y 33% de abono, observándose que el aislamiento se incrementó a 52 dB.

El Prototipo de Techo Ecológico 3 estuvo compuesto por tres multicapas y una capa de vegetación: la primera multicapa la constituye el techo base; la segunda compuesta por materiales reciclados y aislantes (entre ellos una cámara de aire); la tercera formada por materiales ecológicos que tienen la función de aislante, drenaje y sustento de la vegetación; y la última constituida por la vegetación *Widelia Trilobata* (Laurel). Para cada uno de ellas se realizaron ensayos de aislamiento acústico in situ (E1, E2, E3 y E4).

Analizando el valor global de aislamiento acústico R_{iw} se detectó que la primera multicapa o techo base (ensayo E1) aisló 43 dB. Al adicionarle a éste la segunda multicapa (ensayo E2) se incrementó el aislamiento a 50 dB y al superponerle la tercera multicapa o el material ecológico propuesto conformado por arcilla expandida, geotextil, malla antiáfido y sustrato con mezcla de 33,33 % fibra de coco, 33% capa vegetal y 33% de abono, de 20 cm de espesor en condición seca (Ensayo E3) se incrementó el aislamiento a 52 dB. El ensayo E4 se realizó luego de sembrar sobre este sustrato la vegetación *Widelia Trilobata*, observándose que aisló 52 dB en condición seca, es decir esta capa de vegetación no aportó aislamiento al sistema de techo multicapas.

Conclusiones y recomendaciones

Los techos ecológicos son una opción natural utilizada en ambientes externos que pueden mitigar los niveles de ruido inaceptables en áreas urbanas. El aislamiento acústico de los techos ecológicos ha sido un aspecto poco estudiado; en este trabajo se desarrolló una metodología para determinar el aislamiento acústico a ruido aéreo de los techos bajo ensayo in situ, adaptando la recomendada para fachadas por las normas internacionales ISO 140-5 e ISO 717-1. Esta metodología se aplicó a tres prototipos de techos multicapas diseñados y construidos con materiales ecológicos propios de la región tropical, entre ellos: la arcilla expandida, la pelusa de coco y la fibra de coco; esta última se utilizó como sustrato de dos especies vegetales autóctona de la región tropical: *Aloe barbadensis* (Sábila) y *Widelia trilobata* (Laurel). Se realizaron experimentos variando el espesor, las condiciones (seca o húmeda) y la densidad del sustrato de fibra de coco.

En el Laboratorio de Suelos y Aguas de la Universidad del Zulia se realizaron las pruebas de caracterización hidrofísica del sustrato de fibra de coco con diferentes densidades; el sustrato de menor densidad está constituido sólo con fibra de coco (100 %), se incrementó su densidad mezclándolo con otros materiales como capa vegetal y abono orgánico en diferentes proporciones de volúmenes 4:1:1 (66.7 % fibra de coco, 16.67 % capa vegetal, 16.67 % materia orgánica) y de 1:1:1 (33,33 % fibra de coco, 33,33 % capa vegetal, 33,33 % materia orgánica).

El Prototipo de Techo Ecológico 1 estuvo conformado por tres multicapas: la primera (techo base) con materiales de zinc-fibroemento y película de polietileno los cuales cumplen la función de soporte y protección de la humedad; la segunda compuesta por materiales ecológicos (pelusa de coco y fibra de coco de diferentes espesores) que tienen la función de aislante, drenaje y sustento de la especie vegetal, y la última es la vegetación en sí (*Aloe barbadensis*); todos estos materiales son autóctonos de la región tropical. Se realizaron experimentos con un sustrato de 66% de fibra de coco variando su espesor y condición.

Analizando el comportamiento acústico del prototipo de techo 1 en la condición seca, con una emisión sonora de 93,2 dB se observa que el techo base con su película protectora tiene un valor global R_{iw} de 28 dB, al adicionarle a éste la pelusa coco de 3 cm de espesor y el sustrato 10 cm

de espesor el aislamiento se incrementó a 42 dB. Al sembrar la vegetación *Aloe barbadensis* (sábila) sobre el sustrato de 10 cm no se incrementó el aislamiento, la mayor contribución fue la del sustrato. Al duplicarse el espesor del sustrato a 20 cm el aislamiento aumentó 2 dB, contrastando este resultado con teorías de referencia la ley de masa establece que la pérdida de transmisión sonora aumenta al incrementarse la masa y la frecuencia sonora sobre todo a partir de los 200 Hz.

Por otro lado, el sustrato de fibra de coco de 20 cm en condición seca aisló 44 dB y en condición húmeda el aislamiento disminuyó en 3 dB, debido a que la velocidad del sonido varía de acuerdo al medio donde se propague, siendo en el agua mayor que en el aire; la velocidad del sonido en el agua a una temperatura de 15°C es de 1.500m/s y en el aire a una temperatura de 20°C es de 344m/s.

En el Prototipo de Techo Ecológico 2 se realizaron experimentos variando la densidad del sustrato: 100 % y 33% fibra de coco. Estos sustratos de 20 cm de espesor en condición seca, se superpusieron sobre dos multicapas: la primera constituida por un techo base y la segunda conformada por materiales aislantes, de protección de la humedad, drenaje y filtro, consiguiéndose que el techo base con la interacción de una emisión sonora (LAeq) de 92,69 dB aisló 43 dB, al superponérsele la segunda multicapa el aislamiento fue de 47 dB y al adicionarle el sustrato 100% fibra de coco aisló 47 dB. Al aumentar la densidad del sustrato mezclando 33,33% fibra de coco, 33,33% capa vegetal, 33,33% materia orgánica, el aislamiento fue de 49 dB es decir se incrementó 2 dB. De esta manera, se comprobó que el sustrato 100% fibra de coco no aportó ningún aislamiento, siendo necesario aumentar su densidad para lograr mayor reducción sonora.

El Prototipo de Techo Ecológico 3 estuvo compuesto por tres multicapas y una capa de vegetación. La primera multicapa o techo base estuvo compuesto de materiales locales livianos y de bajo costo como: lámina metálica de zinc lisa galvanizada calibre 20 de espesor 95 mm y lámina de fibrocemento de 1 cm de espesor, con un acabado final de mortero de cemento (arena y cemento) de 5 cm con una pendiente del 1%. Esta misma configuración de techo base lo posee el Prototipo de Techo 2.

La segunda multicapa compuesta por materiales reciclados y aislantes, como son: una estiba plástica con cámara de aire de 15 cm, en su base se colocó neoprene para aislarla del techo. Sobre la estiba perforada se co-

locaron láminas rígidas de zinc galvanizadas calibre 26 de espesor 45 mm, solapadas 3 cm con una banda de goma reciclada de 2 mm de espesor para no dejar rendijas, encima de éstas se colocó un manto asfáltico de 3,2 mm que actúa como aislante. Como capa final se cubrió el techo y la pantalla de hormigón con una película de polietileno de 500 micras de espesor para protegerlas de la humedad del sustrato, a su vez está conectada al drenaje del techo.

La tercera multicapa está compuesta por materiales ecológicos como: arcilla expandida de 5 cm de espesor que cumple la función de drenaje y depósito de la humedad, sobre ésta se colocó un geotextil y una malla antiáfido que actúan como filtro del sustrato y antiraíces. La siguiente multicapa es el sustrato de 20 cm de espesor con mezcla de fibra de coco virgen, capa vegetal y abono orgánico en una proporción de volumen 1:1:1 (33,33% fibra de coco, 33,33% capa vegetal, 33,33% materia orgánica). Se realizaron pruebas de caracterización hidrofísicas al sustrato.

Como última capa se colocó la especie vegetal *Widelia Trilobata* (Laurel), es una planta herbácea del trópico húmedo excelente para cobertura vegetal que crece en condiciones de clima cálido y seco, es nativa de América tropical, de fácil propagación, perenne, rastrera, siempre verde, profusamente ramificada y cubre grandes extensiones.

Analizando el comportamiento acústico del prototipo de techo ecológico 3, con la interacción de una emisión sonora (LAeq) de 95,4 dB en bandas de frecuencia de 1/3 de octavas, se determinó que: el techo base tiene un valor global RiW de 43 dB, al adicionarle a éste la multicapa cámara de aire, lamina de zinc, manto asfáltico y película de polietileno se incrementó el aislamiento a un RiW de 50 dB y al superponerle el material ecológico propuesto conformado por arcilla expandida, geotextil, malla antiáfido y sustrato con mezcla de fibra de coco 33,33% de 20 cm de espesor, se incrementó el aislamiento a un RiW de 52 dB. Con la vegetación *Widelia Trilobata* (Laurel) sobre el sustrato de 20 cm (Ensayo E4) no se incrementó el aislamiento, la mayor contribución fue la del sustrato con cámara de aire, esto es visible a partir de los 200 Hz.

Las pruebas de caracterización hidrofísica del sustrato de fibra de coco con diferentes densidades, realizadas en el Laboratorio de Suelos y Aguas de la Universidad del Zulia, presentaron excelentes propiedades porque permiten retener y aportar a las plantas un volumen de agua den-

tro de un rango óptimo así como una porosidad de aireación que permite el intercambio gaseoso del sustrato, garantizando una buena suplencia de oxígeno a las raíces así como la salida del dióxido de carbono del sustrato. En el ámbito de la construcción, siguiendo la línea ecológica, uno de los aspectos importantes es introducir el empleo de los materiales de procedencia local como la fibra de coco que es un material de desecho agrícola, de menor costo, reduce el uso de materias sintéticas no degradables y es utilizado como sustento de crecimiento para la vegetación.

Por otra parte, aunque las especies vegetales *Aloe barbadensis* y *Widelia trilobata* (Laurel) no aportaron aislamiento acústico al sistema de techo ecológico multicapas, se sugiere su uso porque producen efectos estéticos que realzan la habitabilidad de un lugar. Además, ayudan a compensar la falta de áreas verdes en las ciudades, integrando de esta forma las edificaciones al entorno natural. Estas especies presentan muchas ventajas: la especie vegetal *Aloe barbadensis* (Sábila) requiere un mínimo mantenimiento, es perenne, con tolerancia a períodos de sequía y condiciones estresantes de alta irradiación, está asociada a coberturas extensivas con profundidades de sustrato menores a 15 cm. La especie vegetal *Widelia trilobata* (Laurel) es una planta herbácea del trópico húmedo que crece en condiciones de clima cálido y seco, es nativa de América tropical, de fácil propagación, perenne, rastrera, siempre verde, profusamente ramificada y cubre grandes extensiones.

