

# CienciaUAT

Órgano de Difusión de Investigación  
Científica, Tecnológica y Humanística



VERDAD, BELLEZA, PROBIIDAD

Registro ISSN 2007-7521

Número 2

VOLUMEN  
**8**

ENE-JUN 2014

## RESERVAS NATURALES

EDICIÓN ESPECIAL



# OCURRENCIA DE INCENDIOS FORESTALES Y SU TELECONEXIÓN CON FENÓMENOS ENSO

## FOREST FIRES OCCURRENCES AND THEIR TELECONNECTION WITH ENSO PHENOMENA

Marín Pompa-García<sup>1\*</sup> y  
Mark Sensibaugh<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Forestales.  
Universidad Juárez del Estado de  
Durango, Av. Papaloapan y  
Blvd. Durango, Durango,  
Durango, México, C.P. 34120.

<sup>2</sup>Ecological Restoration Institute,  
Northern Arizona University,  
Flagstaff, Arizona.

\*Autor para correspondencia:  
mpgarcia@ujed.mx

Fecha de recepción: 5 de diciembre de 2013.  
Fecha de aceptación: 12 de marzo de 2014.

### RESUMEN

Los incendios forestales causan grandes daños a los ecosistemas. Las teleconexiones del fenómeno El Niño-Southern Oscillation (ENSO) son una herramienta útil para proveer información oportuna sobre el comportamiento del fuego. El objetivo del presente trabajo fue evaluar la ocurrencia de incendios forestales y sus teleconexiones con fenómenos ENSO en el estado de Durango, México. Usando un enfoque de correlaciones, se calculó el coeficiente de Pearson para la asociación entre número de incendios (NF) e índices ENSO durante el período 2001 a 2010. Adicionalmente, se utilizó regresión lineal para generar un modelo para NF en función del valor anual del índice ENSO ( $P < 0.1$ ). Los resultados indicaron que el índice multivariado ENSO (MEI) mostró tendencias similares durante el período estudiado ( $r = 0.74$ ,  $P = 0.0138$ ) y explicó el 55 % de la varianza ( $R^2$ ) del modelo de regresión, indicando que NF tuvo correspondencias con MEI en períodos

sincronizados. Se concluye que ENSO tiene conectividad con incendios forestales en el estado de Durango.

**PALABRAS CLAVE:** Incendios forestales, ENSO, coeficiente de Pearson.

### ABSTRACT

Forest fires cause great damages to the ecosystems. El Niño-Southern Oscillation (ENSO) teleconnections are useful tools to provide opportune information on forest fire behavior. The objective of this study was to assess wildfire occurrence and its teleconnections with ENSO indexes in the State of Durango, Mexico. Using a correlation approach, Pearson coefficient was calculated for the relationship between the number of fires (NF) and ENSO indexes in the period 2001 to 2010. Additionally, linear regression was used to develop a model for NF as a function of the annual value of the ENSO index ( $P < 0.1$ ). Results indicated that the Multivariate ENSO Index (MEI) showed similar trends during the period analyzed

( $r = 0.74$ ,  $P = 0.0138$ ) and explained 55 % of the variance ( $R^2$ ) of model regression, indicating that NF had correspondences with MEI in synchronous periods. It was concluded that ENSO has connectivity with forest fires in the state of Durango.

**KEYWORDS:** wildfires, ENSO, Pearson coefficient.

## INTRODUCCIÓN

Aunque el fuego ha sido considerado como un regulador natural en los bosques (Jiménez y Alanís, 2011), la intervención antropogénica ha modificado su estabilidad. El fuego es el factor dominante que cambia el uso de suelo en los ecosistemas forestales (Avila y col., 2010b). Particularmente en Durango, México, los bosques han sufrido serias afectaciones, colocándolo en los primeros lugares a nivel nacional (Pompa y col., 2012b).

Entender la ocurrencia de incendios forestales y sus factores asociados es un factor clave para diseñar estrategias de manejo del fuego (Gollberg y col., 2001). Diversos estudios se han enfocado a estudiar la interacción entre factores físicos del sitio y climáticos (Flasse and Ceccato, 1996; Sepúlveda y col., 2001; Giglio y col., 2003). En Durango, por ejemplo, Drury y Veblen (2008), encontraron que los incendios se han correlacionado con variaciones climáticas extremas y en algunos casos se ha explicado su ocurrencia desde una perspectiva geoespacial (Avila y col., 2010a).

Sin embargo, en dichos análisis se ha omitido su relación con fenómenos circulatorios de gran escala como del Niño ENSO. En primer lugar, estas teleconexiones pueden resultar de gran valía por la estrecha relación que guardan con las condiciones climáticas locales (Pompa y Jurado, 2013). En segundo lugar, estudios recientes (Yocom y col., 2010; Cerano y col., 2011), basan sus análisis en índices ENSO de una sola variable (i. e. índices convencionales) o Niño 3. Sus valores varían con el ciclo estacional (Wolter and Timlin, 1993), provocando baja confiabilidad (Wolter and Timlin, 1998). Recientemente,

Wolter and Timlin (2011), generaron el nuevo MEI reportado como más robusto y confiable que los índices convencionales (ver <http://www.noaa.esrl.noaa.gov/psd/people/klauss.wolter/MEI>).

El objetivo de este trabajo fue evaluar los índices ENSO Niño 3 y MEI como variables asociadas a la presencia de incendios en Durango, México, durante el período 2001 a 2010.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

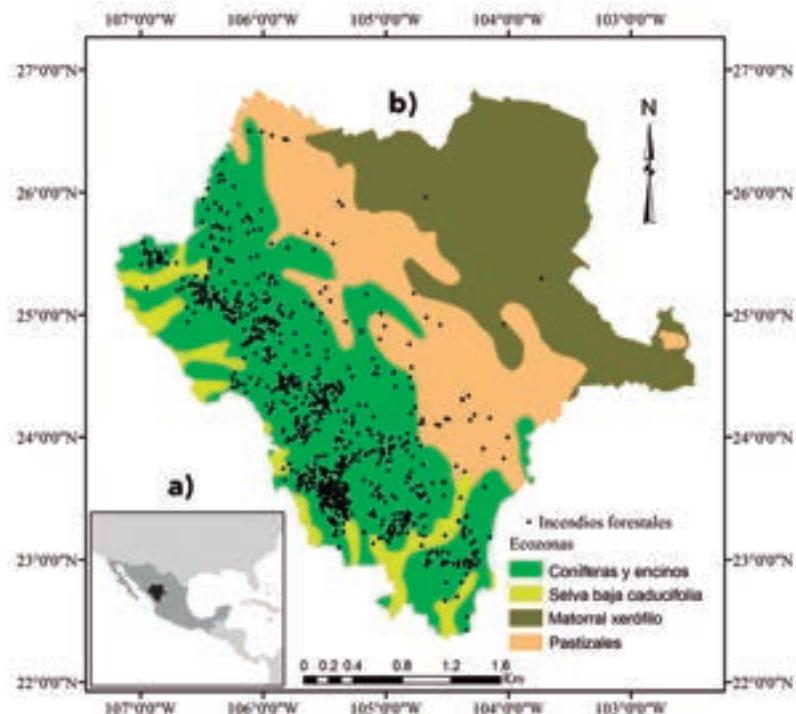
El área de estudio correspondió al estado de Durango, que se encuentra ubicado en el noroeste de México con coordenadas  $22^{\circ}16'-26^{\circ}53'$  N,  $102^{\circ}29'-107^{\circ}16'$  W, y cubre una superficie de 123.181 km<sup>2</sup>, con alta diversidad de ecosistemas. Está dividido en cuatro zonas ecológicas, que son grandes unidades que contienen paisajes

de clima, topografía y vegetación similares (Figura 1). Asimismo, en dicho mapa se presenta la distribución de la incidencia de los incendios durante el período de estudio sobre los diferentes ecosistemas, de acuerdo a la información proporcionada por la delegación estatal de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). Las coníferas y encinos incluyen diferentes especies de pinos y encinos, que se aprovechan para las actividades comerciales y están situados en la meseta de la Sierra Madre Occidental. La selva baja caducifolia se encuentra en uno de los grandes cañones que atraviesan el irregular terreno y se compone principalmente de especies tropicales y subtropicales. Los matorrales xerófilos tienen una capacidad de adaptación en áreas secas y salinas (Pompa y Hernández, 2012). Además, los pastizales son grandes áreas con diferentes especies de gramíneas y a veces mezclado con

### Figura 1.

Localización del área de estudio: a) Continente americano donde se destaca con gris oscuro a México y con negro al estado de Durango; b) estado de Durango indicando las ecozonas y los incendios forestales de 2001 a 2010.

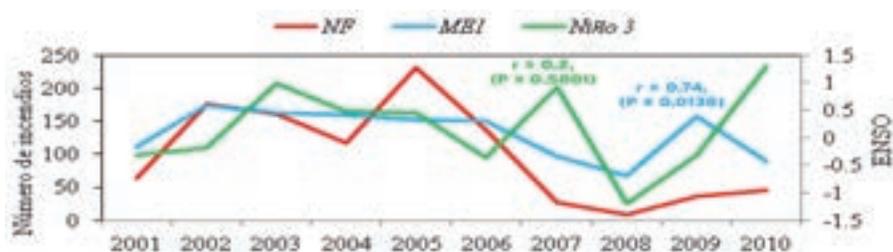
Figure 1. Location of the study area: a) American continent where the country of Mexico is highlighted in dark gray and Durango State in black; b) Durango State showing ecozones and forest fires from 2001 to 2010.



**Figura 2.**

Asociación gráfica entre el número de incendios (NF), y fenómenos ENSO (MEI y Niño 3) de 2001 a 2010; r es el coeficiente de correlación y P el nivel de significancia.

Figure 2. Graphic association between number of forest fires (NF) and ENSO phenomena (MEI and Niño 3) from 2001 to 2010; r means correlation coefficient and P is significance level.



matorrales en terrenos pedregosos, que se utilizan principalmente para pastoreo de ganado. La mayoría de los ecosistemas son de propiedad comunal, aunque existen algunos de propiedad privada (Pompa y Montiel, 2012).

**Análisis de la información**

Para determinar la influencia detallada de MEI y Niño 3 en NF, se realizó un análisis de correlación utilizando el coeficiente de Pearson, con el software SAS/STAT® (SAS Institute Inc., 2004). Su expresión es:

$$r_{xy} = \frac{Cov(x, y)}{\sigma_x \cdot \sigma_y}$$

Donde  $r_{xy}$  es la correlación,  $Cov(x, y)$  es la covarianza, y  $\sigma_x, \sigma_y$  son las desviaciones estándar entre dos variables aleatorias "x" y "y", respectivamente. NF fue obtenido a partir del registro diario de reportes de incendios forestales de la CONAFOR, resultando en 1004 incendios de 2001 a 2010. En adición, se utilizaron dos índices ENSO: El MEI, definido como el primer componente de variación estacional de seis variables atmosféricas-oceánicas de la cuenca del pacífico (Wolter y Timlin 2011); sus datos fueron obtenidos desde <http://www.esrl.noaa.gov/psd/enso/mei/table.html> para cada uno de los años bajo estudio. El Niño 3, el cual es calculado como la diferencia estandarizada de la presión atmosférica al nivel del mar entre Tahití en el este del Pacífico y Darwin en el norte de Australia; sus valores fueron obtenidos desde <http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/Indices/nino/EXTENDED/>.

Finalmente, se efectuó una regresión lineal con el software SAS/STAT® (SAS, 2004), para construir un modelo que explique a NF en función directa del valor anual promedio del índice ENSO ( $P < 0.1$ ).

**RESULTADOS**

La presencia de incendios varió desde 9 (para el año 2008) hasta los 231 (para el año 2005), mostrando gran diferencia en su ocurrencia. Los coeficientes de Pearson variaron de 0.2 hasta 0.74 para Niño 3 y MEI, respectivamente (Figura 2). Aunque gráficamente se observó consistencia entre NF y los fenómenos ENSO, sólo MEI resultó significativo. Ello indica, que MEI tiene relación directa con la presencia de incendios forestales en el área de estudio. Respecto al procedimiento de regresión, el modelo desarrollado explicó un 55 % ( $P < 0.10$ ) de la variación de NF (Tabla 1), lo que sugiere un adecuado potencial para explicar la ocurrencia de incendios.

**DISCUSIÓN**

Los resultados muestran el potencial de MEI para explicar la presencia de incendios. Los coeficientes de correlación son similares a otros reportados a escala mundial (Chen y col., 2011), como para zonas vecinas en México (Yocom y col., 2010). Estos hallazgos confirman que el ENSO, vía sus efectos en la precipitación (Stahle y col., 2012), es un factor climático de gran escala que tiene una influencia sólida sobre la actividad de los incendios forestales, con sus consecuentes cambios de usos de suelo. Los resultados de la Tabla 1 fueron consistentes con la correlación de la Figura 2, y también

sugieren que el ENSO puede ser un medio para predecir la magnitud de la actividad del fuego antes de su aparición (Barnston y col. 2010; Holz y Veblen, 2011). Incluso se podría reconstruir su conducta histórica con base en registros previos de MEI, al menos desde 1950 (Wolter y Timlin, 2011). Grandes eventos del fuego, como los ocurridos durante el 2005 (Figura 2), pueden atribuirse a las fases cálidas del ENSO, que impactan en los regímenes de precipitación. Sus efectos incluyen la liberación de significativas cantidades de dióxido de carbono, serias amenazas a la fauna y repercusiones en la hidrología de los ecosistemas (Goldammer, 2007).

A pesar de que MEI y Niño 3 muestran tendencias similares en la Figura 2, MEI resultó con mejor ventaja según los resultados de correlación y regresión. Para Wolter y Timlin (2011), esto se debe a que los índices convencionales permanecen fijos en su dominio espacial, mientras que MEI permite variaciones geográficas de sus variables de acuerdo al ciclo estacional. Esto tiene correspondencia con los resultados reportados por Pompa y Montiel (2012), donde la concentración de incendios varía anualmente, como se muestra en la Figura 3.

Aunque el objetivo de este trabajo no fue hacer un análisis entre ecozonas, es evidente que existen variaciones entre ellas bajo un patrón espacial y temporal. Este

**Tabla 1.**

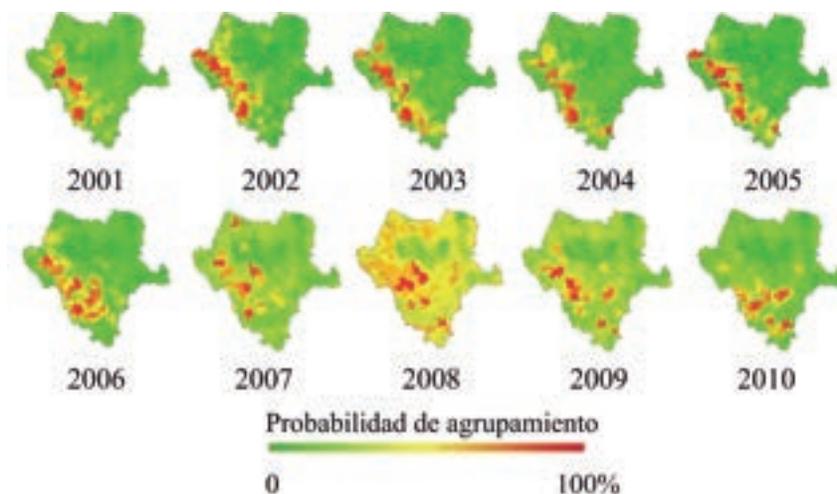
Modelo seleccionado para NF con el procedimiento de regresión ( $P < 0.10$ ).

Table 1. Selected model for NF with regression approach ( $P < 0.10$ ).

Modelo	Variable	Parámetro estimado	Error Estándar	Cuadrado Medio del Error	R <sup>2</sup>	Pr > F
NF	Intercepto	89.475 75	17.119 71	2 810	0.55	0.000 8
	MEI	125.421 93	39.909 62			0.0138

**Figura 3.**

Intensidad espacial estimada de ocurrencia anual de incendios forestales en Durango de 2001 a 2010. Figure 3. Estimated spatial intensity of annual occurrence of forest fires in Durango from 2001 to 2010.



tipo de análisis requiere mayores datos para monitorear la conducta del fuego (Flannigan y col., 2005). Esta diversidad tiene correspondencia con el MEI, dado que su ocurrencia se basa en múltiples variables, más que en un solo campo como lo hace el Niño 3.

Una de las limitaciones del análisis es la temporalidad de los incendios forestales (una década), por lo cual los resultados reafirman la importancia de registrar los incendios históricos desde el mayor tiempo posible. Esto es consistente con lo documentado por Van-Wagner (1988), Rollins y col. (2002) y Podur y col. (2003), quienes observaron que los registros previos han sido de utilidad para conceptualizar donde los incendios pueden aparecer y por ende reducir el impacto potencial que puedan alcanzar. Sin embargo, estos datos por sí solos son limitados para evaluar el riesgo y/o peligro de incendio (Stratton, 2006). Ello exige considerar el papel relativo de otros componentes que tienen influencia en la presencia de incendios forestales (Pompa y col., 2012a).

### CONCLUSIONES

Se encontró que ENSO tiene conectividad con la ocurrencia de incendios en el estado de Durango. Tales conexiones han sido principalmente detectadas por el MEI en sus fases positivas (Episodios el Niño). MEI resultó mejor que los índices convencionales (i.e. Niño 3), debido a que utiliza un conjunto de variables alternativas robustas, como la presión atmosférica, velocidad del viento, temperaturas y nubosidad. También posibilita el pronóstico de la actividad del fuego, así como sus reconstrucciones históricas. Estos resultados constituyen elementos fundamentales para diseñar mejores estrategias del manejo del fuego,

particularmente ante las tendencias de cambios climáticos. Es necesario además investigar el papel asociado que tienen otros factores como combustibles, características del ecosistema y otros elementos del clima. ||

### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue posible gracias al apoyo del CONACYT, a través del Programa de

Fortalecimiento Académico, al Posgrado de Alta Calidad del DICAF-UJED. También se expresa gratitud a James Allen por su apoyo hospitalario en la Forestry School de la NAU. Se agradece a la delegación estatal de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) por la disposición de datos. Así mismo, se reconocen los comentarios de árbitros y editores que mejoraron el manuscrito.

### REFERENCIAS

Avila, D., Pompa, M., Antonio, X., Rodríguez, D., Vargas, P., and Santillán P. J. (2010a). Driving factors for forest fire occurrence in Durango State of Mexico: A geospatial perspective. *Chinese Geographical Science*. 20(6): 491-497.

Avila, D., Pompa, M., and Vargas, E. (2010b). Spatial analysis of fire occurrence in the Durango State. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales*. 16(2): 253-260.

Barnston, A. G., Li, S., Mason, S. J., DeWitt, D. G., Goddard, L., and Gong, X. (2010). Verification of the First 11 Years of IRI's

Seasonal Climate Forecasts. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*. 49: 493-520.

Cerano-Paredes, J., Villanueva-Díaz, J., Valdez-Cepeda, R. D., Arreola-Avila, J. G., and Constante-García, V. (2011). Effects of The El Niño Southern Oscillation on precipitation in the upper Nazas river watershed. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales*. 18: 207-215.

Chen, Y., Randerson, J. T., Morton, D. C., DeFries, R. S., Collatz, G. J., Kasibhatla, P. S., Giglio, L., Jin, Y., and Malier, M. E. (2011). Forecasting fire season severity in South America

using sea surface temperature anomalies. *Science*. 334: 787-791.

Drury, A. and Veblen, T. (2008). Spatial and temporal variability in fire occurrence within the Las Bayas Forestry Reserve, Durango, Mexico. *Plant Ecology*. 197(2): 299-316.

Flannigan, D., Logan, A., Amiro, D., Skinner, R., and Stocks, J. (2005). Future area burned in Canada. *Climatic Change*. 72: 1-16.

Flasse, P. and Ceccato, P. (1996). A contextual algorithm for AVHRR fire detection. *International Journal of Remote Sensing*. 17: 419-424.

- Giglio, L., Desclotres, J., Justice, O., and Kaufman, J. (2003). An enhanced contextual fire detection algorithm for MODIS. *Remote Sensing of Environment*. 87: 273–282.
- Goldammer, J. (2007). History of equatorial vegetation fires and fire research in Southeast Asia before the 1997–1998 episode: a reconstruction of creeping environmental changes. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*. 12: 13–32.
- Gollberg, E., Neuenschwander, F., and Ryan, C. (2001). Introduction: Integrating spatial technologies and ecological principles for a new age in fire management. *International Journal of Wildland Fire*. 10: 263–265.
- Holz, A. and Veblen, T. T. (2011). Variability in the Southern Annular Mode determines wildfire activity in Patagonia. *Geophysical Research Letters*. 38: 16, L14710.
- Jiménez, J. y Alanís, E. (2011). Análisis de la frecuencia de los incendios forestales en la Sierra Madre Oriental y Occidental del norte de México y sur de Estados Unidos de América. *Ciencia UANL*. 14(3): 255-263.
- Podur, J., Martell, L., and Csillag, F. (2003). Spatial patterns of lightning-caused forest fires in Ontario, 1976–1998. *Ecological Modelling*. 164: 1–20.
- Pompa-García, M., y Hernández, G. P. (2012). Determinación de la tendencia espacial de los puntos de calor como estrategia para monitorear los incendios forestales en Durango, México. *Bosque*. 33(1): 63-68
- Pompa-García, M. and Montiel-Antuna, E. (2012). Fire Ignition Trends In Durango, México. 195-200 Pp. Editor, Dr. Okia Clement Akais. Forestry / Book 2; chapter 11: 191-204. *Intech Open Acces Publisher*. 2 (ISBN: 978-953-308-572-2) Doi: 10.5772/32875.
- Pompa-García, M., Vázquez-Vázquez, L., Zapata-Molina, M. y Solís-Moreno, R. (2012a). Modelo conceptual del potencial de incendios forestales en Durango: avances preliminares. *Revista mexicana de ciencias forestales*. 3(13): 95-102.
- Pompa-García, M., Zapata-Molina, M., Hernández-Díaz, C., and Rodríguez-Téllez, E. (2012b). Geospatial Model as Strategy to Prevent Forest Fires: A Case Study. *Journal of Environmental Protection*. 3(9): 1034-1038.
- Pompa-García, M. and Jurado, E. (2013). Seasonal precipitation reconstruction and teleconnections with ENSO based on tree ring analysis of *Pinus cooperi*. *Theoretical and Applied Climatology*. 4: 1-2.
- Rollins, G., Morgan, P., and Swetnam, T. (2002). Landscape-scale controls over 20th century fire occurrence in two large Rocky Mountain (USA) wilderness areas. *Landscape Ecology*. 17: 539–557.
- SAS, Statistical Analysis System (2004). *SAS User's Guide Statistics. Release 9.1*. North Carolina, USA: SAS Institute Inc. 2170 Pp.
- Sepúlveda, R., Meza, W., Zúñiga, G., Solís, G. y Olguín, E. (2001). *SIG para determinar riesgo de incendios forestales en el noroeste de México*. Publicación Técnica Núm. 1. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental, Costa de Ensenada. Ensenada, México. 37 Pp.
- Stratton, D. (2006). *Guidance on spatial wildland fire analysis: models, tools, and techniques*. General Technical Report RMRS-GTR-183. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 15 Pp.
- Van-Wagner, E. (1988). The historical pattern of annual burned area in Canada. *Forestry Chronicle*. 64: 182–185.
- Stahle, D. W., Burnette, D. J., Villanueva-Diaz, J., Heim, R. R. Jr., Fye, F. K., Cerano-Paredes, J., Acuna-Soto, R., and Cleaveland, M. K. (2012). Pacific and Atlantic influences on Mesoamerican climate over the past millennium. *Climate Dynamics*. 39(6): 1431–1446.
- Wolter, K. and Timlin, M.S. (1993) *Monitoring ENSO in COADS with a seasonally adjusted principal component index*. Proc. of the 17th Climate Diagnostics Workshop, Norman, OK, NOAA/NMC/CAC, NSSL, Oklahoma Clim. Survey, CIMMS ad the School of Meteor., University of Oklahoma. 52-57 Pp.
- Wolter, K. and Timlin, M.S. (1998). Measuring the strength of ENSO events - how does 1997/98 rank? *Weather*. 53: 315-324.
- Wolter, K. and Timlin, M.S. (2011). El Niño/Southern Oscillation behavior since 1871 as diagnosed in an extended multivariate ENSO index (MEI. ext), *International Journal of Climatology*. 31: 1074–1087.
- Yocom, L. L., Fule, P. Z., Brown, P. M., Cerano, P. J., Villanueva-Diaz, J., Falk, D. A. and Cornejo, O. E. (2010). El Niño-Southern Oscillation effect on a fire regime in northeastern Mexico has changed over time. *Ecology*. 91: 1660–1671.

# RESPUESTA DEL CARNÍVORO *PLICOPURPURA PANSA* (MOLLUSCA: GASTROPODA) Y EL HERBÍVORO *CHITON ARTICULATUS* (MOLLUSCA: POLYPLACOPHORA) A FACTORES AMBIENTALES EN ACAPULCO, MÉXICO

RESPONSE OF THE CARNIVOROUS *PLICOPURPURA PANSA* (MOLLUSCA: GASTROPODA) AND THE HERBIVOROUS *CHITON ARTICULATUS* (MOLLUSCA: POLYPLACOPHORA) TO ENVIRONMENTAL FACTORS IN ACAPULCO, MEXICO

Sergio García-Ibáñez<sup>1\*</sup>,  
Pedro Flores-Rodríguez<sup>2</sup>,  
José Trinidad Nieto-Navarro<sup>3</sup>,  
Rafael Flores-Garza<sup>2</sup> e  
Iván Eduardo Bernabé-Moreno<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio de Ecología Cuantitativa. <sup>2</sup>Laboratorio de Ecología Costera y Sustentabilidad. Unidad Académica de Ecología Marina. Universidad Autónoma de Guerrero. Gran Vía Tropical No. 20, Fraccionamiento Las Playas, Acapulco, Guerrero, México, C.P. 39390. <sup>3</sup>Posgrado en Ciencias Biológicas Agropecuarias. Universidad Autónoma de Nayarit. Ciudad de la Cultura "Amado Nervo", Tepic, Nayarit, México, C.P. 63155.

\*Autor para correspondencia: [sergariba@yahoo.com.mx](mailto:sergariba@yahoo.com.mx)

Fecha de recepción: 31 de octubre de 2013 / Fecha de aceptación: 30 de enero de 2014.

## RESUMEN

El gasterópodo *Plicopurpura pansa* y el poliplacóforo *Chiton articulatus*, cohabitan en la zona intermareal rocosa del Pacífico tropical Mexicano. Se ha reportado que *P. pansa* es un depredador de *C. articulatus*, y que ambas son especies abundantes y dominantes en la costa rocosa de Acapulco, Guerrero, México. El presente estudio analizó los patrones de respuesta de la densidad relativa y longitudes de ambas especies a cinco factores

ambientales registrados en cuatro localidades rocosas de esta región. Durante octubre y diciembre de 2010, así como febrero y abril de 2011, se realizaron muestreos sistemáticos. Los sitios de estudio difirieron en la complejidad del sustrato y oleaje. Se registró el número de organismos por metro cuadrado y su longitud total, así como la temperatura del mar, salinidad y clorofila- $\alpha$ . Las densidades relativas de cada especie variaron entre los sitios de estudio y en todos los casos fueron

mayores a 1.0 org/m<sup>2</sup>. Se observó una relación de la longitud del poliplacóforo con la temperatura del mar, salinidad y clorofila- $\alpha$ ; una relación de la abundancia y longitud del gasterópodo con la complejidad del sustrato; y por último, una mayor abundancia del poliplacóforo en zonas de alto oleaje. También, se observaron comportamientos diferenciados de las especies en función de las características de los sitios rocosos y de los factores ambientales. La abundancia y longitud del

carnívoro *P. pansa* estuvieron estrechamente relacionadas con el tipo de sustrato rocoso. En el caso del poliplacóforo *C. articulatus*, a través del tiempo, su longitud se asocia con parámetros físico-químicos del mar; mientras que a nivel espacial, sus abundancias se relacionan con el tipo de sustrato y la intensidad de oleaje.

## PALABRAS CLAVE:

factores ambientales, moluscos, intermareal rocoso.

## ABSTRACT

Gastropod *Plicopurpura pansa* and polyplacophoran *Chiton articulatus* are species that coexist in the rocky intertidal of the Mexican tropical Pacific. It has been reported that *P. pansa* is a predator of *C. articulatus*, and both are abundant and dominant species on the rocky coast of Acapulco, Guerrero, Mexico. This study analyzed the response patterns of relative density and lengths of both species to five specific environmental factors at four rocky shores of this region. During the periods October-December 2010, and February-April 2011, systematic samples of both species were collected. Study sites differed in the complexity of substratum and waves. The number of organisms per square meter and total lengths were recorded, as well as sea temperature, salinity and chlorophyll- $\alpha$ . Relative densities of each species varied in the study sites and in all cases they were greater than 1.0 org/m<sup>2</sup>. We observed a relationship between polyplacophoran length, and sea temperature, salinity and chlorophyll- $\alpha$ ; a relationship between the length and abundance of the gastropod, and substratum complexity; and finally, we observed a greater abundance of polyplacophoran in the areas of high waves. Differentiated behaviors of both species were also observed, depending on the characteristics of the rocky shore and environmental factors. The abundance and length of the carnivorous *P. pansa* were closely related to the characteristics of the rocky shore surface. Over time, the length of herbivorous *C. articulatus* was associated with physical and chemical parameters of the sea; while spatially, abundances were

related to substratum type and wave intensity.

**KEYWORDS:** environmental factors, mollusks, rocky shore.

## INTRODUCCIÓN

El gasterópodo carnívoro-carroñero *P. pansa* (Gould, 1853) y el poliplacóforo herbívoro *C. (Chiton) articulatus* Sowerby in Broderip and Sowerby, 1832, son especies que habitan en la zona intermareal rocosa e interactúan bajo una relación depredador-presa de dicho sistema. Diversos estudios han demostrado, que en la costa de Guerrero, ambas especies son abundantes, dominantes y que presentan altas densidades; en lo que respecta a las longitudes, se ha evidenciado que *C. articulatus* presenta mayores tallas con respecto a otras especies de moluscos poliplacóforos, mientras que *P. pansa* registra las menores

tallas en comparación a distintos trabajos de la misma especie efectuados en otras entidades federativas (Holguín y Michel-Morfín, 2002; Valdés-González y col., 2004; Flores-Campaña y col., 2007; Flores-Rodríguez y col., 2007; García-Ibáñez y col., 2007; Flores-Garza y col., 2012a; Flores-Garza y col., 2012b).

Por otra parte, se destaca el hecho de que ambas especies actualmente se utilizan para el consumo humano (Holguín-Quiñones, 2006; Flores-Garza y col., 2012c; García-Ibáñez y col., 2012; García-Ibáñez y col., 2013; Olea-de la Cruz y col., 2013). Sin embargo, en el caso de *P. pansa* dicha actividad puede considerarse como furtiva, dado que es una especie protegida por la norma NOM-059-ECOL-2010 (Anónimo, 2010), con un estatus de protección especial.

Diversos estudios enfatizan el hecho de que las características

asociadas al sustrato y exposición al oleaje, entre otros factores ambientales, influyen en la diversidad funcional y dinámica de los sistemas ecológicos (Garrity y Leavings, 1981; Rojas, 1988; Barbosa y col., 2009; Aguilera y Navarrete, 2011; Aguilera y Navarrete, 2012; Flores-Campaña y col., 2012; Ávila-Poveda, 2013; Ávila-Poveda y Abadía-Chanona, 2013).

La presente investigación analizó los patrones de respuesta de las especies *P. pansa* y *C. articulatus* a los factores ambientales de cuatro localidades rocosas, tales como la complejidad y estructura del sustrato, intensidad de oleaje, temperatura promedio del mar, salinidad y clorofila- $\alpha$ , bajo el supuesto de que dada la relativa cercanía de los sitios, las densidades y longitudes totales de las especies son similares.

## Figura 1.

Sitios de estudio en la costa rocosa de Acapulco, Guerrero, México.

Figure 1. Study sites on the rocky coast of Acapulco, Guerrero, Mexico.



## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

El Estado de Guerrero, se encuentra situado en el sur de la República Mexicana y se localiza entre los 16°18' y 18°48' de latitud norte y los 98°03' y 102°12' de longitud oeste. Carranza-Edwards y col. (1975), mencionan que la costa guerrerense tiene una longitud aproximada de 470 km y la clasifican como costa de colisión continental. El presente estudio se llevó a cabo en cuatro sitios rocosos costeros del municipio de Acapulco de Juárez, el cual se ubica entre los paralelos 16°41' y 17°13' de latitud norte y los 99°32' y 99°58' de longitud oeste (Figura 1).

La descripción de lugares es como se señala a continuación: 1) Los Pilares: extensión rocosa ubicada entre los 16°49'19.28''N y 99°54'05.01''O, de alta intensidad de oleaje y de alta complejidad (diaclasas, rugosidades y fracturas); 2) Jaramillo: sitio rocoso de acumulación ubica-

do entre los 16°52'24.14''N y 99°56'24.94''O, de alta intensidad de oleaje y presencia de bloques de tamaño variable con baja complejidad; 3) Majahua: sitio rocoso de acumulación que se ubica entre los 16°47'41.61''N y 99°50'32.0''O, con baja intensidad de oleaje y bloques de tamaño variable, con baja complejidad; 4) Palmitas: extensión rocosa ubicada entre los 16°49'25.58''N y 99°54'41.51''O, de baja intensidad de oleaje y de alta complejidad (Figura 2).

### Materiales

Durante los meses de octubre y diciembre de 2010, así como de febrero y abril de 2011, se realizaron muestreos en la zona intermareal rocosa, en horas de marea baja y en fases de luna nueva. Para delimitar el área de trabajo, en cada sitio se colocó un transecto paralelo a la línea de costa, con anchura de un metro. Se utilizó un cuadrante de 1 m de lado como unidad de muestreo. Se aplicó un diseño sistemático,

seleccionando al azar el punto de inicio dentro de tres previamente definidos. Cada cuadrante fue examinado, y con ayuda de una espátula cuidadosamente se retiraron todos los ejemplares de *P. pansa* y *C. articulatus*, depositándolos en bolsas de plástico separadas y etiquetadas. Al concluir cada unidad muestral o réplica se dejaba un espacio de dos metros y se continuaba con el muestreo, hasta sumar un total de 20 m<sup>2</sup> por sitio y fecha. Se registró la longitud total (L<sub>t</sub>) de ambas especies con un calibrador digital marca Surtek, (modelo 122204 con precisión 0.001 mm; Shanghai, China).

Para *P. pansa*, L<sub>t</sub> se determinó partiendo desde la punta del ápice hasta la abertura del canal sifonal, y para *C. articulatus*, L<sub>t</sub> se consideró como el punto más distante entre la valva anal y valva cefálica, tomando en cuenta el cinturón. La determinación de ambas especies se apoyó con literatura especializada (Keen, 1971; Reyes-

Gómez, 2004), y la sistemática de ambas especies se actualizó de acuerdo a Skoglund (2002) y Sirenko (2006).

Semanalmente, se hizo el registro de parámetros ambientales, para lo cual se utilizó una sonda multiparámetros YSI (modelo 6920V2; Yellow Springs, Ohio, Estados Unidos), anotando los valores de la temperatura promedio del mar (°C), salinidad (mg/L) y clorofila-*a* (µg/L).

### Métodos estadísticos

Para ambas especies, por sitio de estudio se determinó la densidad relativa (org/m<sup>2</sup>) y su desviación estándar (DE); en el caso de la (L<sub>t</sub>) se calcularon el promedio ( $\bar{x}$ ) y DE. Para determinar diferencias significativas de las densidades relativas, así como de las longitudes totales de cada especie entre los sitios de estudio, se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis (K-W), realizando comparaciones múltiples de medias para determinar grupos con el estadístico de Scheffe.

## Figura 2.

Vista panorámica del sitio "Palmitas", Isla La Roqueta, Acapulco, Guerrero, México.

Figure 2. Panoramic view of the site "Palmitas", Isla La Roqueta, Acapulco, Guerrero, Mexico.



**Tabla 1.**

Clasificación de variables de estudio.

Table 1. Classification of study variables.

Por fecha de estudio se calcularon estadísticos descriptivos como el  $\bar{x}$  y DE de las variables o factores ambientales, además del coeficiente de variación (C.V.), el cual se obtuvo dividiendo la desviación estándar entre la media, y multiplicando el resultado por 100.