De acuerdo a lo expresado, la presente investigación ha proporcionado una serie de aportes a la medición del aislamiento acústico a ruido aéreo para techos verdes multicapas bajo ensayos in situ; las particiones multicapas están compuestas por capas delgadas de distintos materiales y cada vez que el sonido pasa a través de un material diferente, su nivel se reduce. Por este motivo se sugiere el uso de esta tecnología de techos para incrementar la masa y la pérdida de transmisión sonora en todas las frecuencias, reducir costos, peso y restricciones de espacios. Por último, es importante destacar que el empleo de los materiales de procedencia local como los utilizados en esta investigación fomenta el respeto por la naturaleza, producen un menor impacto ambiental, lo que conlleva a la protección del planeta y de la vida presente y futura.

Referencias

- Alfaro, José María (2015). *Arquitectura sostenible*. Fecha de consulta: 01/01/2015
<http://arquitecturasostenible.blogspot.com>
- Arau, Higini (1999). *ABC de la Acústica Arquitectónica*. Ediciones CEAC. España.
- Briz, 2004 Briz, J. (2004). *Naturación Urbana. Cubiertas ecológicas y mejora medioambiental*. Comunicación impresa SL. España.
- Colegio oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Murcia (2008). *Guía de Materiales para una Construcción Sostenibles*. Edita A. Murcia.
- Connelly, M. y Hodgson, M. (2008). *Sound Transmission Loss of Green Roofs. Greening Rooftops for Sustainable Communities Conference awards y trade show*. Baltimore.
- Dinsdale, S., Pearen, B. y Wilson, C. (2006). *Feasibility Study for Green Roof Application on Queen's University Campus*. Fecha de consulta: 14/01/2015, de Queen's Physical Plant Services: <http://www.queensu.ca/pps/reports/greenroof.pdf>
- Ecoticias (2013). *Los techos verdes en entornos urbanos ayudan a reducir el ruido*. Fecha de consulta: 14/01/2015, <http://www.ecoticias.com/bio-construccion/80369/techos-verdes-entornos-urbanos-ayudan-reducir-ruido>
- Edwards, B. (2009). *Guía básica de la sostenibilidad*. Editorial Gustavo Gili SL. Barcelona.
- Environmental Affairs Department City of Los Angeles. (2007). *Green Roofs-Cooling Los Angeles A Resource Guide*. Fecha de consulta: 14/01/2015, <http://www.slideshare.net/Fujita64g/t1g369>
- ISO 140-5 (1998). *Norma Internacional: Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de edificios Parte 5: mediciones in situ del aislamiento acústico a ruido aéreo de elementos de fachadas y de fachadas*.
- ISO 717-1 (1996). *Norma Internacional: Acústica. Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 1: Aislamiento a ruido aéreo*.
- Getter, K., Rowe, D. y Andresen, J. (2007). *Quantifying the effect of slope on extensive green roof stormwater retention*. *Ecological Engineering*, 31, 225-231.
- Glass, C. (2007). *Green Roof Water Quality and Quantity Monitoring*. American Society of Landscape Architects. Fecha de consulta: 14/01/2015, <http://www.asla.org/search.aspx?q=Green%20Roof%20Water%20Quality%20and%20Quantity%20Monitoring>

- Glé, P., Gourdon, E. y Laurent, A. (2011). Acoustical properties of materials made of vegetable particles with several scales of porosity. *Applied Acoustics*, 72, 249-259.
- Hosseini, F. M., Ayub, M. y Nor, M. (2011). Analysis of coir fiber acoustical characteristics. *Applied Acoustics*, 72 (1), 35-42.
- Lin, Y. J. y Lin, H. T. (2011). Thermal performance of different planting substrates and irrigation frequencies in extensive tropical rooftop greeneries. *Building and Environment*, 46, 345-355.
- Nicholas, S., Williams, A., Rayner, J. y Raynor, K. (2010). Green roofs for a wide brown land. Opportunities and barriers for rooftop greening in Australia. *Urban Forestry y Urban Greening*, 9, 245-251.
- Recuero, M. (1999). *Acústica Arquitectónica Aplicada*. Editorial Paraninfo. Madrid.
- Rossing, T. (2007). *Springer Handbook of Acoustics*. Springer. USA.
- Van Renterghem, T. y Botteldooren, D. (2009). Reducing the acoustical facade load from road traffic with Green roofs. *Building and Environment*, 44, 1081-1087.
- Wira, A., Mohd, R. y Abd, J. (2011). Composts as additives in coconut coir dust culture for growing rockmelon (*Cucumis melo* L.). *J. Trop. Agric. and Fd. Sc.*, 39 (2), 229-237.
- Wong, N., Tan, A., Tan, P., Chiang, K. y Wong, N. (2010). Acoustics evaluation of vertical greenery systems for building walls. *Building and Environment*, 45, 411-420.

Reflexión y refracción en componente de conducción de luz natural

Rosalinda del V. González Gómez

Resumen

El objetivo del trabajo es analizar el fenómeno de reflexión y refracción de la luz a partir de la evaluación de una propuesta de Componente de Conducción de Luz Natural, que utiliza, una superficie interna reflectante en el elemento transmisor; y el agua como medio, en el elemento difusor. Para ello, se registraron niveles de iluminación en modelos a escala bajo condiciones de cielo real; y se compararon resultados, con los obtenidos en experiencias previas con otros dispositivos y los obtenidos a partir de cálculos. Los niveles de iluminación sobre el plano de trabajo se encuentran entre 1865 y 15314 lux; representando los valores promedios de iluminancia y flujo lumínico, obtenidos en cálculos, un 12% y 64% aproximadamente. El conocimiento del comportamiento de la luz ante las características de diferentes medios (opacos, transparentes, traslucidos), resulta de gran utilidad para caracterizar, describir, e interpretar fenómenos lumínicos presentes en el diseño de dispositivos.

Palabras clave: reflexión, refracción, Componente de Conducción de Luz Natural, luz natural.

* Facultad de Arquitectura y Diseño de la Universidad del Zulia, rosalindag2002@yahoo.es

Reflection and Refraction in the Conduction Component for Natural Light

Abstract

The main purpose of this article is to analyze reflection and refraction phenomena of light based on assessment of a proposal for the conduction component of natural light, which uses a reflecting internal surface in the transmitter element and water as a medium in the diffuser element. Lighting levels were recorded on scale models under real sky conditions, comparing results obtained in previous experiences with other devices and those obtained from calculations. Lighting levels on the work plane are between 1865 and 15314 lux, representing average illuminance values and luminous flow obtained from calculations, producing 12% and 64%, approximately. Knowledge of light behavior influenced by the characteristics of different media (opaque, transparent, translucent) is very useful in order to characterize, describe and interpret light phenomena present in device design.

Keywords: reflection, refraction, natural light conduction component, natural light.

Introducción

Existen diversas teorías que buscan explicar la naturaleza de la Luz: la teoría corpuscular (Isaac Newton), la teoría ondulatoria (Huygens), la teoría electromagnética (Maxwell), la teoría cuántica (Planck) y actualmente, se maneja la concepción, de la doble naturaleza de la luz (carácter dual). En esta última concepción, se considera que la misma, actúa como onda y como corpúsculo, pero no en forma simultánea; es decir, se propaga mediante ondas electromagnéticas, presentando fenómenos típicamente ondulatorios; pero en su interacción con la materia, en ciertos fenómenos de intercambio de energía, tiene carácter corpuscular (Bautista, 2008). La propagación rectilínea de la luz, la reflexión y la refracción (aspectos considerados en este trabajo), son explicadas mediante la teoría corpuscular; mientras que la interferencia y la difracción, son explicadas mediante la teoría ondulatoria.

La luz es capaz de viajar a través de la materia (medios) o en ausencia de la misma (vacío). Los medios, se clasifican de acuerdo a su comportamiento ante la luz en: opacos, traslucidos y transparentes; siendo su propagación a través de ellos, dependiente de sus características. En los medios traslúcidos, la luz se dispersa; mientras que en los transparentes (agua, vidrio, aire), la luz sigue en su interior trayectorias definidas, propagándose en línea recta cuando aparte de ser transparente el medio es homogéneo.

El objetivo de este trabajo es analizar el papel que juega la reflexión y la refracción de la luz a partir de la evaluación de un Componente de Conducción de Luz Natural, que combina ambas propiedades; la primera, a través del elemento transmisor (superficie interna reflectante), y la segunda, a través del elemento difusor (recipiente esférico de vidrio con agua). Para ello, se plantea:

- a. El análisis del comportamiento lumínico con base en los registros de iluminación obtenidos bajo condiciones de cielo real; estableciendo la comparación con los valores de iluminancia y de Factor de Luz Diurna (F.L.D.) determinados en normativa para actividad y/o espacio.
- b. Comparación de los resultados de iluminación y F.L.D. obtenidos con el dispositivo propuesto, con respecto a los resultados de los mismos parámetros, obtenidos en experiencias previas con Componentes de Conducción de Luz Natural y Botella Solar.
- c. Determinación del flujo luminoso de entrada, iluminancia media del local e intensidad luminosa, a partir del cálculo geométrico y trigonométrico del número de reflexiones a través del transmisor del conducto (Marín, 2012); lo que permitirá establecer comparaciones con otras formas de obtención de resultados.
- d. Análisis del fenómeno de refracción de la luz a partir de la Ley de Snell, lo que permitirá conocer el comportamiento del rayo de luz cuando atraviesa medios de distinta densidad.

La experiencia de investigación se llevó a cabo el día 29 de septiembre de 2014, en Maracaibo-Venezuela; basándose en experiencias previas de evaluación de Componentes de Conducción de Luz Natural (CCLN) y Botella Solar (BS) en modelos a escala, las cuales forman parte de una investigación titulada *“La iluminación natural como recurso sustentable en clima cálido – húmedo”*; teóricamente, se basa en estudios relacio-

dados con sistemas de transporte de luz natural, específicamente conductos de sol; así como también, con lo relacionado con el fenómeno de la luz y sus propiedades ópticas.

Antecedentes

Previo a evaluar el dispositivo de conducción de luz natural presentado en este trabajo, se realizaron una serie de experiencias de monitoreo bajo condiciones de cielo real, utilizando modelos a escala con Componentes de Conducción de Luz Natural (CCLN) variando el tipo de difusor (acrílico punta diamante y vidrio claro); y modelos con botella solar. En ambos casos, se utilizaron superficies internas de diferente color. A continuación, se presenta un breve resumen, de los resultados más relevantes, considerados para la selección de las características del dispositivo a evaluar:

1.1. Experiencia con el Componente de Conducción de Luz Natural (CCLN)

Se procedió a evaluar en un modelo a escala la contribución de iluminación a través del CCLN utilizando dos modelos, uno con superficies internas negro mate y otro con superficies blanco mate; así mismo, para los dos tipos de difusores. Esta experiencia permitió establecer:

1. La contribución de iluminación en el espacio a través del dispositivo, utilizando difusor acrílico punta diamante y difusor vidrio claro; sin la componente de reflexión interna (superficies internas negro mate).
2. La contribución de la componente de reflexión interna en la iluminación del espacio (superficies internas blanco mate).

Con respecto al punto 1, el promedio de iluminación interior con el CCLN difusor acrílico punta diamante, para el día 22 de septiembre, fue de 923 lux; para esta fecha el tipo de cielo presente en la localidad al momento de las mediciones, correspondió en un 67%, a cielo nublado (5-7 octas de nubosidad), con un promedio de iluminación horizontal exterior de 67247 lux. Para el día 24 de septiembre, el promedio de iluminación con el mismo dispositivo fue de 1053 Lux; correspondiendo en un 89%, a un cielo con nubosidad parcial (3-4 octas de nubosidad) y una iluminación

horizontal exterior de 74456 lux. En ambos casos, la iluminación interior promedio representa un 1% aproximadamente de la iluminación horizontal exterior. El promedio de iluminación interior con el CCLN vidrio claro, para el día 27 de septiembre, fue de 4025 lux; correspondiendo en un 80%, a un cielo con nubosidad parcial (3-4 octas de nubosidad) y una iluminación horizontal exterior de 105800 lux; representando la iluminación natural interior un 4% aproximadamente de la iluminación horizontal exterior.

Con respecto al punto 2, se obtuvo a través del uso de superficies blanco mate y el CCLN difusor acrílico punta diamante, una contribución a la iluminación de un 48% (promedio) de la componente reflejada interna y con el CCLN vidrio claro, una contribución de un 49%.

1.2. Experiencia con la botella solar

Basados en la experiencia de la botella solar, llevada a cabo en distintos países por la fundación "My Shelter" (<http://sculptthefuturefoundation.org/portfolio/my-shelter-foundation-global-lighting-project/>), se procedió a evaluar la contribución de iluminación en el espacio a través de la misma. Para ello, se utilizaron dos modelos uno con superficies internas negro mate y otro con superficies blanco mate. Esta experiencia permitió establecer:

1. La contribución de iluminación natural en el espacio a través del dispositivo (superficies internas negro mate); estableciendo a posterior, la comparación con las bombillas incandescentes. Esto permitió, verificar el equivalente en vatios según la experiencia llevada a cabo por la Fundación "My Shelter" (entre 40 y 60 vatios).
2. La contribución de la componente de reflexión interna en la iluminación del espacio (superficies internas blanco mate).

Con respecto al punto 1, para las condiciones de cielo mencionadas, para el día 22 de septiembre, con una iluminación horizontal exterior promedio de 67247 lux, la iluminación interior obtenida en el modelo con botella solar equivale en un 44% aproximadamente a bombillas incandescentes de uso especial entre 15 y 25 vatios, en otro 44% a bombillas de uso común de 25 vatios, y en el porcentaje restante a bombillas de uso especial de 4 vatios. Para el día 23 de septiembre, el tipo de cielo presente en la localidad al mo-

mento de las mediciones, correspondió en un 56%, a cielo nublado (5-7 octas de nubosidad), y en un 45% a cielo cubierto; bajo estas condiciones, la iluminación obtenida equivale en un 67% a bombillas incandescentes de uso especial entre 4 y 15 vatios; alcanzándose hacia las 12:00 del mediodía, lo equivalente a una bombilla de 25 vatios (tabla 1 y 2).

TABLA 1. Resultados de Iluminación natural interior (Lux) obtenidos en los modelos con Botella Solar y superficies internas negro mate

| Resultados de Iluminación natural interior (Lux) obtenidos en los modelos con Botella Solar y superficies internas Negro mate | | | | | | |
|---|------------------|------------|------|------------------|------------|------|
| HORA | 22 de Septiembre | | | 23 de Septiembre | | |
| | lext (Lux) | lint (Lux) | % | lext (Lux) | lint (Lux) | % |
| 08:00 a.m. | 66100 | 154 | 0,23 | 20930 | 12 | 0,05 |
| 09:00 a.m. | 92600 | 248 | 0,27 | 33700 | 28 | 0,08 |
| 10:00 a.m. | 84300 | 288 | 0,34 | 55800 | 67 | 0,12 |
| 11:00 a.m. | 91400 | 382 | 0,42 | 72100 | 122 | 0,17 |
| 12:00 m. | 47200 | 170 | 0,36 | 116300 | 241 | 0,21 |
| 01:00 p.m. | 111900 | 445 | 0,40 | 38300 | 36 | 0,09 |
| 02:00 p.m. | 42800 | 130 | 0,30 | 77800 | 75 | 0,10 |
| 03:00 p.m. | 55400 | 170 | 0,31 | 53100 | 28 | 0,05 |
| 04:00 p.m. | 13520 | 20 | 0,15 | 22660 | 4 | 0,02 |
| Promedios | 67247 | 223 | 0,31 | 54521 | 68 | 0,10 |

Fuente: Elaboración propia, 2014.

TABLA 2. Lúmenes de bombillas incandescentes según vatios

| Bombilla incandescente (W) | Lumen |
|----------------------------|-------|
| De uso especial | |
| 4 W | 16 |
| 10 W | 82 |
| 15 W | 110 |
| 25 W | 172 |
| De uso común | |
| 25 W | 260 |
| 40 W | 490 |
| 60 W | 820 |
| 75 W | 1070 |
| 100 W | 1560 |

Fuente: http://www.lighting.philips.com/pwc_li/mx_es/connect/tools_literature/assets/pdfs/Catalogo_Philips_2010%20%284%29.pdf

Con respecto al punto 2, se obtuvo a través del uso de superficies blanco mate y el mismo dispositivo, una contribución a la iluminación de un 72% (promedio) de la componente reflejada interna; favorecido por la emisión luminosa producto de la penetración de la superficie de la botella (0.35 m-a la escala de trabajo-) hacia el interior del modelo.

Se observa que el nivel de iluminación interior obtenido a través de la botella solar bajo las condiciones señaladas, es bajo; sin embargo, resulta suficiente para "ver" dentro del espacio; es importante señalar, que no se alcanzó el nivel de iluminación equivalente a una bombilla entre 40 y 60 vatios.

En la tabla 3, se presenta el desempeño de los dispositivos evaluados, en función de otros parámetros cuyos resultados son producto de las distintas experiencias llevadas a cabo en modelos con CCLN y botella solar; y donde se observa:

El dispositivo que obtuvo mejor desempeño en cuanto al Factor de Luz Diurna (F.L.D.) y a los requerimientos de nivel lumínico para actividades según normativa fue el CCLN-DVC.

El mayor aporte de la componente de reflexión interna se logró a través de la combinación de la botella solar con superficies internas blanco mate; a pesar de tener el menor porcentaje de flujo lumínico de entrada al espacio.

El factor de uniformidad promedio sobre el plano de trabajo en todos los modelos con superficies blanco mate fue el mismo (superior a 0,6 correspondiente a trabajo fino según lo indicado en tabla 4).

De lo anteriormente expuesto, se desprenden las características del dispositivo a evaluar (propuesta): Cuerpo del CCLN de tubo de Cartón de 4 mm de espesor, diámetro 0.38 m. y longitud 1.14 m. (a la escala seleccionada) según la relación $L/D = 3$, con superficie interna reflectante (papel vinil cromado autoadhesivo); colector, de acrílico transparente de 3 mm de espesor; y difusor, un recipiente de vidrio transparente, de forma esférica, diámetro 0.45 m (a escala del modelo) con agua (figura 1 y 2).

El monitoreo se llevó a cabo bajo condiciones de cielo real, en el sector 18 de octubre, de la ciudad de Maracaibo, estado Zulia, el día 29 de septiembre de 2014. El dispositivo, se ubicó en el centro de la cubierta superior del modelo a escala, planteándose el registró simultáneo de la ilu-

TABLA 3. Desempeño de los dispositivos evaluados previamente antes de la propuesta.

| Desempeño de los dispositivos evaluados | | | | | | | |
|--|----------------------------------|--|--|--------------------|-----------------------|------------------------|---------------------------------------|
| Experiencia | Descripción | F.L.D. % | Nivel lumínico que abarca en normativa (lux) | % flujo de entrada | Distribución luminosa | Uniformidad (min/prom) | Componente Reflejada Interna (C.R.I.) |
| 1 | BS (sup.int. negro mate) | No alcanzó el nivel mínimo según normativa | 20-300 | 4,52 | Semi directa | 0,7 | - |
| | CCLN-DA(sup.int. negro mate)PD | Reducida -Mediana | 20-1500 | 11,34 | Directa | 0,7 | - |
| 2 ^a | BS (sup.int. negro mate) | No alcanzó el nivel mínimo según normativa | 20-200 | 4,52 | Semi directa | 0,6 | - |
| | BS sup.int. blanco mate) | No alcanzó el nivel mínimo según normativa | 20-300 | 4,52 | Semi directa | 0,7 | 72% |
| 2 ^b | CCLN-DAPD (sup.int. negro mate) | Reducida - Mediana | 20-3000 | 11,34 | Directa | 0,7 | - |
| | CCLN-DAPD (sup.int. blanco mate) | Reducida - Mediana | 20-3000 | 11,34 | Directa | 0,7 | 48% |
| 3 | AL (sup.int. negro mate) | Reducida - Mediana | 20-1000 | - | - | 0,9 | - |
| | CCLN-DAPD (sup.int. negro mate) | Reducida - Mediana | 20-3000 | 11,34 | Directa | 0,6 | - |

TABLA 3 (Continuación)

Desempeño de los dispositivos evaluados

| Experiencia | Descripción | F.L.D. % | Nivel lumínico que abarca en normativa (lux) | % flujo de entrada | Distribución luminosa | Uniformidad (min/prom) | Componente Reflejada Interna (C.R.I.) |
|----------------|--|--|--|--|-----------------------|------------------------|---------------------------------------|
| 3 | 3 ^B AL (sup.int. negro mate) | Reducida - Mediana | 20-1000 | - | - | 0,6 | - |
| | BS (sup.int. negro mate) | No alcanzó el nivel mínimo según normativa | 20-200 | 4,52 | Semi directa | 0,6 | - |
| 3 ^C | AL (sup.int. negro mate) | Reducida - Alta | 20-20000 | - | - | 0,4 | - |
| | SA | - | - | - | - | - | - |
| 4 | CCLN-DVC (sup.int. blanco mate) | Reducida - Alta | 20-3000 | 11,34 | Directa | 0,7 | 49% |
| | CCLN-DVC (sup.int. negro mate) | Reducida - Alta | 20-10000 | 11,34 | Directa | 0,4 | - |
| 5 | CCLN-DVC (sup.int. blanco mate) | Reducida - muy alta | 20-10000 | 11,34 | Directa | 0,7 | - |
| | BS | | | Botella Solar | | | |
| | CCLN-DAPD | | | Componente de Conducción de Luz Natural Difusor Acrílico | | | |
| | AL | | | Abertura lateral | | | |
| | CCLN-DVC | | | Componente de Conducción de Luz Natural Difusor Vidrio Claro | | | |

Fuente: Elaboración propia, 2014.