Para determinar la relación de las variables ambientales con la frecuencia de aparición y longitudes de ambas especies, se aplicó un análisis multivariado de datos con la técnica de análisis de componentes principales (ACP); dicho análisis se efectúa con una matriz de correlaciones con la finalidad de obtener  $n$  componentes ortogonales que permitan la mejor interpretación de la relación

	Variable	Abreviatura	Tipo	Unidad de medición o escala
Factores ambientales	Temperatura promedio del mar	TempProm	Numérica	°C
	Salinidad	Salini	Numérica	mg/L
	Clorofila- $\alpha$	Cloro	Numérica	$\mu\text{g/L}$
	Exposición al oleaje	Exposi	Categórica	Baja intensidad Alta intensidad
Indicadores biológicos	Complejidad del sustrato	Compleji	Categórica	Baja complejidad Alta complejidad
	Frecuencia de <i>P. pansa</i>	FrecPp	Numérica	Número de organismos por unidad de muestreo (1 m <sup>2</sup> )
	Frecuencia de <i>C. articulatus</i>	FrecCa	Numérica	Número de organismos por unidad de muestreo (1 m <sup>2</sup> )
	Longitud de <i>P. pansa</i>	LongPp	Numérica	mm
	Longitud de <i>C. articulatus</i>	LongCa	Numérica	mm

entre variables (Tabla 1). Las rutinas estadísticas del ACP consistieron en: I) obtención de una matriz de correlaciones bivariadas y su determinante; II) revisión de la adecuación de

la muestra y comprobación de que la matriz de correlaciones no es una matriz identidad, aplicando los estadísticos Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) y la prueba de esfericidad de

Bartlett, respectivamente; III) determinación de la correlación parcial de variables, a través del cálculo de la matriz anti-imagen y verificación de los valores de la diagonal principal; IV) varianza total explicada (por el modelo), varianza explicada por variable (comunalidades), número de componentes extraídos, y saturación de las variables en los componentes; V) rotación por el método de máxima varianza.

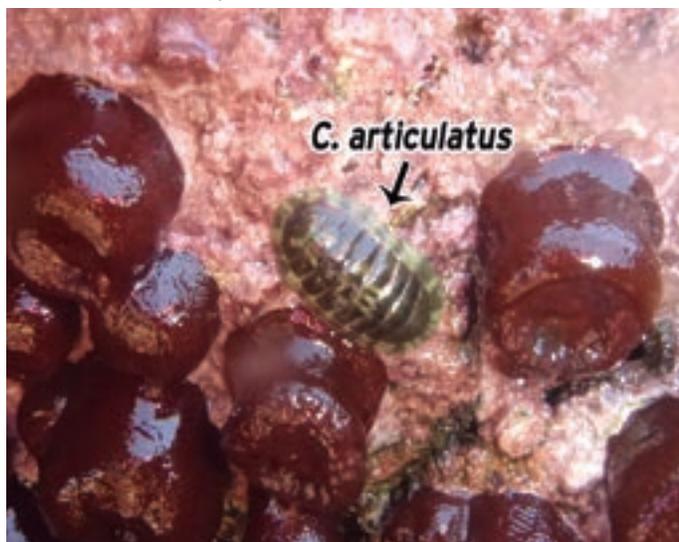
## RESULTADOS

Se recolectaron 2 925 ejemplares de ambas especies, de los cuales, 745 correspondieron a la especie *P. pansa*, y 2 180 a *C. articulatus* (Figura 3a y 3b). Las densidades relativas de cada especie presentaron gran variación entre los sitios de estudio y en todos los casos siempre fueron mayores a 1.0 org/m<sup>2</sup>. De esta manera, *P. pansa* registró sus mayores densidades en los sitios Los Pilares y Palmitas (K-W,  $X^2 = 43.60$ ,  $P = 0.0$ ), mientras que *C. articulatus* las presentó

**Figura 3a.**

Ejemplares de la especie *C. articulatus* cohabitando con otros invertebrados en la costa rocosa.

Figure 3a. Specimens of the species *C. articulatus* cohabiting with other invertebrates on the rocky shore.

**Figura 3b.**

Ejemplar de la especie *P. pansa*, en la costa rocosa.

Figure 3b. Specimen of the specie *P. pansa* on the rocky shore.



**Tabla 2.**

Estadísticos descriptivos de la densidad y longitud total de ambas especies.

Table 2. Descriptive statistics of the density and total length of both species.

en Jaramillo, Los Pilares y Majahua (K-W,  $X^2 = 27.52$ ,  $P = 0.0$ ). Con respecto a  $L_t$ , en el caso de *P. pansa* se observó que el mayor valor se presentó en el sitio Jaramillo y el menor en el sitio Palmitas (K-W,  $X^2 = 100.30$ ,  $P = 0.0$ ); para *C. articulatus*, las mayores longitudes se determinaron en Majahua, Jaramillo y Los Pilares (K-W,  $X^2 = 60.80$ ,  $P = 0.0$ ) (Tabla 2).

En cuanto a las variables ambientales, se observó que a través del tiempo, tanto la temperatura promedio del mar (TempProm) como salinidad (Salini), presentaron valores promedio mensuales muy cercanos, así como desviaciones estándar pequeñas; caso contrario fue la variable Clorofila- $\alpha$  (Cloro), cuyos valores promedio mensuales tuvieron mayor fluctuación y valores más grandes de la desviación estándar. Dicho comportamiento se corroboró con el coeficiente de variación, donde se observa que el mayor valor lo presentó Cloro, y en el caso de TempProm y Salini fueron pequeños (Tabla 3).

A partir del ACP realizado con nueve variables (Cloro, TempProm, Salini, Exposi, Compleji, FrecPp, FrecCa, LongPp y LongCa), se observó que de 36 valores de correlación bivariada calculados, un total de 19 fueron significativos ( $P \leq 0.05$ ), presentándose en una escala de -0.90 a 0.52, donde la relación TempProm-Salini presentó la mayor asociación negativa y LongPp-FrecPp la mayor asociación positiva. El valor del determinante fue de

Especie	Sitios	n	Densidad		$L_t$	
			$\bar{X}$	DE	$\bar{X}$	DE
<i>P. pansa</i>	Los Pilares	279	4.65	5.01	22.64	5.49
	Jaramillo	54	1.23	2.82	25.86	4.02
	Majahua	142	1.78	2.69	21.52	4.13
	Palmitas	270	3.38	2.93	19.84	4.83
<i>C. articulatus</i>	Los Pilares	583	9.72	11.37	22.69	12.64
	Jaramillo	640	14.55	19.54	24.44	14.11
	Majahua	594	7.43	9.89	24.91	12.82
	Palmitas	363	4.54	8.12	18.78	11.81

0.049, sugiriendo linealidad entre variables. El estadístico KMO presentó un valor de 0.54, por lo que el tamaño de muestra se consideró aceptable. La prueba de Esfericidad de Bartlett resultó significativa ( $X^2 = 779.700$ , g.l.=36;  $P = 0.0$ ), confirmando la relación lineal entre variables. Los valores de la diagonal principal de la matriz antiimagen fluctuaron entre 0.256 (Cloro) y 0.853 (LongCa), lo que evidenció correlación parcial de variables. En función de los autovalores (eigen valores) y la saturación de las variables, se extrajeron tres componentes con una varianza total explicada de 60.55 %, donde el primer componente aportó un 27.92 %, el segundo 18.94 % y el tercero 13.69 %. En lo que respecta a las comunalidades, el menor valor lo presentó Cloro (0.146), y el mayor TempProm (0.917).

El primer componente recibió el nombre de "Ambiente y longitud del herbívoro", en el cual saturaron las variables TempProm, Salini, Cloro y LongCa; al segundo componente se le denominó "Microhábitat, longitud y abundancia del carnívoro" y saturaron Compleji, FrecPp y LongPp; el tercer componente se denominó "Intensidad de oleaje y abundancia del herbívoro" y saturaron Exposi y FrecCa (Tabla 4, Figura 4).

**Tabla 3.**

Estadísticos descriptivos de los factores ambientales.

Table 3. Descriptive statistics of environmental factors variables.

Mes	Factores ambientales					
	TempProm (°C)		Salini (mg/L)		Cloro ( $\mu\text{g/L}$ )	
	$\bar{X}$	DE	$\bar{X}$	DE	$\bar{X}$	DE
<b>Octubre 2010</b>	26.32	1.39	34.02	0.40	3.26	1.61
<b>Diciembre 2010</b>	26.25	0.69	34.96	0.17	2.40	1.39
<b>Febrero 2011</b>	25.35	0.86	35.76	0.12	1.44	0.94
<b>Abril 2011</b>	26.13	0.92	36.06	0.09	3.80	2.31
<b>C.V.</b>	4.35 %		2.57 %		70.40 %	

## DISCUSIÓN

Tanto el caracol *P. pansa* como el poliplacóforo *C. articulatus* presentaron altas densidades en todos los sitios y fechas de estudio, lo que por una parte permitió constatar la dominancia de las especies, así como también observar y comparar los cambios en sus abundancias (temporo-espaciales) como respuesta entre otros aspectos, a las variaciones locales del hábitat en conjunción con el efecto de condiciones del ambiente. A pesar de la relativa corta distancia entre los sitios de estudio, y del aparente efecto similar de las mismas condiciones

ambientales, se determinaron diferencias sustanciales en los indicadores biológicos.

En el estado de Guerrero, diversos trabajos han manifestado que tanto el carnívoro-carroñero como el herbívoro, son especies dominantes y abundantes (Tabla 5). Es posible manifestar que los resultados de la presente investigación, coinciden en el hecho de que ambas especies son abundantes y tienen densidades relativas altas. Lo anterior se puede considerar una fortaleza para estudios futuros, ya que la importancia de trabajar con especies domi-

**Tabla 4.**

Matriz de Componentes.  
Table 4. Component matrix.

Variables	Componentes		
	1. Ambiente y longitud del herbívoro	2. Microhábitat, longitud y abundancia del carnívoro	3. intensidad del oleaje y abundancia del herbívoro
LongCa	0.583	0.134	0.374
Cloro	-0.376	0.070	0.010
TempProm	-0.952	-0.085	-0.064
Salini	0.926	0.065	-0.044
FrecPp	0.045	0.808	0.041
Compleji	-0.134	0.694	-0.106
LongPp	0.170	0.782	0.110
FrecCa	0.010	-0.155	0.775
Exposi	0.054	0.153	0.745

nantes y frecuentes es que se puede observar de manera más detallada su respuesta a las condiciones del hábitat y las variaciones ambientales, de tal forma que cambios en dichos parámetros pueden verse reflejados en variaciones de sus abundancias en una escala temporal y espacial.

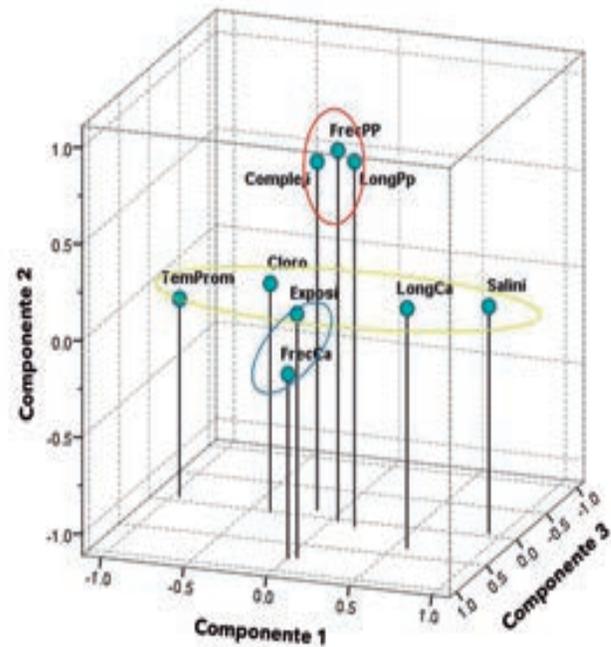
Por otra parte, distintas investigaciones han planteado el hecho de que en la costa rocosa del estado de Guerrero, se han registrado las longitudes promedio más pequeñas de *P. pansa* (Tabla 5), situación que actualmente se observa, ya que el promedio determinado en el presente trabajo es similar a los valores reportados. En el caso de la especie *C. articulatus*, estudios realizados en la costa del estado de Guerrero, mencionan que sus ejemplares alcanzan las mayores tallas en comparación con otros moluscos poliplacóforos,

reportando longitudes promedio que pueden ser consideradas como similares a las obtenidas por la presente investigación; sin embargo, también se destaca que las longitudes obtenidas resultaron ser más pequeñas al compararlas con otras registradas a lo largo del Pacífico Mexicano (Tabla 6). De esta manera, puede decirse que la costa del Estado de Guerrero, se caracteriza por presentar altas densidades y longitudes promedio pequeñas de ambas especies.

Para coadyuvar en la explicación del hecho anterior, García-Ibáñez y col. (2004), mencionan que en el caso de *P. pansa* existe un fenómeno de denso-dependencia ligado al hábitat disponible y densidad relativa de la especie, de tal manera que a mayor densidad se observan menores tallas. Por otra parte, algunas investigaciones

**Figura 4.**

Componentes principales en el espacio.  
Figure 4. Principal components in space.



han manifestado que ambas especies son capturadas para el consumo humano (Flores-Garza y col., 2012c; García-Ibáñez y col., 2012), y que en el caso de *C. articulatus* existe un efecto de la pesca que se expresa en cambios en la distribución de frecuencias de tallas (Holguín y Michel-Morfín, 2002; Flores-Campaña y col., 2007), lo que también se refleja en la reducción progresiva de las longitudes de captura (García-Ibáñez y col., 2013), situación que incluso se ha reportado en otras entidades federativas (Holguín-Quiñones, 2006). En el caso de las regiones costeras de Acapulco y Costa Grande del Estado de Guerrero, Olea-de-la-Cruz y col. (2013), manifiestan que la especie *C. articulatus* es ampliamente demandada, ya que su oferta en distintos puntos de venta es considerada

como frecuente; y en lo que corresponde a *P. pansa*, se destaca que la especie se encuentra en protección especial bajo la norma oficial mexicana NOM-059-ECOL-2010 (Anónimo, 2010), sin embargo, los autores de este trabajo han observado su consumo tanto en restaurantes como en expendios de Acapulco.

En el presente estudio fue posible establecer que los factores fijos, como la complejidad del sustrato rocoso, así como la intensidad de oleaje, influyen en la densidad relativa y longitudes de ambas especies, no obstante, a simple vista no resulta fácil reconocer el gradiente o jerarquía de participación de los factores. De esta manera, en el caso del gasterópodo se observó que sus mayores densidades se presentaron en dos sitios que difieren en cuanto a la

**Tabla 5.**

Densidades relativas y longitudes promedio de *P. pansa* observadas en la costa rocosa de Guerrero, México.  
Table 5. Relative densities and average lengths of *P. pansa* observed on the rocky coast of Guerrero, Mexico.

Autores	Sitio	Densidad (org/m <sup>2</sup> ) y/o Frecuencia (%)	Longitud promedio (mm)	Observaciones
Flores-Rodríguez y col. 2003	Isla La Roqueta	100	No reporta	Especie dominante.
García-Ibañez y col. 2004	Punta Maldonado	1.88	28.3	Consideran que la especie presenta la mayor densidad y menor longitud promedio del Pacífico Mexicano.
	Las Peñitas	6.94	20.1	
	Playa Ventura	3.42	19.6	
	Zoológico	7.56	20.1	
	Palmitas	9.0	17.9	
	Tlacoynque	5.0	26.7	
	B. de Potosí Expuesto	3.13	26.4	
	B. de Potosí Protegido	1.63	28.0	
	Troncones	3.75	22.2	
Total	4.70	21.7		
Valdés-González y col. 2004	Sitio Expuesto	9.3 - 12.85	No reporta	100 % frecuente en ambos sitios.
	Sitio Protegido	6.60 - 9.55		
Flores-Rodríguez y col. 2007	Playa Troncones	100	No reporta	Especie representativa de la comunidad por su abundancia y frecuencia de aparición.
Flores-Garza y col. 2007	Playa Ventura	5.19 ± 4.63	20.10 ± 6.01	La población de caracoles del sitio se caracterizó por presentar tallas pequeñas y densidades altas.
García-Ibañez y col. 2007	Punta Maldonado	3.59	No reporta	No hay comentarios al respecto.
	Las Peñitas	5.71		
	Playa Ventura	5.19		
	Zoológico	10.26		
	Palmitas	8.34		
	Tlacoynque	5.59		
	B. de Potosí Expuesto	4.14		
	B. de Potosí Protegido	0.89		
Troncones	7.93			
Torreblanca-Ramírez y col. 2012	Parque de la Reina	0.10	17.80	Especie común.
Flores-Garza y col. 2012a	Costa Chica	4.83	20.90	Indican que la población de caracoles se caracteriza por presentar tallas pequeñas y altas densidades.
<b>Presente Estudio</b>		<b>1.23 - 4.65</b>	<b>19.84 - 25.86</b>	

intensidad de oleaje, pero que se caracterizan por tener un sustrato rocoso de alta complejidad; aunque en lo que respecta a sus tallas la situación no fue tan precisa.

En cuanto a *C. articulatus*, los mayores valores tanto de densidad relativa como de la longitud total se presentaron en tres sitios; sin embargo, no existió una correspondencia directa entre las características del sitio con ambas variables, es decir, que las mayores tallas del molusco poliplacóforo no necesariamente se relacionaron con la mayor densidad relativa. Por lo tanto, la comparación exclusiva de promedios de la densidad y tallas de ambas especies en función de características del sustrato y de oleaje, no permitieron una definición de grupos precisa.

Sin embargo, al incorporar otras variables como las ambientales y realizar un análisis multivariado, se observó con mayor precisión su efecto sobre los parámetros biológicos de las especies, lo cual se considera que fue debido a que pudo ser incorporada no sólo la correlación lineal entre variables, sino también su correlación parcial.

De esta manera, en lo que respecta al componente "Ambiente y longitud del herbívoro", se destaca que a un decremento de la temperatura superficial del mar y del estimador de la productividad primaria (clorofila-*a*), se observó un incremento en la salinidad, así como en la longitud del *C. articulatus*. Lo anterior exhibe dos

**Tabla 6.**

Densidades relativas y longitudes promedio de *C. articulatus* observadas en la costa rocosa del Pacífico Mexicano.  
Table 6. Relative densities and average lengths of *C. articulatus* observed on the rocky coast of the Mexican Pacific.

Autores y entidad federativa	Sitio	Densidad (org/m <sup>2</sup> ) y/o Frecuencia (%)	Longitud promedio (mm)	Observaciones
Holguín y Michel-Morfin 2002 (Colima)	Bahía Binners	3.72	67.9	Molusco abundante con tallas más grandes que en Acapulco.
	Bahía Braithwaite	8.48	66.5	
	Bahía Grayson	3.86	75.6	
	Bahía Academia	4.38	71.9	
	<b>Total</b>	<b>5.3</b>	<b>69.6</b>	
Valdés-González y col., 2004 (Guerrero)	Isla La Roqueta	0.50 - 1.85	No reporta	Especie común y dominante en el sitio expuesto.
Flores-Campaña y col., 2007 (Sinaloa)	Isla Venados ZP	No reporta	39.4	Tendencia de mayores tallas en zonas expuestas.
	Isla Venados ZE		42.9	
	Isla Pájaros ZP		42.6	
	Isla Pájaros ZE		51.7	
	<b>Total</b>		<b>44.1</b>	
Flores-Rodríguez y col., 2007 (Guerrero)	Playa Troncones	80	No reporta	Especie dominante.
Flores-Garza y col., 2007 (Guerrero)	Playa Ventura	1.71	No reporta	Especie dominante.
Flores-Garza y col., 2011 (Guerrero)	Playa Majahua	0.95	25.19	Especie dominante y poliplacóforo con la mayor talla.
Flores-Rodríguez y col., 2012 (Guerrero)	Playa Carrizalillo	2.38	No reporta	Poliplacóforo de mayor densidad.
	Playa Coral			
	Playa Cometa			
Galeana-Rebolledo y col., 2012 (Guerrero)	Playa Tlacopanocha	0.05	25.34	Especie de poliplacóforo ocasional y de mayor talla.
Torreblanca-Ramírez y col., 2012 (Guerrero)	Parque de la Reina	1.00	21.66 ± 1.07	Especie dominante y poliplacóforo de mayor longitud.
Flores-Garza y col., 2012b (Guerrero)	MPR No. 32	1.89	22.83	Especie dominante de mayor longitud y amplia distribución.
<b>Presente Estudio</b>		<b>4.54 - 14.55</b>	<b>18.78 - 24.91</b>	

situaciones: 1) por las fechas de realización del estudio, la conclusión del período de lluvias y huracanes y el inicio del período de sequía o estiaje, y 2) bajo la óptica de valores máximos y mínimos, un evento

previo de altos niveles de productividad primaria, fue base para la alimentación de *C. articulatus* en dicha temporada, lo que repercutió en el paulatino incremento en longitud del herbívoro.

En términos reproductivos, Rojas (1988), mencionó que a partir de una longitud total de 40 mm, es muy frecuente encontrar ejemplares sexualmente maduros; Ávila-Poveda y Abadía-Chanona

(2013), comentan que los machos alcanzan su madurez sexual en tallas más pequeñas con respecto a las hembras, y para propósitos prácticos, proponen una clasificación donde puede considerarse que en ambos sexos los estadios subjuveniles, juveniles y subadultos se observan en tallas menores a 40 mm, y los adultos se registran en tallas iguales o mayores a 40 mm. Por lo anterior, es posible no sólo relacionar los cambios de las variables ambientales con el crecimiento del molusco, sino además, se podrían predecir los cambios en las fases de maduración sexual. Por lo tanto, el presente estudio coincide con trabajos como los de Ishiyama (1995), Barbosa y col. (2009) y Ávila-Poveda (2013), los cuales resaltan el efecto de la temperatura del mar en especies de moluscos poliplacóforos, particularmente en sus épocas reproductivas.

En el componente "Microhábitat, longitud y abundancia del carnívoro", se observó la relevancia de la estructura y complejidad de los sitios rocosos, ya que a mayor discontinuidad del sustrato se encontró una mayor cantidad de ejemplares del carnívoro y donde a su vez, se registraron las mayores longitudes. A este respecto, Garrity y Levings (1981), remarcaron la importancia de grietas húmedas y microhábitats sombreados en la abundancia de *P. pansa*. Valdés-González y col. (2004), registraron altas densidades del gasterópodo en dos sitios

de alta y baja intensidad de oleaje, respectivamente, pero que tienen en común sustratos complejos. Otros trabajos también han destacado la influencia de la complejidad topográfica del hábitat en las abundancias de especies de moluscos intermareales y su distribución, depredación y diversidad biológica, como los de Beck (2000), Chapman (2000), Giraldo y col. (2002) y Fernández y Jiménez (2006). De esta manera, el presente trabajo coincide con los estudios anteriormente citados y sugiere que una característica estrechamente relacionada con la abundancia de *P. pansa*, corresponde a la estructura y complejidad del hábitat de cada sitio rocoso, lo cual en el caso de los sitios estudiados en Acapulco, Guerrero, presenta una jerarquía mayor a la intensidad de oleaje.

En lo que respecta al componente "Intensidad de oleaje y abundancia del herbívoro", se destaca que una mayor energía del oleaje de cada sitio rocoso se correspondió con una mayor abundancia del *C. articulatus*. Dos explicaciones pueden sugerirse al respecto: 1) en la zona de estudio, un sitio expuesto al oleaje intenso puede presentar (en función de su pendiente o inclinación), una mayor área húmeda debido al proceso constante de inmersión y emersión de la superficie, así como del rocío que baña la zona supralitoral, de esta manera, y aunado a la cantidad de luz solar, será posible un área mayor de forrajeo, descanso y protección, que repercutirá

en una mayor colonización y abundancia de organismos, entre ellos los productores; 2) otra suposición no necesariamente excluyente de la anterior, es el hecho de la dificultad de la pesca del molusco polioplacóforo en zonas de alta energía de oleaje. En este sentido (Holguín y Michel-Morfín, 2002; Flores-Campaña y col., 2007; Olea-de-la-Cruz y col., 2013), han señalado el efecto que generan en la pesca del polioplacóforo, el oleaje y topografía de la zona intermareal rocosa, así como factores climáticos como viento y lluvia. Estudios como el de Fernández y Jiménez (2006), Nishida y col. (2006) y Aguilera y Navarrete (2011), también remarcan el efecto de la intensidad de oleaje con la obtención de alimento por parte de invertebrados herbívoros. De esta manera, el caso de la especie *C. articulatus* puede abordarse a partir de dos situaciones: I) A nivel temporal, las longitudes del molusco polioplacóforo dependen de la productividad primaria y condiciones físico-químicas (temperatura y salinidad) del mar; II) A nivel espacial, las abundancias dependen en mayor grado de las condiciones del sitio rocoso asociadas con una alta energía de oleaje.

Flores-Campaña y col. (2012), manifiestan que es necesaria más información sobre la influencia de factores ambientales para generalizar patrones sobre la forma y tamaño del molusco polioplacóforo *C. (Chiton) albolineatus* Broderip and G. B. Sowerby I, 1829, así como en su distribución y abundancia. Olabarria y col. (2001), comentan

que la estructura de la comunidad de moluscos en sustratos rocosos se determina por interacciones complejas entre factores bióticos y abióticos.

En términos de biología evolutiva, tanto *P. pansa* como *C. articulatus* presentan adaptaciones morfológicas y fisiológicas (tamaño del pie, poca o nula presencia de nódulos o espinas, forma ovalada y dorsoventralmente aplanada, entre otras) para coexistir en las zonas intermareales rocosas, siendo por lo tanto organismos que pueden demarcar de manera efectiva la zona mesolitoral, debido a la dominancia, abundancia y densidad relativa que presentan.

La importancia del estudio de las relaciones funcionales en el espacio y tiempo, es debido a que dichas relaciones se modifican en función de cambios en la sucesión de la comunidad (Aguilera y Navarrete, 2012).

En base a lo anterior, es posible comentar que tanto el gasterópodo como el polioplacóforo objeto de estudio, son especies que pueden coadyuvar en el entendimiento de la estructura funcional del sistema intermareal rocoso en Acapulco, Guerrero, y por ende pueden ser especies indicadoras de cambios en el ambiente.

## CONCLUSIONES

El caracol *P. pansa*, así como el polioplacóforo *C. articulatus*, son moluscos que en la zona intermareal rocosa de Acapulco, Guerrero, presentan densidades y longitudes que varían en función de características ligadas a la complejidad del sustrato y exposición de la

costa rocosa. Al relacionar los indicadores biológicos de las especies con características locales del sitio, así como con parámetros ambientales del área de estudio, se observó una mejor definición de la relación funcional de las especies con su medio, donde se resalta que la longitud del polioplacóforo se encuentra estrechamente relacionada con la temperatura del mar, salinidad y productividad primaria (expresada en términos de la clorofila-*a*), así también que tanto la abundancia y longitud del gasterópodo se relacionan con una mayor complejidad del sustrato rocoso; y por último, que las abundancias del polioplacóforo están mayormente ligadas con las condiciones del sustrato rocoso asociadas con una alta intensidad de oleaje.■

## AGRADECIMIENTOS

A los Fondos Mixtos CONACyT-Gobierno del Estado de Guerrero, por el financiamiento otorgado al proyecto "Diversidad y abundancia de la cucaracha de mar (Clase: Polyplacophora) en las costas de Guerrero, y elaboración de una propuesta de conservación y aprovechamiento", clave GUE-2008-C01-91724. Al proyecto "Posibles factores fisicoquímicos que influyen en el crecimiento y supervivencia de la ostra perlera *Pteria sterna* mantenida en cultivo extensivo en la Bahía de Acapulco" financiado por los Fondos Mixtos CONACyT-Gobierno del Estado de Guerrero clave: GUE-2008-91090, por el registro de los parámetros ambientales. A las personas que revisaron el presente escrito, y cuyas observaciones contribuyeron notablemente a mejorarlo.

## REFERENCIAS

- Aguilera, M. A. and Navarrete, S. A. (2011). Distribution and activity patterns in an intertidal grazer assemblage: influence of temporal and spatial organization on interspecific associations. *Marine Ecology Progress Series*. 431: 119-136.
- Aguilera, S. A. and Navarrete, S. A. (2012). Functional identity and functional structure change through succession in a rocky intertidal marine herbivore assemblage. *Ecology*. 93(1): 75-89.
- Anónimo (2010). Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2010. Protección ambiental especies nativas de México de flora y fauna silvestre, categorías de riesgo y especificaciones para inclusión, exclusión o cambio. lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación, 30 de diciembre de 2010, México, D.F. [En línea]. Disponible en: [http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/435/1/NOM\\_059\\_SEMARNAT\\_2010.pdf](http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/435/1/NOM_059_SEMARNAT_2010.pdf). Fecha de consulta: 12 de febrero de 2011.
- Ávila-Poveda, O. H. (2013). Annual change in morphometry and in somatic and reproductive indices of *Chiton articulatus* adults (Polyplacophora: Chitonidae) from Oaxaca, Mexican Pacific. *American Malacological Bulletin*. 31(1): 65-74.
- Ávila-Poveda, O. H. and Abadía-Chanona, Q. Y. (2013). Emergence, development, and maturity of the gonad of two species of chitons “sea cockroach” (*Mollusca: Polyplacophora*) through the early life stages, en PLoS ONE. 8(8): e69785. [En línea]. Disponible en: <http://www.plosone.org/article/info:doi/10.1371/journal.pone.0069785>. Fecha de consulta: 12 de septiembre de 2013.
- Barbosa, S. S., Byrne, M., and Kelaher, B. P. (2009). Reproductive periodicity of the tropical intertidal chiton *Acanthopleura gemmata* at One Tree Island, Great Barrier Reef, near its southern latitudinal limit. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*. 89(2): 405-411.
- Beck, M. W. (2000). Separating the elements of habitat structure: independent effects of habitat complexity and structural components on rocky intertidal gastropods. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 244: 29-49.
- Carranza-Edwards, A., Gutiérrez-Estrada, M. y Rodríguez-T, R. (1975). Unidades Morfo-tectónicas Continentales de las Costas Mexicanas. *Anales del Instituto de Ciencias Del Mar y Limnología*. 2(1): 81-88.
- Chapman, M. G. (2000). A comparative study of differences among species and patches of habitat on movement of three species of intertidal gastropods. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 244: 181-201.
- Fernández, J. y Jiménez, M. (2006). Estructura de la comunidad de moluscos y relaciones tróficas en el litoral rocoso del estado Sucre, Venezuela. *Revista de Biología Tropical*. 54(3): 121-130.
- Flores-Campaña, L. M., González-Montoya, M. A., Ortiz-Arellano, M. A. y Arzola-González, J.F. (2007). Estructura poblacional del *Chiton articulatus* en las islas Pájaros y Venados de la Bahía de Mazatlán, Sinaloa, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 78: 23S-31S.
- Flores-Campaña, L. M., Arzola-González, J. F., and de León-Herrera, R. (2012). Body size structure, biometric relationships and density of *Chiton albolineatus* (Mollusca: Polyplacophora) on the intertidal rocky zone of three islands of Mazatlan Bay, SE of the Gulf of California. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*. 47(2): 203-211.
- Flores-Garza, R., Flores-Rodríguez, P., García-Ibáñez, S. y Valdés-González, A. (2007). Demografía del caracol *Plicopurpura pansa* (Neotaenioglossa: Muricidae) y constitución de la comunidad malacológica asociada en Guerrero, México. *Revista de Biología Tropical*. 55(3-4): 867-878.
- Flores-Garza, R., Torreblanca-Ramírez, C., Flores-Rodríguez, P., García-Ibáñez, S., Galeana-Rebolledo, L., Valdés-González, A., and Rojas-Herrera, A. A. (2011). Mollusc community from a rocky intertidal zone in Acapulco, México. *Biodiversity*. 12(3):144-153.
- Flores-Garza, R., Valdés-González, A., Flores-Rodríguez, P., García-Ibáñez, S. y Cruz-Ramírez, N. L. (2012a). Density, Sex Ratio, Size, Weight, and Recruitment of *Plicopurpura pansa* (Gastropoda: Muricidae) in Costa Chica, Guerrero, México. *Open Journal of Marine Science*. 2:157-166.
- Flores-Garza, R., Galeana-Rebolledo, L., Reyes-Gómez, A., García Ibáñez, S., Torreblanca-Ramírez, C., Flores-Rodríguez, P., and Valdés-González, A. (2012b). *Polyplacophora* species richness, composition and distribution of its community associated with the intertidal rocky substrate in the marine priority region No. 32 in Guerrero, Mexico. *Open Journal of Ecology*. 2(4):192-201.
- Flores-Garza, R., García-Ibáñez, S., Flores-Rodríguez, P., Torreblanca-Ramírez, C., Galeana-Rebolledo, L., Valdés-González, A., Suástegui-Zárate, A., and Violante-González, J. (2012c). Commercially important marine mollusks for human consumption in Acapulco, México. *Natural Resources*. 3: 11-17.
- Flores-Rodríguez, P., Flores-Garza, R., García-Ibáñez, S. y Valdés-González, A. (2003). Riqueza y diversidad de la malacofauna del mesolitoral rocoso de la Isla La Roqueta, Acapulco, Guerrero, México. *Ciencia, Universidad Autónoma de Guerrero*. 2(11): 5-14.
- Flores-Rodríguez, P., Flores-Garza, R., García-Ibáñez, S. y Valdés-González, A. (2007). Variación en la diversidad malacológica del mesolitoral rocoso en Playa Troncones

- La Unión, Guerrero, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 78: 33S-40S.
- Flores-Rodríguez, P., Santiago-Cortez, E., Flores-Garza, R., García-Ibañez, S., Torreblanca-Ramírez, C., Galeana-Rebolledo, L. y Rojas-Herrera A. A. (2012). Malacofauna de la zona intermareal rocosa de San Pedro Mixtepec y de Santa María Tonameca, Oaxaca, México. *Tlamati Sabiduría*. 4(1): 28-34.
- Galeana-Rebolledo, L., Flores-Garza, R., Torreblanca-Ramírez, C., García-Ibañez, S., Flores-Rodríguez, P., and López-Rojas, V. I. (2012). Biocenosis de Bivalvia y Polyplacophora del intermareal rocoso en playa Tlacopanocha, Acapulco, Guerrero, México. *Latin American Journal of Aquatic Research*. 40(4): 943-954.
- García-Ibañez, S., Flores-Garza, R., Flores-Rodríguez P. y Valdés-González, A. (2004). Densidad y tallas del *Plicopurpura patula pansa* relacionadas con el sustrato y oleaje en las costas rocosas de Guerrero, México. *Hidrobiología*. 14(2): 127-136.
- García-Ibañez, S., Flores-Rodríguez, P., Flores-Garza, R. y Valdés-González, A. (2007). Dispersión espacial de *Plicopurpura patula pansa* en playas rocosas del estado de Guerrero, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 78: 15S-21S.
- García-Ibañez, S., Flores-Garza, R., Flores-Rodríguez, P. y Arana-Salvador, D. G. (2012). Los quitones o cucarachas de mar (Mollusca: Polyplacophora): Una perspectiva de su diversidad biológica y manejo sostenible. *Fomix Guerrero*. 1:17-22.
- García-Ibañez, S., Flores-Garza, R., Flores-Rodríguez, P., Violante-González, J., Valdés-González, A. y Olea-de la Cruz, F. G. (2013). Diagnóstico pesquero de *Chiton articulatus* (Mollusca: Polyplacophora) en Acapulco, México. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*. 48(2): 293-302.
- Garrity, S. D. and Levings, S. C. (1981). A predator-prey interaction between two physically and biologically constrained tropical rocky shore gastropods: direct, indirect and community effects. *Ecological Monographs*. 51(3): 267-286.
- Giraldo, A., Gómez, C. y Rodríguez, E. (2002). Tamaño de la concha de *Notoacmea biradiata* (Archaeogastropoda: Acmaeidae) como respuesta a la densidad de gasterópodos y altura intermareal en la costa pacífica de Colombia. *Ciencias Marinas*. 28(3): 237-246.
- Holguín, Q. O. E. and Michel-Morfin, J. E. (2002). Distribution, density and Length-Weight Relationship of *Chiton articulatus* Sowerby, 1832 (Mollusca: Polyplacophora) on Isla Socorro, Revillagigedo Archipelago, Mexico. *Journal of Shellfish Research*. 21(1):239-241.
- Holguín-Quinones, O. E. (2006). *Moluscos bentónicos de interés económico y potencial de las costas de Michoacán, Colima y Jalisco, México*. En: M. C. Jiménez-Quiroz y E. Espino-Barr (Ed.), Los recursos pesqueros y acuícolas de Jalisco, Colima y Michoacán (pp. 121-131). Centro Regional de Investigación Pesquera (CRIP) de Manzanillo, Colima, Instituto Nacional de la Pesca.
- Ishiyama, C. V. (1995). Reproducción del *Chiton cumingsii* (Polyplacophora, Chitonidae) de la Bahía de Ancon, Lima. *Boletín de Lima*. 100:203-210.
- Keen, A. M. (1971). *Sea shells of tropical West America*. Stanford University Press, California. 1064 Pp.
- Nishida, A. K., Nordi, N., and Alves R. R. N. (2006). Molluscs production associated to lunar-tide cycle: a case study in Paraíba State under ethnecology viewpoint. *Journal Ethnobiology and Ethnomedicine*. 2(28): 1-6.
- Olabarria, C., Carballo, J. L., and Vega, C. (2001). Spatio-temporal changes in the tropic structure of rocky intertidal mollusc assemblages on a tropical shore. *Ciencias Marinas*. 27(2): 235-254.
- Olea-de la Cruz, F. G., García-Ibañez, S., Flores-Garza, R., Flores-Rodríguez, P. y Rojas-Herrera, A. A. (2013). Pesca, oferta y demanda de la cucaracha de mar *Chiton articulatus* (Mollusca: Polyplacophora) en aguas de la zona costera del estado de Guerrero, México. *Ciencia Pesquera*. 21(1): 69-81.
- Reyes-Gómez, A. (2004). Chitons in Mexican waters. *Bolletino Malacologico*. 5: 69-82.
- Rojas, H. A. A. (1988). *Análisis biológico-pesquero de la cucaracha de mar (Chiton articulatus Sowerby, 1832) de Acapulco, Gro., México*. En Memorias del IX Congreso Nacional de Zoología (pp. 115-156). Universidad Juárez Autónoma de Tabasco y Sociedad Mexicana de Zoología, A. C.
- Sirenko, B. (2006). New outlook on the system of chitons (Mollusca: Polyplacophora). *Venus*. 65(1-2): 27-49.
- Skoglund, C. (2002). *Panamic province molluscan literature*. Additions and changes from 1971 through 2001. III Gastropoda. The Festivus Supplement (XXXIII). 286 Pp.
- Torreblanca-Ramírez, C., Flores-Garza, R., Flores-Rodríguez, P., García-Ibañez S. y Galeana-Rebolledo, L. (2012). Riqueza, composición y diversidad de la comunidad de moluscos asociada al sustrato rocoso intermareal de playa Parque de la Reina, Acapulco, México. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*. 47(2):283-294.
- Valdés-González, A., Flores-Rodríguez, P., Flores-Garza, R., and García-Ibañez, S. (2004). Molluscan communities of rocky intertidal zone at two sites with different wave action on Isla la Roqueta, Acapulco, Guerrero, México. *Journal of Shellfish Research*. 23: 875-880.