Tabla 4. Heterogeneidad del campo luminoso

| Factor de uniformidad sobre el plano de referencia | | |
|---|--------------|------------------------|
| Normal | Trabajo fino | Iluminacion localizada |
| Mayor de 0,3 | Mayor de 0,6 | Mayor de 0,8 |

Fuente: acondicionamiento Natural y Arquitectura. Puppo, E.; Puppo, G. pp.111, 1971.

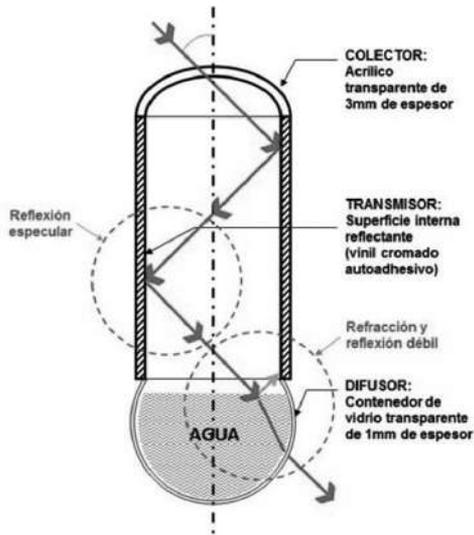


FIGURA 1. Propuesta de Componente de Conducción de Luz Natural
 Fuente: Elaboración propia, 2014.

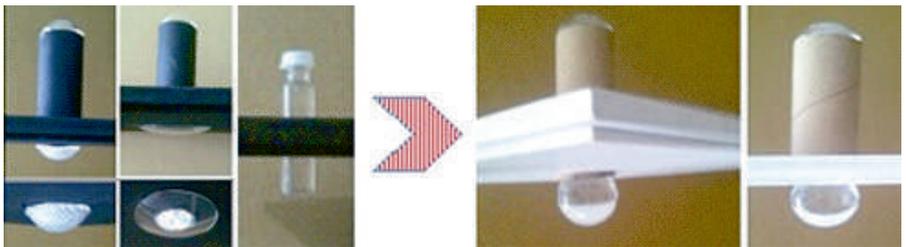


FIGURA 2. Componente de Conducción de Luz Natural evaluado
 Fuente: Elaboración propia, 2014.

minación horizontal exterior y la iluminación natural interior horizontal y vertical; para lo cual, se utilizaron unos registradores de datos (HOBO datalogger) y un luxómetro digital T-10 Minolta (rango: 0.01-299.000 lux) (figura 3).

Para establecer la comparación se utilizó la tabla 5 con valores recomendados en norma IRAM-AADL j20-02 para el Factor de Luz Diurna promedio según la dificultad de la tarea (citado por Raitelli, 2006).



FIGURA 3. Ubicación del Componente de Conducción de Luz Natural evaluado y ubicación de dataloggers en el interior del modelo
Fuente: Elaboración propia, 2014.

TABLA 5. Valores recomendados en norma IRAM-AADL j20-02 para el Coeficiente ó Factor de Luz Diurna promedio según la dificultad de la tarea

| Clasificación de la tarea según su dificultad | F.L.D. promedio (%) | Ejemplos típicos de la norma IRAM-AADL j20-05 |
|---|---------------------|---|
| Reducida | 1 | Circulación, depósitos de materiales toscos, etc. |
| Mediana | 2 | Inspección general, trabajo común de oficina |
| Alta | 5 | Trabajos de costura, dibujo. etc. |
| Muy alta | 10 | Montaje e inspección de mecanismos delicados |

(Citado por Raitelli, 2006).

Para establecer la comparación con niveles de iluminación según normativa, se utilizó lo indicado en la Norma Venezolana COVENIN 2249-93, en su artículo 4.1; el cual establece, tres niveles de iluminancia media en servicio para actividades y tareas visuales específicas y áreas de trabajo en condiciones normales (A, B y C). Los valores por encima del indicado como valor superior "C", suponen un derroche de energía y niveles por debajo del valor inferior "A", significan un desempeño visual menos eficiente. Los valores medios de la gama "B" corresponden a la iluminancia media en servicio recomendada de acuerdo a los requisitos visuales de la tarea, la experiencia práctica y la necesidad de una utilización eficaz de la energía (tabla 6).

TABLA 6. Tipos Generales de Actividad en Áreas Interiores
 (Norma Venezolana)

| Área o tipo de actividad | Iluminancia (LUX) | | | Tipo de iluminancia |
|--|-------------------|------|------|----------------------------------|
| | A | B | C | |
| 1. Áreas públicas con alrededores | 20 | 30 | 50 | General en toda el área (G) |
| 2. Simple orientación para visitas cortas periódicas | 50 | 75 | 100 | |
| 3. Áreas de trabajo donde las tareas visuales se realizan solo ocasionalmente | 100 | 150 | 200 | |
| 4. Realización de tareas visuales con objetos de tamaño grande o contraste elevado | 200 | 300 | 500 | Local en el área de la tarea (L) |
| 5. Realización de tareas visuales con objetos de tamaño pequeño o contraste medio | 500 | 750 | 1000 | |
| 6. Realización de tareas visuales con objetos de tamaño muy pequeño o contraste bajo | 1000 | 1500 | 2000 | |

TABLA 6 (Continuación)

| Área o tipo de actividad | Iluminancia (LUX) | | | Tipo de iluminancia |
|--|-------------------|-------|-------|--|
| | A | B | C | |
| 7. Realización de tareas visuales con objetos de tamaño muy pequeño y bajo contraste, por periodos prolongados | 2000 | 3000 | 5000 | Combinación de general y localizada sobre la tarea (G+L) |
| 8. Realización de tareas visuales que requieren exactitud por periodos prolongados | 5000 | 7500 | 10000 | |
| 9. Realización de tareas visuales muy especiales, con objetos de tamaño muy pequeño y contraste extremadamente bajo. | 10000 | 15000 | 20000 | |

COVENIN 2249-93 (Iluminancias en tareas y áreas de trabajo), pág. 5.

2. Resultados

1.1. Análisis del comportamiento lumínico con base en los registros de iluminación obtenidos bajo condiciones de cielo real

Para esta fecha, el tipo de cielo presente en la localidad al momento de las mediciones, corresponde en un 75%, a un cielo con nubosidad parcial (3-4 octas de nubosidad) (Ver figura 4).

Los valores obtenidos del Factor de Luz Diurna (F.L.D.); el cual se establece, como la relación entre la iluminación interior (lux) y la iluminación horizontal exterior (lux) medidos en forma simultánea y expresado en

| HORA | 12:00 p.m. | 12:36 p.m. | 01:00 p.m. | 01:36 p.m. |
|---|---|---|---|---|
| Iluminación Horizontal Exterior (Lux) | 112900 | 108400 | 104200 | 101900 |
| Condiciones del cielo (Observación directa) |  |  |  |  |

FIGURA 4. Condiciones del cielo para el 29 de Septiembre, 2014

Fuente: Elaboración propia, 2014.

porcentaje, se encuentran entre 1,83% y 13,56%, alcanzándose el nivel promedio para tareas de dificultad reducida y mediana en el período de 12:00 m. a 01:36 p.m.; siendo posible tareas de dificultad alta y muy alta al comienzo de las mediciones.

En relación a los niveles de iluminación obtenidos sobre el plano de trabajo (Figura 5), en el período de 12:00 m. a 01:36 p.m., los valores se encuentran entre 1865 lux y 15314 lux (promedio: 7423 lux); siendo posible las tareas y áreas de trabajo establecidas en la Norma COVENIN, en los puntos y de acuerdo a los niveles lumínicos indicados en: 1 (A, B,C), 2 (A,B,C), 3 (A,B,C), 4 (A,B,C), 5 (A,B,C), 6 (A,B,C), y 7(A,B); al comienzo de las mediciones, con una iluminación horizontal exterior entre 108400 lux y 112900 lux, se alcanzó el nivel para áreas de trabajo con mayor exigencia visual, 7 (C), 8 (A,B,C) y 9 (A,B).

2.2. Comparación de los resultados de iluminación y F.L.D. obtenidos con el dispositivo propuesto; con respecto a los resultados de los mismos parámetros, obtenidos en experiencias previas con CCLN y Botella Solar

Para establecer la comparación entre los distintos dispositivos, se seleccionaron los resultados obtenidos en el monitoreo con los modelos de superficies internas blanco mate, en el período horario entre 12:00 m. y 01:00 p.m., según la hora solar para cada una de las fechas (figura 6).

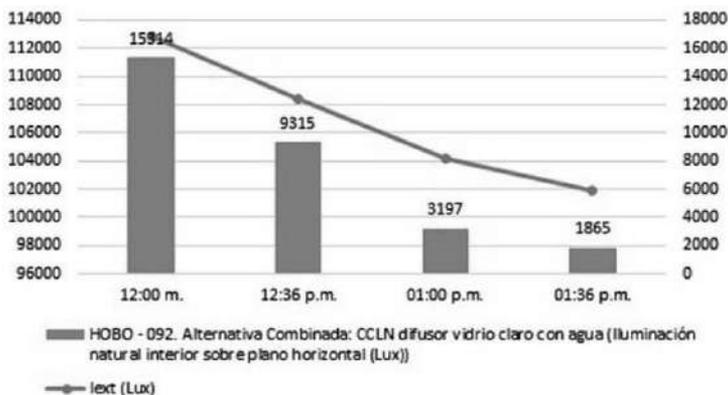


FIGURA 5. Resultados para el 29 de Septiembre, 2014
Fuente: Elaboración propia, 2014.

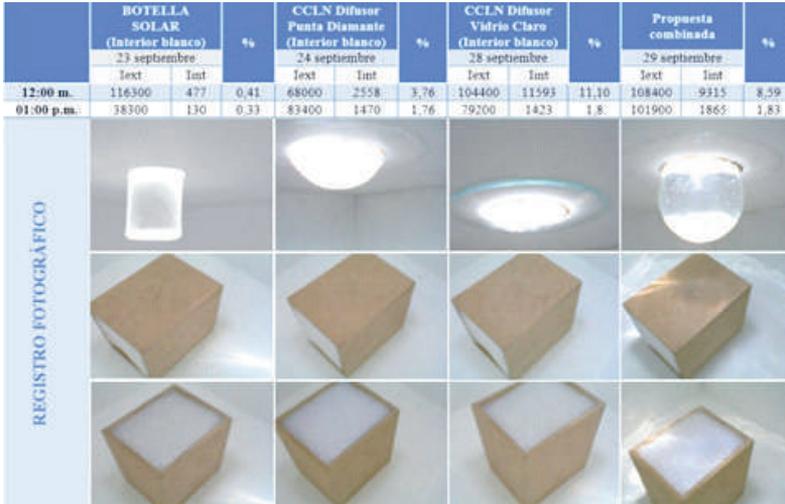


FIGURA 6. Comparación de resultados con experiencias previas
 Fuente: Elaboración propia, 2014.

A las 12:00 m., el valor más alto de iluminancia horizontal exterior correspondió al día 23 de septiembre; sin embargo, los resultados obtenidos de iluminación interior con la BS resultaron los más bajos, representando solo un 5% de la iluminación obtenida a través del CCLN propuesto. Con el CCLN-DVC, se obtuvo el nivel de iluminación interior más alto, aproximadamente un 21% sobre el resultado del CCLN propuesto; a pesar de que el día 28 de septiembre a esa hora, la iluminancia horizontal exterior fue menor en un 4% (4000 lux) con respecto al día 29 de septiembre. En el caso del CCLN-DAPD, a las 12:00 m. el valor de iluminancia horizontal resultó muy bajo para establecer la comparación; sin embargo, con ese mismo dispositivo, a las 10:00 a.m. con una iluminancia horizontal exterior de 103900 lux, se obtuvo un valor de iluminación interior de 2054 lux, y a las 11:00 a.m., con una iluminación exterior de 113900 lux, se obtuvo una iluminación de 4971 lux; los cuales representan un 22% y un 53% del valor obtenido a través del CCLN propuesto.

A la 01:00 p.m., el valor de iluminación horizontal exterior para el día 23 de septiembre fue el más bajo; sin embargo, para una aproximación a los valores establecidos para la comparación, se consideraron los valores obtenidos a las 02:00 p.m. en el monitoreo con el mismo dispositivo, donde se obtuvo una iluminación horizontal exterior de 77800 lux, y

una iluminación interior de 264 lux; valores que siguen siendo muy bajos con respecto a los obtenidos con el CCLN propuesto. A esta misma hora, se observa que la iluminación interior obtenida en todos los CCLN representa un 1,8% (aproximadamente) de la iluminación horizontal exterior (F.L.D.), siendo el valor más alto el obtenido a través del CCLN-DVC a las 12:00 m.

En la figura 7, se presenta la comparación entre los distintos dispositivos de conducción de luz natural en relación al nivel de iluminación interior para las horas seleccionadas.

Es importante señalar que de acuerdo al registro fotográfico en el interior del modelo, la mayor uniformidad lumínica se observa en el modelo con CCLN-DAPD. Observándose, en los dispositivos con agua, ciertos efectos lumínicos (zonas de luz de mayor intensidad), los cuales, abarcaron mayor área en el CCLN-propuesto.

El resumen del desempeño del dispositivo propuesto, se observa en tabla 7.

2.3. Reflexión a través del elemento transmisor del CCLN propuesto (cálculo geométrico y trigonométrico del número de reflexiones).

La reflexión es el cambio en la dirección de un rayo de luz cuando este no logra traspasar la interfaz entre dos medios; la misma, se produce cuando un rayo choca contra una superficie formando un ángulo con la

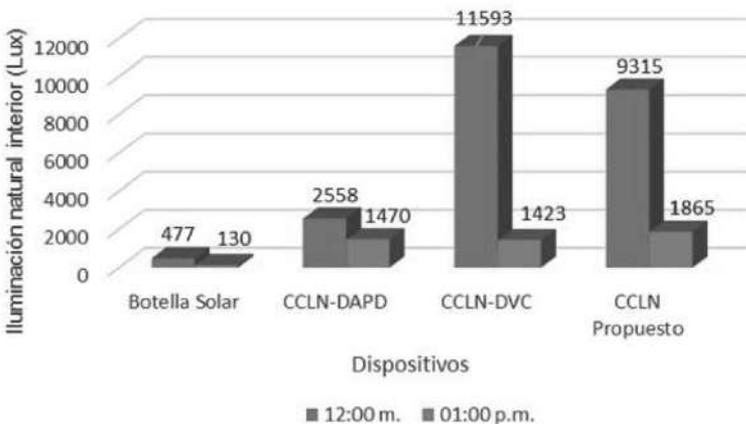


FIGURA 7. Comparación entre los dispositivos de conducción de luz natural
Fuente: Elaboración propia, 2014.

TABLA 7. Desempeño del dispositivo propuesto

| Desempeño del dispositivo propuesto | | | | | | | |
|--|--|---------------------|--|--------------------------|--------------------------|---------------------------|--|
| Experiencia | Descripción | F.L.D. % | Nivel lumínico que abarca en la normativa (lux) | % flujo de entrada | Distribución luminosa | Uniformidad (min/prom) | Componente reflejada interna (C.R.I.) |
| 6 | CCLN con difusor recipiente de vidrio con agua | Reducida – muy alta | 20-15000 | 11,34 | Directa | 0,7 | - |

Fuente: Elaboración propia, 2014.

normal (ángulo de incidencia), y es rechazado en una dirección dada por el ángulo de reflexión (<http://www.astromia.com/glosario/reflexion.htm>). Dependiendo de la superficie donde incida el rayo de luz, la reflexión puede ser de dos tipos: especular o difusa. La primera, tiene lugar cuando la superficie reflectante está pulida (espejo), dando lugar a una reflexión dirigida; y la segunda, ocurre cuando la superficie es mate (Figura 8). Al respecto, se cumplen dos leyes básicas:

1era Ley: El rayo incidente, el reflejado y la normal están en un mismo plano.

2da Ley: Los ángulos de incidencia y reflexión son iguales: $i = r$

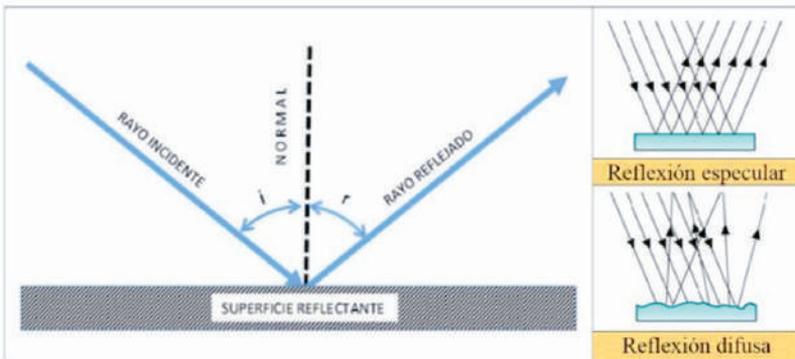


FIGURA 8. Reflexión de la Luz y tipos. Tomado de: http://www.nebrija.es/~cmalagon/Fisica_Aplicada/transparencias/05-Luz/18_-_reflexion_y_refraccion.pdf y www.educarchile.cl/ech/pro/app/detalle?ID=138939

Para lograr el máximo aprovechamiento de la luz hacia el interior de los espacios, utilizando conductos de sol o CCLN, es importante, la adecuada selección de superficies en cada una de sus partes constitutivas (elemento captador, transmisor y difusor); especialmente, la superficie de las paredes internas del elemento transmisor, a través del cual se logra la transmisión de la luz por reflexiones sucesivas o múltiples (figura 9). El estudio del número de reflexiones, permite predecir la Transmitancia de ductos (Urriol *et al.*, 2008); así como también, obtener aproximaciones de algunos parámetros lumínicos (Intensidad luminosa, flujo de entrada y/o iluminancia) útiles para el diseño de los mismos (Marín, 2012).

Es importante señalar que el número de reflexiones que sufre el rayo luminoso es un número entero, y depende del ángulo de incidencia, de la longitud y distancia de separación entre las caras (www.heurema.com/PDF/PDF40-Reflex5/PDF40-Reflex5.pdf).

A continuación, se presentan los resultados del análisis geométrico (cálculo gráfico) y trigonométrico, del número de reflexiones obtenidas a través del transmisor del CCLN propuesto, en el período horario evaluado según lo presentado por Marín (2012). Previo al análisis, este autor refiere en su trabajo, una “formulación empírica” que permite determinar la sección del conducto de sol, con una relación aproximada del 100%, entre la iluminancia en la boca del conducto y la iluminancia media del local:

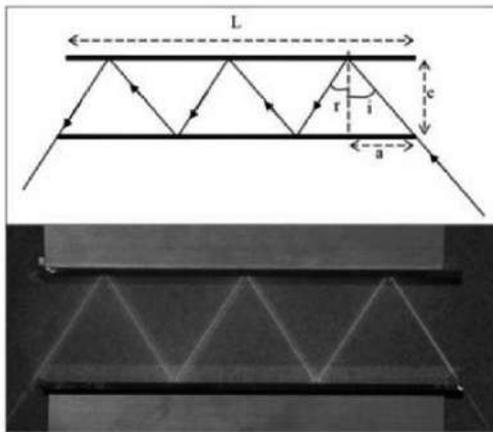


FIGURA 9. Ejemplo de reflexiones múltiples
Fuente: www.heurema.com/PDF/PDF40-Reflex5/PDF40-Reflex5.pdf

$$\text{Relación} = E_{\text{boca}} / E_{\text{local}} \approx 100 \quad (1)$$

donde:

E_{Boca} = Iluminancia en la boca (Lux)

E_{Local} = Iluminancia media del local (Lux)

La sección del conducto, se determina a partir de la expresión:

$$Sc = ((S_{\text{Local}} * L) / 300)^{1/3} \quad (2)$$

donde:

Sc = sección del conducto (m^2)

S_{Local} = Superficie iluminada del local (m^2)

L = Longitud del conductor (m)

Aplicando la expresión 2, la sección del conducto de sol debería ser de 0,32 m; sin embargo, para el caso de estudio la sección del mismo, se consideró de 0,38 m con una longitud de 1,14 m; para un espacio a iluminar de superficie: 9 m^2 .