# CONSTRUCCIÓN DE MAPAS DE LAI Y fAPAR DE LA RESERVA DE LA BIÓSFERA MARIPOSA MONARCA Y SU COMPARACIÓN CON MAPAS GLOBALES

Tomado de: <http://www.apdm.com.mx/archivos/847>

## CONSTRUCTION OF LAI AND FAPAR MAPS OF THE MONARCH BUTTERFLY BIOSPHERE RESERVE AND COMPARISON WITH GLOBAL MAPS

Omar Champo-Jiménez<sup>1</sup>,  
María Luisa España-Boquera<sup>1\*</sup>,  
Nahum Sánchez-Vargas<sup>1</sup>,  
José Cruz-de-León<sup>2</sup>,  
Philippe Lobit<sup>1</sup> y Luis López-Pérez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

<sup>2</sup>Escuela de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Posta Veterinaria y Zootécnica, km 9.5, carretera Morelia-Zinapécuaro, s/n Tarímbaro, Mich., México, C.P. 58880.

\*Autora para correspondencia:  
[mespanaboquera@gmail.com](mailto:mespanaboquera@gmail.com)

Fecha de recepción: 29 de octubre de 2013.  
Fecha de aceptación: 21 de mayo de 2014.

### RESUMEN

La Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca (RBMM) presenta un nivel crítico de deforestación que pone en peligro el fenómeno migratorio de la mariposa. Variables biofísicas, como el índice de área foliar (LAI) y la fracción de radiación fotosintéticamente activa absorbida por las plantas (fAPAR), pueden ayudar en el diagnóstico del estado de una masa forestal. Es posible construir mapas de alta resolución de estas variables con imágenes satelitales y datos de campo; también existen series de mapas globales de baja resolución. En el presente trabajo se construyeron mapas de LAI y fAPAR de la RBMM, a partir de una imagen SPOT-4 con resolución espacial de 20 m y datos de campo, y se compararon con los mapas de la serie GEOV1 con resolución espacial de 1 km, de las mismas variables y fecha, con el fin de valorar la posibilidad de utilizarlos conjuntamente.

Para construir los mapas de alta resolución, se realizó un muestreo en el verano de 2007, en 62 sitios de bosque en la RBMM. A cada sitio se asociaron los datos radiométricos del pixel correspondiente de una imagen SPOT de agosto de 2007, en la que las zonas con nubes se sustituyeron por los mismos pixeles de imágenes de fechas cercanas. Para cada variable, se ajustaron 45 modelos lineales, entre los que se eligió el de mayor índice de concordancia (0.45). Estas funciones se aplicaron a cada pixel de la imagen SPOT para construir los mapas, que se validaron con datos de campo, presentando errores relativos aceptables (RMSEr, LAI: 20 %; fAPAR: 8 %). La comparación de los mapas con los GEOV1 mostró una correlación significativa ( $r > 0.5$ ) y un error relativo aceptable (RMSEr, LAI: 19 %; fAPAR: 8 %). Este resultado alienta la utilización conjunta de mapas de alta resolución y series de tiempo.

**PALABRAS CLAVE:** Variable biofísica, SPOT, GEOLAND2, GEOV1, serie de tiempo.

## ABSTRACT

The Monarch Butterfly Biosphere Reserve (MBBR) is in a critical situation with levels of deforestation that threaten butterfly migration. Biophysical variables such as the leaf area index (LAI) and the fraction of photosynthetically active radiation absorbed by plants (fAPAR), can help diagnose the state of a forest. These variables can be measured in the field or, in case of a wide area, estimated from a linear regression fit between satellite images and field data, constructing high-resolution maps. There are also time series of low-resolution global maps of these variables available. In this work, we present the construction of LAI and fAPAR maps of the MBBR, using a SPOT image with spatial resolution of 20 m and field data. We compared them with GEOV1 maps of spatial resolution of 1 km, of the same variables and dates in order to assess the possibility of using them together. To build high-resolution maps, a field sampling was conducted in the summer of 2007, at 62 forest sites in the MBBR. Radiometric data of the corresponding pixel of a SPOT image of August 2007 were associated to each sample point; the areas with clouds were replaced by the same pixels in images taken on close dates. For each variable, 45 linear models were adjusted, from which the one with the highest concordance index was selected (0.45). These functions were applied to each pixel of the SPOT image to construct the maps, which were validated with field data, presenting acceptable relative errors (RMSEr, LAI: 20 %; fAPAR: 8 %). Comparison of these maps with GEOV1 maps of the same date, showed a significant correlation ( $r > 0.5$ ) and an acceptable relative error (RMSEr, LAI: 19 %; fAPAR: 8 %). This result encourages the joint use of high resolution maps and time series.

**KEYWORDS:** Biophysical variable, SPOT, GEOLAND2, GEOV1, time series.

## INTRODUCCIÓN

La Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca (RBMM) es una de las áreas naturales más importantes de México, por ser el hábitat de hibernación de este lepidóptero. A pesar del interés nacional e internacional por su preservación, es un hecho que desde hace algunos años la cantidad de mariposas que llegan a la RBMM ha disminuido exponencialmente (Brower y col., 2011). Existen diferentes factores que afectan a las poblaciones de mariposa Monarca, como la pérdida de grandes volúmenes de plantas denominadas asclepias o algodoncillos (*Asclepias sp.*) en Estados Unidos y Canadá. Estas plantas son de gran importancia en el ciclo de vida de las mariposas Monarca, pero se consideran maleza y compiten con los cultivos comerciales, por lo que se destruyen sistemáticamente con herbicidas (Rendón-Salinas y Tavera-Alonso, 2012), y también por el cambio climático (Barve y col., 2012). En México, el principal problema consiste en que las colonias que llegan encuentran un bosque muy perturbado. El deterioro de la RBMM se ha venido constatando desde la declaración de reserva natural, en 1985 (Brenner, 2009; Rodríguez-Muñoz y col., 2012; Vidal y col., 2013), y se asocia a la falta de planes de manejo (Navarrete y col., 2011), la deforestación (Champo-Jiménez y col., 2012) y la presencia de plagas. Esta situación tiene su origen en la condición de pobreza extrema de la población indígena propietaria del bosque y la corrupción de las autoridades (Aridjis, 2012). Ante dicho escenario, resulta necesario un mecanismo objetivo y permanente de evaluación de la situación del bosque.

El índice de área foliar (LAI: leaf area index) se define como el área de una cara (el haz) de tejido fotosintético, por unidad de superficie de suelo. La fAPAR (fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation) corresponde a la fracción de radiación fotosintéticamente activa absorbida por las plantas. Estas dos variables biofísicas son indicativas del estado de un dosel vegetal, pues dan información de algunas características, como su biomasa y su capacidad fotosintética, entre otras (Jonckheere y col., 2004). Son muy utilizadas

en modelos ecológicos a nivel regional y global (Baret y Buis, 2008). En trabajos forestales, dichas variables se estiman de manera indirecta (la medición directa es destructiva), a partir de la fracción de huecos del dosel (probabilidad de que un rayo de luz penetre hasta el suelo), utilizando fotografías hemisféricas, tomadas con una cámara digital equipada con un lente de tipo "ojo de pescado" que tiene un campo de visión de 180° (Weiss y col., 2004). En todo caso, la realización de muestreos exhaustivos en una zona de estudio amplia es prácticamente imposible, por lo que, para cubrir áreas extensas de bosque se utilizan imágenes de alta resolución, como las de los satélites SPOT. Se trata de un enfoque empírico, basado en ajustar una relación matemática, o función de transferencia, entre los valores de la variable biofísica medidos en campo y la información radiométrica de los píxeles de la imagen que corresponden a los sitios de muestreo; al calcular esta relación en cada píxel de la imagen, se obtiene un mapa de la variable biofísica de la zona de interés (Baret y col., 2005). Esto se sustenta en el concepto de firma espectral: la forma en que una superficie natural refleja la luz del sol en las diferentes longitudes de onda, depende de sus características físicas (cantidad y distribución de sus elementos foliares) y bioquímicas (contenido de agua, clorofila y otros pigmentos), que a su vez dependen de las especies que componen el dosel, pero también del estado de salud, estrés o enfermedad de las plantas (Jones y Vaughan, 2010).

Actualmente existen iniciativas a nivel internacional para generar mapas globales de variables biofísicas, en forma de series de tiempo (un valor cada 10 días para cada píxel), a partir del acervo histórico de imágenes satelitales de los últimos 30 años. En este caso se trata de un enfoque físico, que se basa en la inversión de modelos de transferencia radiativa, los cuales, simulan cómo los rayos de luz, que partiendo del Sol con una cierta dirección e intensidad, llegan a una superficie vegetal, son absorbidos, transmitidos o reflejados, en función de las propiedades ópticas de las plantas y de su

arquitectura; la calibración y validación se realizan a partir de estimaciones obtenidas con el enfoque empírico, en sitios puntuales (Baret y Buis, 2008). Estas series, como las GEOV1 del proyecto europeo GEOLAND2 (Baret y col., 2013), permiten realizar un seguimiento de las superficies naturales del planeta; sin embargo, para trabajos regionales o locales presentan el inconveniente de su baja resolución espacial (1 km). En este sentido, la combinación de mapas de alta resolución espacial con series de tiempo podría tener muchas aplicaciones para el monitoreo de los bosques.

En el presente trabajo se muestra la construcción de los mapas de LAI y fAPAR de la RBMM, para el verano de 2007, a partir de una imagen SPOT y datos de campo. Estos mapas se comparan con los correspondientes de la serie GEOV1, con el fin de observar el nivel de correspondencia entre ambos, y evaluar las perspectivas de monitoreo de la reserva a partir de su utilización conjunta.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Descripción de la zona de estudio

La RBMM se ubica entre los límites del estado de Michoacán y México, sobre el eje volcánico transversal. El clima es templado subhúmedo con lluvias en verano. Las temperaturas medias anuales en los diferentes microclimas van de 8 °C a 22 °C, y las mínimas para el mes más frío están entre -3 °C y 18 °C. Las precipitaciones promedio van desde 700 mm hasta 1 250 mm. El relieve es accidentado, con altitudes que llegan a los 4 000 msnm. El bosque es principalmente de coníferas, siendo el oyamel (*Abies religiosa*) la especie más representativa (CONANP, 2001). En este estudio se consideró el polígono principal, con una superficie de 56 000 ha, que se encuentra entre las coordenadas 19°44'27" y 19°18'32" de latitud norte y 100°22'26" y 100°09'07" de longitud oeste.

### Construcción de mapas de LAI y fAPAR de alta resolución

**Datos de campo.** Se realizó una campaña de campo, entre los meses de julio y septiembre de 2007, en la que se establecieron 62 unidades elementales de muestreo (ESU, Elementary Simple Unit) de

20 m x 20 m (tamaño equivalente a un pixel de una imagen SPOT 4) (Baret y col., 2005). En cada ESU se tomaron 24 fotografías hemisféricas, con una cámara Nikon Coolpix (E995, Japón), y un lente hemisférico (Nikon Fisheye Converter FC-E8, Japón). De las 24 fotografías, 12 se tomaron con la cámara apuntando hacia el cielo, para que aparecieran las copas de los árboles (up), y 12 con la cámara apuntando hacia el suelo, para que apareciera la vegetación baja (down). Con el fin de asegurar la representación del ESU, en ambos casos, las 12 fotografías se distribuyeron según el siguiente esquema: una en el centro del ESU y una en cada esquina, así como en el centro de cada lado, y tres aleatoriamente en el interior. Las fotografías se analizaron con el programa CAN EYE (INRA, 2013), que estima, entre otras variables, el LAI<sub>eff</sub> y la fAPAR (Instantaneous Black Sky a las 10 a. m.), a partir de la fracción de huecos bidireccional. El LAI de cada ESU se calculó como la suma del promedio de las 12 mediciones up y las 12 mediciones down; la fAPAR de cada ESU, como el promedio de las 12 mediciones up. Además del bosque propiamente dicho, en la zona de estudio hay otros dos tipos de coberturas: el suelo desnudo y los claros. Durante el trabajo de campo no se tomaron fotografías hemisféricas de estas coberturas, ya que el objeto de estudio era el bosque; sin embargo, con el fin de incluirlas en la base de datos, se buscó asignarles un valor razonable. Para las zonas de suelo desnudo, tales como sitios sin vegetación, construcciones, zonas urbanas, entre otras, se asignó un valor de 0 al LAI y a la fAPAR. Para los claros, como pastizales o llanos entre el arbolado, se tomó el promedio del LAI y la fAPAR de la vegetación baja, obtenido del análisis de las fotografías down.

**Datos radiométricos.** Para asociar valores radiométricos a los datos de campo, se buscó una imagen satelital SPOT-4 de fecha cercana a los muestreos. Las imágenes SPOT-4 tienen cuatro bandas: verde (centrada en la longitud de onda 545 nm), rojo (645 nm), infrarrojo cercano NIR (835 nm) e infrarrojo medio SWIR (1 665 nm); resolución espacial de 20 m y temporal de 28 días. Dado que todas las imágenes SPOT-4 disponibles en catálogo

para el verano de 2007 presentaban nubes en una parte importante de la zona de estudio, se tomó como base la imagen de agosto 2007 y se utilizaron las imágenes de mayo, junio y julio para completar la información faltante, formando un mosaico.

Las imágenes adquiridas en el formato 1A de Spotimage, se ortorectificaron con el programa Erdas Imagine Inc., tomando puntos de control y utilizando como referencia el mosaico global Landsat-circa-2000 (GLCF, 2013), y como modelo digital de elevación, el Continuo de Elevaciones del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2013). Después, se calibraron y se corrigieron atmosféricamente, utilizando el módulo Flaash (Fast Line-of Sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes) del programa ENVI (Exelis, Visual Information Solutions, Inc.). Las imágenes corregidas se recortaron, según el límite oficial de la reserva. Dado que algunas de las imágenes contenían la banda SWIR, se prescindió de ella en todos los casos, utilizando únicamente las bandas roja, verde y NIR.

Para asegurar la correspondencia de los valores de reflectancia de todas las imágenes con respecto a la imagen base, se seleccionaron 4 250 pares (mayo-junio-julio y agosto) de pixeles de vegetación, con los que se calcularon regresiones lineales para cada una de las tres bandas espectrales utilizadas. Las ecuaciones ajustadas se aplicaron a las imágenes asociadas. Para la construcción del mosaico, los pixeles no disponibles en la imagen de agosto (seleccionados manualmente) se sustituyeron por los correspondientes de la imagen ajustada de la fecha más cercana en la que estuvieran disponibles.

Con el fin de eliminar del mosaico el efecto del relieve, se aplicó una corrección topográfica, siguiendo el método de corrección-C de Meyer (Meyer y col., 1993). Los datos radiométricos correspondientes a los 62 valores ESUs muestreados, se obtuvieron del mosaico SPOT, corregido topográficamente, ubicando los pixeles correspondientes a los puntos de muestreo a partir de sus coordenadas. Adicionalmente, con el fin de representar otros tipos de cobertura presentes en la zona de estudio, se seleccionaron 10

**Tabla 1.**

Fórmulas matemáticas de los índices de vegetación utilizados.  
Table 1. Mathematical formulas of the vegetation indices used.

Índices de Vegetación	Fórmula matemática
NDVI	$\frac{\text{NIR} - \text{Rojo}}{\text{NIR} + \text{Rojo}}$
SR	$\frac{\text{NIR}}{\text{Rojo}}$
DVI	NIR - Rojo
RDVI	$\sqrt{\text{NDVI} * \text{DVI}}$

puntos característicos de suelo y otros 5 de claros, conformando así una base de datos de 77 puntos. A partir de los valores de reflectancia, se calcularon algunos índices de vegetación, como SR, DVI, NDVI, RDVI, entre otros (fórmulas y definiciones según Jones y Vaughan, 2010) (Tabla 1). Se trata de expresiones matemáticas simples que se calculan en cada pixel a partir de los valores de las reflectancias en las bandas roja e infrarroja.

**Funciones de transferencia.** Para la definición de las funciones de transferencia se utilizó el método empírico, que consiste en ajustar y validar un modelo matemático entre los valores de la variable biofísica medidos en campo (variables dependientes) y los valores de reflectancia y/o los índices de vegetación (variables independientes) tomados o calculados a partir de la imagen satelital (Baret y col., 2005; Baret y Buis, 2008). Para evitar que las funciones de transferencia dependan de la elección de los datos de ajuste y validación, en particular si no se cuenta con una base de datos amplia, se utiliza la validación cruzada, que consiste en la partición del conjunto de datos en  $k$  subconjuntos,  $(k-1)$  para el ajuste y 1 para la validación, con  $k$  iteraciones. En este trabajo, el ajuste de las funciones se realizó considerando tantas particiones como datos disponibles ( $k = 77$ ).

Se probaron diferentes modelos lineales (45 en total), consistentes en combinaciones simples de las bandas espectrales SPOT y/o los

índices de vegetación calculados a partir de las mismas. Para cada uno de estos modelos, y para cada variable biofísica (LAI y fAPAR), se ajustaron 77 funciones (número de datos disponibles, igual al número de iteraciones de la validación cruzada); y para cada una se calculó la raíz del error cuadrático medio ponderado (PRMSE, Weighted [Ponderado] Root Mean Square Error) utilizando la función Robustfit del programa Matlab (MathWorks, Inc.), considerando los 76 puntos de ajuste. Se trata de un error ponderado, que asigna un peso cercano a 0 a los puntos más alejados de la distribución general (outliers) en la regresión lineal, y un peso de 1 a los puntos que se encuentran sobre la recta de regresión. Para representar a cada uno de los 45 modelos se escogió la función con el PRMSE más bajo, de las 77 ajustadas. Para conocer el nivel de dependencia de esa función con respecto a las particiones de los datos, se calculó la raíz del error cuadrático medio cruzado (CRMSE, Cross Root Mean Square Error), que es un error que considera el total de las iteraciones. Para cada modelo, el CRMSE es el promedio de la diferencia entre el valor medido y el estimado en el punto de validación, es decir en el que no se tomó para el ajuste (expresión matemática en la Tabla 2). Con el fin de evaluar la capacidad del modelo para estimar valores dentro de un rango amplio, se obtuvo el índice de concordancia,  $d$ , que varía entre 0 (sin concordancia) y 1 (máxima concordancia con el rango de valores esperado) (Willmott and Wicks, 1980) (Tabla 2).

Se consideró que, para cada variable biofísica, la función que podía estimarla mejor era aquella que, teniendo un alto índice de concordancia, presentaba errores de ajuste (PRMSE) y validación (CRMSE) pequeños. Esta función se seleccionó como función de transferencia, y se calculó el RMSE asociado a la estimación de la variable con esa función, considerando únicamente los valores ESUs (sin suelos, ni claros). Este valor corresponde al error asociado al mapa construido con esa función. También se calculó el RMSE relativo (RMSEr), con respecto al promedio de los valores medidos en campo. Adicionalmente, se calculó el sesgo estadístico (Bias y Bias relativo, Biasr), para conocer si las funciones sobreestimaban o subestimaban los valores con respecto a los datos de campo (Tabla 2).

**Construcción de los mapas.** Finalmente, las funciones de transferencia elegidas se aplicaron a cada pixel del mosaico SPOT, para obtener los mapas de variables biofísicas de la RBMM, 2007.

#### Obtención de los mapas de baja resolución

Los mapas GEOVI de LAI, fAPAR y sus errores asociados, correspondientes al 13 de agosto de 2007, fueron obtenidos en línea (Geoland2, 2013), y recortados a la zona de estudio. Se trata de mapas de variables biofísicas, no de imágenes, por lo que no es necesario analizarlos para obtener los valores de LAI y fAPAR. Estos mapas presentan huecos (pixeles faltantes o sin valor asignado, por presencia de nubes en las diez imágenes diarias utilizadas para su cálculo) en algunos puntos de la RBMM.

#### Comparación de los mapas de alta y baja resolución

Los mapas de alta resolución (20 m), obtenidos a partir de las imágenes SPOT 4, se pasaron al tamaño de pixel de los mapas de baja resolución (1 km), para después compararlos con los GEOVI. Para obtener cada pixel de baja resolución se calculó el promedio y la desviación estándar de los 2 500 pixeles (50 x 50) de alta resolución correspondientes a la misma posición geográfica, sin considerar los pixeles fuera de la zona de estudio (en los límites de la reserva) o los que no pudieron sustituirse al formar el mosaico. Los

**Tabla 2.**

Expresiones matemáticas de los valores estadísticos calculados:  $w_i$ : pesos de la función robustfit ( $0 \leq w_i \leq 1$ ),  $y_i$ : valores observados,  $\hat{y}_i$ : valores estimados,  $n$ : número de puntos,  $m$ : número de coeficientes de la regresión lineal,  $\bar{y}$ : promedio de los valores medidos,  $Cov$ : covarianza.

Table 2. Mathematical expressions for the calculated statistical values:  $w_i$ : robustfit function weights ( $0 \leq w_i \leq 1$ ),  $y_i$ : observed values,  $\hat{y}_i$ : estimated values,  $n$ : number of points,  $m$ : number of coefficients of the linear regression,  $\bar{y}$ : average of the measured values,  $Cov$ : covariance.

Estadístico	Descripción	Fórmula
<b>PRMSE</b>	Raíz del error cuadrático medio ponderado	$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n-m} w_i (y_i - \hat{y}_i)^2}{n - m}}$
<b>CRMSE</b>	Raíz del error cuadrático medio cruzado	$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n  y_i - \hat{y}_i $
<b>d</b>	Índice de concordancia	$1 - \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2}{\sum_{i=1}^n ( \hat{y}_i - \bar{y}  +  y_i - \bar{y} )^2} \right]$
<b>RMSE, RMSEr</b>	Raíz del error cuadrático medio y relativo	$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}}; \frac{RMSE}{\bar{y}} * 100$
<b>Bias, Biasr</b>	Sesgo medio y relativo	$\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)}{n}; \frac{Bias}{\bar{y}} * 100$
<b>r</b>	Coefficiente de correlación	$\frac{Cov(y\hat{y})}{Cov(yy) Cov(\hat{y}\hat{y})}$
<b>R<sup>2</sup></b>	Coefficiente de determinación	$r^2$

mapas así obtenidos, correspondientes al promedio de cada variable, se compararon con los equivalentes de la serie GEOVI, considerando únicamente los píxeles válidos en ambos. Se calculó el coeficiente de correlación ( $r$ ), el coeficiente de determinación ( $R^2$ ), el error cuadrático medio (RMSE) y el sesgo (Bias) (Tabla 2).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Mapas de alta resolución

**Datos de campo.** Los datos de campo de LAI presentaron un valor mínimo de 3 y un máximo de 6.6. Para la misma zona de

estudio, Velasco-López y col. (2010), reportan valores de LAI entre 2 y 4, correspondientes a una campaña de campo realizada en diciembre 2001 (época de secas). La fAPAR presentó un mínimo de 0.72 y un máximo de 0.96. Para el suelo, tanto el LAI como la fAPAR se consideraron iguales a 0; para los claros se asignó 1.48 al LAI y 0.73 a la fAPAR (promedios de los valores down de los valores ESUs).

**Datos radiométricos.** La Figura 1 muestra las imágenes pre-procesadas. Se puede constatar que las imágenes de mayo y julio no incluyen el total de la RBMM, y que las imágenes de junio, julio y agosto presentan

nubes sobre diferentes lugares de la zona de estudio. La Figura 2 muestra el mosaico resultado de la sustitución de los píxeles no disponibles en la imagen de agosto, por los de la imagen de fecha más cercana en la que estos píxeles estuvieron disponibles; en el mosaico está corregido el efecto del relieve. Se observan en blanco algunas zonas con nubes que no se pudieron sustituir. Este mosaico constituye la base de datos radiométricos de la que se extrajeron los valores de reflectancia asociados a los datos de campo.

**Funciones de transferencia.** De las 45 funciones elegidas (PRMSE más bajo) para representar cada uno de los 45 modelos lineales considerados para cada variable biofísica, se eliminaron las que estimaban valores absurdos para suelo, quedando 35 funciones válidas para el LAI y 10 para la fAPAR. La Figura 3 resume los diferentes valores estadísticos calculados para cada una de estas funciones, dispuestas por orden creciente del índice de concordancia,  $d$ . Este índice tuvo valores relativamente bajos (entre 0.3 y 0.45, para un máximo teórico de 1), lo que puede deberse a que los sitios de bosque muestreados presentaban densidades similares de arbolado. Para cada variable se eligió la función de transferencia que presentó el valor de  $d$  más alto (LAI:  $d = 0.46$ ; fAPAR:  $d = 0.45$ ). En todos los casos, el CRMSE resultó menor que el PRMSE. Esto puede deberse a que el CRMSE es un promedio de las diferencias entre cada uno de los valores medidos en campo y su estimación con la función que fue ajustada con todos los puntos, excepto ese. Esto trae como resultado una gran variabilidad en los valores de error asociados a cada modelo, pero un valor promedio bajo. Si la validación de cada modelo se hubiera realizado con todos los puntos o con un subconjunto de puntos reservado para la validación, probablemente el error de validación habría sido superior al de ajuste.

Para el LAI, la función de transferencia elegida entre las ajustadas (la de mayor  $d$ ) fue:

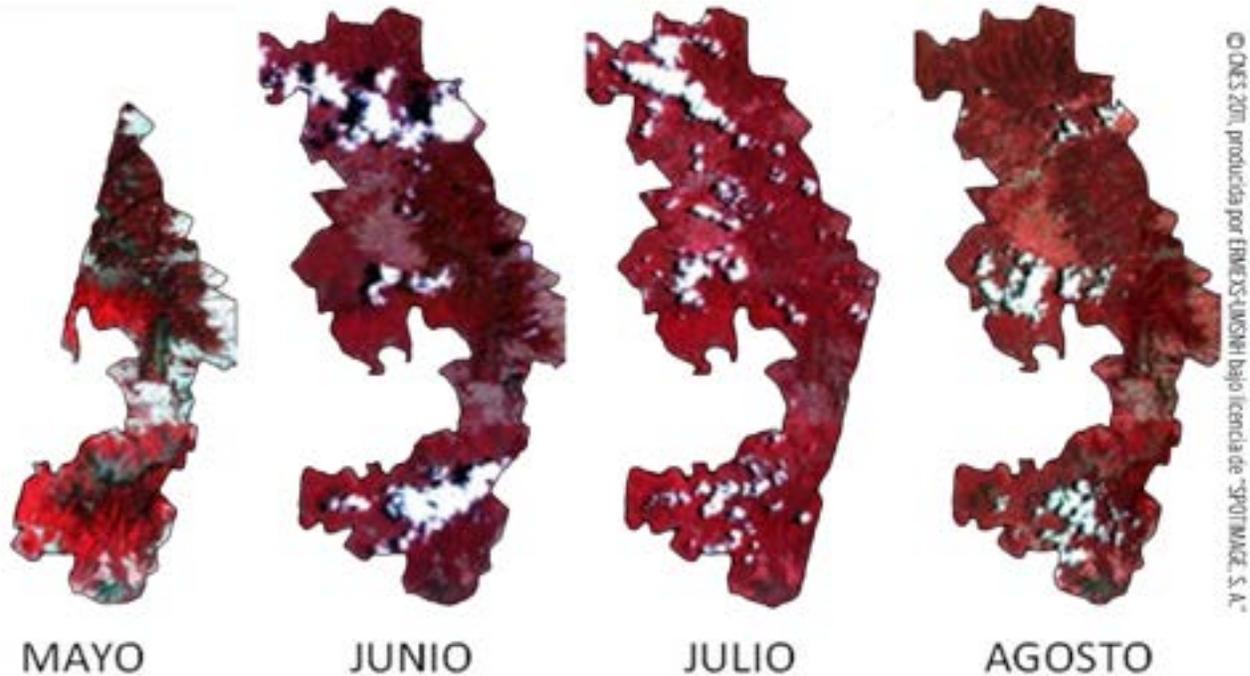
$$LAI = -0.56 + 0.53 * SR$$

donde SR corresponde al índice de vegetación

## Figura 1.

Imágenes SPOT ortorectificadas, calibradas, corregidas atmosféricamente y recortadas al límite de la RBMM. La visualización en el sistema RGB corresponde a la combinación: R (cañón rojo): banda 3 (NIR); G (cañón verde): banda 2 (Rojo); B (cañón azul): banda 1 (verde). Esto hace que la vegetación aparezca en rojo.

Figure 1. Orthorectified SPOT images, calibrated and atmospherically corrected, with the MBBR mask. Visualization in the RGB system corresponds to the combination: R (red canyon): band 3 (NIR); G (green canyon): band 2 (red); B (blue canyon): band 1 (green). This makes vegetation appear in red.



Simple Ratio, que se calcula para cada pixel como el cociente entre la reflectancia roja y la infrarroja en ese pixel (ver fórmula en la Tabla 1). Esta función presenta un PRMSE intermedio (0.89), si bien su CRMSE es relativamente alto (0.6). En el caso de la fAPAR, la función es:

$$fAPAR = -2.09 + 0.04*Verde + 0.24*Rojo - 0.15*NIR + 1.42*RDVI$$

donde Rojo, Verde y NIR son las reflectancias de cada pixel en las correspondientes bandas del mosaico y RDVI es el índice Renormalize Difference Vegetation Index (ver fórmula en la Tabla 1). Para esta función, el valor de PRMSE es de 0.1 y el de CRMSE es de 0.05; ambos valores son relativamente bajos. Estas funciones no son directamente utilizables para otra imagen, ni siquiera de la misma zona y la misma época del año, porque están adaptadas a los valores de reflectancia de la imagen para las que se ajustaron. Esto implica

## Figura 2.

Mosaico SPOT de la RBMM corregido topográficamente. La visualización en el sistema RGB corresponde a la combinación: R (cañón rojo): banda 3 (NIR); G (cañón verde): banda 2 (Rojo); B (cañón azul): banda 1 (verde). Esto hace que la vegetación aparezca en rojo.

Figure 2. SPOT mosaic topographically corrected of the MBBR. Visualization in the RGB system corresponds to the combination: R (red canyon): band 3 (NIR); G (green canyon): band 2 (red); B (blue canyon): band 1 (green). This makes vegetation appear in red.



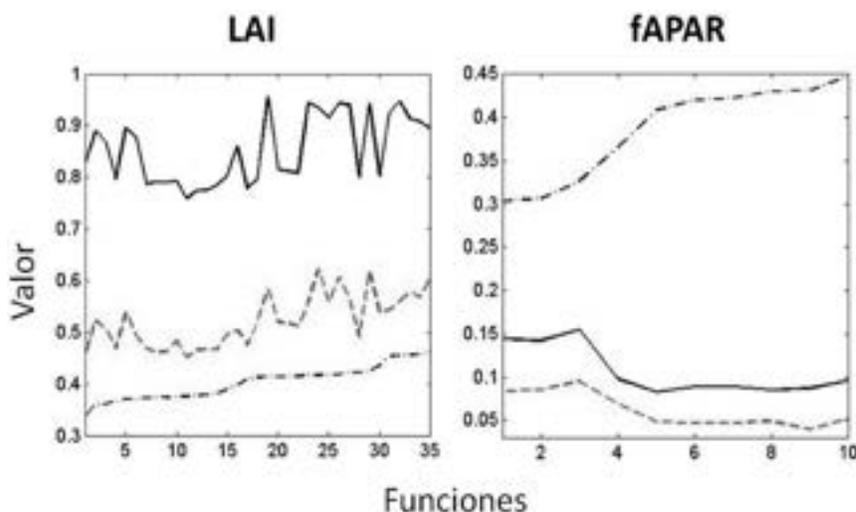
que cada vez que se requiera un mapa de una variable biofísica, para una zona y una fecha, se tendrá que repetir el ajuste entre una imagen y un conjunto de puntos de campo, de esa zona y fecha. Este es el principal inconveniente de los modelos empíricos de construcción de mapas de variables biofísicas, en oposición a los modelos físicos (Baret y Buis, 2008).

**Mapas de alta resolución.** La Figura 4a muestra los valores de LAI y fAPAR medidos en campo y los compara con los valores estimados por las funciones de transferencia elegidas, en los pixeles correspondientes a los 77 puntos de muestreo (bosque [ESUs], suelo y claros). Para las dos variables, los valores estimados por la función de transferencia elegida, son sistemáticamente más bajos que los medidos en campo, siendo mayor la subestimación para el LAI (Bias = -0.18, Biasr = 3.89 %), que para la fAPAR (Bias = -0.01, Biasr = 1.09 %). Los valores de suelo son sobreestimados en ambos casos, y los de claros, para el LAI; sin embargo, estas coberturas no eran el verdadero objetivo del trabajo y los datos asociados se tomaron con menor rigor que los de bosque. El RMSE asociado al LAI (calculado únicamente para los sitios de bosque) fue de 0.94 (RMSEr = 20.75 %), mientras que el asociado a la fAPAR fue de 0.07 (RMSEr = 8.41 %). En general estos errores se pueden asociar a diferentes factores, como la heterogeneidad del sitio, el ruido radiométrico, la localización del pixel, la precisión del geo-posicionador, la estimación de los datos de campo con fotografías hemisféricas, entre otros (Weiss y col., 2004). Por otra parte, es común que las estimaciones del LAI resulten menos precisas que las de fAPAR. El LAI es una variable descriptiva de la estructura y densidad del dosel y su definición implica tomar en cuenta la coexistencia de diferentes capas de vegetación, la forma y disposición de las hojas, el recubrimiento entre ellas y la presencia de otros elementos, como ramas y troncos. Esto hace que la estimación del LAI a partir de valores radiométricos resulte compleja e imprecisa, en particular para bosques densos de coníferas. En el caso de la fAPAR, se estima la capacidad de la vegetación de interceptar la luz recibida; se considera el total integrado para un día, lo que simplifica la estimación (Baret y col., 2012).

### Figura 3.

Errores de ajuste (PRMSE [línea continua]) y validación (CRMSE [línea discontinua]) e índice de concordancia, d, (punto-raya), asociados a las funciones que representan los modelos considerados.

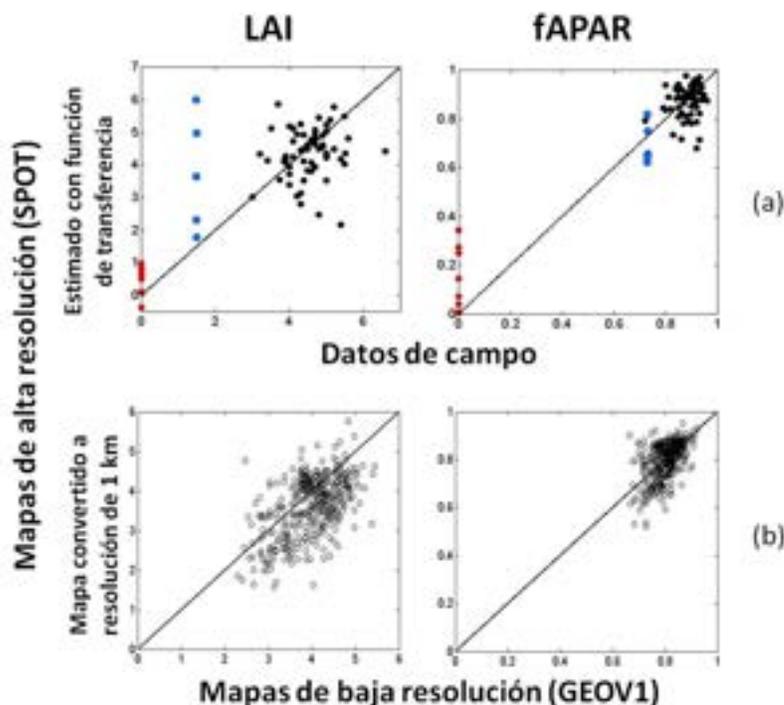
Figure 3. Errors of adjustment (PRMSE [solid line]) and validation (CRMSE [dashed line]) and index of agreement, d, (dot-dashed line) associated to the functions that represent the models considered.



### Figura 4.

a) Valores de LAI y fAPAR medidos en campo vs. estimados con las funciones de transferencia (ESUs en negro; suelos en rojo; claros en azul); b) Valor de cada pixel en los mapas GEOV1 de LAI y fAPAR vs. valor del mismo pixel en los mapas de alta resolución, convertidos a resolución de 1 km.

Figure 4. a) Measured field values of LAI and fAPAR vs. estimated with transfer functions (ESUs, in black; soil, in red; grasslands, in blue); b) The value of each pixel in the GEOV1 maps of LAI and fAPAR vs. the value of the same pixel in high resolution maps converted to 1 km resolution.



### Comparación de los mapas de alta y baja resolución

La Figura 5a muestra los mapas obtenidos al aplicar las funciones de transferencia a cada pixel del mosaico SPOT (Figura 2). Se puede constatar una buena concordancia entre los mapas y el mosaico. A las zonas de vegetación densa (en rojo oscuro en el mosaico), en particular al norte, centro-oeste y sur de la RBMM, les corresponden valores altos de LAI y fAPAR; en general se trata de las zonas donde el bosque de oyamel está mejor conservado; sin embargo, hay que señalar

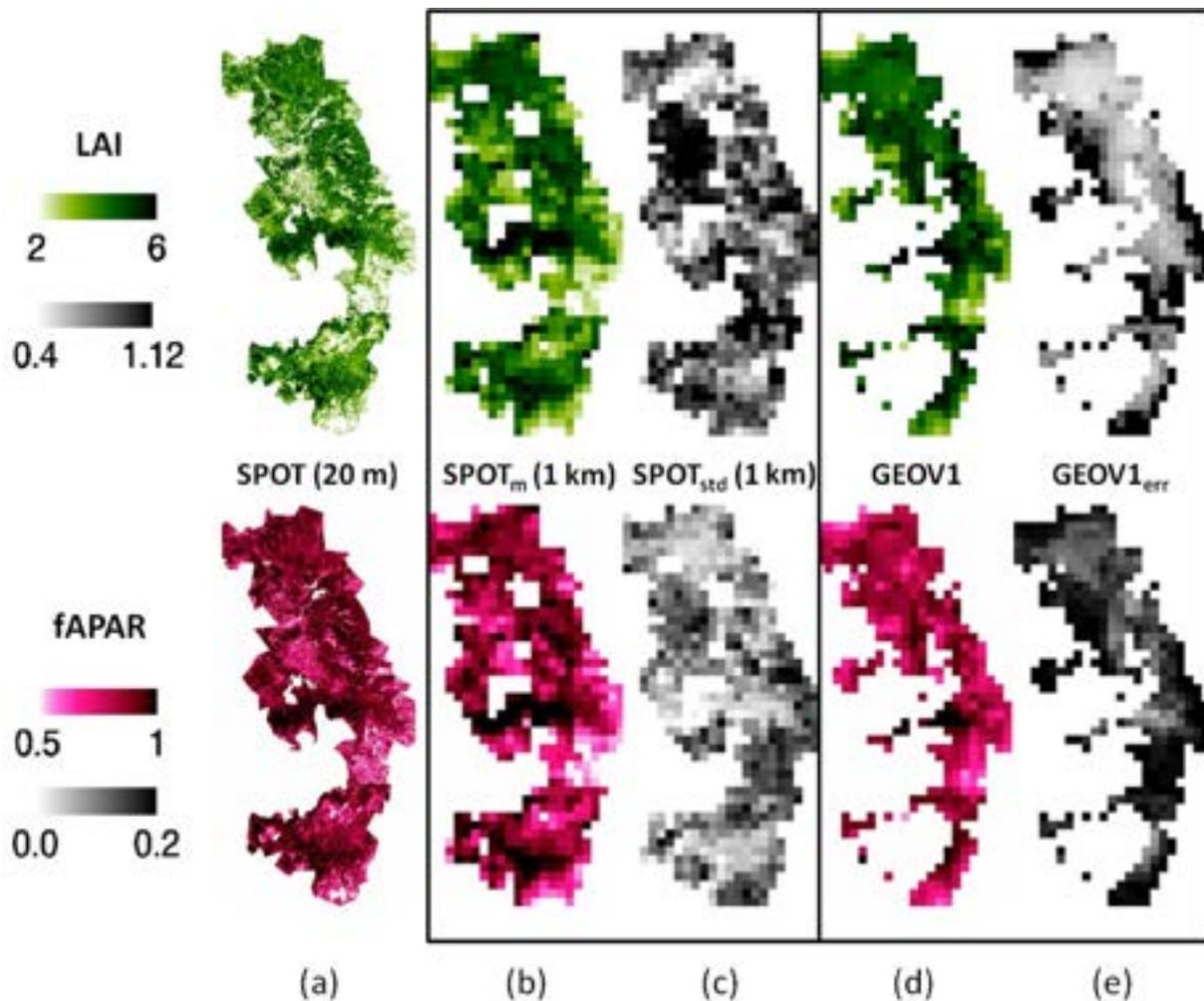
que el nivel más alto de LAI (en el centro), corresponde a una zona de matorral (Ramírez y col., 2008) y de bosque afectado por plagas (Champo-Jiménez y col., 2012), donde, por tratarse de imágenes de la época de lluvias, la vegetación baja es muy abundante y enmascara la ausencia de árboles de oyamel (nótese que en el mosaico corresponde a un tono de rojo más claro que la zona de bosque). Para detectar las zonas donde el oyamel presenta problemas de estrés o enfermedad, sería recomendable utilizar imágenes de la época de secas o comparar varias épocas del

año. Por otra parte, las zonas de agricultura y suelo (rojo claro y tonos azulados en el mosaico), como la zona agrícola y urbana de Angangueo (al centro-noroeste), el límite este de la RBMM, el ejido Crescencio Morales y el norte de Cerro Pelón (al centro-sur), y la punta sur, están asociadas a valores bajos de las variables biofísicas. Asimismo, el mapa de LAI obtenido es coherente con el de Velasco-López y col. (2010), correspondiente al mes de diciembre de 2001 (época de secas), salvo las áreas deforestadas entre las dos fechas, como el ejido Crescencio Morales

### Figura 5.

a) Mapas obtenidos al aplicar las funciones de transferencia al mosaico SPOT (generados con datos provenientes de la ERMEXS - UMSNH 2012); b) los mismos mapas a resolución de 1 km; c) desviación estándar asociada al cambio de resolución; d) mapas de la serie GEOV1 correspondientes al 13 de agosto de 2007; e) error asociado al mapa.

Figure 5. a) Maps obtained by applying transfer functions to SPOT mosaic (generated with data from the ERMEXS - UMSNH 2013); b) the same maps converted to a 1 km resolution; c) standard deviation associated with the change of resolution; d) GEOV1 series maps corresponding to August 13, 2007; e) error associated with the map.



(Champo-Jiménez y col., 2012). Ese trabajo se realizó con una metodología más simple, con menos puntos de campo correspondientes a una zona pequeña dentro de la reserva, y menos funciones; no incluye mapa de fAPAR.

La Figura 5b y 5c, muestra los mapas del promedio (SPOTm [1 km]) y la desviación estándar (SPOTstd [1 km]), correspondientes al paso de alta (20 m), a baja resolución (1 km), de los mapas obtenidos con el mosaico SPOT (Figura 5a). En la misma figura aparecen los mapas de LAI y fAPAR de la serie GEOVI correspondientes al 13 de agosto de 2007 (Figura 5d), así como el error asociado a cada pixel (GEOVterr) (Figura 5e); se observan los huecos debidos a la presencia de nubes. En general se puede constatar una buena correspondencia entre las zonas de alto y bajo LAI y fAPAR en los dos tipos de mapas (Figura 5b) (Figura 5d). Esto constituye una validación adicional de los mapas construidos, ya que la comparación es con respecto a mapas completamente independientes, construidos con una metodología diferente, a nivel global. Se observa que las zonas con mayor desviación estándar (Figura 5c) son también las que presentan el mayor error GEOVterr (Figura 5e); corresponden a las zonas más heterogéneas, que se pueden asociar a pixeles mixtos.

Para las dos variables consideradas, la comparación pixel a pixel (Figura 4b), de los mapas SPOT (convertidos a una resolución de 1 km), con los mapas GEOVI, considerando todos los pixeles válidos en ambos (Figura 5b y 5d), mostró una correlación baja (LAI:  $r = 0.53$ ;  $R^2 = 0.28$ ; fAPAR:  $r = 0.52$ ;  $R^2 = 0.27$ ), pero significativa ( $P < 0.05$ ), y valores aceptables de RMSE (LAI: RMSE = 0.76;

RMSEr = 19.03 %; fAPAR: RMSE = 0.07, RMSEr = 8.17 %), del mismo orden que los obtenidos entre los mapas SPOT y los datos de campo (Figura 4a). Con respecto a GEOVI, los mapas obtenidos a partir de las imágenes SPOT tienden a subestimar los valores, tanto del LAI (Bias = -0.35, Biasr = 8.84 %), como de la fAPAR (Bias = -0.005, Biasr = 0.60 %).

Por su parte, los datos GEOVI han sido comparados, en un ejercicio de validación global, con mapas de alta resolución de sitios de (3 km x 3 km), en todo el planeta, construidos con una metodología similar a la aquí presentada (Baret y col., 2012). En la comparación global se obtuvo una mejor correlación (LAI:  $R^2 = 0.72$ ; fAPAR:  $R^2 = 0.8$ ) que en la comparación con los mapas del presente trabajo. Esto puede deberse a que los puntos de muestreo utilizados para la validación global de GEOVI fueron homogéneos y planos, y entre todos representaban diferentes tipos de cobertura, en contraste con las características de la RBMM, que es una zona con mucho relieve y un solo tipo de vegetación (bosque de oyamel). Por el contrario, el error de validación de los mapas globales con los sitios de campo, es mayor (LAI: RMSE = 1.01; fAPAR: RMSE = 0.10) al error asociado a los mapas de este trabajo, lo que también sería una consecuencia del diferente número de coberturas consideradas. En definitiva, la metodología propuesta ha permitido construir mapas coherentes con los mapas globales, de menor error y mayor resolución.

## CONCLUSIONES

Se presenta una metodología para la construcción de mapas de alta resolución de

variables biofísicas, que permite cartografiar una zona de interés a partir de una imagen satelital y una cantidad relativamente pequeña de fotografías hemisféricas, cuya obtención y análisis son rápidos, sencillos y económicos. Ante la falta de una imagen completa de la época de los muestreos, se construyó un mosaico con varias imágenes, estrategia que resultó útil y puede aplicarse en lugares donde la nubosidad limita mucho los trabajos de teledetección. Los mapas construidos para cada variable biofísica presentan errores promedio razonables (LAI: RMSEr = 20.75 %; fAPAR: RMSEr = 8.41 %). Estos mapas de alta resolución (convertidos a baja resolución), se compararon con los equivalentes de baja resolución de la serie GEOVI, presentando una correlación significativa ( $r > 0.5$ ,  $P < 0.05$ ) y errores similares (LAI: RMSEr = 19.03 %; fAPAR: RMSEr = 8.17 %), más bajos que los de GEOVI a nivel global. Este resultado alienta la utilización conjunta de los dos tipos de mapas, lo que ofrece muchas posibilidades para el monitoreo permanente de la reserva, a través de un seguimiento general (con series de tiempo), para detectar zonas de perturbación, y un estudio detallado (con mapas de alta resolución) de las zonas detectadas. ■

## AGRADECIMIENTOS

Las imágenes SPOT fueron obtenidas en el marco del convenio ERMEXS-UMSNH 2013. El proyecto fue financiado por la Coordinación de la Investigación Científica de la UMSNH. Agradecemos a la RBMM las facilidades ofrecidas, y a Dulce M. Verdín, Enrique Martínez y Germán Champo su participación en los muestreos de campo.

## REFERENCIAS

Aridjjs, H. (2012). *Noticias de la Tierra*. México: Random House Mondadori.  
Baret, F., Weiss, M., Allard, D., Garrigues, S., Leroy, M., Jeanjean, H., Fernandes, R., Myneni, R., Privette, J., Morisette, J., Bohbot, H., Bosseno, R., Dedieu, G., Di-Bella, C., Duchemin, B.,

Espana, M., Gond, V., Gu, X. F., Guyon, D., Lelong, C., Maisongrande, P., Mougín, E., Nilson, T., Veroustraete, F., and Vintilla, R. (2005). VALERI: a network of sites and a methodology for the validation of medium spatial resolution land satellite products, en *Remote Sensing of Environment*. [En línea]. Disponible en: [http://](http://w3.avignon.inra.fr/valeri/documents/VALERI-RSESubmitted.pdf)

[w3.avignon.inra.fr/valeri/documents/VALERI-RSESubmitted.pdf](http://w3.avignon.inra.fr/valeri/documents/VALERI-RSESubmitted.pdf). Fecha de consulta: 11 de noviembre de 2013.  
Baret, F. and Buis, S. (2008). Estimating Canopy Characteristics from Remote Sensing Observations: Review of Methods and Associated Problems. En S. Liang (Ed.), *Advances in land remote sensing. System, Modeling, Inversion and*

- Application* (pp. 173-201). New York: Springer Science+Business Media B.V.
- Baret, F., Makhmara, H., Lacaze R., and Smets, B. (2012). BioPar product user manual. LAI, FAPAR, FCOVER, NDVI Version 1 from SPOT/VEGETATION data. [En línea]. Disponible en: [http://land.copernicus.eu/global/sites/default/files/products/GIO-GLI\\_PUM\\_LAI\\_V1\\_11.00.pdf](http://land.copernicus.eu/global/sites/default/files/products/GIO-GLI_PUM_LAI_V1_11.00.pdf). Fecha de consulta: 11 de noviembre de 2013.
- Baret, F., Weiss, M., Lacaze, R., Camacho, F., Makhmara, H., Pacholczyk, P., and Smets, B. (2013). GEOV1: LAI and FAPAR essential climate variables and FCOVER global time series capitalizing over existing products. Part I: Principles of development and production. *Remote Sensing of Environment*. 137: 299-309.
- Barve, N., Bonilla, A. J., Brandes, J., Brown, J. C., Brunzell, N., Cochran, F. V., Crosthwait, R. J., Gentry, J., Gerhart, L. M., Jackson, T., Kern, A. J., Oberhauser, K. S., Owens, H. L., Peterson, A. T., Reed, A. S., Soberón, J., Sundberg, A. D. y Williams, L. M. (2012). Eventos de mortandad masiva y cambio climático en poblaciones invernales de la mariposa monarca. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 83: 817-824.
- Brenner, L. (2009). Aceptación de políticas de conservación ambiental: el caso de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca. *Economía, Sociedad y Territorio*. 9(30): 259-295.
- Brower, L. P., Taylor, O. R., Williams, E. H., Slayback, D. A., Zubieta, R. R., and Ramírez, M. I. (2011). *Decline of monarch butterflies overwintering in Mexico: Is the migratory phenomenon at risk? Insect Conservation and Diversity*. [En línea]. Disponible en: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1752-4598.2011.00142.x/pdf>. Fecha de consulta: 11 de noviembre de 2013.
- Champo-Jiménez, O., España-Boquera, M. L., and Valderrama-Landeros, L. (2012). Pérdida de cobertura forestal en la Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca, Michoacán, México (2006-2010). *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 18: 143-157.
- CONANP, Comisión Nacional de Áreas Protegidas (2001). Programa de manejo de la reserva de la biosfera Mariposa Monarca. (pp. 159). [En línea]. Disponible en: [http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/consultaPublicacion.html?id\\_pub=387](http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/consultaPublicacion.html?id_pub=387). Fecha de consulta: 11 de noviembre de 2013.
- Geoland2 (2013). Dataset series catalogue. Geoland2. [En línea]. Disponible en: <http://www.geoland2.eu/>. Fecha de consulta: 23 de septiembre de 2013.
- GLCF, Global Land Cover Family (2013). Landsat GeoCover data set. Circa 2000. [En línea]. Disponible en: <http://glcf.umd.edu/data/mosaic/>. Fecha de consulta: 3 de septiembre de 2013.
- INRA, National Institute of Agronomical Research (2013). CAN-EYE Software. [En línea]. Disponible en: <http://www6.paca.inra.fr/can-eye>. Fecha de consulta: 20 de septiembre de 2013.
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2013). Continuo de Elevaciones Mexicano 3.0 (CEM 3.0). [En línea]. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/continuoelevaciones.aspx>. Fecha de consulta: 15 de septiembre de 2013.
- Jonckheere, I., Fleck, S., Nackaerts, K., Muys, B., Coppin, P., Weiss, M., and Baret, F. (2004). Review of methods for in situ leaf area index determination: Part I. Theories, sensors and hemispherical photography. *Agricultural and Forest Meteorology*. 121: 19-35.
- Jones, H. G. and Vaughan, R. A. (2010). *Remote sensing of vegetation. Principles, techniques, and applications*. New York, USA: Oxford University Press, Inc. 353 Pp.
- Meyer, P., Itten, K. I., Kellenberger, T., Sandmeier, S., and Sandmeier, R. (1993). Radiometric corrections of topographically induced effects on Landsat TM data in an alpine environment. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 48: 17-28.
- Navarrete, J. L., Ramírez, M. I., and Pérez, D. (2011). Logging within protected areas: Spatial evaluation of the monarch butterfly biosphere reserve, Mexico. *Forest Ecology and Management*. 262: 646-654.
- Ramírez, M., Miranda, R. y Zubieta, R. (2008). *Vegetación y cubiertas del suelo 2006 (1: 75000). Serie cartográfica Monarca*. Volumen I. Segunda Edición. MBSF-CIGA-UNAM-INE-SEMARNAT-UNESCO.
- Rendón-Salinas, E. and Tavera-Alonso, G. (2012). Monitoreo de la superficie forestal ocupada por las colonias de hibernación de la mariposa monarca en diciembre de 2012. WWF-México, DF, reporte inédito. [En línea]. Disponible en [http://awsassets.panda.org/downloads/rep\\_monitoreo\\_colonias\\_mariposa\\_monarca\\_2012\\_2013.pdf](http://awsassets.panda.org/downloads/rep_monitoreo_colonias_mariposa_monarca_2012_2013.pdf). Fecha de consulta: 7 de junio de 2014.
- Rodríguez-Muñoz, G., Mendoza-Ontiveros, M., and Monterrubio-Cordero, J. C. (2012). Cambios en el uso de los recursos forestales por género en una comunidad a partir de la declaración de la Reserva de la Biosfera de la Mariposa Monarca, México. *Spanish journal of rural development*. 3(3): 1-12.
- Velasco-López, S., Champo-Jiménez, O., España-Boquera, M. y Baret, F. (2010). Estimación del índice de área foliar en la Reserva de la Biósfera Mariposa Monarca. *Revista Fitotecnica Mexicana*. 33: 169-174.
- Vidal, O., López-García, J., and Rendón-Salinas, E. (2013). Trends in deforestation and forest degradation after a decade of monitoring in the Monarch Butterfly Biosphere Reserve in Mexico en *Conservation Biology*. [En línea]. Disponible en: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/cobi.12138/full>. Fecha de consulta: 11 de noviembre de 2013.
- Weiss, M., Baret, F., Smith, G., Jonckheere, I., and Coppin, P. (2004). Review of methods for in situ leaf area index (LAI) determination: Part II. Estimation of LAI, errors and sampling. *Agricultural and Forest Meteorology*. 121: 37-53.
- Willmott, C. J. and Wicks, D. E. (1980). An empirical method for the spatial interpolation of monthly precipitation within California. *Physical Geography*. 1(1): 59-73.

# PRÁCTICAS DE REHABILITACIÓN EN UN ECOSISTEMA SEMIÁRIDO, AFECTADO POR EL ESTABLECIMIENTO DE UN BANCO DE MATERIAL, EN EL NORESTE DE MÉXICO



## SOIL REHABILITATION PRACTICES IN A SEMIARID ECOSYSTEM AFFECTED BY MINING ACTIVITIES IN NORTHEASTERN MEXICO

**José Manuel Mata-Balderas<sup>1\*</sup>,  
Eduardo Javier Treviño-Garza<sup>1</sup>,  
Javier Jiménez-Pérez<sup>1</sup>,  
Oscar Alberto Aguirre-Calderón<sup>1</sup>,  
Eduardo Alanís-Rodríguez<sup>1</sup> y  
Rahim Foroughbakhch-Pournavab<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León. Carretera Nacional Km 145, A.P. 144, Linares, Nuevo León, México, C.P. 67700.

<sup>2</sup>Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Autónoma de Nuevo León. Ave. Pedro de Alba s/n, San Nicolás de los Garza, N.L., México, C.P. 66400.

\*Autor para correspondencia: [manuelmata792@gmail.com](mailto:manuelmata792@gmail.com)

Fecha de recepción: 20 de septiembre de 2013 / Fecha de aceptación: 28 de abril de 2014.

### RESUMEN

El aprovechamiento de materiales a cielo abierto, representa un importante motor de desarrollo económico en el noreste de México, actividad que también ocasiona alteraciones ambientales en los ecosistemas en buen estado de conservación, como son, los cercanos a las mismas Áreas Naturales Protegidas, por lo cual, es necesario la integración de mecanismos de restauración en los procesos productivos. En la presente investigación se establecieron cuatro sitios de evaluación: (1) un área restaurada en el 2003; (2) un área restaurada en el 2008; (3) un sitio testigo en estado de

abandono y; (4) un área natural, en el municipio de Ramos Arizpe, Coahuila, México. En las áreas restauradas se crearon taludes con pendiente de 30° y una exposición noreste, y se estableció un programa de reforestación con plantas nativas adultas. En el área testigo no se realizaron prácticas de reforestación y/o rehabilitación posterior a las prácticas de aprovechamiento, y en el área natural no hubo prácticas de aprovechamiento, sirviendo de ecosistema base. El análisis consistió en un muestreo vegetativo simple al azar con cinco repeticiones en cada área, registrándose la evolución para los

factores suelo y vegetación en una escala de tiempo. Se encontró un total de 640 individuos, correspondientes a 19 familias y 39 especies, conformados por 14 leñosas, 16 suculentas y 9 herbáceas. Se determinó que las prácticas de restauración de comunidades semiáridas, mediante la incorporación de individuos adultos y la adecuación del relieve, proveen condiciones favorables para la regeneración natural, acciones que promueven la colonización de otras especies en ambientes semiáridos.

**PALABRAS CLAVE:** restauración, semiárido, taludes.

## ABSTRACT

Open pit mining represents an important economic development in northeastern Mexico; nevertheless this activity also brings environmental changes on well conserved ecosystems, especially those that take place near Natural Protected Areas (ANP by its initials in Spanish), reason why it's necessary to ingrate restoration mechanisms in the production processes. In this research four test sites were established: (1) an area restored in 2003; (2) an area restored in 2008; (3) a site in a state of abandonment and; (4) a natural area; in the municipality of Ramos Arizpe, Coahuila, Mexico. In the restored areas, slopes of 30° of inclination and a northeast exposure were created, as well as a reforestation program with adult native plants was established. In the witness area no reforestation and/or rehabilitation practices were performed, meanwhile in the natural area there were no use practices, being classified as an ecosystem baseline. There were a total of 640 individuals classified into 19 families and 39 species, composed by 14 woody plants, 16 succulents and 9 herbaceous. It was determined that restoration practices in semiarid communities, by incorporating tree adult species and the adequacy of slopes, provide favorable conditions for natural regeneration and are actions that promote colonization of other species in semiarid environments.

**KEYWORDS:** restoration, semiarid, slopes.

## INTRODUCCIÓN

Las regiones semiáridas poseen una vasta riqueza de materiales de origen geológico que representan una alternativa económica para países en vías de desarrollo (Neri y Sánchez, 2010). En los últimos años se ha incrementado el aprovechamiento de recursos de caliza y arcilla, debido a la demanda de insumos para la construcción, situación que ha sido el motor para el desarrollo en las regiones rurales y actividades industriales en los núcleos urbanos (Ten-Kate y col., 2004). Sin embargo, existen problemas asociados a esta actividad, como lo son: la fragmentación de los ecosistemas por efecto del retiro de la

cubierta vegetal y el abandono de estas áreas sin prácticas de rehabilitación (Josa y col., 2012; Wassenaar y col., 2012), dicha fragmentación ocasiona la modificación del ecosistema a nivel regional y la pérdida de hábitat en zonas específicas de influencia y amortiguamiento, por lo que restringen el flujo natural y el intercambio genético de la flora y fauna silvestre (Jiménez y col., 2009; Rybicki y Hanski, 2013). Aunado a ello, la presencia de estos proyectos de restauración, ubicados en zonas en buen estado de conservación, como lo son las Áreas Naturales Protegidas (ANPs), realza la importancia de la generación de conocimiento y divulgación de prácticas efectivas para la restauración y/o rehabilitación de estos ecosistemas en la planeación de los procesos de extracción, lo cual coadyuvará a la sustentabilidad de los recursos naturales y a la restitución de los servicios naturales que proveen (Kirmer y col., 2012).

Existen tratamientos de rehabilitación, que son comúnmente utilizados para recuperar la productividad de un área que ha sido aprovechada, en donde se cambia el uso y/o condición inicial del ecosistema. Las prácticas más comunes a nivel mundial son la siembra de leñosas (Mata y col., 2010), plantación de leñosas (Alanís y col., 2010), estabilización de taludes (Ginocchio y León, 2011) y las obras de retención del suelo (Myronidis y col., 2010). Dependiendo de algunos factores como del grado de afectación del área, la resiliencia del suelo y vegetación, y el recurso económico disponible, entre otros, se pueden realizar diferentes prácticas de restauración (Molina y col., 2012). Para determinar el grado de eficiencia de estas prácticas, es necesario evaluar periódicamente diferentes variables de los tratamientos, y compararlos con áreas afectadas sin restauración y sitios naturales sin afectación.

Para la presente investigación se evaluaron los efectos de las acciones realizadas en la rehabilitación de un ecosistema semiárido impactado por el aprovechamiento de materiales a cielo abierto. El objetivo del presente estudio fue cuantificar y relacionar las diferentes variables de la comunidad vegetal

(abundancia, dominancia, frecuencia, índice de valor de importancia, diversidad alfa y diversidad beta), con las variables edáficas (materia orgánica, macro y micronutrientes), en áreas con diferente tiempo de restauración (8 y 4 años), contra un área sin actividades de restauración y un área contigua no afectada por actividades de aprovechamiento. Esta última, con el objeto de conocer la composición y estructura florística de la comunidad afectada.

## MATERIALES Y MÉTODOS

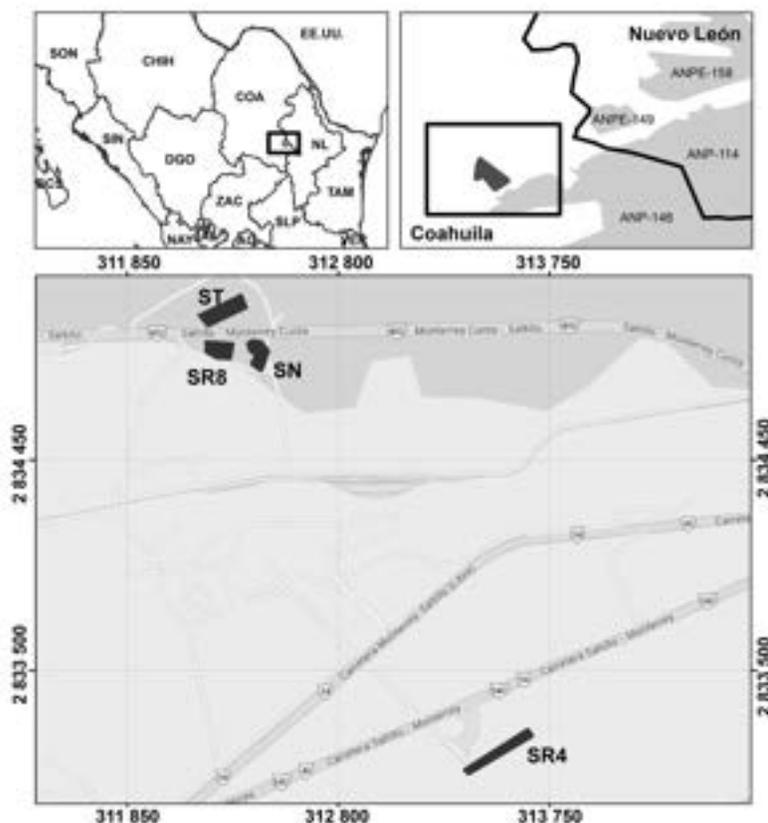
### Área de estudio

La presente investigación se desarrolló en el municipio de Ramos Arizpe, Coahuila, en el noreste de México (Figura 1). Las coordenadas de ubicación son 25°37'12" latitud Norte y 100°53'22" de longitud Oeste. Según la clasificación de Köppen, el clima predominante es muy seco, semicálido (BWhw), con una temperatura media anual entre los 21 °C y 22 °C. Los tipos de suelos presentes son el Rcladeras E/2/L (Regosol calcárico + Rendzina / Lítico) y la precipitación media anual es de 200 mm a 300 mm. Presenta una altitud máxima de 1 280 msnm (CONAGUA, 2012). La comunidad vegetal representativa, de acuerdo a la cartografía del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 1986), está conformada principalmente por vegetación semiárida del tipo matorral desértico micrófilo asociado con matorral desértico rosetófilo, vegetación espinosa con hojas en forma de roseta y con una importante presencia de cactáceas. Algunas de las especies que representan a este ecosistema son las siguientes: lechuguilla (*Agave lecheguilla* Torr.), gobernadora (*Larrea tridentata* Sessé & Moc. ex DC.), entre otras (Alanís, 1996). Cabe destacar que el área de investigación es de alta prioridad, ya que se ubica entre las siguientes ANPs: Parque Nacional Cumbres de Monterrey (11.20 km) de regulación federal, Sierra Cerro de Bandidos (11.66 km) de regulación estatal (Nuevo León), Sierra de Zapalinamé (19.54 km) de regulación estatal (Coahuila), y Área de Protección de los recursos Naturales, Zona protectora Forestal CADNRO26 (1.20 km) de regulación federal (Figura 1).

**Figura 1.**

Ubicación de las áreas estudiadas: sitio restaurado 4 años (SR4); sitio restaurado 8 años (SR8); sitio testigo (ST) y; sitio natural (SN).

Figure 1. Location of the studied areas: location restored 4 years (SR4); location restored 8 years (SR8); control site (ST) and; natural location (SN).

**Tratamiento y análisis de la vegetación**

En el verano de 2011 se evaluaron dos áreas restauradas, con un tiempo de regeneración de cuatro años (SR4) y ocho años (SR8) respectivamente, así como un área testigo sin obras de restauración (ST) y un sitio natural sin afectaciones (SN) (Figura 2). Las áreas tenían una distancia máxima de 1.9 km entre ellas y presentaban características fisiográficas similares. En las áreas restauradas se realizaron actividades de acondicionamiento de manera mecánica, creando taludes con pendiente de 30°. También se crearon plataformas horizontales con contrapendiente, utilizando agregados para conformar terraplenes para la retención de material edáfico y retención de humedad (Figura 3).

Después de construir los taludes en las áreas restauradas, se realizó una reforestación con especies nativas en el mes de septiembre, mes con mayor precipitación del año en la zona. Los ejemplares utilizados fueron resultado de las prácticas de rescate y conservación de ejemplares adultos de agaváceas y cactáceas de la zona, previo a las acciones de aprovechamiento de materiales. Estos individuos estuvieron durante 12 meses en un vivero temporal contiguo a la zona de estudio. La densidad de plantación fue de 1 100 N/ha (individuos/hectárea) con un espaciamiento de 3 m x 3 m. En el área SR4 (Figura 2a), con una superficie de 4 300 m<sup>2</sup>, se utilizaron 473 individuos, correspondientes a 10 especies (*Agave americana*, *Agave lecheguilla*, *Agave*

*striata*, *Dasyllirion texanum*, *Echinocereus reichenbachii*, *Echinocereus eneacanthus*, *Lophopora williamsii*, *Coryphanta compacta*, *Mammillaria melanocentra* y *Mammillaria pottsii*), y en el SR8 (Figura 2b), con una superficie de 4 280 m<sup>2</sup>, se utilizaron 471 individuos, correspondientes a seis especies (*Agave americana*, *Agave lecheguilla*, *Agave striata*, *Coryphanta compacta*, *Dasyllirion texanum* y *Fouquieria splendans*), para las prácticas de reforestación.

Es importante manifestar que en el ST (Figura 2c) seleccionado con una temporalidad de ocho años de abandono y una superficie de 4 350 m<sup>2</sup>, no se registró la presencia de especies vegetales establecidas sobre los taludes existentes. Por último, el SN (Figura 2d) evaluado fue de 4 200 m<sup>2</sup>. Las acciones antes mencionadas fueron establecidas en dos períodos diferentes de acuerdo al avance constructivo, el SR8 en el 2005, y el SR4 en el 2009. La diferencia de especies plantadas, obedece principalmente a un requerimiento ambiental de autoridades federales para el rescate y protección de las familias cactaceae y agaveceae.

El método de registro de la vegetación, consistió en el establecimiento de cinco sitios de muestreo de 100 m<sup>2</sup>, en cada una de las tres unidades de análisis (15 sitios en total). Los sitios fueron distribuidos aleatoriamente, para determinar la estructura y composición de la vegetación, para lo cual se efectuaron mediciones dasométricas de altura total de los ejemplares presentes (h), diámetro basal (d 0.10) y cobertura de copa. La medición del diámetro se realizó a 0.10 m sobre la base del suelo, siendo una medida estándar empleada para especies arbóreas y arbustivas (Alanís y col., 2008), y se evaluaron los individuos con un diámetro d 0.10 ≥ 1 cm, para obtener una mayor representatividad de las especies (Mora y col., 2013). La cobertura fue medida en términos absolutos, es decir: cm<sup>2</sup> cubiertos por cada especie (Montani y col., 1986). Los ejemplares fueron identificados por personal calificado de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL).

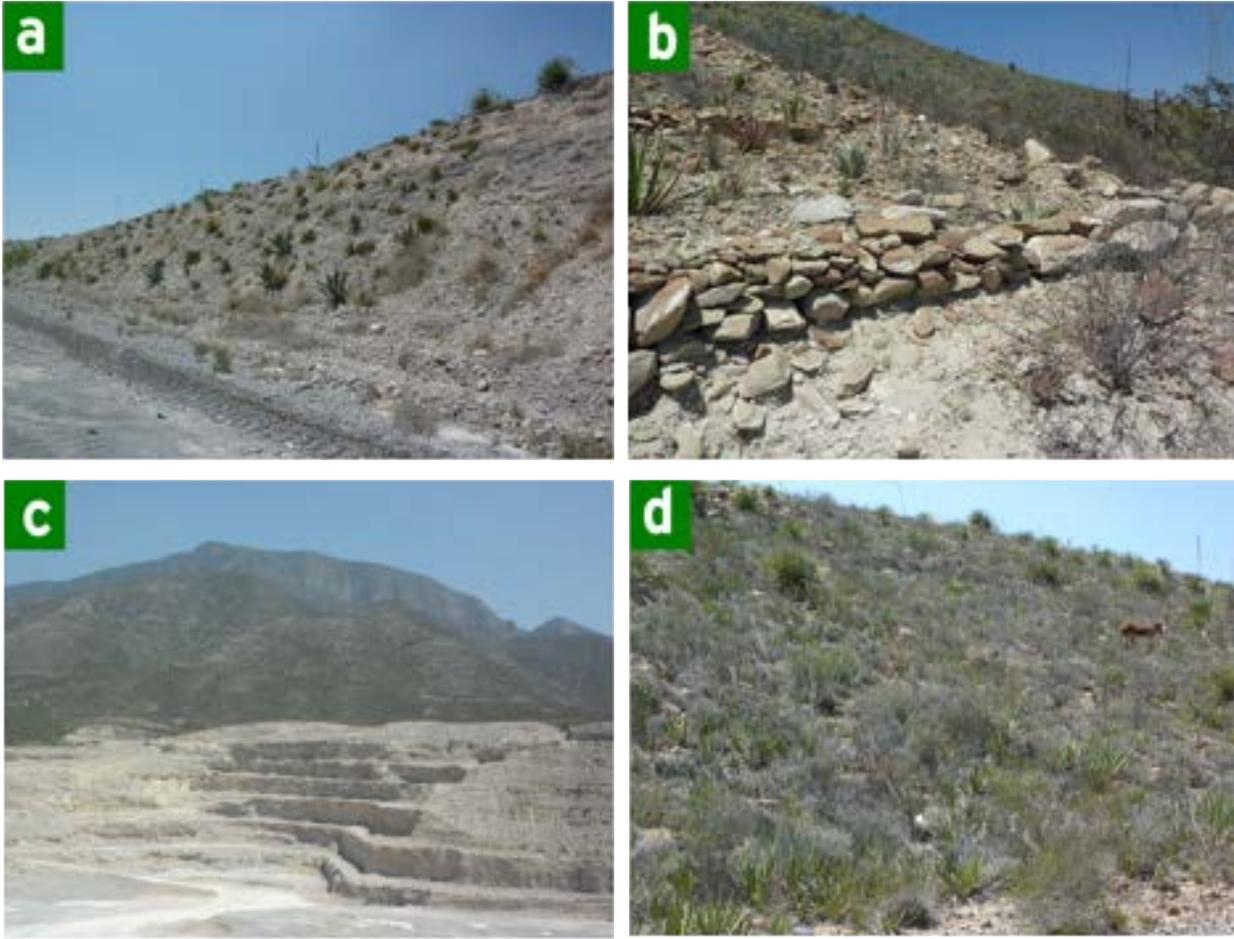
**Análisis de la información**

Se calculó el índice del valor de importancia

**Figura 2.**

Imágenes de los sitios evaluados: a) sitio restaurado cuatro años (SR4); b) sitio restaurado ocho años (SR8); c) sitio testigo (ST) y; d) sitio natural (SN).