2.3.1. Análisis geométrico

En el análisis geométrico, se determina: la intensidad resultante, el flujo resultante y la iluminancia en el local, el número de reflexiones se obtiene a partir del cálculo gráfico del rayo medio incidente (figura 10).

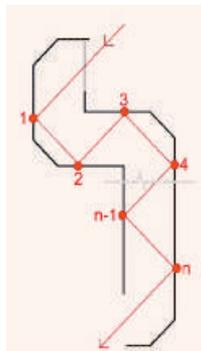


FIGURA 10. Cálculo gráfico del rayo medio incidente
Fuente: Marín, 2012.

Las expresiones utilizadas para el cálculo, son las siguientes:

$$I = I_{\text{Boca}} * t_{\text{Boca}} * t_i * r^n \quad (3)$$

donde:

I = Intensidad que penetra en el local (cd)

I_{Boca} = Intensidad en la boca (cd)

t_{Boca} = Factor de transmisión del cerramiento de la boca

t_i = Factor de transmisión del elemento de cesión al local

r = factor de reflexión del espejo

n = número de reflexiones calculadas gráficamente del rayo medio incidente

$$\Phi = E_{\text{Boca}} * S_{\text{Boca}} * t_{\text{Boca}} * t_i * r^n \quad (4)$$

donde:

Φ = Flujo que penetra en el local iluminado (lm)

S_{Boca} = Sección de la boca (m^2)

$$E_{\text{Local}} = E_{\text{Boca}} * (S_{\text{Boca}} / S_{\text{Local}}) * t_{\text{Boca}} * t_i * r^n \quad (5)$$

Realizando el cálculo gráfico del rayo medio incidente (figura 11) y aplicando las expresiones 3, 4 y 5, con un factor de transmisión promedio de 0,85 para vidrio transparente simple de 2 a 3 mm de espesor; de 0,75 para laminados de plástico (De Mascaró, 1977), y un factor de reflexión de 0,98 correspondiente al recubrimiento interno (vinil autoadhesivo cromado) del conducto, se obtuvieron los resultados (tabla 8):

La relación 1 entre la iluminancia en la boca del conducto y la iluminancia media del local, bajo las condiciones establecidas resulto ser de 124%.

2.3.2. Análisis trigonométrico

En el análisis trigonométrico, se determinó: la intensidad a una distancia "x" de la boca del conducto (Ley de decrecimiento en profundidad), y el número de reflexiones. Las expresiones utilizadas son las siguientes:

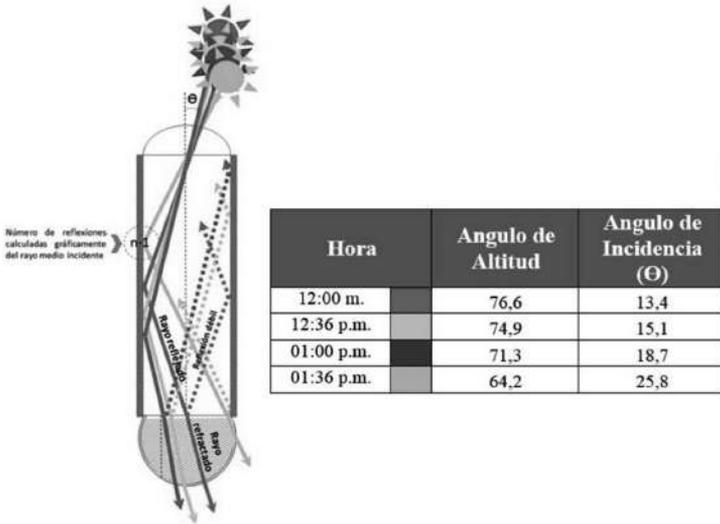


FIGURA 11. Cálculo gráfico del rayo medio incidente en el caso de estudio
Fuente: Elaboración propia, 2014.

TABLA 8. Resultado de la aplicación del análisis geométrico del número de reflexiones

| Análisis geométrico | | |
|---------------------|-----------------------|-------------------------|
| Intensidad (cd) | Flujo resultante (Lm) | Iluminancia local (Lux) |
| 122928 | 8162 | 907 |
| 117803 | 7837 | 871 |
| 112768 | 7533 | 837 |
| 109315 | 7367 | 819 |

Fuente: Elaboración propia, 2015.

$$I_x = I_{Boca} * t_{Boca} * r^n \tag{6}$$

donde:

I_x = Intensidad a una distancia "x" de la boca

I_{Boca} = Intensidad en la boca

$$n = x * (\tan\theta / \varnothing) \tag{7}$$

donde:

θ = Angulo formado por la proyección del ángulo de incidencia del rayo respecto al eje del conducto.

\varnothing = Diámetro del conducto

Aplicando las expresiones 6 y 7, se obtuvieron los siguientes resultados (tabla 9):

TABLA 9. Resultado de la aplicación del análisis trigonométrico del número de reflexiones

| Análisis trigonométrico | | |
|-----------------------------------|---|------------------------------|
| Intensidad en la boca (cd) | Intensidad a una distancia "x" de la boca (cd) | Número de reflexiones |
| 192829 | 142548 | 0,71 1 |
| 184789 | 136344 | 0,80 1 |
| 176891 | 129975 | 1,01 1 |
| 171474 | 124892 | 1,45 1 |

Fuente: Elaboración propia, 2015.

2.4. Refracción a través del elemento difusor del CCLN propuesto.

Cuando la luz pasa de un medio transparente a otro medio transparente, incidiendo oblicuamente sobre la superficie de separación de ambos medios, experimenta un cambio de dirección y de velocidad, que se conoce con el nombre de Refracción. En este fenómeno, el rayo refractado puede acercarse o alejarse de la normal dependiendo de la densidad del medio que atraviesa. Esta situación, se relaciona con un número denominado **Índice de Refracción Absoluto "n" de un medio transparente**; que resulta del cociente entre la velocidad de la luz en el vacío y la velocidad de la luz en el medio (Netto, 2014).

$$n = c / v \quad (8)$$

donde:

n: índice de refracción

c: velocidad de la luz en el vacío

v: velocidad de la luz en el medio

Si el índice de refracción de un medio es mayor que el otro (tabla 10), se dice que tiene **mayor refringencia**; si ocurre lo contrario, se dice que tiene **menor refringencia** y si ambos medios tienen la misma refringencia, se dice que tienen **continuidad óptica** (Fogantini, 2007).

Tabla 10. Índices de refracción

| n | Medio | índice de refracción |
|----|-------|----------------------|
| n1 | Aire | 1,0003 |
| n2 | Agua | 1,3300 |

Fuente: valores tomado de Montalvo, 2010.

En este trabajo se seleccionó como medio el “agua”, basado en el principio de la botella solar (figura 12); en la cual, el espacio se ilumina gracias a que se produce una **“refracción horizontal de 360°”**, cuando los rayos del sol viajan en vertical a través del envase y chocan con el líquido; en este caso, la luz al entrar en la botella rebota contra las moléculas de agua, aumentando su potencia y dirigiéndola por todas direcciones, emitiendo luz equivalente a una bombilla de 55 vatios (Ramírez, 2013).

El fenómeno de la refracción se expresa a través de las siguientes leyes (Netto, 2014):

1ª Ley: El rayo incidente, la normal y el rayo refractado se encuentran en el mismo plano.

2ª Ley (ley de Snell): Los senos de los ángulos de incidencia θ_1 y de refracción θ_2 son directamente proporcionales a las velocidades de propagación v_1 y v_2 de la luz en los respectivos medios ($\text{sen } \theta_1 / \text{sen } \theta_2 = v_1 / v_2$); la expresión 9, representa la relación entre el ángulo de incidencia y el de refracción según esta Ley (figura 13):

$$n_1 \text{ sen } \theta_1 = n_2 \text{ sen } \theta_2 \quad (9)$$

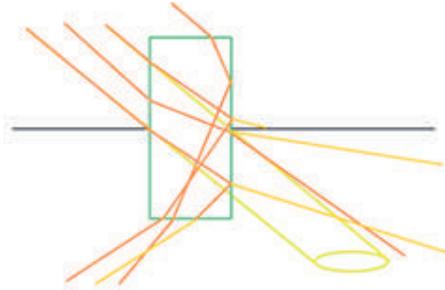


FIGURA 12. Efectos ópticos fundamentales en la botella solar:
Refracción y reflexión total interna

Fuente: <http://physicsbuzz.physicscentral.com/2011/09/solar-bottle-superhero.html>

donde:

n_1 = Índice de refracción del 1er medio, o medio en el que se propaga el rayo incidente.

n_2 = Índice de refracción del 2do medio, o medio en el que se propaga el rayo refractado

θ_1 = ángulo de incidencia al formado por el rayo incidente y la normal

θ_2 = ángulo de refracción al formado por el rayo refractado y la normal

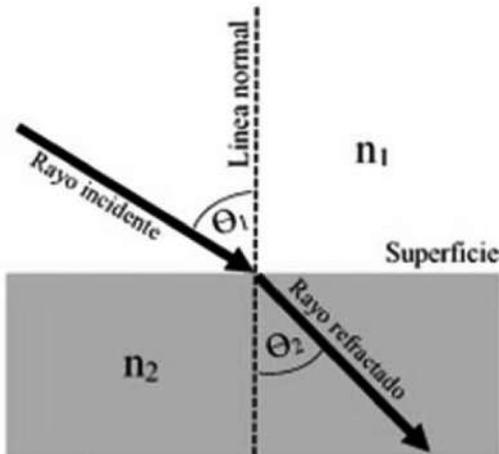


Figura 13. Ángulos de incidencia y refracción

Fuente: http://www.nebrija.es/~cmalagon/Fisica_Aplicada/transparencias/05-Luz/18_-_reflexion_y_refraccion.pdf

En el periodo estudiado, el ángulo de refracción resultó inferior al de incidencia, acercándose a la normal (tabla 11); esto ocurre, cuando la luz pasa de un medio de menor índice de refracción como el aire ($n_1 = 1,0003$) a otro de mayor índice como el agua ($n_2 = 1,3300$).

Es importante señalar que cuando un rayo luminoso incide sobre la superficie que separa dos medios (aire y agua, por ejemplo) parte de la luz incidente se refleja, mientras que la otra parte se refracta y penetra en el segundo medio, ocurriendo también otras reflexiones internas (Figura 14).