Figure 2. Images of the evaluated sites: a) location restored 4 years (SR4); b) location restored 8 years (SR8); c) control site (ST) and; d) natural location (SN).



(*IV*) de las especies presentes, utilizando las siguientes variables relativas: abundancia ( $A_r$ ), dominancia ( $D_r$ ) y frecuencia relativa ( $F_r$ ); y los parámetros ecológicos de diversidad alfa ( $\alpha$ ) mediante el índice de Margalef ( $D_{Mg}$ ) e índice de Shannon-Wiener (Shannon y Weaver, 1949), y la diversidad beta ( $\beta$ ) con el coeficiente de similitud de Jaccard (Tabla 1).

Para la clasificación de los sitios y determinación de su semejanza, se utilizó el coeficiente de similitud de Jaccard, que expresa el grado en el que dos muestras son semejantes por las especies que comparten, por lo que es una medida inversa de la diversidad  $\beta$ , que se refiere al cambio de especies entre dos muestras (Magurran, 1988). El intervalo de valores para este índice

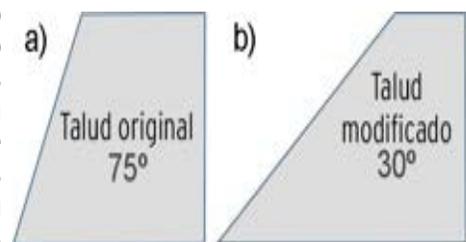
va de 0 (cuando no hay especies compartidas entre ambos sitios), hasta 1 cuando los dos sitios tienen la misma composición de especies. El análisis se llevó a cabo con el programa Multi Variate Statistical Package (MVSP) versión 3.2 y el método de ajuste utilizado fue Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean (UPGMA).

El análisis de las variables edáficas (macro y micronutrientes del suelo); se desarrolló en el laboratorio de la Facultad de Ciencias Químicas de la UANL. Con esta información se procedió a determinar la relación entre especies vegetales y variables edafológicas mediante un análisis de ordenación canónica (ACC) en el programa CANOCO for Windows 4.55 (Ter-Braak y Smilauer, 1997), para el

**Figura 3.**

a) Estado original del talud; b) estabilización física del talud para su rehabilitación.

Figure 3. a) The original state of the slope; b) the physic stabilization of the slope for its restoration.



cual, se crearon bases de datos bióticos (abundancias de especies) y abióticos (variables edafológicas). Los datos de las especies fueron transformados con el método de la raíz cuadrada. Se registró el pH y porcentaje de Materia Orgánica, y las variables edafológicas seleccionadas fueron: a) Macronutrientes: carbono, nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio, azufre y calcio; b) Micronutrientes: boro, fierro, cobre y zinc (Tabla 3).

Para evaluar si existía diferencia significativa de las variables entre las áreas evaluadas, se procedió a calcular los valores promedio de los sitios de muestreo. Se realizó un análisis de varianza ANOVA ( $P < 0.05$ ). Cuando se registraron diferencias significativas se efectuó la prueba de Tukey y Games Howell. El programa estadístico utilizado fue el SPSS versión 15.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se registraron en total 640 individuos correspondientes a 19 familias y 39 especies, conformadas por 14 leñosas, 16 suculentas y 9 herbáceas (Tabla 1). De acuerdo a los valores máximos de *IVI*, las familias más representativas en SR4 fueron Agavaceae (24.88 %) y Asteraceae (23.58 %), y las especies *Agave lecheguilla* (14.70 %) y *Gymnosperma glutinosum* Spreng. Less. (8.58 %). Para SR8, las familias más representativas fueron Agavaceae (23.17 %), y Amaranthaceae (17.56 %), y las especies *Salsola kali* (17.56 %), y *Agave lecheguilla* (12.64 %), la primera es una planta anual originaria de Euroasia, herbácea cosmopolita que responde a suelos arenosos y frecuentemente impactados, y la segunda planta es una suculenta característica de suelos calizos. Por último, en el SN

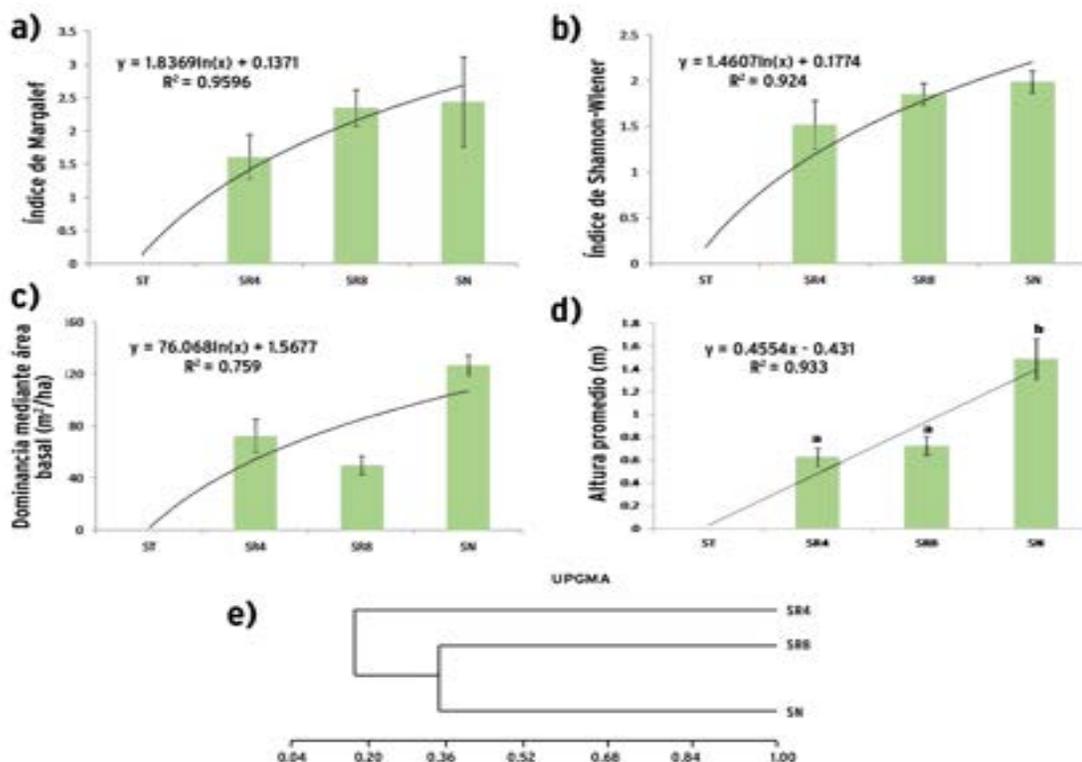
se registraron las familias Agavaceae (17.71 %), Zygophyllaceae (13.11 %) y Asteraceae (7.32 %), y las principales especies fueron *Agave lecheguilla* (13.24 %), *Larrea tridentata* (9.49 %) y *Gymnosperma glutinosum* (4.69 %). Los géneros *Agave*, *Larrea*, *Gymnosperma* y *Salsola* son los más representativos de acuerdo con los patrones de abundancia relativa en las tres áreas estudiadas.

La abundancia de las plantas de la familia Cactaceae y Agavaceae, obedece a la incorporación de estos ejemplares como parte de la reforestación inicial (Tabla 2). La riqueza de especies presentes en SR4 fue de 18 especies (ocho como resultado de la regeneración natural), para SR8 fue de 16 especies (10 especies por regeneración natural), y para ST no se registró la presencia de especies vegetales. Por último, para el ecosistema

### Figura 4.

a) Índice de Margalef; b) índice de Shannon-Wiener; c) área basal; d) altura promedio; e) dendrograma de similitud entre las áreas SR4, SR8 y SN. Valores promedio y desviación estándar. Letras diferentes indican diferencia significativa ( $P < 0.05$ ).

Figure 4. a) Margalef index; b) Shannon-Wiener Index; c) basal area; d) average height; e) similarity dendrogram of the studied areas. Average values and standard deviation of the species. Different letters indicate significant difference ( $P < 0.05$ ).



**Tabla 1.**

Valores de abundancia, dominancia, frecuencia relativa e índice de valor de importancia de las áreas evaluadas.  
Table 1. Values of abundance, dominance, relative frequency and index of importance value of the evaluated areas.

Clave	Familia	Nombre Científico	Forma de Vida	ST				SR4				SR8				SN			
				Ar	Dr	Fr	IVI	Ar	Dr	Fr	IVI	Ar	Dr	Fr	IVI	A <sub>r</sub>	D <sub>r</sub>	F <sub>r</sub>	IVI
1	Mimosaceae	<i>Acacia berlandieri</i>	Arborescente	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.865	2.137	6.125	4.042	
2	Zygophyllaceae	<i>Porlieria angustifolia</i>	Arbustiva	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.415	4.274	4.167	3.619	
3	Agavaceae	<i>Agave americana</i>	Roseta	-	-	-	-	2.222	7.959	4.255	4.812	7.959	4.255	4.812	6.518	-	-	-	
4	Agavaceae	<i>Agave lecheguilla</i>	Roseta	-	-	-	-	25.926	7.551	10.638	14.705	21.104	7.013	9.804	12.640	27.536	2.137	10.055	13.243
5	Agavaceae	<i>Agave striata</i>	Roseta	-	-	-	-	5.926	5.918	4.255	5.367	1.948	4.208	5.882	4.013	-	-	-	
6	Asteraceae	<i>Baccharis pterionoides</i>	Herbácea	-	-	-	-	8.889	5.102	6.383	6.791	-	-	-	-	-	-	-	
7	Euphorbiaceae	<i>Bernardia myrcaefolia</i>	Arbustiva	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.449	4.274	4.155	3.293	
8	Berberidaceae	<i>Berberis trifoliolata</i>	Arbustiva	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.831	7.123	4.167	5.374	
9	Mimosaceae	<i>Calliandra conferta</i>	Arbustiva	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.449	8.421	2.083	3.985	
10	Loasaceae	<i>Cevalia sinuata</i>	Herbácea	-	-	-	-	-	-	-	-	1.299	6.311	5.882	4.497	-	-	-	
11	Cactaceae	<i>Coryphanta compacta</i>	Crasicaule	-	-	-	-	6.667	2.449	4.255	4.457	3.571	1.403	3.922	2.965	0.483	0.712	2.083	1.093
12	Euphorbiaceae	<i>Croton dioicus</i>	Arbustiva	-	-	-	-	-	-	-	-	6.818	2.104	5.882	4.935	-	-	-	
13	Ruscaceae	<i>Dasyllirion texanum</i>	Roseta	-	-	-	-	2.222	10.612	6.383	6.406	1.623	7.013	5.882	4.839	7.729	6.410	6.250	6.796
14	Cactaceae	<i>Echinocereus reichenbachii</i>	Crasicaule	-	-	-	-	5.185	3.061	4.255	4.167	-	-	-	-	-	-	-	
15	Cactaceae	<i>Echinocereus enneacanthus</i>	Crasicaule	-	-	-	-	1.481	3.673	2.128	2.428	-	-	-	-	-	-	-	
16	Cactaceae	<i>Ferocactus hamathacantus</i>	Crasicaule	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.449	0.142	2.070	1.220	
17	Fouquieriaceae	<i>Fouquieria splendens</i>	Arbustiva	-	-	-	-	-	-	-	-	0.974	16.830	3.922	7.242	-	-	-	
18	Oleaceae	<i>Forestiera angustifolia</i>	Arbustiva	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.966	12.821	2.020	5.269	
19	Asteraceae	<i>Gochnatia hypoleuca</i>	Arborescente	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.483	5.342	2.083	2.636	
20	Asteraceae	<i>Gymnosperma glutinosum</i>	Herbácea	-	-	-	-	5.926	9.184	10.638	8.583	-	-	-	5.797	2.137	6.150	4.695	
21	Euphorbiaceae	<i>Jatropha dioica</i>	Crasicaule	-	-	-	-	7.407	3.265	6.383	5.685	-	-	-	3.865	1.068	4.030	2.988	
22	Rhamnaceae	<i>Karwinskia humboldtiana</i>	Arbustiva	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.831	4.986	6.250	5.356	
23	Koeberliniaceae	<i>Koeberlinia spinosa</i>	Arbustiva	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.966	2.991	2.083	2.013	
24	Zygophyllaceae	<i>Larrea tridentata</i>	Arbustiva	-	-	-	-	8.889	9.388	8.511	8.929	-	-	-	11.594	8.547	8.333	9.492	
25	Scrophulariaceae	<i>Leucophyllum frutescens</i>	Arbustiva	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.763	8.547	6.250	7.187	
26	Cactaceae	<i>Lophophora williamsii</i>	Crasicaule	-	-	-	-	2.963	1.633	4.255	2.950	-	-	-	-	-	-	-	
27	Cactaceae	<i>Mammillaria melanocentra</i>	Crasicaule	-	-	-	-	4.444	2.041	6.383	4.289	-	-	-	-	-	-	-	
28	Cactaceae	<i>Mammillaria pottsii</i>	Crasicaule	-	-	-	-	2.963	1.633	4.255	2.950	-	-	-	-	-	-	-	
29	Celastraceae	<i>Mortonia greggii</i>	Arbustiva	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.932	2.493	3.159	2.528	
30	Cactaceae	<i>Opuntia engelmannii</i>	Crasicaule	-	-	-	-	0.741	4.082	2.128	2.317	0.974	2.104	3.922	2.333	0.966	1.256	2.083	1.435
31	Cactaceae	<i>Opuntia leptocaulis</i>	Crasicaule	-	-	-	-	-	-	-	-	1.623	4.208	3.922	3.251	1.932	2.137	4.167	2.745
32	Asteraceae	<i>Parthenium incanum</i>	Herbácea	-	-	-	-	5.926	10.204	8.511	8.214	-	-	-	-	-	-	-	
33	Asteraceae	<i>Porophyllum macrocephalum</i>	Herbácea	-	-	-	-	-	-	-	-	4.221	2.244	5.882	4.116	-	-	-	
34	Fabaceae	<i>Prosopis glandulosa</i>	Arborescente	-	-	-	-	2.222	12.245	6.383	6.950	1.948	18.233	5.882	8.688	3.382	2.459	4.025	3.289
35	Amaranthaceae	<i>Salsola kali</i>	Herbácea	-	-	-	-	-	-	-	-	37.987	4.909	9.804	17.567	3.865	1.781	4.045	3.230
36	Solanaceae	<i>Solanum rostratum</i>	Herbácea	-	-	-	-	-	-	-	-	3.247	5.610	7.843	5.567	-	-	-	
37	Boraginaceae	<i>Tiquilia canescens</i>	Herbácea	-	-	-	-	-	-	-	-	7.468	4.488	7.843	6.600	-	-	-	
38	Asteraceae	<i>Viguiera stenoloba</i>	Herbácea	-	-	-	-	-	-	-	-	2.597	4.208	5.882	4.229	-	-	-	
39	Agavaceae	<i>Yucca filifera</i>	Roseta	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.449	7.805	4.167	4.474	
				0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

**Tabla 2.**

Origen, forma de vida y valor del *IVI* de las especies en las áreas con rehabilitación.  
Table 2. Origin, life form and *IVI* value of the species in rehabilitation areas.

Clave	Familia	Nombre Científico	Origen	Forma de Vida	Índice de valor de importancia		
					ST	SR4	SR8
3	Agavaceae	<i>Agave americana</i>	Artificial	Roseta	--	4.812	6.518
4	Agavaceae	<i>Agave lecheguilla</i>	Artificial	Roseta	--	14.705	12.640
5	Agavaceae	<i>Agave striata</i>	Artificial	Roseta	--	5.367	4.013
6	Asteraceae	<i>Baccharis pterionoides</i>	Natural	Herbácea	--	6.791	-
10	Loasaceae	<i>Cevalia sinuata</i>	Natural	Herbácea	--	-	4.497
11	Cactaceae	<i>Coryphanta compacta</i>	Artificial	Crasicaule	--	4.457	2.965
12	Euphorbiaceae	<i>Croton dioicus</i>	Natural	Arbustiva	--	-	4.935
13	Ruscaceae	<i>Dasyliiron texanum</i>	Artificial	Roseta	--	6.406	4.839
14	Cactaceae	<i>Echinocereus reichenbachii</i>	Artificial	Crasicaule	--	4.167	-
15	Cactaceae	<i>Echinocereus enneacanthus</i>	Artificial	Crasicaule	--	2.428	-
17	Fouquieriaceae	<i>Fouquieria splendens</i>	Artificial	Arbustiva	--	-	7.242
20	Asteraceae	<i>Gymnosperma glutinosum</i>	Natural	Herbácea	--	8.583	-
21	Euphorbiaceae	<i>Jatropha dioica</i>	Natural	Crasicaule	--	5.685	-
24	Zygophyllaceae	<i>Larrea tridentata</i>	Natural	Arbustiva	--	8.929	-
26	Cactaceae	<i>Lophophora williamsii</i>	Artificial	Crasicaule	--	2.950	-
27	Cactaceae	<i>Mammillaria melanocentra</i>	Artificial	Crasicaule	--	4.289	-
28	Cactaceae	<i>Mammillaria pottsii</i>	Artificial	Crasicaule	--	2.950	-
30	Cactaceae	<i>Opuntia engelmannii</i>	Natural	Crasicaule	--	2.317	2.333
31	Cactaceae	<i>Opuntia leptocaulis</i>	Artificial	Crasicaule	--	-	3.251
32	Asteraceae	<i>Parthenium incanum</i>	Natural	Herbácea	--	8.214	-
33	Asteraceae	<i>Porophyllum macrocephalum</i>	Natural	Herbácea	--	-	4.116
34	Fabaceae	<i>Prosopis glandulosa</i>	Natural	Arborescente	--	6.950	8.688
35	Amaranthaceae	<i>Salsola kali</i>	Natural	Herbácea	--	-	17.567
36	Solanaceae	<i>Solanum rostratum</i>	Natural	Herbácea	--	-	5.567
37	Boraginaceae	<i>Tiquilia canescens</i>	Natural	Herbácea	--	-	6.600
38	Asteraceae	<i>Viguiera stenoloba</i>	Natural	Herbácea	--	-	4.229
					0	100	100

base o SN se registró la presencia de 23 especies. De acuerdo al criterio de Pianka (1982), las plantas que se establecen en un sitio perturbado, pueden clasificarse como colonizadoras eficientes (estrategas o plantas oportunistas) (Chaves y Escudero, 1997; Zimmerman y col., 2000). Este patrón de semejanza, que en este caso ocurre de manera natural para los sitios SR4 y SR8, posterior a las prácticas de restauración, se debe particularmente al establecimiento de las familias Asteraceae (5), Euphorbiaceae (2), Loasaceae (1), Zygophyllaceae (1), Fabaceae (1), Amaranthaceae (1), Solanaceae (1) y Boraginaceae (1), que de acuerdo al *IVI* representan el 45.15 % y 56.19 %, para SR4 y SR8 respectivamente (Tabla 2).

### Diversidad alfa

Los valores promedios del índice de Margalef presentaron similitud estadística ( $P = 0.1520$ ) en los SR4, SR8 y SN. Pese a ello, se aprecia que los valores incrementan conforme aumenta el tiempo transcurrido, observándose una línea de tendencia logarítmica positiva ( $R^2 = 0.956$ ; Figura 4a). De igual manera, los valores promedios del índice de Shannon-Wiener presentaron similitud estadística ( $P = 0.2150$ ) en los SR4, SR8 y SN, y un incremento del valor conforme aumenta el tiempo transcurrido con una línea de tendencia logarítmica positiva ( $R^2 = 0.924$ ; Figura 4b). Estos resultados afirman lo expresado por Pugnaire y col. (2004a), quienes mencionan que en algunos territorios semiáridos la sucesión ecológica no culmina a menudo en una etapa madura y más o menos estable, sino que las condiciones ecológicas limitan la aparición y establecimiento de determinadas especies y comunidades. Los valores del índice de Margalef e índice de Shannon-Wiener del sitio natural son similares a los registrados por Canizales y col. (2009), y Mora y col. (2013), en matorrales maduros del noreste de México.

### Dominancia

La dominancia promedio de las áreas evaluadas mostró diferencias significativas ( $P = 0.0001$ ). La cobertura de la vegetación adulta establecida de manera inicial, propicia condiciones favorables de hábitat para el establecimiento de otras especies (herbáceas y algunas leñosas), particularmente de

las familias Asteraceae y Fabaceae. En la Figura 4c se aprecia una línea de tendencia logarítmica positiva ( $R^2 = 0.759$ ). Si bien los valores de dominancia del SR4 y SR8 fueron menores al SN, estos valores son considerablemente mayores a los registrados por Jiménez y col. (2012), en áreas regeneradas naturalmente después de actividades agrícolas; Jiménez y col. (2013), en áreas regeneradas después de actividades silvoagropecuarias, y a los de Hernández y col. (2013), en áreas regeneradas después de actividad forestal. Lo anterior, como resultado de

incorporación de una cobertura vegetal (ejemplares adultos), la cual acelera el proceso de estabilidad del sustrato, microclima y material germoplásmico, facilitando la colonización de otras especies y/o nuevos individuos.

### Altura

Los valores promedios de altura mostraron diferencias significativas entre las áreas evaluadas ( $P = 0.0001$ ) (Figura 4d). La estructura vertical muestra una tendencia lineal positiva ( $R^2 = 0.933$ ; Figura 4d), con presencia de especies fuertemente adaptadas

a zonas semiáridas (familias Fabaceae y Zygophyllaceae). La altura promedio de los sitios SR4 y SR8 fue de 0.62 m y 0.72 m, respectivamente, mientras que la del SN fue de 1.48 m. Es importante mencionar que en cuatro años de regeneración la comunidad vegetal presenta el 41.89 % de la altura potencial de una comunidad madura, y en ocho años tiene el 48.64 %. Esto muestra una línea de tendencia positiva en relación a la altura obtenida en una escala de tiempo relativamente corta.

### Diversidad beta

En base al análisis y dendrograma de agrupamiento de las áreas evaluadas (SR4, SR8 y SN), se aprecia que existe disimilitud entre ellos (Figura 4e). Esto indica, que aun teniendo similitud estadística en sus valores de riqueza y diversidad, presentan composiciones florísticas diferentes. La

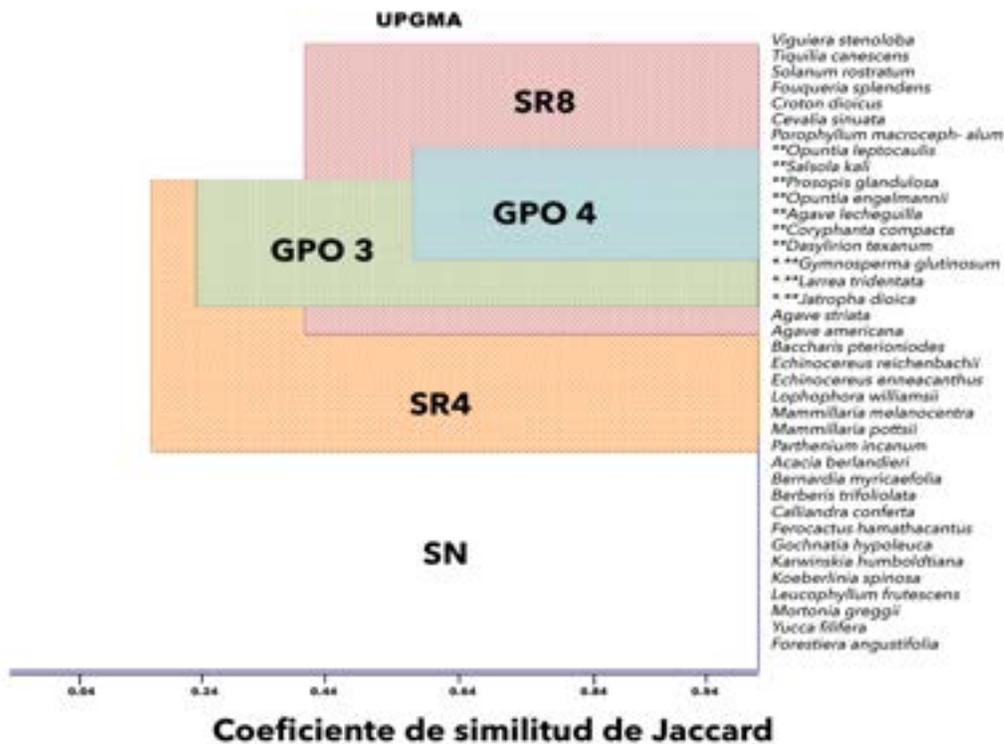
familia mejor representada fue Asteraceae (3 especies para SR4, 2 para SR8 y 2 para SN) y Agavaceae (3 especies para SR4, 3 para SR8 y 2 para SN) seguida por Amaranthaceae, Solanaceae y Boraginaceae (Tabla 1). Las especies de estas familias usualmente son favorecidas por efecto de la perturbación en las comunidades vegetales, ya que llegan a ser elementos abundantes en las primeras etapas sucesionales de la comunidad vegetal. De hecho, comúnmente son conocidas por su marcado comportamiento arvense, como malezas en cultivos o como ruderales en los caminos (Villaseñor y Espinoza, 1998), aspecto que en este estudio se observó constantemente en los taludes de los sitios abandonados, posterior a las actividades de rehabilitación. De las 23 especies registradas en el SN, 10 de ellas se presentan en las áreas rehabilitadas (siete en SR8 y ocho en SR4). Estos resultados concuerdan con los de

Pugnaire y col. (2004a), quienes mencionan que la composición de especies después de una perturbación, está definida en gran medida, por las especies que existían antes de la alteración y por la vegetación circundante. También coinciden con los resultados de Alanís y col. (2013), quienes evaluaron la diversidad beta de áreas regeneradas después de actividades silvoagropecuarias, encontrando que las comunidades vegetales presentaban una alta disimilitud. De esta manera el factor diversidad se ve favorecido con la introducción de especies adultas al medio, lo cual resulta en condiciones favorables para el desarrollo de las diferentes fases de sucesión ecológica en una escala de tiempo.

Adicionalmente, se realizó un dendrograma de agrupamiento de especies de acuerdo a su presencia en cada sitio (Figura 5). El grupo cuatro muestra

## Figura 5.

Dendrograma de similitud de especies en cada uno de los sitios.  
Figure 5. Dendrogram of the species similarity in each of the sites.



\* Las tres especies no pertenecen al SR8.  
\*\* Estas especies también pertenecen al SN.

**Tabla 3.**

Estimación de Macro y Micro nutrientes en las tres áreas evaluadas.  
Table 3. Estimation of Macro and Micro nutrients in three evaluated areas.

Tratamiento	Macro						Micro						
	pH	M.O.	C	N	P	K	S	Ca	Bo	Cu	Fe	Zn	Mg
ST	6.89	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SR4	7.78	1.86	1.15	0.087	0.105	0.180	0.05	8.48	0.021	11.84	0.632	0.73	0.44
SR8	7.84	2.36	1.36	0.107	0.130	0.212	0.05	9.50	0.222	13.70	1.65	0.85	0.59
SN	7.91	4.26	2.47	0.169	0.173	0.237	0.05	24.7	0.132	19.61	1.66	0.88	0.68

pH = nivel de acidez en escala decimal (Rubinson, 2000), M.O. = porcentaje de materia orgánica, C = porcentaje de carbono, N = nitrógeno, P = fósforo, K = potasio, S = azufre, Ca = calcio, Bo = boro, Cu = cobre, Fe = hierro, Zn = zinc, Mg = magnesio. Unidades de medida en partes por millón. Valoración: Alto  Medio  Bajo 

pH = acidity level in decimal scale (Rubinson, 2000), M.O. = percent of organic matter, C = percent of carbon, N = nitrogen, P = phosphorus, K = potassium, S = sulfur, Ca = calcium, Bo = boron, Cu = copper, Fe = iron, Zn = zinc, Mg = magnesium. Units of measurement in parts per million. Values: High  Medium  Low 

siete especies compartidas entre SN y SR8: *Opuntia leptocaulis* y *Opuntia engelmannii*, *Prosopis glansulosa* y *Agave lecheguilla*; especies primarias que se caracterizan por hábitats sumamente variados, distinguiéndose aspectos como la tolerancia a temperaturas extremas, suelos calcáreos típicos de matorrales desérticos y su dispersión y/o adaptación a sitios perturbados, lo que indica una tendencia favorable en las condiciones del área posterior a las actividades de restauración (Pugnaire y col., 2004b). Con relación al grupo tres, las especies compartidas entre SN y SR4 son: *Larrea tridentata*, *Jatropha dioica*, *Agave lecheguilla*, *Coriphanta compacta*, *Dasyilirion texanum*, *Prosopis glandulosa*, *Gymnosperma glutinosum* y *Opuntia engelmannii*.

#### Suelo

Con relación al factor edáfico se observó una homogeneidad en los valores de pH (suelos neutros) en las cuatro zonas evaluadas, en cuanto a los nutrientes K, S y Zn se mantuvieron constantes para los sitios SR4, SR8 y SN; en el ST no se pudieron obtener muestras dada la nula presencia de suelo. Los valores de MO, C

y Ca presentan un marcado incremento entre las áreas evaluadas, siendo el SN el que presentó los mayores valores dado su estado natural. Sin embargo, es importante manifestar que en el sitio se presentan suelos calizos frecuentemente poco profundos y rocosos, por lo que la sucesión secundaria se encuentra estrechamente relacionada con la captación y establecimiento de suelo vegetal, el cual proporciona los nutrientes necesarios para el establecimiento de especies perennes. Foster y Motzkin (2003), mencionan que la recuperación natural, se completa con la presencia de especies estructuralmente importantes y está influenciada por el tipo y calidad del suelo, y requiere de largos períodos de tiempo. Es importante destacar que la incorporación de material vegetal y la adecuación del relieve, permiten acelerar el proceso de captación de agua del suelo en zonas semiáridas, lo cual es uno de los objetivos del presente estudio.

#### Análisis de ordenación canónica ACC

Los resultados muestran que los valores de los tres primeros ejes del ordenamiento resultaron significativos, con una inercia total de 1.620, es decir, las

especies vegetales estuvieron distribuidas en asociación a gradientes ambientales (Figura 6). Así también, los resultados de las pruebas de permutaciones de Monte Carlo resultaron significativos para el primero y todos los ejes de la ordenación canónica. En general, el diagrama de ordenación representa adecuadamente la distribución de las especies en los sitios analizados con respecto a las variables ambientales seleccionadas, lo que concuerda con lo encontrado en el análisis de agrupamiento por especies, mostrado en la Figura 6. La variable con más correlación con las especies del SN es el calcio, ya que en este sitio no se llevaron a cabo extracciones de caliza y muestra el cambio drástico en la composición florística de un ecosistema al extraer este material. Las especies más abundantes del SR4 mostraron gran correlación con el elemento cobre, mientras que las dominantes en el SR8: hierba de pasmo (*Baccharis pterionoides* D.C.) y mariola (*Parthenium incanum* Kunth), presentaron una muy marcada correlación con el elemento boro (Figura 6).

De acuerdo a los resultados obtenidos, el ST presentó una nula recuperación, dado que no se establecieron actividades

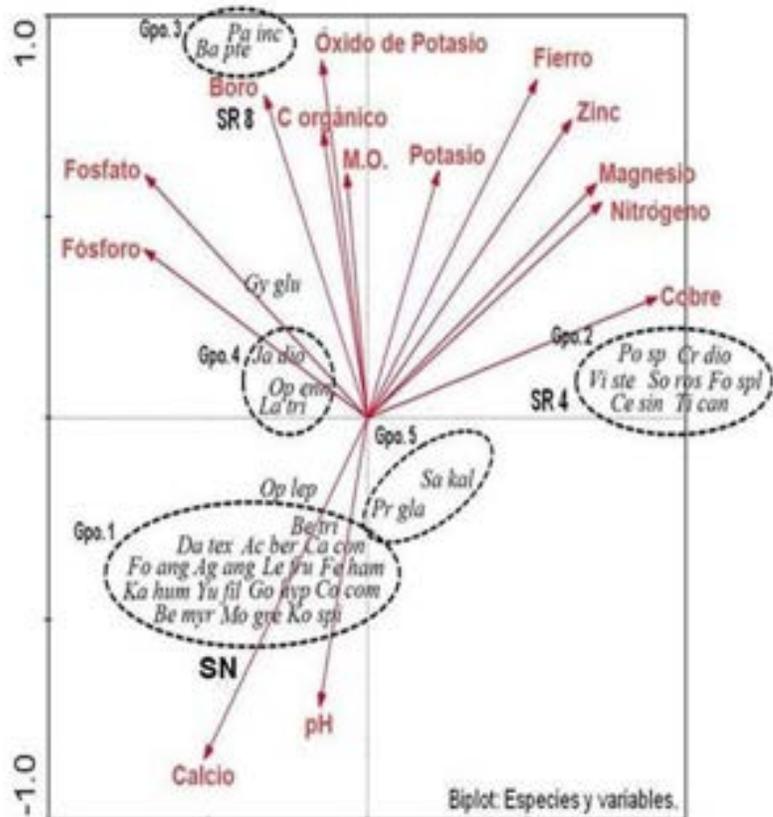
## Figura 6.

Distribución de 31 especies vegetales de 2 áreas restauradas (SR4 Y SR8) y un sitio sin afectación (SN) en un ecosistema semiárido del noreste de México. Diagrama de ordenación de Análisis de Correspondencia Canónica (ACC) con las especies: Ac ber = *Acacia berlandieri*, Ag ang = *Agave angustifolia*, Ba pte = *Baccharis pterionoides*, Be tri = *Berberis trifoliata*, Be myr = *Bernardia myricaefolia*, Ca con = *Calliandra conferta*, Ce sin = *Cevallia sinuata*, Co com = *Coryphanta compacta*, Cr dio = *Croton dioicus*, Da tex = *Dasyllirion texanum*, Fe ham = *Ferocactus hamathacanthus*, Fo ang = *Forestiera angustifolia*, Fo spl = *Fouquieria splendens*, Go hyp = *Gochnatia hypoleuca*, Gy glu = *Gymnosperma glutinosum*, Ja dio = *Jatropha dioica*, Ka hum = *Karwinskia humboldtiana*, Ko spi = *Koeberlinia spinosa*, La tri = *Larrea tridentata*, Le fru = *Leucophyllum frutescens*, Mo gre = *Mortonia greggii*, Op enn = *Opuntia engelmannii*, Op lep = *Opuntia leptocaulis*, Pa inc = *Parthenium incanum*, Po sp = *Porophyllum macrocephalum*, Pr gla = *Prosopis glandulosa*, Sa kal = *Salsola kali*, So ros = *Solanum rostratum*, Ti can = *Tiquilia canescens*, Vi ste = *Viguiera stenoloba*, Yu fil = *Yucca filifera*; y variables ambientales (flechas): pH, C orgánico = contenido de carbono orgánico, M.O. = % de materia orgánica, % N, % P, % P2O5, % K, % K2O, % Ca, % Mg, % Fe, % Mg/, % Z, % Cu, % B.

Figure 6. Distribution of 31 plant species in 2 restored areas (SR4 Y SR8) and a site with no affectation (SN) in a semiarid ecosystem of northeastern Mexico. Management Diagram of Canonical Correspondence Analysis (CCA) with the species: Ac ber = *Acacia berlandieri*, Ag ang = *Agave angustifolia*, Ba pte = *Baccharis pterionoides*, Be tri = *Berberis trifoliata*, Be myr = *Bernardia myricaefolia*, Ca con = *Calliandra conferta*, Ce sin = *Cevallia sinuata*, Co com = *Coryphanta compacta*, Cr dio = *Croton dioicus*, Da tex = *Dasyllirion texanum*, Fe ham = *Ferocactus hamathacanthus*, Fo ang = *Forestiera angustifolia*, Fo spl = *Fouquieria splendens*, Go hyp = *Gochnatia hypoleuca*, Gy glu = *Gymnosperma glutinosum*, Ja dio = *Jatropha dioica*, Ka hum = *Karwinskia humboldtiana*, Ko spi = *Koeberlinia spinosa*, La tri = *Larrea tridentata*, Le fru = *Leucophyllum frutescens*, Mo gre = *Mortonia greggii*, Op enn = *Opuntia engelmannii*, Op lep = *Opuntia leptocaulis*, Pa inc = *Parthenium incanum*, Po sp = *Porophyllum macrocephalum*, Pr gla = *Prosopis glandulosa*, Sa kal = *Salsola kali*, So ros = *Solanum rostratum*, Ti can = *Tiquilia canescens*, Vi ste = *Viguiera stenoloba*, Yu fil = *Yucca filifera*; and environmental variables (arrows): pH, C orgánico = organic carbon content, M.O. = % of organic matter, % N, % P, % P2O5, % K, % K2O, % Ca, % Mg, % Fe, % Mg/, % Z, % Cu, % B.

de rehabilitación. Lo cual concuerda con lo establecido por Foster (2002), en donde mencionan que los regímenes de perturbación muy frecuentemente conducen a poblaciones remanentes pequeñas, lo que reduce notablemente la capacidad de recuperación del ecosistema. Sin embargo, los valores de riqueza y diversidad entre las áreas rehabilitadas (SR4 y SR8) no presentaron diferencias significativas, dado que el 46.15 % de las especies presentes, se establecieron de manera asistida (12 de 26 especies registradas en SR4 y SR8), pero si una recuperación positiva en la diversidad de especies en ambos sitios evaluados en una escala de temporal para SR4 y SR8 (7 y 9 especies respectivamente). Lo cual favoreció la protección del suelo y la formación de microambientes para el establecimiento de especies oportunistas, de manera particular, las familias Asteraceae (5) y Euphorbiaceae (2).

En relación con la adecuación del relieve en las áreas restauradas, se observa una tendencia positiva en la recuperación de las condiciones de suelo, así como el incremento y retención de materia orgánica (SR4 = 1.86 y SR8 = 2.36, comparado con SN = 4.26), y macro y micronutrientes (Tabla 3), nutrientes que están estrechamente relacionados con el crecimiento, germinación y desarrollo de la plantas, por lo que en el corto y mediano plazo, el restablecimiento de la composición y estructura de la vegetación original será inminente. Lo anterior, concuerda con Pugnaire y col. (2001), Chambers y Macmahon (1994), y Etchepare y Boccanelli (2007), quienes mencionan que la forma y exposición de las laderas y/o taludes determinan las condiciones ambientales diferenciales (temperatura y humedad) a las que responde la vegetación. Además de acuerdo a Rokich y col. (2000), la retención del suelo posterior a una alteración es un factor que coadyuva, junto con arribo de semillas viables, a la modificación en la composición de la cubierta vegetal; efecto que pudo observarse en esta investigación de manera específica en el establecimiento



de especies vegetales de las familias Asteraceae, Cactaceae, Euphorbiaceae, Loasaceae, Zygophyllaceae, Fabaceae, Amaranthaceae, Solanaceae y Boraginaceae, de manera natural.

Las familias Agavaceae (géneros *Agave* y *Dasyllirion*) y Cactaceae (género *Opuntia*) son, sin duda, las familias mejor adaptadas a las condiciones extremas en zonas semiáridas, como resultado de su reproducción asexual y cobertura, así como de sus características específicas para sobrevivir en suelos perturbados, condiciones extremas de humedad, temperatura y con ausencia de cobertura vegetal (Alanís y col., 2014). Estas plantas fungen como vectores importantes para la captación de suelo y nodricismo, en el caso específico de la presente investigación, en el establecimiento de 13 especies vegetales posterior a las prácticas de rehabilitación (*Partenium incanum*, *Prophyllum macrocephalum*, *Prosopis glandulosa*, *Salsola kali*, *Solanum rostratum*, *Tiquilia canescens*, *Opuntia engelmannii*, *Gymnosperma glutinosum*, *Jatropha dioica*, *Larrea tridentata*, *Croton dioicus*, *Cevalia sinuata* y *Baccharis*

*pterioniodes*) en la etapa de sucesión secundaria, en comparación con el sitio ST, en el cual no existe la regeneración natural, dado que no se llevaron a cabo prácticas de reforestación y adecuación del relieve.

## CONCLUSIONES

La restauración de comunidades vegetales mediante la incorporación de especies vegetales nativas y adultas, y la adecuación del relieve, provee los elementos para la regeneración natural de la vegetación en un ecosistema semiárido afectado por la extracción de materiales. A través del tiempo (SR4, SR8), las variables de diversidad alfa (DMg y H') fueron incrementando, lo que indica que la comunidad vegetal presentó mayor heterogeneidad en su composición con relación al SN. Las especies *Agave lecheguilla*, *Agave americana*, *Agave striata*, *Opuntia engelmannii* y *Opuntia leptocaulis*, son especies resilientes que fungen como vectores para la colonización de otras especies en ambientes semiáridos. Así mismo, la adecuación del relieve en los sitios (SR4 y SR8) promovió

la incorporación de suelo y el incremento y la retención de materia orgánica, tomando como línea base el sitio testigo (ST), el cual presentó nula recuperación, y el sitio natural sin afectaciones (SN) que presentó las condiciones que se pretenden obtener para los sitios rehabilitados. De esta manera, las acciones desarrolladas en la presente investigación favorecieron el restablecimiento de los componentes básicos de la comunidad vegetal (estructura, función y composición), los cuales son necesarios para proveer de servicios ambientales (hábitat y alimento para fauna y retención del suelo, entre otros), en ecosistemas semiáridos afectados por el aprovechamiento de materiales. En contraposición, el no desarrollar estas prácticas, ocasiona que el ecosistema afectado no se recupere por sí mismo (ST). Por ello, es imperante la necesidad de integrar en las actividades de aprovechamiento, la conservación de material vegetal, suelo y la adecuación del relieve posterior a los cortes, con la finalidad de propiciar con la restauración asistida, la recuperación de los ecosistemas afectados.¶

## REFERENCIAS

- Alanís, E., Aguirre, O. A., Jiménez, J., Pando, M., Treviño, E. J., Aranda, R. y Canizales P. A. (2010). Efecto de la severidad del fuego sobre la regeneración asexual de especies leñosas de un ecosistema mixto (*Pinus-Quercus*) en el Parque Ecológico Chipinque, México. *Interciencia*. 35(9): 690-695.
- Alanís, E., Jiménez, J., Espinoza D., Jurado, E., Aguirre, O. A. y González, M. A. (2008). Evaluación del estrato arbóreo en un área restaurada postincendio en el Parque Ecológico Chipinque. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 14(2): 13-118.
- Alanís, E., Jiménez, J., González, M. A., Yerana J. I., Cuellar, L. G. y Mora-Olivo, A. (2013). Análisis de la vegetación secundaria del matorral espinoso tamaulipeco, México. *Phyton International Journal of Experimental Botany*. 82: 185-191.
- Alanís, E., Mora-Olivo A., Jiménez, J., González, M. A., Yerana, J. I., Martínez, J. G. y González, E. (2014). Composición y diversidad del matorral desértico rosetófilo en dos tipos de suelo en el noreste de México. *Acta Botánica Mexicana*. En prensa.
- Alanís, G. J., Cano, G. y Rovalo, M. (1996). *Vegetación y Flora de Nuevo León: Una Guía Botánico-Ecológica*. México: Impresora Monterrey, S. A. de C. V. 251 Pp.
- Canizales, P. A., Alanís, E., Aranda, R., Mata, J. M., Jiménez, J., Alanís, G., Uvalle, J. I. y Ruiz, M. G. (2009). Caracterización estructural del matorral submontano de la Sierra Madre Oriental, Nuevo León, México.
- Chapingo serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 15(2): 115-120.
- Chambers, J. C. and MacMahon, J. A. (1994). A day in the life of a seed: movements and fates of feeds and their implications for natural and managed systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 25: 263-292.
- Chaves, N. y Escudero, J. C. (1997). Allelopathic effect of *Cistus ladanifer* on seed germination. *Functional Ecology*. 11: 432-440
- CONAGUA, Comisión Nacional del Agua (2012). Servicio Meteorológico Nacional, Estación 00005140 Ramos Arizpe, Coahuila. [En línea]. Disponible en: <http://smn.cna.gob.mx/index.php>. Fecha de consulta: 25 de abril de 2012.
- Etchepare, M. A. y Boccanelli, S. I. (2007). Análisis del banco de semillas y su relación con la vegetación emergente en una

- clausura de la llanura pampeana. *Ecología Austral*. 17(1): 159-166.
- Foster, B. L. (2002). Constraints on colonization and species richness along a grassland productivity gradient: the role of propagule availability. *Ecology Letters*. 4: 530-535.
- Foster, D. R. and G. Motzkin. (2003). Interpreting and conserving the openland habitats of coastal New England: insights from landscape history. *Forest Ecology and Management*. 185: 127-150.
- Ginocchio, R. y León-Lobos, P. (2011). *Fitoestabilización de depósitos de relaves en Chile. Guía N°1: Metodología General*. Centro de Investigación Minera y Metalúrgica, Instituto de Investigaciones Agropecuarias. 82 Pp.
- Hernández, J., Aguirre, O. A., Alanís, E., Jiménez, J. y González, M. A. (2013). Efecto del manejo forestal en la diversidad y composición arbórea de un bosque templado del noroeste de México. *Chapingo serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 19(3): 189-199.
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (1986). *Síntesis Geográfica del Estado de Nuevo León*. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 170 Pp.
- Jiménez, J., Alanís, E., Aguirre, O., Pando, M. y González, M. A. (2009). Análisis sobre el efecto del uso del suelo en la diversidad estructural del matorral espinoso tamaulipeco. *Madera y Bosques*. 15(3): 5-20.
- Jiménez, J., Alanís, E., González, M. A., Aguirre, O. A., and Treviño, E. J. (2013). Characterizing woody species regeneration in areas with different land history tenure in the tamaulipan thornscrub, Mexico. *The Southwestern Naturalist*. 58(3): 299-304
- Jiménez, J., Alanís, E., Ruiz, J. L., González, M. A., Yerena, J. I. y Alanís, G. J. (2012). Diversidad de la regeneración leñosa del matorral espinoso tamaulipeco con historial agrícola en el NE de México. *Ciencia UANL*. 15(2): 66-71.
- Josa, R., Jorba, M., and Vallejo, V. R. (2012). Opencast mine restoration in a Mediterranean semi-arid environment: failure of some common practices. *Ecological Engineering*. 42: 183-191.
- Kirmer, A., Baasch, A., and Tischew, S. (2012). Sowing of low and high diversity seed mixtures in ecological restoration of surface mined-land. *Applied Vegetation Science*. 15(2): 198-207
- Magurran, A. E. (1988). *Ecological diversity and its measurement*. Estados Unidos: Princeton University Press. 179 Pp.
- Mata, J. M., Treviño, E. J., Jiménez, J., Alanís, E. y Salinas, W. E. (2010). Evaluación de la siembra directa de *Pinus cembroides* y *P. nelsonii* en la restauración de un ecosistema semiárido-templado. *Ciencia UANL*. 8(1): 72-77.
- Molina-Guerra, V. M., Pando-Moreno, M., Sánchez-Salas, J., González-Rodríguez, H., Alanís-Rodríguez, E. y Cantú-Silva, I. (2012). La resiliencia del recurso suelo. *Boletín Divulgativo de la Red Iberoamericana y del Caribe de Restauración Ecológica*. 6(1): 16-18
- Montani, T., Distel, R. A. y Busso, C. A. (1986). *Métodos de Estudio de la Vegetación*. Guía de Trabajos Teórico-Prácticos de Ecología. Argentina: Universidad Nacional del Sur. 60 Pp.
- Mora, C. A., Alanís, E., Jiménez, J., González, M. A., Yerena, J. I. y Cuellar, L. G. (2013). Estructura, composición florística y diversidad del matorral espinoso tamaulipeco, México. *Ecología Aplicada*. 12(1): 29-34.
- Myronidis, D. I., Emmanouloudis, D. A., Mitsopoulos, I. A., and Riggos, E. (2010) Soil erosion potential after fire and rehabilitation treatments in Greece. *Environmental Modeling and Assessment*. 15: 239-250.
- Neri, A. C. and Sánchez, L. E. (2010). A procedure to evaluate environmental rehabilitation in limestone quarries. *Journal of Environmental Management*. 91(11): 2225-2237.
- Pianka, E. R. (1982). *Ecología evolutiva*. Barcelona: Omega. 376 Pp.
- Pugnaire, F. I. and Luque, M. T. (2001). Changes in plant interactions along a gradient of environmental stress. *Oikos*. 93: 42-49.
- Pugnaire, F. I., Armas, C., and Valladares, F. (2004a). Soil as a mediator in plant-plant interactions in a semi-arid community. *Journal of Vegetation Science*. 15 (1): 85-92.
- Pugnaire, F. I., Luque, M., Armas, C., and Gutiérrez, L. (2004b). Factors affecting secondary succession in a semi-arid Mediterranean shrubland. *Journal of Ecology*. 56(2): 213-233.
- Rokich, D. P., Dixon, K. W., Sivasithamparam, K., and Meney, K. A. (2000). Topsoil handling and storage effects on woodland restoration in Western Australia. *Restoration Ecology*. 8(2): 196-208
- Rubinson, J. F. y Rubinson, K. A. (2000). *Química Analítica contemporánea*. EUA: Editorial Pearson Education. 615 Pp.
- Rybicki, J. and Hanski, I. (2013). Species-area relationships and extinctions caused by habitat loss and fragmentation. *Ecology Letters*. 16(1): 27-38
- Shannon, C. E. and Weaver, W. (1949). *The mathematical theory of communication*. Estados Unidos: The University of Illinois Press. 117 Pp.
- Ten-Kate, K., Bishop, J., and Bayon, R. (2004). Biodiversity offsets: Views, experience, and the business case. [En línea]. Disponible en: <http://cmsdata.iucn.org/downloads/bdoffsets.pdf>. Fecha de consulta: 4 de abril de 2012.
- Ter-Braak, C. J. F. and Smilauer, P. (1997). *Canoco for Windows Version 4.02*. Centre for Biometry, Wageningen, The Netherlands.
- Villaseñor, J. L. y Espinosa, G. F. J. (1998). *Catálogo de Malezas de México*. México: Universidad Nacional Autónoma de México y Fondo de Cultura Económica. 449 Pp.
- Wassenaar, T. D., Henschel, J. R., Pfaffenthaler, M. M., Mutota, E. N., Seely, M. K., and Pallett, J. (2012). Ensuring the future of the Namib's biodiversity: Ecological restoration as a key management response to a mining boom. *Journal of Arid Environments*. 93: 126-135.
- Zimmerman, J. K., Pascarella, J. B., and Aide, T. M. (2000). Barriers to forest regeneration in an abandoned pasture in Puerto Rico. *Restoration Ecology*. 8: 350-360.

# PATRONES DE ASOCIACIÓN ENTRE LA COBERTURA VEGETAL Y LA CALIDAD DEL SUELO EN EL MATORRAL COSTERO DE LA RESERVA RÍA LAGARTOS, YUCATÁN

ASSOCIATION PATTERNS BETWEEN PLANT COVER AND SOIL QUALITY OF THE  
COASTAL DUNE SCRUBLAND IN RIA LAGARTOS RESERVE, YUCATAN

Jorge Leandro Leirana-Alcocer<sup>1\*</sup> y  
Francisco Bautista-Zúñiga<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Cuerpo Académico de Ecología Tropical. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad Autónoma de Yucatán, Km 15.5 carretera a Mérida, Xmatkuil, Mérida, Yucatán, México, C.P. 97315.

<sup>2</sup>Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental. Universidad Nacional Autónoma de México, Antigua Carretera a Pátzcuaro No. 8701, colonia Ex-Hacienda de San José de la Huerta, Morelia, Michoacán, México, C.P. 58190.

\*Autor para correspondencia: [jleirana@uady.mx](mailto:jleirana@uady.mx)

Fecha de recepción: 11 de noviembre de 2013 / Fecha de aceptación: 21 de mayo de 2014.

## RESUMEN

La restauración ecológica de la reserva Ría Lagartos incluye la plantación de especies nativas; sin embargo, no se ha documentado con qué propiedades del ecosistema se relacionan estas especies en sus hábitats naturales. En este trabajo se describe la relación entre la cobertura vegetal y algunas propiedades del suelo del matorral de duna costera. Se muestrearon 30 cuadrantes de 4 m<sup>2</sup> cada uno; en cada cuadrante se estimó el porcentaje de cobertura por especie y porcentaje de cobertura del mantillo en el suelo (MAN), así mismo se tomó una muestra de suelo de cada uno,

y se les midió: pH, conductividad eléctrica (CE), densidad aparente (DA), contenido de nitrógeno total (NT), porcentaje de materia orgánica (MO) y tono de gris (TG). Se realizaron análisis de correlación entre estas variables y la cobertura de las tres especies dominantes de arbustos: *Pithecellobium keyense*, *Bumelia retusa* y *Enriquebeltrania crenatifolia*. *P. keyense* y *B. retusa* correlacionaron con MAN; *P. keyense* además correlacionó con MO, y tuvo una tendencia a aumentar con NT; *E. crenatifolia* correlacionó con CE. Además, se observó que TG se correlacionó con casi todas las variables, excepto pH y MAN, y que NT y DA se

correlacionaron con casi todas las variables edáficas, excepto pH y CE. Los resultados obtenidos sugieren que *P. keyense* podría ser una especie mejoradora del suelo y que DA y TG son proxys fáciles y económicos de medir para evaluar la calidad del suelo en este sitio.

**PALABRAS CLAVE:** *Pithecellobium keyense*, Regosol calcárico, estacionalmente seco, mejoramiento del suelo, especie ingeniero.

## ABSTRACT

Restoration actions in the Ría Lagartos reserve

includes planting native species; however, the relation between ecosystem properties and these species in their natural habitats has not been documented. This work describes the relation between the cover plant of the three dominant shrub species and some soil properties in the coastal dune scrubland. Thirty quadrats of 4 m<sup>2</sup> were sampled. The cover percentage of every species was recorded, as well as the litter cover on soil (LC). Soil samples were taken at each quadrat, measuring PH, electric conductivity (EC), apparent density (AD), total nitrogen content (TN), organic matter percentage (OM) and gray tone (GT). Correlation analyses were performed between those variables and the cover of the three dominant shrub species: *Pithecellobium keyense*, *Bumelia retusa* and *Enriquebeltrania crenatifolia*. *P. keyense* and *B. retusa* were correlated to LC; *P. keyense* was also correlated to OM and had a tendency to increase with N; *E. crenatifolia* was correlated to EC. In addition, it was observed that GT correlated with most all of the variables except with pH and LC; and that TN and AD were correlated with most all of the edaphic variables except with pH and CE. Results suggest that *P. keyense* could be a soil improvement species and that DA and TG are easy to measure and inexpensive proxies to evaluate soil quality in this site.

**KEYWORDS:** *Pithecellobium keyense*, calcareous sandy soils, seasonal drylands, soil improvement, engineer species.

## INTRODUCCIÓN

La creación de reservas o áreas naturales protegidas, es una de las principales estrategias de conservación a nivel mundial, pues permite la protección simultánea de un gran número de especies, junto con sus hábitats e interacciones (CONABIO, 1995). Sin embargo, la sola creación de reservas no garantiza la conservación de los ecosistemas, se requieren acciones de manejo y restauración que permitan que los procesos naturales (ciclos biogeoquímicos, migración de especies y regeneración de la vegetación), se lleven a cabo (Harris y Hobbs, 2001).

El plan de manejo de la Reserva de la

Biósfera Ría Lagartos (RBRL) declara que uno de sus objetivos es la conservación y protección de los hábitats y especies, con énfasis en la protección de aquellas endémicas o bajo algún grado de amenaza (CONANP, 2007). Para ello, una de las prácticas a las que se recurre, consiste en la siembra de especies nativas de árboles, arbustos y palmas, en sitios en los que la vegetación ha sido fuertemente dañada. Sin embargo, para realizar una verdadera restauración ecológica, se debe recuperar no solo la estructura, sino también las funciones ecosistémicas (Tischew y col., 2010); y las del suelo están entre las más importantes (Ohsowsky y col., 2012).

La calidad del suelo (Heneghan y col., 2008; Ohsowsky y col., 2012), determina la sobrevivencia y crecimiento de las plantas

(Bonanomi y col., 2008; Ruiz y col., 2008; Hafidi y col., 2013) y la actividad de la fauna edáfica. Esto tiene efecto sobre los ciclos de materia y energía (Ayuke y col., 2011).

En zonas de baja precipitación y en suelos arenosos, existe una baja capacidad de retención del agua y nutrientes (Aguilera-Herrera, 1989; National Research Council, 2008), factores que los hacen ambientes estresantes, en los que la sucesión natural se puede ver retrasada o limitada (Walker y del Moral, 2003); por tanto, es muy importante regenerar la calidad del suelo cuando se haya perdido por la intervención humana.

Entre las funciones ecosistémicas llevadas a cabo por la vegetación se encuentra la producción de hojarasca, fijación de nitrógeno a través de las

## Figura 1.

Localización del área de estudio, dentro de la Reserva de la Biósfera Ría Lagartos, Yucatán, México.  
Figure 1. Location of the area of study at Reserva de la Biosfera Ría Lagartos in Yucatan, Mexico.



raíces, la recuperación de nutrimentos, la disminución de la evaporación del agua del suelo y la formación de microclimas menos agrestes (Heneghan y col., 2008). Debido a que cada especie puede contribuir de diferente manera con dichas funciones, se hace necesario seleccionar preferentemente aquellas que aceleran la restauración del suelo.

El objetivo de este trabajo fue describir la relación entre la cobertura de los arbustos dominantes y algunos indicadores de la calidad del suelo en el matorral costero de la RBRL. Dicha información será útil para seleccionar especies usadas en la restauración de hábitats en la reserva.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

La presente investigación se realizó al noreste del estado de Yucatán (sureste de México), dentro de los límites de la Reserva de la Biósfera de Ría Lagartos, entre los poblados de Río Lagartos y las Coloradas (Figura 1). Los cuatro puntos geográficos siguientes contienen el área de estudio: 21°36'39" N, 88°03'07" W; 21°36'39" N, 88°03'02" W; 21°36'38" N, 88°03'07" W y 21°36'38" N, 88°03'02" W. El clima es cálido subhúmedo, con las principales lluvias en verano, aunque con una alta precipitación invernal. Las temperaturas anuales promedian 26 °C y recibe aproximadamente 700 mm de lluvia al año (CNA, 2000; INEGI, 2007).

Los suelos predominantes son los regosoles calcáreos, que son arenas con altos contenidos de carbonato de calcio (POETY, 2005; INEGI, 2007), cuyo origen es la acumulación de sedimentos marinos en el litoral, que son posteriormente transportados por el viento (Bautista y col., 2005). Sobre estas dunas arenosas se establecen dos tipos de vegetación; la vegetación de la duna móvil o embrionaria que crece cerca de la playa y que está sujeta a altas velocidades del viento, lo que provoca que reciba rocío salino del agua de mar y sufra un intenso movimiento del suelo; el otro tipo de vegetación es el matorral costero, en el que el suelo está relativamente estable, ya que la densa

cobertura de arbustos reduce la velocidad del viento y su distancia al mar reduce la influencia del rocío salino (Flores y Espejel, 1995).

### Muestreo por transectos

Para representar la heterogeneidad del matorral costero se trazaron dos transectos de 140 m de largo, paralelos a la línea de costa. Los transectos anchos se usan con frecuencia para estimar la densidad y

cobertura relativas de las especies arbustivas (Bonham, 1989), pues representan un compromiso entre la economía del esfuerzo y la representatividad de la vegetación. Sobre cada transecto se colocaron 15 cuadrantes de 4 m<sup>2</sup> cada uno (2 m de lado), para cubrir un área acumulada de muestreo de 120 m<sup>2</sup>, acorde a la usualmente utilizada para comunidades de arbustos (Stohlgren, 2007); la distancia entre cuadrantes fue de 10 m y entre transectos de 20 m.

**Tabla 1.**

Valores de cobertura y frecuencia relativa de las especies del matorral costero de Ría Lagartos.  
Table 1. Relative cover and frequency values of the species found at the coastal dune scrubland in Ría Lagartos.

Especie	Cobertura relativa	Frecuencia relativa	Sumatoria (m <sup>2</sup> )
<i>Pithecellobium keyense</i> (Britton ex. Coker)	25	14	39
<i>Bumelia retusa</i> (Swartz)	13	10	23
<i>Agave sisalana</i> (Perr. ex. Engelm)	8	8	16
<i>Enriquebeltrania crenatifolia</i> (Miranda)	11	5	16
<i>Thrinax radiata</i> (Loddiges)	10	6	16
<i>Acanthocereus tetragonus</i> (L.) Humm.	4	11	15
<i>Selenicereus donkelaarii</i> (Britton et Rose)	3	11	14
<i>Pseudophoenix sargentii</i> (Wendl ex Sargent)	6	5	11
<i>Metopium brownei</i> Jacq. (Urban)	5	5	10
<i>Jacquinia auriantica</i> (Bert. Ex A.D.C)	3	7	10
<i>Coccoloba uvifera</i> (L.)	5	4	9
<i>Lantana cámara</i> (L.)	2	5	7
<i>Caesalpinia vesicaria</i> (L.)	3	1	4
<i>Malvaviscus arboreus</i> (Cav.)	1	4	5
<i>Tillandsia</i> sp. (L.)	2	2	4
<i>Coccothrinax readii</i> (Quero)	0.5	1.5	2
<i>Opuntia stricta</i> (Haw.)	0.1	0.8	0.9

En cada cuadrante se estimó el porcentaje de superficie cubierta por cada especie, así mismo, se estimó el porcentaje de superficie de suelo cubierto por restos vegetales, que se denominarán en adelante mantillo.

En cada cuadrante se tomó una muestra de 100 cm<sup>3</sup> de los primeros 5 cm de suelo utilizando cilindros de PVC de 5.08 cm de diámetro y 5 cm de largo; no se incluyó el mantillo superficial en la muestra. Las muestras de suelos se secaron a temperatura ambiente hasta peso constante, se midió densidad aparente (relación peso-volumen en g/cm<sup>3</sup>), porcentaje de materia orgánica (oxidación húmeda), contenido de nitrógeno total en mg/kg (destilación), pH de solución 1:10 por el método de potenciómetro (medidor de electrodo de gel modelo HI 9124, Hannah Instruments, Woonsocket, RI, USA) y conductividad eléctrica en  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (conductímetro modelo HI 9033, Hannah Instruments, Woonsocket, RI, USA) en una solución acuosa 1:10 (Aguilera-Herrera, 1989). Por último, se comparó el color de las muestras de suelo con la carta de escala de grises Q13 de Kodak ®; a cada muestra de suelo se le asignó un valor de escala de gris según su semejanza con el patrón correspondiente de la carta.

### Análisis de datos

Para determinar cuáles fueron las especies dominantes del matorral costero se estimó la sumatoria de las frecuencias relativas y las coberturas relativas de cada especie (Flores y Álvarez-Sánchez, 2011). Asimismo, los porcentajes de cobertura de cada especie se sumaron para cada cuadrante, para estimar la cobertura total; dado que los diferentes estratos se sobreponían, la suma total de las coberturas podía ser mayor a 100 %, por lo que los porcentajes se convirtieron a metros cuadrados.

Se elaboraron histogramas descriptivos de las frecuencias de cada variable estudiada, se estimó la mediana y los valores máximos y mínimos de cada variable.

Para evaluar la relación entre la cobertura de las especies dominantes y las propiedades del suelo, se llevaron a

cabo pruebas de correlación, utilizando el paquete estadístico StatGraphics plus, y reportando las correlaciones con valores de  $P < 0.05$ . También se calcularon las correlaciones lineales entre las propiedades del suelo.

### RESULTADOS

En la Tabla 1 se observan los valores de cobertura y frecuencias relativas de las especies encontradas en el muestreo en orden descendente. La especie dominante tanto en términos de frecuencia como de cobertura fue la leguminosa arbustiva *Pithecellobium keyense* (Coker), en segundo lugar fue la sapotácea arbustiva *Bumelia retusa* (Swartz), seguida por una agavácea rosetófila, *Agave sisalana* (Perrine) y la euforbiácea arbustiva *Enriquebeltrania crenatifolia* (Miranda).

El valor máximo de la suma de coberturas de todas las especies de cada cuadrante fue de 9 m<sup>2</sup>, y el menor fue de 0.2 m<sup>2</sup>, con una mediana de 3.36 m<sup>2</sup>; la mayoría de los cuadrantes tuvo entre 2 m<sup>2</sup> y 3.7 m<sup>2</sup> de cobertura vegetal (Figura 2a). Se observa que el valor máximo para la suma de coberturas fue más del doble de la superficie real del cuadrante (4 m<sup>2</sup>), lo que indica que en estos cuadrantes coexisten especies de diferentes estratos verticales y que hay una sobreposición espacial entre ellas.

En la cobertura de mantillo, la mayoría de los cuadrantes tuvieron más del 75 % de su superficie cubierta por este elemento; el valor más alto observado fue de 100 %, y el más bajo de 10 % (Figura 2b), con una mediana de 75 %. La cobertura de *P. keyense*, *B. retusa* y la cobertura total de la vegetación estuvieron correlacionadas con la cobertura de mantillo (Tabla 2).

Las muestras de suelo tuvieron densidades aparentes entre 0.8 (bajo) a 1.3 (medio), con una mediana de 1.13 g/cm<sup>3</sup>; la mayor frecuencia fue de suelos con valores de densidad de 1.1 g/cm<sup>3</sup> a 1.2 g/cm<sup>3</sup> (Figura 2c). La densidad aparente correlacionó negativamente con el nitrógeno total, materia orgánica y tono de gris del suelo (Tabla 2).

El nitrógeno total presentó sus valores extremos en 0.09 mg/kg y 0.53 mg/kg, con

una mediana de 0.16 mg/kg; la mayoría de las muestras presentó concentraciones menores a 0.18 mg/kg (Figura 2d).

El porcentaje de materia orgánica fue menor a 1.78 % en la mayoría de las muestras, aunque se observó que el valor máximo fue de 8.9 %, la mediana fue de 1.6 % y el mínimo de cero (Figura 2e). Como era de esperarse, la materia orgánica correlaciona positivamente con el valor del tono de gris del suelo (Tabla 2).

El valor del pH del suelo estuvo entre 7.08 (neutro) y 7.8 (medianamente básico), aunque la mayoría de los suelos presentaron valores de 7.6 a 7.7 (medianamente básico) y la mediana fue de 7.5, por lo que se considera que estos suelos son en general medianamente básicos, quizá debido a su origen calcáreo (Figura 2f).

La conductividad tuvo valores mínimos y máximos de 320  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (no salinos) y 4 410  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (salinos), respectivamente, con una mediana de 873  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ; la mayoría de las muestras presentaron valores inferiores a los 1138  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Figura 2g).

La cobertura de *P. keyense* se correlacionó con el contenido de materia orgánica y tuvo una tendencia a relacionarse con el nitrógeno total ( $r=0.35$ ,  $P=0.06$ ) (Tabla 2, Figura 3). Ni la densidad, ni el tono de gris tuvieron relación directa con la cobertura vegetal total o con la de alguna de las especies. Solamente se observó una correlación directa entre la cobertura de una especie, *E. crenatifolia*, y la conductividad eléctrica (Figura 3).

El nitrógeno total es la propiedad del suelo que se relacionó con un mayor número de otros parámetros fisicoquímicos del suelo (Tabla 2).

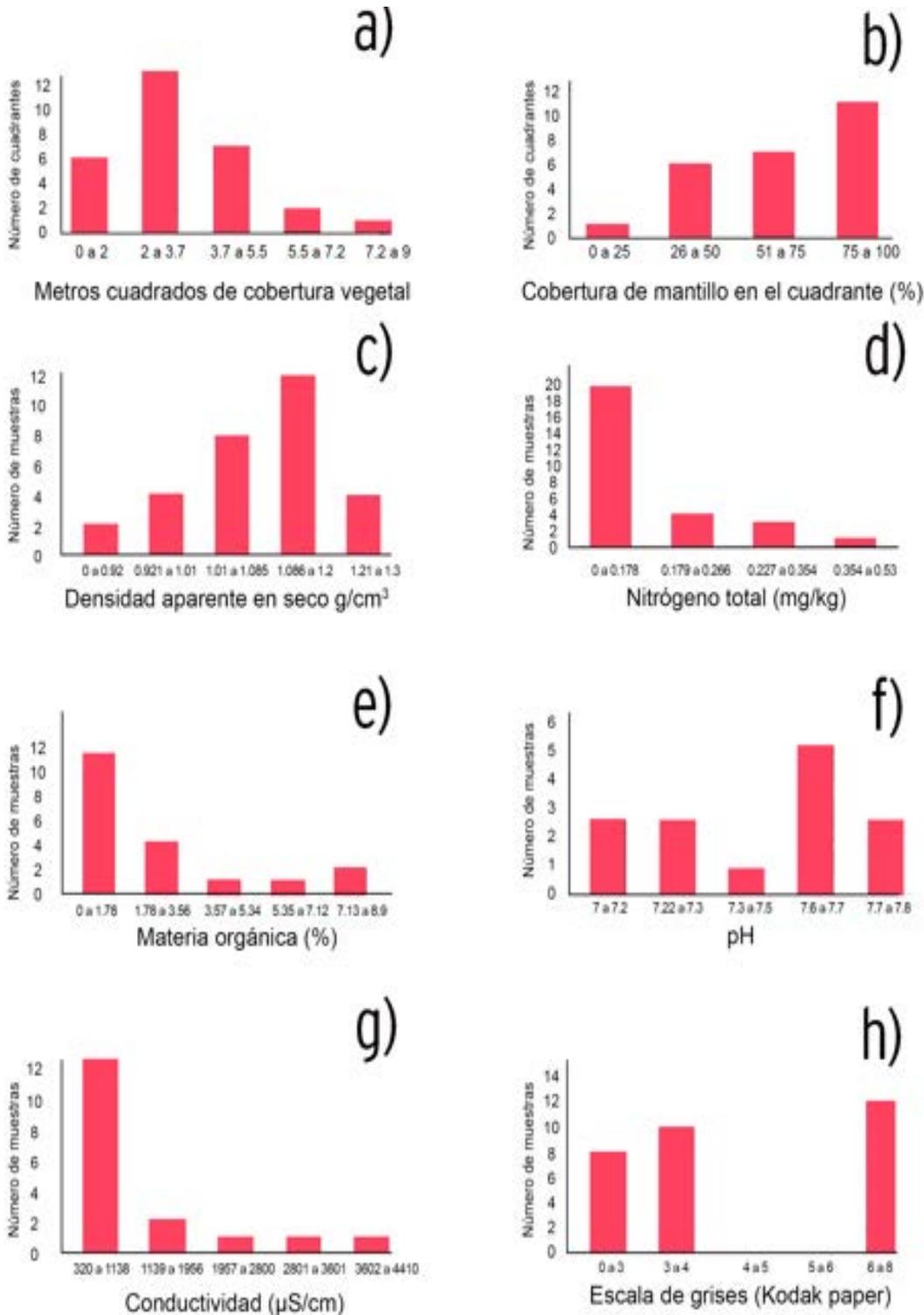
### DISCUSIÓN

El ambiente en el área de estudio, en general, presenta condiciones consideradas adversas o estresantes para el desarrollo de la vegetación, ya que presenta baja precipitación anual (600 mm a 700 mm) y altas temperaturas (26 °C); el suelo presenta bajo contenido de nitrógeno y materia orgánica (indicadores de fertilidad) y

**Figura 2.**

Distribución de frecuencias de las variables estudiadas en las muestras de suelo y vegetación del matorral costero de Ría Lagartos. Se muestrearon en total 30 cuadrantes e igual muestras de suelo.

Figure 2. Frequency distribution of the studied variables in the soil and vegetation samples of the coastal dune scrubland in Ria Lagartos in Yucatan, Mexico. Thirty quadrats and soil samples were analyzed.



**Tabla 2.**

Índice de correlación de Pearson con su valor de P (paréntesis) de la cobertura de las tres especies de arbustos dominantes y algunas variables edáficas en el matorral de duna costera de Ría Lagartos, Yucatán, México.

Table 2. Pearson correlation indices and P values (parenthesis) of the cover of the three dominant shrub species and some soil properties in the coastal dune scrubland in Ría Lagartos in Yucatan, Mexico.