TABLA 11. Ángulos refractados según periodo evaluado

| Angulo incidencia (Grados) | Angulo refractado (Grados) |
|-------------------------------|-------------------------------|
| 13,4 | 10,03 |
| 15,1 | 11,30 |
| 18,7 | 13,95 |
| 25,8 | 19,10 |

Fuente: Elaboración propia, 2015.

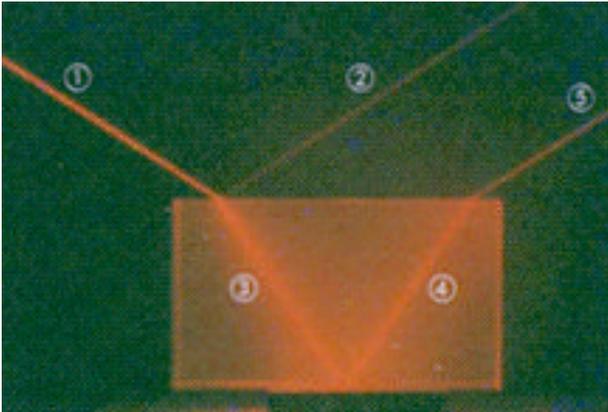


FIGURA 14. Trayectoria del rayo de luz cuando actúa en medios de distinta densidad:

1. Rayo incidente;
2. Rayo reflejado (reflexión débil);
3. Rayo refractado;
4. Rayo reflejado;
5. Rayo reflejado

Fuente: Gómez G., E. (2010).

Cuando la luz incide sobre un medio de menor refringencia, el rayo se desvía de la normal, resultando el ángulo de salida mayor que el ángulo incidente; esto es lo que se conoce como "reflexión interna". El ángulo de salida alcanzará los 90° , para algún ángulo de incidencia crítico θ_c , y para todos los ángulos de incidencia mayor que este ángulo crítico, la reflexión interna será total.

Conclusiones

A través del CCLN propuesto, se obtuvo un desempeño intermedio entre el CCLN-DAPD y el CCLN-DVC; con unos niveles de iluminación relativamente altos; principalmente, en el período horario cuando el sol alcanzó el mayor ángulo de altitud. En este caso, los rayos inciden con muy poca diferencia con respecto a la perpendicular a la superficie del medio transparente, lo que hace que en su trayectoria no experimenten una significativa desviación; traducándose, en un mayor aporte lumínico y térmico (calor) sobre el plano de trabajo. A medida que el rayo incide en forma más oblicua sobre el medio transparente, pierde intensidad porque una parte se refleja y otra se refracta, en función de las características del mismo.

El efecto de brillo alcanzado a través del paso de la luz en la botella solar es muy similar al obtenido en el CCLN propuesto. En el primer caso, la luz atraviesa la superficie plástica y directamente penetra a la columna de agua (pasa de un medio de mayor refringencia a uno de menor refringencia), produciéndose la denominada "refracción horizontal de 360° ", la cual se combina con la reflexión total interna. En el segundo caso, la luz atraviesa la superficie acrílica del elemento captador e interactúa con la superficie reflectante del elemento transmisor, produciéndose un número de reflexiones del tipo especular, que dependerá del ángulo de incidencia, la longitud del conducto y de la distancia entre las caras o diámetro; en este caso, el rayo que incide sobre la superficie del agua, es un rayo reflejado de menor intensidad (pasa de un medio de menor refringencia a uno de mayor refringencia), tendiendo los ángulos refractados hacia la normal; es importante señalar que, mientras más oblicuo sea el ángulo de incidencia, mayor será la ocurrencia del ángulo crítico y la reflexión interna total.

Otro aspecto a señalar es la presencia de ciertas concentraciones de luz, de intensidad variable, cuyos efectos pueden resultar indeseables o

perturbadores a nivel visual en la realización de tareas sobre el plano de trabajo. En este caso, influye también, la forma y material del difusor (recipiente esférico de vidrio); esto conlleva a realizar estudios, donde se involucren elementos que permitan redireccionar la luz hacia superficies del espacio, en búsqueda de obtener una distribución más uniforme por la contribución de la componente de reflexión interna proveniente de las superficies del mismo.

Con respecto a los valores promedios de iluminancia y flujo de entrada, obtenidos a través del análisis geométrico, estos representan solo un 12% y un 64% aproximadamente, de los obtenidos a través de las mediciones bajo condiciones de cielo real. En el primero, los valores se mantienen más o menos constantes, con poca variación entre ellos; mientras que en el segundo caso, se observa una gran diferencia entre los valores obtenidos en las diferentes horas; ya que, estos resultan dependientes de la variabilidad en las condiciones de cielo de la localidad. Con respecto al análisis trigonométrico, este determinó, un decrecimiento en la intensidad de la luz desde la boca del conducto a la salida del difusor, de un 74% aproximadamente.

El conocimiento del comportamiento de la luz ante las características físicas de los diferentes medios (opacos, transparentes y traslucidos), resulta de gran utilidad para caracterizar, describir, e interpretar fenómenos lumínicos presentes en el diseño de dispositivos de conducción de luz; en búsqueda de sentar las bases para el planteamiento y/o adecuación de alternativas que permitan la utilización de la iluminación natural como recurso sustentable en clima cálido-húmedo. Es por ello, que se recomienda: 1) la obtención de registros de iluminación en un periodo mayor de tiempo; 2) la evaluación del dispositivo utilizando difusor plástico y estableciendo combinaciones de elementos que ayuden a desviar o redirigir el rayo de luz, considerando la forma de las superficies (con el mismo ángulo de incidencia los rayos tienden a juntarse en superficies cóncavas; mientras que, en superficies convexas, tienden a separarse); 3) evaluar el comportamiento térmico del dispositivo actual y con el recipiente plástico con agua como difusor.

Agradecimiento

A la M.Sc. Magalis Gallardo del Instituto de Investigaciones de la Facultad de Arquitectura y Diseño de L.U.Z. y a la Arquitecto Joely Sulbarán.

Referencias

- Bautista, L. (2008). Naturaleza de la luz. Física de 2do. Bachillerato. Editor: Fisicanet en línea. www.fisicanet.com.ar/fisica/ondas/ap08_Luz.php Consultado: Noviembre, 2014.
- Catálogo general de lámparas Philips (Philips lighting México) 2010 / 2011. Ver.23082010. http://www.lighting.philips.com/pwc_li/mx_es/connect/tools_literature/assets/pdfs/Catalogo_Philips_2010%20%284%29.pdf. Consultado: Octubre, 2014.
- Comisión Venezolana de Normas Industriales Ministerio de Fomento. Norma COVENIN 2249-93 (1993). ISBN: 980-6019-34-2. CDU: 628.976.28.977. Publicación de FONDONORMA. Caracas-Venezuela. http://www.inpsasel.gob.ve/moo_docCOVENIN_2249_1993.pdf.pdf. Consultado: octubre, 2014.
- De Mascaró, L. R. (1977). *Luminotecnia-Luz Natural*. Ediciones Summa. 72 Pág. Buenos Aires.
- Elicabe Urriol, J. J.; Navone, H. D.; Bellucia, H. A.; Vázquez, J. (2008). Iluminación natural por conductos de superficie interna reflectante. Reporte Técnico RT-ID-08/01 en línea. Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería, y Agrimensura (FCEIA). Universidad Nacional de Rosario. Argentina. <http://www.fceia.unr.edu.ar/secyt>. Consultado: Diciembre, 2014.
- Fogantini, p. (2007). *Diseño experimental-Refracción de la luz*. Instituto Jesús en el Huerto de los Olivos, Olivos, Buenos Aires.
- Gómez G., E. (2010). *Fundamentos de Óptica*. Tema 1- óptica geométrica. Departamento de Física Aplicada III. E.S. Ingenieros-Universidad de Sevilla.
- Marín H., J. A. (2012). Conductos de sol-introduciendo los rayos del sol en el interior de la arquitectura. EKOTECTURA 2012-13 de octubre 2012. Material del Encuentro Internacional. Bogotá, Colombia. Departament de Construccions Arquitectoniques I. Universitat Politècnica de Catalunya (UPC).
- Montalvo Arenas, C. E. (2010). 1_optica.pdf en línea. http://historiaguam.mx/descargas/ensenanza/portal_recursos_linea/apuntes/1_optica.pdf. Consultado: Diciembre, 2014.
- Netto, R. S. (2014). Física-Óptica en línea. http://www.fisicanet.com.ar/fisica/ondas/ap06_optica_geometrica.php Consultado: Diciembre, 2014.
- Puppo, E.; Puppo, G. (1971). *Acondicionamiento Natural y Arquitectura*. pp.111.
- Raitelli, M. (2006). Diseño de la iluminación de interiores en línea-edUtecNe. Capítulo 8. www.edutecne.utn.edu.ar/eli-iluminacion/cap08.pdf Consultado: julio 2014.

Ramírez, A.; Rocío, C. (2013). Obtener luz a través de una botella de plástico en línea. http://aula.aguapedia.org/pluginfile.php/6954/mod_resource/content/0/Luz_botella_plastico.pdf Consultado: Diciembre, 2014.

Otras consultas en línea

<http://sculptthefuturefoundation.org/portfolio/my-shelter-foundation-global-lighting-project>

<http://www.astromia.com/glosario/reflexion.htm> Consultado: Diciembre, 2014.

http://www.nebrija.es/~cmalagon/Fisica_Aplicada/transparencias/05-Luz/18_-_reflexion_y_refraccion.pdf Consultado: Diciembre, 2014.

<http://aa.usno.navy.mil/data/docs/AttAz.php> Consultado: Diciembre, 2014.

<http://physicsbuzz.physicscentral.com/2011/09/solar-bottle-superhero.html>.

<http://web.educastur.princast.es/proyectos/fisquiweb/Apuntes/Apuntes2Fis/ReflexionRefraccion.pdf>.

www.heurema.com/PDF/PDF40-Reflex5/PDF40-Reflex5.pdf

<http://www.educarchile.cl/ech/pro/app/detalle?ID=138939>

<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/phyopt/totint.html>

Normas para la presentación de trabajos

1. Principios de la Revista

La REVISTA DE LA UNIVERSIDAD DEL ZULIA es un órgano científico de difusión de trabajos parciales o definitivos de investigadores y/o equipos de investigación nacionales y extranjeros. Su naturaleza es multidisciplinaria e interdisciplinaria, por ello su temática se divide en tres grandes ejes: a. *ciencias sociales y arte*; b. *ciencias del agro, ingeniería y tecnología*; c. *ciencias exactas, naturales y de la salud*. Su publicación es cuatrimestral. Cada número, de los tres del año, se corresponde con uno de los tres ejes temáticos. La *Revista de la Universidad del Zulia*, por su carácter histórico y patrimonial, está adscrita a la CÁTEDRA LIBRE HISTORIA DE LA UNIVERSIDAD DEL ZULIA.