	<i>Bumelia retusa</i>	<i>Enriquebeltrania crenatifolia</i>	Cobertura total	Mantillo (%)	Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	Nitrógeno total (m/kg)	Materia orgánica (%)	pH (%)	Conductividad eléctrica (μS/cm)	Tono de gris (%)
<i>Pithecellobium keyense</i>	NS	NS	0.67 (< 0.01)	0.44 (0.03)	NS	NS	0.51 (0.03)	NS	NS	NS
<i>Bumelia retusa</i>		NS	0.40 (0.03)	0.59 (< 0.01)	NS	NS	NS	NS	NS	NS
<i>Enriquebeltrania crenatifolia</i>			0.44 (0.01)	NS	NS	NS	NS	NS	0.81 (< 0.001)	NS
Cobertura total (%)				0.60 (< 0.01)	NS	0.39 (0.04)	NS	NS	0.56 (0.023)	NS
Mantillo (%)					NS	0.55 (0.01)	NS	NS	NS	NS
Densidad aparente g/cm <sup>3</sup>						- 0.44 (0.02)	- 0.75 (< 0.01)	NS	NS	- 0.80 (< 0.01)
Nitrógeno total (m/kg)							0.87 (< 0.01)	NS	NS	0.52 (< 0.01)
Materia orgánica (%)								NS	NS	0.81 (< 0.01)
pH (%)									0.6 (< 0.01)	NS
Conductividad eléctrica (μS/cm)										0.62 (0.01)

altos valores de densidad (indicador de la capacidad de aireación y retención de humedad). En estas condiciones la sucesión de la vegetación puede ser más lenta que en ambientes más favorables (Walker y del Moral, 2003), además de que este tipo de ecosistemas naturales son más vulnerables a la perturbación; especialmente a la destrucción de la cobertura vegetal (Ruiz y col., 2008).

Esto hace que la presencia de los árboles y arbustos sea importante, ya que son capaces de generar "islas de fertilidad"; que consisten en fragmentos de hábitat ricos en nutrientes, humedad y materia orgánica rodeados de una matriz en la que los suelos tienen una baja fertilidad y la cobertura vegetal es muy escasa (Tirado

y Pugnaire, 2003; Bonanomi y col., 2008; Ridolfi y col., 2008; Perroni-Ventura y col., 2010; Hafidi y col., 2013). Las especies que forman estas "islas", determinan la distribución de otras especies, entre ellas, las herbáceas, epífitas y otras especies de arbustos menos resistentes a los microhábitats abiertos (Tirado y Pugnaire, 2003; Hafidi y col., 2013).

En ambientes áridos y semiáridos, los arbustos juegan un papel determinante en el microhábitat de otras especies. Su cobertura influye en la cantidad de luz que llega al suelo, la variación térmica y la velocidad del viento en el subdosel. Esto reduce el movimiento de partículas del suelo y la velocidad de evaporación de la humedad superficial (Ridolfi y col.,

2008). Los arbustos crean micrositios seguros para la germinación de semillas y sobrevivencia de algunas especies de plántulas.

En el área de estudio, los arbustos que por su dominancia pueden estar influyendo con mayor intensidad fueron *P. keyense* y *B. retusa*. Estas especies presentan alta frecuencia y abundancia relativa, es decir, están distribuidas por todo el hábitat y tienden a ocupar una alta proporción de su superficie. Bajo el dosel de ambas especies se pueden observar densas capas de mantillo, como lo indica la correlación estadística. Además, ambas especies están correlacionadas con la cobertura total de la vegetación; estos parámetros ecológicos determinan el

microhábitat del resto de la biota (Álvarez-Sánchez y Harmon, 2003; Grant y Paschke, 2012). La correlación entre la cobertura de estas dos especies dominantes y la cobertura de la vegetación total, sugiere que ambas pueden estar influyendo en funciones ecosistémicas, tales como la productividad primaria y la herbivoría.

El aporte de hojarasca es una función muy importante de la vegetación, ya que es una de las principales fuentes de nutrientes para las capas superficiales del suelo (Swift y col., 2008; Powlson y col., 2011). Las camas de mantillo crean microhábitats para hongos, bacterias y para los invertebrados formadores de suelo como termitas y hormigas (Álvarez-Sánchez y Harmon, 2003; Ayuke y col., 2011). Cuando la cubierta de mantillo alcanza varios centímetros de profundidad, la capacidad de retener la humedad es mayor que en el suelo desnudo, creando micrositios seguros para la germinación de semillas y sobrevivencia de plántulas (Aguilera-Herrera, 1989; Powlson y col., 2011; Hafidi y col., 2013).

Una cubierta densa de mantillo sirve de protección contra la erosión por acción del viento y amortigua el impacto de las gotas de agua al llover. Esto reduce la velocidad con la que los nutrientes, superficiales se lixivian (Weil y Magdoff, 2004), si bien esta protección es menos efectiva que la de la cubierta viva (Juárez-Sanz y col., 2006).

En este escenario, tanto *P. keyense* como *B. retusa* son buenos candidatos para los planes de repoblación; aunque se recomienda describir profundamente la calidad y cantidad de hojarasca que producen.

En este estudio, la cobertura de mantillo se correlacionó positivamente con el contenido de nitrógeno total del suelo. Esto se debe a que la hojarasca podría estar proporcionando nutrientes y protección mecánica al suelo. Los suelos arenosos desprotegidos pierden muy rápidamente la materia orgánica y otros nutrientes, porque sus partículas

gruesas tienen menor superficie a la que se adhieran los nutrientes (Schaeztl y Anderson, 2005).

Se encontró una asociación significativa entre el porcentaje de materia orgánica del suelo y la cobertura de *P. keyense*. A su vez, la materia orgánica tuvo una asociación significativa con el contenido de nitrógeno total, y ambas variables son consideradas indicadores de la actividad biológica del suelo (Álvarez-Sánchez y Harmon, 2003; Spargo y col., 2011). Estos resultados resaltan la importancia de *P. keyense* en este hábitat, el cual está dominado por un suelo con menos del 2 % de materia orgánica; valor que resulta muy bajo para el establecimiento de nuevas plantas (Aguilera-Herrera, 1989). Al respecto, es importante destacar, que la materia orgánica y el mantillo son importantes reservorios de carbono en el suelo, por lo que su construcción y mantenimiento se considera un servicio ambiental crítico de los ecosistemas naturales y agrícolas (National Research Council, 2008; Powlson y col., 2011; Hafidi y col., 2013). La materia orgánica y el nitrógeno total son indicadores de fertilidad del suelo que generalmente están asociados con la concentración de otros nutrientes, como el fósforo y el potasio (Chivenge y col., 2010; Spargo y col., 2011). También se consideran indicadores de la actividad microbiana y la capacidad de retención de humedad (Weil y Magdoff, 2004; Bonanomi, y col., 2008; National Research Council, 2008; Powlson y col., 2011).

No se encontró correlación entre la cobertura de las especies estudiadas y el contenido de nitrógeno del suelo, aunque se observó una asociación no significativa entre el contenido de nitrógeno y la cobertura de *P. keyense* ( $r = 0.35$ ,  $P = 0.064$ , Figura 3a). Esto es interesante, ya que la escasez de nitrógeno suele ser el principal factor limitante del crecimiento de las plantas, y de la regeneración de la vegetación.

Se ha reportado que especies del género *Pithecellobium* son capaces de formar asociaciones simbióticas con

bacterias fijadoras de nitrógeno a través de su raíz (Elevitch y Wilkinson, 1995), lo que les permite colonizar exitosamente ambientes pobres en nutrientes como la duna arenosa del sitio de estudio (Flores, 2001). Se ha observado que el nitrógeno fijado en las raíces de las leguminosas es liberado al suelo, ya sea por la producción de hojarasca, la muerte y descomposición de tejido radical o por la emisión de exudados con alto contenido de este elemento (Bonanomi y col., 2008; Ruiz y col., 2008). No obstante, los datos de este trabajo solamente presentan evidencia indirecta de que *P. keyense* podría estar aportando nitrógeno al suelo. Dicha evidencia debe ser corroborada con experimentos de laboratorio e invernadero.

En el sitio de estudio se observaron densas capas de mantillo bajo el dosel de *P. keyense*; un análisis de su composición química serviría para determinar si el aumento de NT se debe a la descomposición de la hojarasca o a la protección mecánica contra la lixiviación. También sería importante analizar la variación temporal en la cantidad y calidad de la hojarasca producida por *P. keyense*.

Se percibió que a menor densidad aparente, los suelos presentaron mayor contenido de nitrógeno total, mayor porcentaje de materia orgánica e índices de grises más altos (oscuros). Esto resulta interesante porque la densidad aparente y el índice de gris son económicos y rápidos de medir; y pueden considerarse como indicadores proxy de la calidad de los suelos. Aunque no sustituyen análisis más precisos; se pueden usar para evaluar grandes cantidades de muestras con menores costos y tiempo.

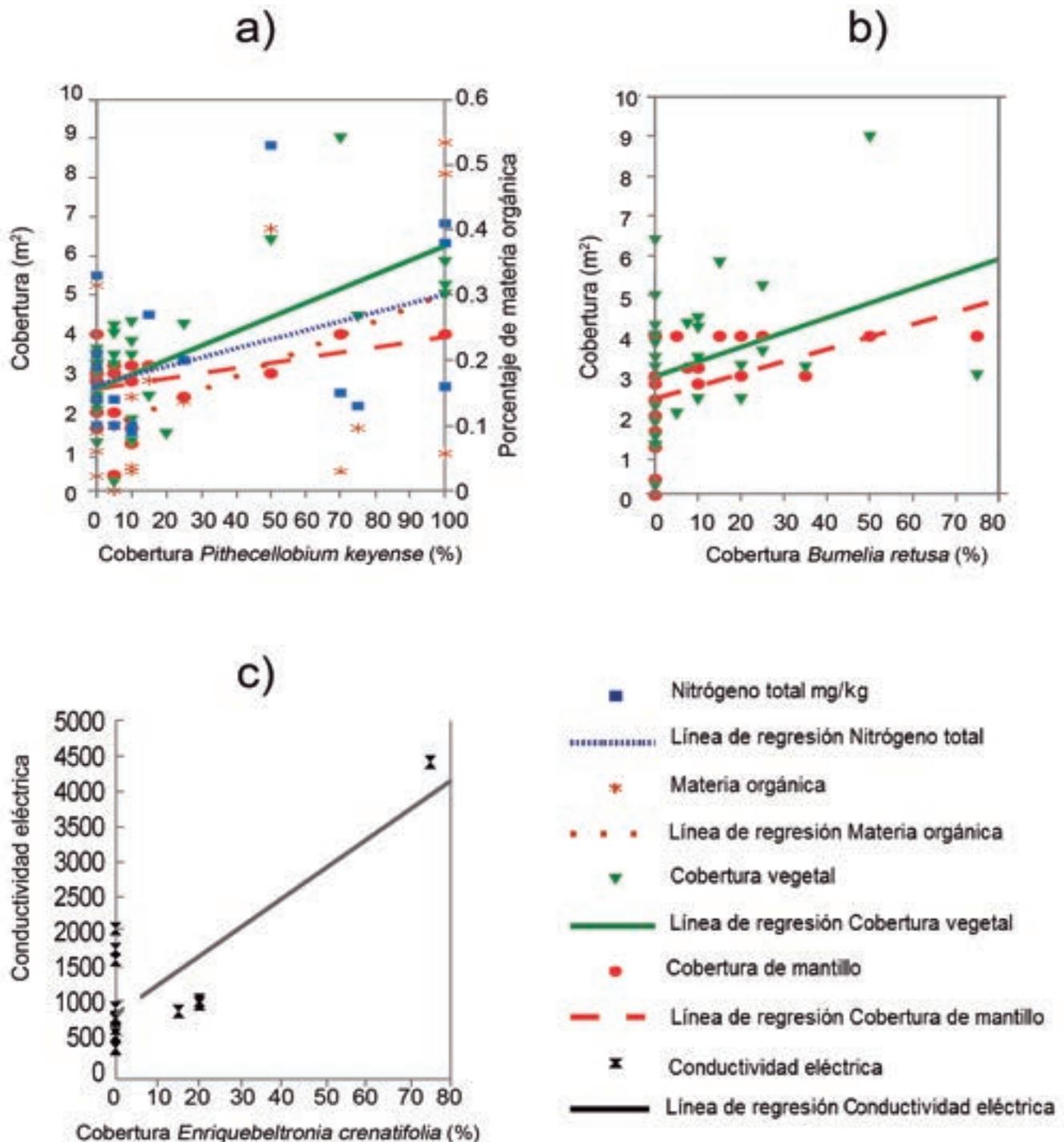
Cuando la fracción mineral del suelo es de color claro, como en este caso, la descomposición de la materia orgánica produce pigmentos que le proporcionan tonos pardos a grises oscuros (Schaeztl y Anderson, 2005). Así mismo, la presencia de materia orgánica favorece la formación de agregados, generando más espacios porosos y reduciendo la densidad aparente del suelo (Aguilera-Herrera, 1989).

Los altos valores de cobertura y frecuencia relativas de *P. keyense* y su

**Figura 3.**

Relación entre la cobertura de a) *Pithecellobium keyense*; b) *Bumelia retusa*; c) *Enriquebeltrania crenatifolia* y las variables estudiadas. En todos los casos  $P < 0.05$ , salvo en el contenido de nitrógeno total, donde  $P = 0.06$ . En panel a) La escala del nitrógeno total está en el eje secundario.

Figure 3. Relation between the cover of a) *Pithecellobium keyense*; b) *Bumelia retusa*; c) *Enriquebeltrania crenatifolia* and the studied variables. In all cases  $P < 0.05$ , except in the total nitrogen in which  $P = 0.06$ . In panel a) the total nitrogen scale is in the secondary axis.



correlación con algunos de los parámetros estudiados, sugieren que esta especie podría estar funcionando como ingeniero del ecosistema. Las “especies ingeniero” son aquellas que modifican la distribución espacial de los recursos y la biodiversidad, incluyendo diversas funciones ecológicas como la actividad microbiana, fotosíntesis y herbivoría (Bonanomi y col., 2008).

Cabe enfatizar que las asociaciones estadísticas no implican relaciones causa-efecto, pero sugieren la posible dirección de nuevos estudios. Es conveniente describir la interacciones ecológicas de *P. keyense* y *B. retusa* para establecer con claridad si alguna es una especie “ingeniero” o clave de su ecosistema.

La correlación entre la cobertura de *E. crenatifolia* con la conductividad eléctrica, sugiere que esta especie es halófila; lo que la hace apta para revegetar sitios en los que difícilmente

se puedan desarrollar otras especies de arbustos.

## CONCLUSIONES

Por su alta frecuencia y cobertura relativas es posible que *Pithecellobium keyense* influya significativamente en las funciones ecosistémicas del matorral de duna costera. Esto se refuerza por la asociación estadística con la cobertura de mantillo, porcentaje de materia orgánica del suelo y contenido de nitrógeno total. La densidad aparente puede usarse como un indicador proxy, rápido o alternativo, para la evaluación de la calidad del suelo del matorral costero de la Reserva de la Biosfera Ría Lagartos, ya que se correlaciona con el nitrógeno total, la materia orgánica y el tono de gris. Los suelos menos densos fueron los que presentaron valores más altos de porcentaje de materia orgánica

y contenido de nitrógeno total. El color del suelo también puede considerarse para evaluar la calidad del suelo de manera rápida, ya que correlaciona con la densidad aparente, nitrógeno total, materia orgánica, y conductividad eléctrica.■

## AGRADECIMIENTOS

Parte del trabajo se financió mediante el proyecto de PROMEP “Estudio de la Biodiversidad y la Interacciones Bióticas para la Conservación y Restauración de la Reserva de la Biósfera de Ría Lagartos, Yucatán”. Agradecemos a los editores y revisores por sus valiosos comentarios que hicieron este manuscrito más claro. También reconocemos encarecidamente al personal de la Reserva Especial de la Biosfera y en general de la CONANP, en Mérida, Yucatán, por su valiosa ayuda en el campo.

## REFERENCIAS

- Aguilera-Herrera, N. (1989). *Tratado de edafología de México Tomo 1*. México: Ediciones de la Universidad Nacional Autónoma de México. 222 Pp.
- Álvarez-Sánchez, J. y Harmon, M. E. (2003). Descomposición de hojarasca, hojas y madera. En J. Álvarez-Sánchez y E. Naranjo-García (Eds.), *Ecología del suelo en la selva tropical húmeda de México* (pp. 108-122). México: Ediciones de la Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ayuke, F. O., Brusaar, L., Vanlauwe, B., Six, J., Lelei, D. K., Kibunja, C. N., and Pulleman, M. M. (2011). Soil fertility management: Impacts on soil macrofauna, soil aggregation and soil organic matter allocation. *Applied Soil Ecology*. 48(1): 53-62.
- Bautista, F., Palma-López, D. y Huchin, W. (2005). Actualización de la clasificación de los suelos del Estado de Yucatán. En F. Bautista y A. G. Palacio (Eds.), *Caracterización y manejo de los suelos de la península de Yucatán: implicaciones agropecuarias, forestales y ambientales* (pp 105-122). México, D.F.: Publicaciones del INE.
- Bonanomi, G., Rietkerk, M., Dekker, S., and Mazzoleni, S. (2008). Islands of fertility induce co-occurring negative and positive plant-soil feedbacks promoting coexistence. *Plant Ecology*. 197(2): 207-218.
- Bonham, C. D. (1989). *Measurements for terrestrial vegetation*. Nueva York, E.E.U.U.; John Wiley Publishers. 338 Pp.
- Chivenge, P., Valauwe, P., Gentile, R., and Six, J. (2010). Organic resource quality influences short-term aggregate dynamics and soil organic carbon and nitrogen accumulation. *Soil Biology and Biochemistry*. 43(3): 657-666.
- CNA, Comisión Nacional del Agua (2000). Datos meteorológicos (1970-2000). [En línea]. Disponible en: [www.cna.gob.mx](http://www.cna.gob.mx). Fecha de consulta: 1 de enero de 2010.
- CONABIO, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (1995). *Atlas de Reservas de la Biosfera y otras Áreas Naturales Protegidas de México*. México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 314 Pp.
- CONANP, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (2007). *Programa de conservación y manejo Reserva de la Biósfera Ría Lagartos*. México: Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. 266 Pp.
- Elevitch, C. and Wilkinson, K. (1995). Nitrogen fixing trees: multipurpose pioneers, en *Permaculture International Journal*. No. 56. [En línea]. Disponible en: <http://agroforestry.net/pubs/NFTs.html>. Fecha de consulta: 1 de noviembre de 2010.
- Flores, J. S. (2001). *Leguminosae: florística, etnobotánica y ecología. Colección Etnoflora Yucatanense Fascículo 18*. Mérida, México: Ediciones de la Universidad

- Autónoma de Yucatán. 250 Pp.
- Flores, J. S. and Álvarez-Sánchez, J. (2011). Flora y vegetación. En F. Bautista-Zuñiga, J. Palacio-Prieto, H. Delfín-González, R. Paéz-Bistrain, E. Carmona-Jiménez, M. Delgado-Carranza (Eds.), *Técnicas de muestreo para manejadores de recursos naturales* (pp. 389-414). México, D.F.:UNAM.
- Flores, J. S. and Espejel, I. (1995). *Tipos de vegetación de la Península de Yucatán. Etnoflora Yucatanense, Fascículo 3*. Mérida, México: Ediciones de la Universidad Autónoma de Yucatán. 135 Pp.
- Grant, T. and Paschke, M. W. (2012). Invasive plant impacts on soil properties, nutrient cycling, and microbial communities. En T. Monaco and R. Sheley (Eds.), *Invasive plant ecology and management, linking processes to practice* (pp 79-104). Oxford, R.U.: CAB International.
- Hafidi, M., Ouahmane, L., Thioulouse, J., Sanguin, H., Boumezzougha, A., Princ, Y., Baudoind, E., Galiana, A., and Duponnois, R. (2013). Managing Mediterranean nurse plants-mediated effects on soil microbial functions to improve rock phosphate solubilization processes and early growth of *Cupressus atlantica* G. *Ecological Engineering*. 57(1):57-64.
- Harris, J. A. and Hobbs, R. J. (2001). Clinical practice for ecosystem health: the role of ecological restoration. *Ecosystem Health*. 7(4): 195-202.
- Heneghan, L. Miller, S. P., Baer, S., Callahan, M. A., Montgomery, J., Rhoades, C. C., and Richards, S. (2008). Integrating soil ecological knowledge into restoration management. *Restoration Ecology*. 16(4): 608-617.
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2007). Información geográfica por entidad federativa: Yucatán. [En línea]. Disponible en: [www.inegi.gob.mx](http://www.inegi.gob.mx). Fecha de consulta: 10 de septiembre de 2010.
- Juárez-Sanz, M., Sánchez-Andreu, J., and Sánchez-Sánchez, A. (2006). *Química del suelo y medio ambiente. Alicante, España: Publicaciones de la Universidad de Alicante*. 743 Pp.
- National Research Council (2008). *Emerging technologies to benefit farmers in Subsharan Africa and South Asia*. Estados Unidos de América: National Academies Press. 292 Pp.
- Ohsowski, B. M., Klironomos, J. N., Dunfield, K. E., and Hart, M. M. (2012). The potential of soil amendments for restoring severely disturbed grasslands. *Restoration Ecology*. 18(4): 467-480.
- Perroni-Ventura, Y., Montaña, C., and García-Oliva, F. (2010). Carbon-nitrogen interactions in fertility island soil from a tropical semi-arid ecosystem. *Functional Ecology*. 24(1): 233-242.
- POETY, Programa de Ordenamiento Ecológico y Territorial del Estado de Yucatán (2005). Programa de Ordenamiento Ecológico y Territorial del Estado de Yucatán: agenda ambiental. [En línea]. Disponible en: <http://www.bitacoraordenamiento.yucatan.gob.mx/>. Fecha de consulta: 1 de julio de 2010.
- Powlson, D. S., Gregory, P. J., Whalley, W. R., Quinton, J. N., Hopkins, D. W., Whitmore, W. R., Hirsch, P. R., and Gouldin, K. W. T. (2011). Soil management in relation to sustainable agriculture and ecosystem services. *Food Policy*. 36 (Suplment 1): s72-s87.
- Ridolfi, L., Laio, F., and D'Odorico, P. (2008). Fertility island formation and evolution in dryland ecosystems, en *Ecology and Society*. 13(1): 5. [En línea]. Disponible en: <http://www.ecologyandsociety.org/vol13/iss1/art5/>. Fecha de consulta: 1 de mayo de 2011.
- Ruiz, T. G., Zaragoza, S. R., and Cerrato, R. F. (2008). Fertility islands around *Prosopis laevigata* and *Pachycereus hollianus* in the drylands of Zapotitlán Salinas, México. *Journal of Arid Environments*. 72(7): 1202-1212.
- Schaetzl, R. and Anderson, S. (2005). *Soils: genesis and geomorphology*. Massachusets, Estados Unidos: Oxford University Press. 827 Pp.
- Spargo, J. T., Cavigelli, M. A., Mirsky, S. B., Maul, J. E., and Meisinger, J. J. (2011). Mineralizable soil nitrogen and labile soil organic matter in diverse long term cropping systems. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 90(2): 253-266.
- Stohlgren, T. J. (2007). *Measuring plant Biodiversity, lessons from the field*. Nueva York, Estados Unidos: Oxford University Press. 390 Pp.
- Swift, M. J., Bignell, D. E., Moreira, F. M. S., and Huising, J. (2008). The inventory of soil biological diversity: concepts and general guidelines. En Moreira, F. M. S., Huising, J. y Bignell, D. E. (Eds.), *A handbook of tropical soil biology: sampling and characterization of below-ground biodiversity*. Reino Unido: Earthscan. 1-16 Pp.
- Tirado, R. and Pugnaire, F. (2003). Shrub spatial aggregation and consequences for reproductive success. *Oecologia*. 136(2): 296-301.
- Tischew, S., Baasch, A., Conrad, M. K., and Kirmer, A. (2010). Evaluating restoration success of frequently implemented compensation measures: results and demands for control procedures. *Restoration Ecology*. 18(4): 467-480.
- Walker, L. R. and Del-Moral, R. (2003). *Primary succession and ecosystem rehabilitation*. Reino Unido: Cambridge University Press. 442 Pp.
- Weil, R. R. and Magdoff, F. (2004). Significance of soil organic matter to soil quality and health. En F. Magdoff y R. R. Weil (Eds), *Soil organic matter in sustainable agriculture*. Estados Unidos: CRC Press. 1-42 Pp.



# ESTILOS DE VIDA DE LAS MUJERES DE OCUILAPA DE JUÁREZ, OCOZOCOAUTLA, CHIAPAS

LIFESTYLES OF WOMEN OCUILAPA OF JUAREZ, OCOZOCOAUTLA, CHIAPAS

Vidalma del Rosario  
Bezares-Sarmiento<sup>1\*</sup>,  
Sara Márquez-Rosa<sup>2</sup>,  
Olga Molinero-González<sup>2</sup>,  
Arturo Jiménez-Cruz<sup>3</sup> y  
Montserrat Bacardi-Gascón<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias de la Nutrición y Alimentos. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, Libramiento Norte s/n, col. Lajas Maciel, Edificio 11. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México, C.P. 29000.  
<sup>2</sup>Departamento de Educación Física y Deportiva. Universidad de León, España, Campus de Vegazana, León, España, 24071.  
<sup>3</sup>Facultad de Medicina y Psicología. Universidad Autónoma de Baja California, Calzada Universidad 14418, Mesa de Otay, Tijuana, Baja California, México, C.P. 22390.

\*Autora para correspondencia: [vidalmabezares@hotmail.com](mailto:vidalmabezares@hotmail.com) / [vidalmabs@yahoo.com.mx](mailto:vidalmabs@yahoo.com.mx)

Fecha de recepción: 30 de marzo de 2013 / Fecha de aceptación: 7 de febrero de 2014.

## RESUMEN

El papel de la mujer es trascendente en la formación y educación de hábitos de una vida saludable. La presente investigación tuvo como objetivo determinar los estilos de vida de las mujeres de la localidad de Ocuilapa de Juárez del municipio de Ocozocoautla, en Chiapas, México, en función de la edad. La muestra fue conformada por 754 mujeres rurales de 16 a 80 años. Se aplicó el Cuestionario Perfil de Estilos de Vida (PEPS-1) con seis escalas:

responsabilidad en salud, manejo de estrés, soporte interpersonal, auto-actualización, nutrición y ejercicio. Asimismo, se evaluaron las actividades habituales recreativas y de ocio de las mujeres. En los resultados se observó que la media más alta está en auto-actualización y soporte interpersonal. El coeficiente de Pearson indica relación entre auto-actualización y soporte interpersonal ( $R^2= 0.67$   $P < 0.001$ ); así como entre responsabilidad en salud y manejo de estrés ( $R^2= 0.66$   $P < 0.001$ ). Se observaron

diferencias significativas en responsabilidad en salud y manejo de estrés en los rangos de edad de 18 a 40 años, 41 a 60 años y  $> 60$  años ( $P < 0.05$ ). Las mujeres de 18 a 40 años presentaron los porcentajes más altos con respecto a actividades cotidianas del hogar y recreación limitada a ver televisión. El perfil de las mujeres entrevistadas en el presente estudio fue: mayoritariamente sedentarias, dedicadas a las labores propias del hogar y a la atención de la familia, sin adicciones. Presentaron falta de conocimiento sobre

manejo de estrés y responsabilidad en salud. Además, desconocían la importancia de realizar ejercicio como prevención de enfermedades crónicas y no mostraron interés en mantenerse actualizadas en conocimientos de la salud.

**PALABRAS CLAVE:** mujeres, vida rural, pobreza, estilo de vida.

## ABSTRACT

The role of women is significant in the training and education of healthy lifestyle habits. This research aimed at determining the age-related lifestyles of local women of Juarez de Ocuilapa, of the municipality of Ocozocoautla in Chiapas, Mexico. The sample was comprised of 754 rural women aged 16 to 80 ( $M + Sd = 38.63 + 13.96$ ). The study used the Lifestyle Profile Questionnaire (PEPS-1) with six scales: responsibility in health, stress management, interpersonal support, self-actualization, nutrition and exercise. Usual recreational and leisure activities of women were also assessed. Results show that the highest average was for self-actualization and interpersonal support. Pearson coefficient indicated relationships between self-actualization and interpersonal support ( $R^2 = 0.67 P < 0.001$ ); and between responsibility in health and stress management ( $R^2 = 0.66 P < 0.001$ ). Significant differences were found in responsibility for health and stress management in age groups of 18 to 40 years, 41 to 60 years and  $> 60$  years ( $P < 0.05$ ). Women aged 18 to 40 had the highest percentages for household activities and recreation, limited to watching television. The profile of the women in the study was: mostly sedentary, dedicated to housework and family care, without addictions. Women showed lack of knowledge about stress management and responsibility in health. In addition, they did not know the importance of exercise in the prevention of chronic diseases and they were not interested in updating their health knowledge.

**KEYWORDS:** women, rural life, poverty, lifestyle.

## INTRODUCCIÓN

El estilo de vida es una construcción

humana, producto de la interacción entre factores genéticos, educativos, sociales, económicos y medioambientales (Guerrero y León, 2010). El ser humano es el responsable de su vida, salud, enfermedad e inclusive su muerte. Para lograr estilos de vida saludables, es importante considerar la recreación como práctica social, el juego, la convivencia con otras personas, el uso del tiempo libre y del ocio, porque proporcionan al usuario una condición de júbilo, alegría, emociones placenteras y agradables, la sensación de ser diferente y liberar las tensiones estresantes de la vida cotidiana (Arribas, 2000; Gerlero, 2005; Secretaría de Educación Pública, 2010).

Los avances de la tecnología en el siglo XXI han hecho la vida más cómoda y atractiva, con estilos de vida sedentarios y con un uso indiscriminado de la tecnología en el hogar y trabajo. Por otra parte, el acelerado ritmo de vida, deja poca posibilidad de cuidado personal y dedicación limitada a la atención de los hijos.

En México, la mujer se enfrenta a cambios importantes en su estilo de vida producidos por factores sociales, culturales, ambientales y económicos. Entre los patrones culturales modificados destacan el alterar horarios de alimentación, como omitir el desayuno y reemplazarlo por almuerzos a destiempo y abundantes; el abuso en el consumo de "comidas rápidas", con frecuencia ricas en lípidos y azúcares refinados y pobres en fibra y antioxidantes; el consumo de alimentos con alta densidad energética, precocidos e industrializados, alto consumo de refrescos embotellados gaseosos, con bajo consumo de agua natural; fenómeno que ha aumentado en los últimos 25 años (Casanueva y Rozada, 2005; Bolaños, 2009; Pardo y Kaufer, 2012). Estos hábitos alimenticios no saludables han incrementado patologías como hipertensión arterial, diabetes y obesidad; esta última denominada por la Organización Mundial de la Salud (OMS) como "obesidad epidémica", y considerada como la primera epidemia no vírica del siglo.

La inactividad física, mantenida en el tiempo, constituye un riesgo notable para la salud. El análisis realizado de lo ocurrido durante trece años con respecto a la situación

de la obesidad en México, señala que en 1993 la obesidad en adultos era del orden del 21.5 %, en el 2000 del 24 %, y en 2006 del 30 %; observándose que la población mayor de 20 años es en quien se manifiesta una mayor tasa de obesidad. De 1988 a 2012, el sobrepeso en mujeres de 20 a 49 años de edad incrementó de 25 % a 35.3 % y la obesidad de 9.5 % a 35.2 % (Cuevas y col., 2006; Gutiérrez y col., 2012).

Estudios sobre estilos de vida utilizando el enfoque epidemiológico de riesgo, han demostrado la relación entre el comportamiento individual y grupal, con la aparición de enfermedades como cáncer, cardiopatías, osteoporosis, estrés, enfermedad mental, así como su relación con conductas inapropiadas. La evidencia indica que el estilo de vida se asocia con mayor frecuencia al riesgo a padecer ciertas enfermedades prevenibles que pueden ser evitadas o retardadas si se modifican algunos hábitos de carácter cultural y físico (Novel, 2000).

El estilo de vida de las mujeres afecta su estado de salud, al adoptar conductas de riesgo relacionadas con adicciones, alteración de hábitos alimentarios, o cambios en la dinámica familiar, en muchas ocasiones producidos por migraciones de los hombres para mejorar las condiciones de vida familiar. En las mujeres rurales existe una notable percepción del riesgo de inseguridad alimentaria asociado a la pobreza y al racismo, lo cual interactúa con los saberes y habilidades propias de las comunidades rurales. La pobreza se percibe de manera cíclica y la mitigan aplicando habilidades para conseguir alimentos silvestres o los más baratos (López, 2010).

Ante el deterioro de la alimentación, la educación nutricional juega un papel importante para impulsar hacia un cambio de patrones y actitudes saludables, y el rescate de las buenas costumbres, con el objetivo de favorecer la disminución de la prevalencia de enfermedades crónicas degenerativas relacionadas con la alimentación (Espinosa, 2004; Bolaños, 2009).

La cultura de una sociedad tiende a ser similar de una generación a otra. Los estilos de vida se han mantenido gracias al

proceso conocido como endoculturación, que es una experiencia de aprendizaje parcial, que tiene algo de consciente y de inconsciente, a través de la cual, la generación de más edad incita, induce y obliga a la joven a adoptar modos de pensar y comportamientos tradicionales (Harris, 2005). Los hábitos alimentarios generan tendencias a elegir y consumir determinados alimentos y rechazar otros. Actitudes que no son innatas, sino formadas a lo largo de la vida, en su mayoría son adquiridas en la infancia y consolidadas en la adolescencia y convertidas en costumbre en la adultez, creándose el paradigma para el concepto estilo de vida (health lifestyle) cuya idea es el "habitus" (Crockerham, 2005; Cabezuelo y Frontera, 2007; Macías y col., 2012; Martínez y col., 2012).

El estilo de vida no se forma espontáneamente, es producto de factores personales, ambientales y sociales que convergen en el presente como consecuencia de la historia interpersonal. Intervenir en los estilos de vida se convierte en una de las acciones más eficaces para la prevención de enfermedades y la promoción de la salud. Educar hacia un estilo de vida saludable debe ser un esfuerzo conjunto y articulado de la sociedad con los responsables de instituciones de salud. Éstas, con una visión crítica, han de elaborar políticas y estrategias sanitarias acordes a la cultura, industrialización, tecnología, del grupo en intervención para favorecer comportamientos saludables (Caricote y col., 2009; Gobierno Federal de México, 2010). Las intervenciones de prevención y control en las enfermedades crónicas han sido poco efectivas por la resistencia de la población para modificar su estilo de vida. Es importante destacar que en el caso de la obesidad, la conducta se relaciona más con el estilo de vida, patrones de alimentación y actividad física; las intervenciones de tipo experimental se ven reforzadas con el apoyo de otras medidas y despliegue de recursos, obteniendo resultados limitados (Frenk, 2000; Arroyo, 2012).

El ambiente <obesogénico> suele tener efecto en las mujeres, por las porciones de alimentos que ingieren, por la menopausia, por el aspecto psicológico, depresión,

ansiedad, entre otros (García y col., 2009b). Las enfermedades no transmisibles como diabetes, hipertensión arterial, dislipidemias, sobrepeso, obesidad, cardiovasculares, cánceres, trastornos psiquiátricos, problemas respiratorios crónicos, entre otras, como consecuencia de los cambios en el régimen alimenticio y estilo de vida, están ganando terreno con mucha rapidez en la sociedad e incrementan la carga de morbilidad mundial. Además, provocan cambios sobre la estructura y funcionamiento del cuerpo; en el aspecto psicosocial, por el dolor, sufrimiento, desesperanza, aislamiento e incapacidad, lo cual disminuye la calidad de vida (García, 2011; Ledón, 2011).

En esta línea, el Modelo de Promoción a la Salud es una guía para la exploración de los procesos biopsicosociales complejos que motivan a los individuos a realizar conductas dirigidas a elevar el nivel de salud. Valora el estilo de vida para la prevención de la enfermedad. Identifica factores cognitivos y perceptuales como principales determinantes de la conducta para la promoción de la salud. Ilustra la naturaleza multidimensional de las personas que interactúan con el entorno. Intenta que el individuo logre su más alto nivel de bienestar, potencializando el aspecto humano (Pender y Pender, 1996; Marriner y Raile, 2007).

El modelo tiene determinantes de promoción de la salud y de estilos de vida, incluye concepciones, creencias, ideas sobre la salud que induce a ciertos comportamientos (Villalbí, 2001; Trejo, 2010). La salud, el desarrollo humano y su desarrollo social, forman lazos indisolubles en la salud pública, por estar formada de factores asociados que condicionan la calidad de vida o no de las poblaciones (Muñoz, 2011).

Los estilos de vida saludables llevan a la adopción de conductas de promoción de la salud. No obstante, los estilos de vida actuales conllevan al ser humano a vivir en condiciones de estrés, desencadenando trastornos psicológicos como ansiedad y problemas de sueño, o modificaciones en la conducta alimentaria; que a su vez se manifiestan como problemas de salud, tales como diabetes, enfermedades coronarias, anemias, entre otros (Gamarra y col., 2010; Giraldo y col., 2010).

La comunidad de estudio, Ocuilapa de Juárez, forma parte de un municipio considerado de alta marginación por su tasa de educación, salud y servicios; además de contar con inseguridad alimentaria moderada; en esta localidad se observa la problemática de transición epidemiológica con índices importantes de bajo peso y talla, y la presencia de enfermedades crónicas degenerativas como obesidad, diabetes y cardiovasculares. Por lo que el objetivo de este trabajo fue determinar los estilos de vida de las mujeres de la localidad de Ocuilapa de Juárez, del municipio de Ocozacoautla, Chiapas, México, en función de la edad.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio forma parte de una investigación mayor, en este artículo se presenta el diagnóstico sobre estilos de vida en una muestra a conveniencia del 75 % de las mujeres (754) con residencia en la localidad de Ocuilapa de Juárez, municipio de Ocozacoautla, Chiapas, México. La investigación fue desarrollada de febrero a agosto de 2011.