2. Métodos de Envío y de Evaluación de los Trabajos

Los autores interesados en publicar su trabajo en la *Revista de la Universidad del Zulia* deberán remitir tres copias del mismo sin identificación en sobre cerrado a la siguiente dirección: Avenida Guajira, Fundadesarrollo, planta baja de la Sede Rectoral de La Universidad del Zulia. Este sobre debe estar acompañado de otro, el cual contendrá el original del trabajo con la identificación del autor o autores, indicando: nombre, apellido, institución que representa (universidad, instituto, centro de investigación, fundación), correo electrónico. Así mismo en este sobre se presentará una comunicación escrita firmada por todos los autores y dirigida al Director de la Revista. En esta comunicación se manifestará el interés de los autores de proponer su trabajo para la publicación en la *Revista de la Universidad del Zulia*, previa evaluación del Comité de Arbitraje. Se agregará también a este sobre una síntesis curricular de cada autor con una extensión no mayor de diez (10) líneas. También se podrá presentar el trabajo

dirigiéndolo a los siguientes correos electrónicos: revistadeluz@gmail.com; revistauniversidaddelzulia@gmail.com. El currículum de los autores se enviará en archivo adjunto, distinto al que contendrá el trabajo. Los artículos propuestos para esta revista deben ser inéditos y no deben haber sido propuestos simultáneamente a otras publicaciones. Todos los trabajos serán evaluados por parte de un Comité de Árbitros-Especialistas de reconocido prestigio, seleccionado por el Comité Editorial de la Revista. La evaluación de los Árbitros se realizará mediante el procedimiento conocido como par de ciegos: los árbitros y los autores no conocerán sus identidades respectivas. Los criterios de Evaluación son los siguientes:

- a. Criterios formales o de presentación: 1) originalidad, pertinencia y adecuada extensión del título; 2) claridad y coherencia del discurso; 3) adecuada elaboración del resumen; 4) organización interna del texto; 5) todos los demás criterios establecidos en la presente normativa.
- b. Criterios de contenido: 1) dominio de conocimiento evidenciado; 2) rigurosidad científica; 3) fundamentación teórica y metodológica; 4) actualidad y relevancia de las fuentes consultadas; 5) aportes al conocimiento existente.

Al recibirse la respuesta del Comité de Árbitros designado se informará a los autores por correo electrónico la decisión correspondiente; en caso de ser aceptado el trabajo deberá remitirse por correo electrónico la versión digital del mismo.

3. Presentación de los trabajos

Los trabajos deben presentar un resumen de 150 palabras como máximo y hasta cinco palabras claves; tanto el resumen como las palabras claves estarán en español e inglés. Igualmente el título y el subtítulo del trabajo serán presentados también en español e inglés. La extensión máxima del trabajo será de veinte (20) páginas, y diez (10) como extensión mínima. Todos los trabajos serán presentados en hoja tipo carta, impresos por una sola cara, con numeración continua y con márgenes de tres (3) centímetros a cada lado. El texto se presentará a espacio y medio, en fuente Times New Roman, tamaño 12.

4. Cuerpo del artículo

Se dividirá en Introducción, Desarrollo y Conclusiones (o Consideraciones Finales, según sea el caso). La introducción incluirá el propósito u objetivo general perseguido. El Desarrollo se organizará en secciones y subsecciones debidamente identificadas con subtítulos numerados completamente en arábigos de acuerdo al sistema decimal, respondiendo a una sucesión continua y utilizando un punto para separar los niveles de división. La Introducción y Conclusión están exceptuadas de esta numeración. Las fechas y horas se expresarán numéricamente. En caso de existir ilustraciones (gráficos, mapas, fotos) debe hacerse referencia a los mismos en el texto. Estas ilustraciones serán contadas dentro de la extensión máxima del artículo. Las notas explicativas o aclaratorias deben reducirse al mínimo necesario y colocarse al pie de páginas debidamente señalizadas. Los materiales complementarios se recogerán en anexos, los cuales se identificarán con una letra y un título y se colocarán después de la bibliografía. Los anexos serán contados también dentro de la extensión máxima del artículo.

5. Citado

El citado se realizará en el texto utilizando la modalidad autor-fecha, establecido en el *Reglamento para la presentación de trabajos en la Universidad del Zulia*, indicando, en caso de ser cita textual, apellido(s) del autor, seguido de coma, año de publicación de la obra, seguido de dos puntos y el (los) número(s) de la(s) página(s), por ejemplo: de acuerdo a Rincón (1998: 45) o (Rincón, 1998: 45); si no es cita textual sino una paráfrasis no se indicará el número de página, ejemplo: de acuerdo a Rincón (1998) o (Rincón, 1998). Si hay varias obras del mismo autor publicadas en el mismo año, se ordenarán literalmente en orden alfabético; por ejemplo, (Rincón, 2008a: 12), (Rincón, 2008b: 24). Si son dos autores, se colocarán solamente el primer apellido de cada uno, por ejemplo: Según Morales y Fleires (2008: 90) o (Morales y Fleires, 2008: 90), siguiendo el mismo criterio explicado anteriormente para las citas textuales y las paráfrasis. En caso de ser tres autores o más se colocará el apellido del autor principal seguido de "et al", ejemplo: (Rincón et al., 2008: 45). Deben evitarse, en lo posible, citas de trabajos no publicados o en imprenta, también referencias a comunicaciones y documentos privados de difusión limitada, a no

ser que sea estrictamente necesario. En caso de fuentes documentales, electrónicas u otras que por su naturaleza resulten inviables o complejas para la adopción del citado autor-fecha, sugerido en estas normas, puede recurrirse u optarse por el citado al pie de página.

6. Referencias bibliográficas

Las referencias (bibliográficas, hemerográficas, orales y/o documentales) se presentarán al final del texto, según lo establecido en el *Reglamento para la presentación de trabajos en la Universidad del Zulia*. El orden de las referencias es alfabético por apellido. Las diferentes obras de un mismo autor se organizarán cronológicamente, en orden ascendente, y si son dos obras o más de un mismo autor y año, se mantendrá el estricto orden alfabético por título.

Instrumento de Evaluación del Árbitro

I.- Criterios formales o de presentación

| CRITERIOS DE EVALUACIÓN | EXCELENTE | MUY BUENO | BUENO | REGULAR | DEFICIENTE | OBSERVACIONES |
|---|-----------|-----------|-------|---------|------------|---------------|
| Originalidad, pertinencia y adecuada extensión del título. | | | | | | |
| Claridad y coherencia del discurso. | | | | | | |
| Adecuada elaboración del resumen: contiene abstract y palabras claves; indica objetivo, metodología y resultados. | | | | | | |
| Organización interna del texto. | | | | | | |

II. - Criterios de contenido

| CRITERIOS DE EVALUACIÓN | EXCELENTE | MUY BUENO | BUENO | REGULAR | DEFICIENTE | OBSERVACIONES |
|---|-----------|-----------|-------|---------|------------|---------------|
| Dominio de conocimiento evidenciado. | | | | | | |
| Rigurosidad científica. | | | | | | |
| Fundamentación teórica y metodológica. | | | | | | |
| Actualidad y relevancia de las fuentes consultadas. | | | | | | |
| Aportes al conocimiento existente. | | | | | | |

Suscripción 2014

Tarifas (tres números anuales)

| | | |
|-----------|---------------|------------|
| Venezuela | Sin Flete | Con Flete |
| | 75 Bs.F. | 100 Bs. F. |
| Exterior | Institucional | Individual |
| | US \$ 180 | US \$180 |

Planilla de suscripción

Nombre y apellido: _____

Profesión: _____

Dirección: _____

Apartado postal: _____ Fecha: _____

Teléfono/Fax: _____ E-mail: _____

REVISTA DE LA UNIVERSIDAD DEL ZULIA.

Calle 67 (prolongación Cecilio Acosta) con Av. 16 (Guajira).

Nueva sede rectoral de la Universidad del Zulia. Edificio Fundadesarrollo.

Maracaibo, estado Zulia, Venezuela. Teléfono/Fax: 58-261-7831611.

Correos electrónicos: revistauniversidaddelzulia@gmail.com, revistadeluz@gmail.com

REVISTA DE LA UNIVERSIDAD DEL ZULIA 3ª época
Ciencias del Agro, Ingeniería y Tecnología /// Año 5 N° 11, enero-abril 2014
Se terminó de imprimir en mayo de 2015
en los talleres gráficos de Ediciones Astro Data S.A.
Telf: 0261-7511905 / Fax: 0261-7831345
Correo electrónico: edicionesastrodata@cantv.net
Maracaibo, Venezuela
Tiraje: 300 ejemplares

Contenido

7 Thafs Ferrer de Molero
Presentación

11 María Moreno, Martha Medina, Nixon Molina, Jesús Díaz
Variabilidad espacial de la fertilidad de los suelos agroforestales en la Sierra de Perijá, municipio Rosario de Perijá /// Spatial Variability of Agroforestry Soil Fertility in the Perijá Mountain Range, Rosario de Perija Municipality

27 C. Tuemmers, C. Nuñez, Willgert K., M. Serri
Anisakiasis y Difilobotriasis. Ictiozoonosis de riesgo para la salud pública asociada al consumo del pescado crudo en Chile /// Anisakiasis and Diphylobothriasis. Icthyo Zoonoses, a Public Health Risk Associated with Raw Fish Consumption in Chile

40 Enio Ortíz Valenzuela
Normativa de origen automotriz del acuerdo de alcance parcial comercial N° 28 Colombia-Venezuela /// Regulation about Automotive Origin in the Colombia-Venezuela Partial Trade Agreement N° 28

56 Ana Barboza D., Juan González L., Sandra Viada A., Axa Rojas
Parámetros fundamentales para una iluminación energéticamente eficiente en oficinas y áreas de trabajo /// Basic Parameters for Energy-Efficient Lighting in Offices and Work Areas

79 Ede Coromoto Martínez, Lesvia Pérez Laurens, Celso E. Llimpe, Magalis Gallardo
Aislamiento acústico de prototipos de techos ecológicos multicapas. Hacia una arquitectura verde con calidad acústica /// Soundproofing Multilayer Green Roof Prototypes. Toward a Green Architecture with Sound Quality

106 Rosalinda del V. González Gómez
Reflexión y refracción en componente de conducción de luz natural /// Reflection and Refraction in the Conduction Component for Natural Light

135 Normas para la presentación de trabajos