Para la muestra se cumplieron con los siguientes criterios de inclusión: rango de edad de 16 a 80 años ( $\bar{X} + DE = 38.63 \pm 13.96$  años), sin discapacidad física o mental, residentes de la localidad, con habilidad para la comunicación oral, alfabetizadas y analfabetas, no embarazadas ni lactando, sin diagnóstico de problemas cardíacos o hipertensión severa o en etapa 3, aceptar participar en el estudio mediante carta de consentimiento informado. Fueron clasificadas por edades, según las funciones fisiológicas individuales: reproducción, climaterio y menopausia (Pérez y Marván, 2005; Pfeffer y col., 2008; Luna y Coello, 2012). Se formaron cuatro rangos vitales, en función de los cambios biológicos del ser humano y para efectuar una mejor comparación: mujeres adolescentes (< 18 años); mujeres adultas jóvenes (de 18 a 40 años); mujeres adultas maduras (de 41 a 60 años), y mujeres adultas mayores (> 60 años).

Como instrumentos de recolección de información se emplearon dos tipos de cuestionarios:

1) Perfil Estilos de Vida (PEPS-1) (Pender

y Pender, 1996; García, y col., 2009a) conformado de 48 ítems presentados en forma afirmativa, con respuestas mediante escala numérica del 1 al 4 (nunca, a veces, frecuentemente y rutinariamente); agrupados en seis subescalas de valor: nutrición, ejercicio, responsabilidad en salud, manejo del estrés, soporte interpersonal y autoactualización.

El cuestionario PEPS-1, de acuerdo al análisis realizado, presentó una fiabilidad de 0.92, a través de Alfa de Cronbach y en las subescalas de valor del instrumento, todas presentaron porcentajes superiores a 0.70.

Es importante destacar que, el instrumento PEPS-1 ha sido validado en español en investigaciones efectuadas en países latinos, como el realizado en Chile por Cid y col. (2006), quienes aplicaron la prueba Alfa de Cronbach y el método de división en mitades, teniendo como resultado una confiabilidad de 0.73 a 0.87. Oviedo y Campo (2005), indican que el valor mínimo aceptable es de  $\alpha=0.70$ ; por debajo de ese valor la consistencia interna de la escala utilizada es baja.

El instrumento PEPS-1 fue diseñado para el primer nivel de atención a la salud, pero ha sido validado también en pacientes hospitalizados, como es demostrado por Beristaín y Díaz (2009), al elaborar una guía basada en este modelo, habiendo obtenido un Alfa de Cronbach de 0.915; por lo que estos estudios muestran que es un instrumento válido y fiable.

En el presente trabajo se efectuó Alfa de Cronbach, para confirmar que es un instrumento fiable con la muestra utilizada por las características de ruralidad, formación escolar y modismos propios de la cultura regional. Se conoció el instrumento y se hizo comprensible para que las respuestas fueran las correctas, de acuerdo a lo esperado metodológica y estadísticamente.

2) **Cuestionario Estilos de Vida:** actividades habituales, recreación y ocio, con respuestas de: si o no; considera el tiempo, frecuencia, días dedicados a esa actividad. Se aplicó previamente en forma de prueba para detectar la comprensión de las preguntas. A través de este cuestionario se recopiló

**Tabla 1.**

Media y desviación estándar en seis escalas de medición del Cuestionario de Perfil Estilos de Vida (PEPS-1) en mujeres de la localidad de Ocuilapa de Juárez, Ocozocoautla Chiapas, México, de acuerdo a grupos de edad. Table 1. Mean and standard deviation of six measurement scales in the Lifestyle Profile Questionnaire (PEPS-1) for women from the town of Ocuilapa of Juárez, Ocozocoautla Chiapas, Mexico, according to age groups.

Rangos de edad (años)	Auto actualización	Soporte interpersonal	Responsabilidad en salud	Ejercicio	Nutrición	Manejo de estrés
	$\bar{X} \pm DE$ %	$\bar{X} \pm DE$ %	$\bar{X} \pm DE$ %	$\bar{X} \pm DE$ %	$\bar{X} \pm DE$ %	$\bar{X} \pm DE$ %
<18	65.5 $\pm$ 24.2	64.1 $\pm$ 33.6	46.9 $\pm$ 27.4	27.7 $\pm$ 18.3	59.4 $\pm$ 31.9	33.9 $\pm$ 24.1
18-40	65.2 $\pm$ 18.0	63.4 $\pm$ 19.3	37.3 $\pm$ 17.2	20.8 $\pm$ 20.3	56.1 $\pm$ 18.9	37.8 $\pm$ 18.5
41-60	66.7 $\pm$ 18.4	64.0 $\pm$ 20.8	40.8 $\pm$ 19.9	20.2 $\pm$ 20.0	55.0 $\pm$ 18.6	43.3 $\pm$ 21.3
>60	68.1 $\pm$ 16.0	65.9 $\pm$ 21.1	43.2 $\pm$ 16.8	21.9 $\pm$ 20.2	55.5 $\pm$ 15.4	53.3 $\pm$ 28.8

**Tabla 2.**

Relación de variables ( $R^2$ ) para escalas de estilos de vida (PEPS-1), en mujeres rurales. Correlación de Pearson.

Table 2. Relationship of variables ( $R^2$ ) for lifestyle scales (PEPS-1) in rural women. Pearson correlation.

	Auto actualización	Soporte interpersonal	Responsabilidad en salud	Ejercicio	Nutrición	Manejo de estrés
Auto actualización	1	0.67*	0.54*	0.16*	0.56*	0.51*
Soporte interpersonal		1	0.56*	0.23*	0.51*	0.52*
Responsabilidad en salud			1	0.44*	0.51*	0.66*
Ejercicio				1	0.22*	0.45*
Nutrición					1	0.44*
Manejo de estrés						1

información relativa a los estilos de vida con respecto: a) hábitos de conducta personal y de actividad física realizada de manera usual, como barrer, lavar ropa, así como actividades deportivas, entre otras; b) aspectos sociales reflejados en el hábito de fumar y de consumo

de bebidas alcohólicas; c) en los hábitos de recreación se consideraron aspectos como ver televisión, convivir con familiares y amigos, aislarse de las personas, entre otras.

Para la aplicación de los instrumentos referidos se empleó la técnica de entrevista

**Tabla 3.**

Hábitos no saludables en mujeres rurales de Ocuilapa de Juárez en Ocozocoautla Chiapas, México.  
Table 3. Unhealthy habits of rural women of Ocuilapa de Juarez in Ocozocoautla Chiapas, Mexico.

Escalas		Edad en años				Sub-Total %	Total %
		< 18 %	18-40 %	41-60 %	> 60 %		
Acostumbra a fumar	Si	0.0	0.1	0.3	0.0	0.4	100
	No	1.2	62.4	28.8	7.2	99.6	
Convive con fumadores	Si	0.1	9.7	3.2	0.8	13.8	100
	No	1.1	52.8	25.9	6.4	86.2	
Fumaba y lo dejó	Si	0.1	1.1	1.0	0.8	3.0	100
	No	1.1	61.5	28.0	6.4	97.0	
Consume bebidas alcohólicas	Si	0.0	2.8	0.8	0.1	3.7	100
	No	1.2	59.7	28.3	7.1	96.3	
Acostumbra a tomar medicamentos para dormir	Si	0.0	0.4	1.0	0.3	1.7	100
	No	1.2	62.1	28.1	6.9	98.3	
Se siente estresada	Si	0.4	24.1	9.6	1.7	35.8	100
	No	0.8	38.4	19.5	5.5	64.2	

**Tabla 4.**

Actividad física habitual en mujeres rurales de Ocuilapa de Juárez en Ocozocoautla Chiapas, México.  
Table 4. Regular physical activity of rural women of Ocuilapa de Juarez in Ocozocoautla Chiapas, Mexico.

Escalas		Edad en años				Sub-Total %	Total %
		< 18 %	18-40 %	41-60 %	> 60 %		
Barre	Si	1.2	61.5	28.4	6.4	97.5	100
	No	0.0	1.0	0.7	0.8	2.5	
Trapea	Si	1.1	53.9	25.3	4.5	84.8	100
	No	0.1	8.7	3.7	2.7	15.2	
Lava ropa a mano	Si	0.9	54.7	25.3	6.1	87.0	100
	No	0.3	7.9	3.7	1.1	13.0	
Riega plantas o realiza actividades de jardinería	Si	0.8	34.4	20.8	3.6	59.6	100
	No	0.4	28.1	8.3	3.6	40.4	
Camina 30 minutos o más	Si	0.1	13.7	6.1	1.5	21.4	100
	No	1.1	48.8	23.0	5.7	78.6	
Pedalea bicicleta fija o móvil	Si	0.1	1.5	0.1	0.0	1.7	100
	No	1.1	61.0	29.0	7.2	98.3	
Realiza ejercicios aeróbicos	Si	0.0	0.8	0.3	0.0	1.1	100
	No	1.2	61.7	28.8	7.2	98.9	
Practica danza, natación, gimnasia	Si	0.0	0.4	0.0	0.0	0.4	100
	No	1.2	62.1	29.1	7.2	99.6	

dirigida y reservada, por las condiciones que reflejaron las mujeres con respecto a la formación educativa (Hernández y col., 2010).

A través del programa Statistical Package for the Social Science (SPSS), versión 17.0, se realizaron análisis descriptivos porcentuales (%) de las variables evaluadas, identificando las medias ( $\bar{x}$ ) y desviación estándar (DE), la comprobación de existencia de diferencias significativas según las variables independientes mediante el análisis de varianza de una vía (ANDEVA) y la prueba *post hoc* de Bonferroni para evitar errores de tipo II. La relación entre las variables se estableció mediante el Coeficiente de Correlación de Pearson ( $P < 0.05$ ).

## RESULTADOS

En los cuatro rangos de edad, las medias más altas se presentaron en las escalas auto actualización y soporte interpersonal, con un promedio en por ciento de  $66.4 \pm 19.14$  y  $64.4 \pm 23.71$  respectivamente; y las medias más bajas se dieron en la escala ejercicio  $\bar{x} = 22.66 \pm 19.71$ , en todas las edades (Tabla 1).

La prueba ANDEVA mostró significancia para responsabilidad en salud ( $P < 0.028$ ) en el rango de edad de 18 a 40 años y 41 a 60 años, y la escala manejo de estrés ( $P < 0.001$ ), en el rango de 18 a 40 años, 41 a 60 años y  $> 60$  años, de acuerdo a la prueba *post hoc* de Bonferroni.

La prueba Pearson indicó que todas las escalas de PEPS-1 presentaron una significancia  $P < 0.001$ , con correlación alta entre: auto actualización y soporte interpersonal ( $R^2 = 0.67$ ); así como, entre responsabilidad en salud y manejo de estrés ( $R^2 = 0.66$ ) (Tabla 2).

Con respecto a los hábitos no saludables, los resultados hacen ver que el 24.1 % de las mujeres en el rango de edad de 18 a 40 años, manifestaron sentirse estresadas (Tabla 3); por otra parte, prueba ANDEVA, las significancias se dieron en las preguntas fumaba y lo dejó ( $P < 0.001$ ), y acostumbra a tomar medicamentos para dormir ( $P < 0.046$ ), en el rango de edad de 18 a 40 años, 41 a 60 años y  $> 60$  años, de acuerdo a la prueba *post hoc* Bonferroni.

Los hábitos de actividad física estuvieron relacionados con las tareas cotidianas del hogar como: barrer, trapear, regar plantas

**Tabla 5.**

Hábitos de recreación en mujeres rurales de Ocuilapa de Juárez en Ocozocoautla Chiapas, México.  
Table 5. Recreation habits of rural women of Ocuilapa of Juarez in Ocozocoautla Chiapas, México.

Escalas		Edad en años				Sub-Total %	Total %
		< 18 %	18-40 %	41-60 %	> 60 %		
Acostumbra ver televisión	Si	1.1	54.3	21.0	4.9	81.3	100
	No	0.1	8.3	8.0	2.3	18.7	
Realiza actividades en la computadora	Si	0.0	0.5	0.1	0.0	0.6	100
	No	1.2	62.0	29.0	7.2	99.4	
Duerme la siesta	Si	0.0	3.5	1.7	0.5	5.7	100
	No	1.2	59.0	27.3	6.8	94.3	
Convive con familiares, amigos, compañeros	Si	1.0	55.3	25.3	5.6	87.2	100
	No	0.3	7.2	3.7	1.6	12.8	
Acostumbra aislarse de las demás personas	Si	0.3	8.7	3.9	1.1	14.0	100
	No	1.0	54.0	25.0	6.0	86.0	
Realiza actividades manuales	Si	0.1	16.7	8.3	1.3	26.4	100
	No	1.1	44.8	21.4	6.3	73.6	
Lee libros, revistas, novelas	Si	0.4	16.4	4.0	0.3	21.1	100
	No	0.8	45.1	25.7	7.3	78.9	

o lavar ropa a mano, presentando los porcentajes más altos en el rango de edad de 18 a 40 años, con tendencia a disminuir a más edad (Tabla 4). Las significancias fueron de  $P < 0.001$ , en el rango de 18 a 40 años, 41 a 60 años y  $> 60$  años.

Los hábitos de recreación, dejan ver que en promedio un 81 % de la población encuestada acostumbraba a ver televisión por lo menos una hora diaria, 87.2 % a convivir con la familia y amigos y 78.9 % no acostumbraba a leer, con porcentajes mayores en el rango de edad de 18 a 40 años, con propensión a disminuir a más edad (Tabla 5). Las significancias fueron de  $P < 0.001$ , en el rango de edad de 18 a 40 años, 41 a 60 años y  $> 60$  años.

## DISCUSIÓN

Los resultados del estudio, sugieren que las mujeres participantes contaban con una falta de cultura de la salud, al observarse desinterés en informarse sobre las enfermedades propias del género, con estilos de vida sedentarios, con conflictos de estrés a temprana edad, además de invertir mayor tiempo en actividades propias del hogar, a

tener como única diversión el ver televisión o convivir con la familia y amigos. El ejercicio fue la escala con más bajos porcentajes, por lo que no forma parte de sus hábitos de vida.

Estudios realizados, señalan que la creciente prevalencia de obesidad en el mundo y sus implicaciones para la salud pública han llevado a considerar el problema del sobrepeso y del síndrome metabólico como una epidemia del siglo XXI, tanto en países industrializados como en muchos países latinoamericanos (Duperly, 2005). En donde la edad parece desempeñar un papel importante en el desarrollo de la resistencia a la insulina, en especial cuando se asocia a menores niveles de actividad física y presencia de obesidad. El sedentarismo por su parte parece jugar un papel fundamental en el desarrollo y conservación de este problema, considerando que el ejercicio debe ser parte del programa de prevención y manejo de obesidad y sus consecuencias. Al dejar el sedentarismo sería posible reducir al 30 % la mortalidad por enfermedades cardiovasculares, diabetes y cáncer (Duperly, 2005).

La Encuesta Nacional de Nutrición

señaló en el año de 1999, que las mujeres en edad reproductiva dedicaban 0.08 horas al día a realizar actividad deportiva y 1.25 horas a realizar movimientos de esfuerzo; relacionando estos datos con la escolaridad, hace suponer que las mujeres más pobres realizan escasa actividad física, contribuyendo al problema de sobrepeso (Casanueva y Rozada, 2005).

La OMS (2010a; 2010b) recomienda en adultos de 18 a 64 años de edad, acciones recreativas o de ocio, desplazamientos a pie o en bicicleta, ocupacionales, trabajo, tareas domésticas, juegos, deportes o ejercicios programados en el contexto de las actividades diarias, familiares y comunitarias, acumulando a la semana un mínimo de 150 minutos de actividad física aeróbica moderada o 75 minutos tipo anaeróbica, o combinar ambas; con el fin de mejorar las funciones cardiorespiratorias, musculares, salud ósea, reducir el riesgo de enfermedades no transmisibles y depresión. Aunque es bien sabido que con el envejecimiento se tiende a disminuir la actividad física y a aumentar el sedentarismo, perdiéndose capacidades y habilidades físicas; sin embargo, aumentar la actividad física después de los 60 años de edad, tiene un impacto positivo notable en las condiciones y bienestar en general, reduce o elimina el riesgo de sufrir enfermedades crónicas degenerativas, puede reducir el estrés, aliviar la depresión y la ansiedad, estimula la autoestima y mejora la claridad mental. Con frecuencia se argumenta que los efectos beneficiosos del ejercicio no son producto de éste en sí, sino por ser un hábito saludable de las personas que lo practican (OPS y OMS, 2002; Burbano y col., 2003; Jacoby y col., 2003; OMS, 2008; Sánchez y Castañeda, 2008; Vidarte y col., 2009).

Con respecto al estrés, cuando es ocasionado por factores que tienen carácter gradual, crónico y casi rutinario; como pudieran ser el ruido, el hacinamiento, la contaminación atmosférica, entre otros, causan estimulación nociva y demandan la adaptación de los seres humanos; hacerles frente puede conllevar a costos altos en la salud. Factores asociados como el socioeconómico, la separación, responsabilidades domésticas, castigos o recompensas, escasa o excesiva cercanía

de afectividad, maltrato físico y psicológico, favorecen la acumulación de eventos estresantes; aunque existen estudios, en donde el estrés y el apoyo social han dado bajas puntuaciones cuando se relaciona con la baja estabilidad emocional como factor de personalidad (Pardo y col., 2004; Javaloy y Vidal, 2007; Campos, 2009).

Bajo el modelo de estilos de vida de Pender (1996), en general, los estilos de vida se ven afectados por factores culturales, ambientales, económicos y sociales, aspectos que pueden disminuir o mejorar la salud. Comer, fumar, hacer ejercicio, manejar el estrés; son actividades sustancialmente conformadas y limitadas por las normas de la sociedad. Se encuentra también que a mayor edad se tienden a mejorar algunas características como el

soporte interpersonal, manejo del estrés y la responsabilidad en salud (Piedrola, 2002). Los estilos de vida pueden ser modificables, siempre y cuando exista primero en la persona y luego en el colectivo, la disposición de cambio en la actitud a favor de sí mismo y de su ambiente.

## CONCLUSIONES

La investigación muestra con claridad que el grupo de mujeres participantes en esta fase diagnóstica del estudio, revelan estilos de vida poco saludables manifestados en la carencia de realización de ejercicio físico estructurado, la falta de conocimiento en cómo manejar el estrés que perciben, la carencia en responsabilizarse y mantenerse informada sobre la importancia de contar con hábitos alimentarios y de salud correctos, que les

permita prevenir las posibles enfermedades crónicas degenerativas a las que están expuestas. Aspectos que son observados en todas las edades, sin embargo es a partir de los 18 años en adelante en donde existe mayor número de mujeres con similar característica de vida. Son señoras que carecen del hábito de lectura, con diversión y esparcimiento muy limitados, y dedicadas a la realización de actividades propias de hogar y de atención a la familia; si bien, las actividades habituales, pueden ser consideradas como moderadas, no tiene una frecuencia, intensidad, duración y tiempo programado, siendo variable cada día; lo cual las ubica como mujeres sedentarias. De continuar con estos estilos de vida, este grupo de mujeres deja entrever el incremento del riesgo a padecer enfermedades relacionadas con el sedentarismo y el aspecto emocional.■

## REFERENCIAS

- Arribas, H. (2000). Actividad física, ocio y educación: el valor de las actividades físicas recreativas. *Ocio y Desarrollo Humano*. Comunicación presentada al 6° Congreso Mundial de Ocio. Universidad de Deusto, Bilbao, España.
- Arroyo, P. (2012). El enfoque de salud pública y la epidemia de la obesidad. *Cuadernos de Nutrición*. 35(3): 97-102.
- Beristaín, I. y Díaz, M. (2009). Guía de valoración del paciente adulto basado en el modelo de promoción de la salud. *Revista Desarrollo Científico Enfermería*. 17(6): 278-282.
- Bolaños, P. (2009). Evolución de los hábitos alimentarios. De la salud a la enfermedad por medio de la alimentación. *Trastornos de la Conducta Alimentaria*. 9: 956-972.
- Burbano, J. C., Fornasini, M. y Acosta, M. (2003). Prevalence of and risk factors for overweight among school girl 12 to 19 years old in semi-urban region of Ecuador. *Revista Panamericana de Salud Pública*. 13: 277-284.
- Cabezuelo, G. y Frontera, P. (2007). *Enséñame a Comer; Hábitos Pautas y Recetas para Evitar la Obesidad Infantil*. Madrid: EDAF. 98 Pp.
- Campos, L. (2009). Los estilos de vida y los valores interpersonales según la personalidad en jóvenes del departamento de Huánuco. *Investigación en Psicología*. 12(2): 90.
- Caricote, E., Figueroa, E. y Granado, M. (2009). La salud y los estilos de vida. *Revista Educación en Valores*. 2(12): 86-103.
- Casanueva, E. y Rozada, G. (2005). Obesidad y pobreza. *Cuadernos de Nutrición*. 28(2): 69-76.
- Cid, P., Merino, J. M. y Stiepovich, J. (2006). Factores biológicos y psicosociales predictores del estilo de vida promotor de salud. *Revista Médica Chile*. 134(12): 491-499.
- Crockerham, W. (2005). Health lifestyle theory and the convergence of agency and structure. *Journal Health Sociality Behaviur*. 46(1): 51-67.
- Cuevas, L., Rivera, J. A., Shama, T., González, T., Moreno, L. y Ávila, M. A. (2006). *Estado nutricio-Adultos*. En T. Shama Levi, S. Villalpando Hernández y J. A. Rivera Dommarco (Eds.), *Encuesta Nacional de Salud y Nutrición (ENSANUT-2006)*: 25-83 (pp. 69-70). México: Instituto Nacional de Salud Pública.
- Duperly, J. (2005). Sedentarismo vs ejercicio en el síndrome metabólico, en *Acta Médica Colombiana*. 30(3): 133-136. [En línea]. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/csielophp?script=sci\\_arttext&pid=s0120-2448200500030000a&Ing=es6nrm=iso](http://www.scielo.org.co/csielophp?script=sci_arttext&pid=s0120-2448200500030000a&Ing=es6nrm=iso). Fecha de consulta: 16 de diciembre de 2013.
- Espinosa, L. (2004). Cambios del modo y estilo de vida; su influencia en el proceso salud-enfermedad, en *Revista Cubana Estomatología*. 41(3): 17. [En línea]. Disponible en: [http://www.bvs.cu/revistas/est/vol41\\_3\\_04/est09394.htm](http://www.bvs.cu/revistas/est/vol41_3_04/est09394.htm). Fecha de consulta: 6 de enero de 2013.
- Frenk, J. (2000). *La salud de la población. Hacia una nueva salud pública*. México: Fondo de Cultura Económica. 164 Pp.
- Gamarra, M. A., Rivera, H. S., Alcalde, M. E. y Cabellos, D. (2010). Estilo de vida, autoestima y apoyo social en estudiantes de enfermería. *UCV – Scientia*. 2(2): 73-81.
- García, A., Garza, C., Guerra, M. A. y Nerio, M. E. (2009a). Nola Pender. Teoría al modelo promoción de la salud (MPS). UNAM. [En línea]. Disponible en: <http://cuib.unam.mx/revistaCuib.html>. Fecha de consulta: 15 de enero de 2012.
- García, E., De-la-Llata, M., Kaufer, M., Tusié, M. J., Calzada, R., Vázquez, V., Barquera, S., Caballero, A. J., Orozco, L., Velázquez, D., Rosas, M., Barriguete, J. A., Zacarías, R. y Sotelo, J. (2009b). La obesidad y el síndrome metabólico como problema de salud pública. Una reflexión. *Revista Salud Mental*. 32(1): 79-87.
- García, R. (2011). El enfoque social como elemento esencial del quehacer por la salud de la población, en *Revista Cubana de Salud Pública*. 37(5) 675-685. [En línea]. Disponible en: <http://www.scielo.sld.cu/pdf/rcsp/v37s5/spu15511.pdf>. Fecha

- de consulta: 15 de febrero de 2012.
- Gerlero, J. (2005). Diferencias entre ocio, tiempo libre y recreación: lineamientos preliminares para el estudio de la recreación. Ponencia presentada en el I Congreso departamental de recreación de la Orinoquia Colombia, Fundación Latinoamericana de Tiempo Libre y Recreación, Desarrollo Humano con Equidad. Villavicencio, Meta, Colombia. [En línea]. Disponible en: <http://www.redcreacion.org/documentos/cmetail/gerlero.html>. Fecha de consulta: 07 de junio de 2012.
- Giraldo, A., Toro, M., Macías, A., Valencia, C. y Palacio, S. (2010). La promoción de la salud como estrategia para el fomento de estilos de vida saludables. *Revista hacia la Promoción de la Salud*. 15(1): 128-143.
- Gobierno Federal de México (2010). Acuerdo Nacional para la Salud Alimentaria. Estrategia contra el sobrepeso y la obesidad. Secretaría de Salud- Vivir mejor. [En línea]. Disponible en: <http://www.salud.gob.mx>. Fecha de consulta: 09 de junio de 2012.
- Guerrero, L. y León, A. (2010). Estilo de vida y salud. *EDUCERE*. 14(48): 13-19.
- Gutiérrez, J. P., Rivera, J., Shamah, T., Villalpando, S., Franco, A., Cuevas, L., Romero, M. y Hernández, M. (2012). *ENSANUT, Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2012*. México: Instituto Nacional de Salud Pública. 180-186 Pp.
- Harris, M. (2005). *Antropología cultural*. Madrid: Alianza Editorial. 49-70 Pp.
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2010). *Metodología de la Investigación*. México: Mc. Graw Hill, México. 597-599 Pp.
- Jacoby, E., Bull, F. y Neiman, A. (2003). Cambios acelerados del estilo de vida obligan a fomentar la actividad física como prioridad en la Región de las Américas. *Revista Panamericana de Salud Pública*. 14(4): 223-225.
- Javaloy, F. y Vidal, T. (2007). Bases ambientales de la conducta social. En J. F. Morales, E. Gaviria, M. C. Moya y Cuadrado, I. (Eds.), *Psicología Social* (pp. 97-123). Madrid: Mc Graw Hill.
- Ledón, L. (2011). Articulación entre las categorías cuerpo, género y enfermedad crónica desde diferentes experiencias de salud. *Revista Cubana de Salud Pública*. 37(3): 324-337.
- López, R. (2010). Cultura y seguridad alimentaria: enfoques conceptuales, contexto global y experiencias locales. *Revista Estudios Sociales*. 19 (37): 311-315.
- Luna, M. L. y Coello, V. G. (2012). Evaluación del estado de nutrición del adulto. En V. R. Bezares, R. M. Cruz, M. Burgos, y M. E. Barrera. (Eds.), *Evaluación del estado de nutrición en el ciclo vital humano* (pp. 1-269). México: Mc Graw Hill.
- Macías, A. I., Gordillo, L. G. y Camacho, E. J. (2012). Hábitos alimentarios de niños en edad escolar y el papel de la educación para la salud. *Revista Chilena de Nutrición*. 39(3): 40-43.
- Marriner, A. y Raile, M. (2007). *Modelos y teorías en enfermería*. Elsevier Mosby. [En línea]. Disponible en: <http://www.books.google.com.mx/books?id=FL5szO8XGTUC&pg=PA452&lpg=PA452&dq=nola+pender&source=bl&ots=p9LflMauJ9&sig=ZIUU2c2iOH3bSmBldyRKJOMNHIE&hl=es-19#v=onepage&q=nola%20pender&f=false>. Fecha de consulta: 06 de octubre de 2011.
- Martínez, J. J., Igual, M. y Martínez, N. (2012). Hábitos alimentarios de la población de un área de salud urbana de Valencia y su relación con los factores de riesgo cardiovascular. *Nutrición Clínica*. 32(2 supl.): 36.
- Muñoz, S. (2011). Salud y desarrollo en el contexto latinoamericano. *Revista Urbana de Salud*. 37(2): 167-174.
- Novel, G. (2000). *Enfermería Psicosocial y Salud Mental*. Barcelona: Elsevier Masson. 8 Pp.
- OMS, Organización Mundial de la Salud (2008). Aplicación de la estrategia mundial sobre régimen alimentario, actividad física y salud. Una guía de enfoques basados en población para incrementar los niveles de actividad física. A framework to monitor and evaluate the implementation of the WHO Global Strategy on Diet, Physical Activity and Health. (Geneva world Health Organization, 2006). 57° Asamblea Mundial de la Salud (mayo, 2004, resolución WHA 57° 17.5). [En línea]. Disponible en: <http://www.actividadfisicasalud.csic.es/documentos/documentos/oms-estrategiamundial>. Fecha de consulta: 10 de mayo de 2013.
- OMS, Organización Mundial de la Salud (2010a). Recomendaciones mundiales sobre actividad física para la salud. (NLM: QT 255). [En línea]. Disponible en: [http://www.who.int/dietphysicalactivity/factsheet\\_recommendations/es/index.html](http://www.who.int/dietphysicalactivity/factsheet_recommendations/es/index.html). Fecha de consulta: 10 de abril de 2012.
- OMS, Organización Mundial de la Salud. (2010b). Edades desde 18-64 años, en: Recomendaciones mundiales sobre actividad física para la salud. (Ginebra. 22-25). [En línea]. Disponible en: [http://www.who.int/dietphysicalactivity/factsheet\\_recommendations/es/index.html](http://www.who.int/dietphysicalactivity/factsheet_recommendations/es/index.html). Fecha de consulta: 20 de mayo de 2013.
- OPS, Organización Panamericana de la Salud y OMS, Organización Mundial de la Salud (2002). Guía regional para la promoción de la actividad física. Promover un estilo de vida para las personas adultas mayores. [En línea]. Disponible en: <http://www.ccp.ucr.ac.cr/bup/pdf/vejez/promover.2002.pdf>. Fecha de consulta: 20 de junio de 2012.
- Oviedo, H. y Campo, A. (2005). Metodología de investigación y lectura crítica de estudios. Aproximación al uso del coeficiente alfa de Cronbach. *Revista Colombiana de Psiquiatría*. 34 (4): 1-9.
- Pardo, G., Sandoval, A. y Umbrarila, D. (2004). Adolescencia y depresión. *Revista Colombiana de Psicología*. 013: 13-28.
- Pardio, J. y Kaufer, M. (2012). La densidad energética de la dieta ¿qué es y cómo ayuda en la prevención y el manejo de la obesidad?. *Cuadernos de Nutrición*. 35(2): 57-67.
- Pender, N. and Pender, A. (1996). *Health promotion in nursing practice*. Michigan: Appleton and Lange. 489 Pp.
- Pérez, A. y Marván, L. (2005). Dietas. Los alimentos en la salud y la enfermedad, normales y terapéuticas. México: La Prensa Médica Mexicana. 62-63 Pp.
- Piedrola, G. (2002). *Medicina Preventiva y Salud Pública*. Barcelona: Masson. 1113-1115 Pp.
- Pfeffer, F., Kaufer, M. y Barquera, S. (2008). Nutrición del adulto. En E. Casanueva, M. Kaufer, A. B. Pérez y P. Arroyo (Eds.), *Nutriología Médica* (pp. 142-171). México: Funsalud y Editorial Médica Panamericana.
- Sánchez, I. Y. y Castañeda, H. (2008). Prevalencia de depresión en adultos mayores de 65 años y propuesta de intervención preventiva. *Geroinfo*. 3(3): 1-11.
- Secretaría de Educación Pública (2010). Manual para las actividades deportivo recreativas, capítulo 3. Actividades recreativas. [En línea]. Disponible en: [http://www.dgb.sep.gob.mx/informacion\\_academica/actividadesparaescolares](http://www.dgb.sep.gob.mx/informacion_academica/actividadesparaescolares). Fecha de consulta: 14 de mayo de 2013.
- Trejo, F. (2010). Aplicación del modelo de Nola Pender a un adolescente con sedentarismo. *Enfermedades Neurológicas*. 9(1): 39-44.
- Vidarte, J. A., Vélez, C. y Gómez, D. E. (2009). Condición física saludable en mujeres mayores de 45 años, Manizales 2009. *Hacia la Promoción de la Salud*. 1(2): 39-51.
- Villalbí, J. R. (2001). Promoción de la salud basada en la evidencia. *Revista Española de Salud Pública*. 75(6): 489-490.

# ANÁLISIS DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA DOMICILIARIA EN TAMPICO, TAMAULIPAS



Tomado de: <http://infotec44.blogspot.mx/>

## ANALYSIS OF HOUSEHOLD ELECTRICITY CONSUMPTION IN TAMPICO, TAMAULIPAS

Dionicio Morales-Ramírez<sup>1\*</sup> y  
Elías Alvarado-Lagunas<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Investigaciones Sociales. Campus Mederos. Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL), Av. Lázaro Cárdenas Ote. y Paseo de la Reforma s/n., Nuevo León, México, C.P. 65930.

<sup>2</sup>Facultad de Contaduría Pública y Administración. Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL), Av. Universidad s/n., Ciudad Universitaria San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México, C.P. 64290.

\*Autor para correspondencia: [d\\_m\\_r\\_04@yahoo.com.mx](mailto:d_m_r_04@yahoo.com.mx)

Fecha de recepción: 7 de agosto de 2013 / Fecha de aceptación: 7 de febrero de 2014.

### RESUMEN

La demanda de energía eléctrica en el municipio de Tampico, Tamaulipas, México, se ha incrementado de manera importante en las últimas décadas, principalmente por el crecimiento económico y demográfico, y los hábitos de consumo. El presente trabajo estimó el efecto del crecimiento en el número de usuarios de la red eléctrica, el precio del servicio, el nivel de ingresos promedio de los habitantes del municipio y los efectos estacionales, sobre el consumo de energía eléctrica domiciliar. El análisis se llevó a cabo mediante un modelo econométrico con series de tiempo durante el período de 1998 a 2005, en frecuencia mensual. Los

resultados obtenidos mostraron que si se incrementa en 1 % el número de usuarios en la red, el consumo de energía eléctrica del municipio se incrementa en 1.35 %. En tanto que, incrementos del 1 % en las tarifas domésticas reducen el consumo en 0.25 %. Los valores encontrados indican que las familias de Tampico no reducen sensiblemente su consumo de electricidad ante incrementos en las tarifas. Por tal motivo, si se quiere estimular el cuidado del energético y por consecuencia el del medio ambiente, además de una política de precios, se debe fomentar la elaboración de enseres eléctricos más eficientes y, sobre todo, crear programas que estimulen la

conciencia o cultura de ahorro de la energía eléctrica en los hogares de la región.

**PALABRAS CLAVE:** series de tiempo, consumo de energía eléctrica, cointegración.

### ABSTRACT

The demand for electricity in the city of Tampico, Tamaulipas, Mexico, has significantly increased in recent decades, primarily due to economic and demographic growth, and consumer behavior. This study estimated the effects of number of network users, price of the service, average income of users, and seasonal effects on household electricity consumption. The analysis was carried

out using an econometric model with time series, during the period from 1998 to 2005, at monthly frequency. Results showed that 1 % increment in the number of network users, increased energy consumption in 1.35 %; while increments of 1 % in domestic prices reduced consumption in 0.25 %. These values indicate that families in Tampico do not reduce their consumption significantly due to increases in tariff. Therefore, to stimulate energy savings and consequently reduce impacts on the environment, more efficient household electrical appliances must be produced and awareness raising programs must be created to encourage a savings culture in the region.

**KEYWORDS:** time-series, consumption of electrical energy, cointegration.

## INTRODUCCIÓN

El crecimiento urbano observado en las principales ciudades, constituye un verdadero reto para los planeadores de políticas públicas e inversionistas privados. Hoy en día, más de la mitad de la población mundial se concentra en las grandes ciudades y esta tendencia no parece cambiar. Según un reporte de la Organización de las Naciones Unidas, se proyecta que para el 2030, la población que habita en las áreas urbanas se incrementará 2 900 000 000. Esto significa que pasará de 3 400 000 000 en el 2009 a 5 900 000 000 en el 2030, y alrededor de 6 000 000 000 para el 2050 (ONU, 2010). Esta tendencia creciente en los niveles de población en las áreas urbanas, incrementará la presión sobre los servicios públicos a brindar por el Estado, entre los que destaca el requerimiento de energía eléctrica. En este contexto, el actual entorno energético se encuentra inmerso en una tendencia de necesidades de abasto y seguridad crecientes, que plantea importantes desafíos para el corto, mediano y largo plazo. Por lo tanto, México deberá implementar acciones con una visión integral para hacer frente a estos retos, y así poder garantizar un equilibrio oferta-demanda conforme al desarrollo económico y sustentable que la población requiere.

La energía eléctrica es un servicio que para ser consumido, requiere el uso de enseres eléctricos o electrónicos en el hogar. De tal manera, que su consumo, se encuentra determinado por el nivel de

tecnología -diseño técnico de los equipos, así como su frecuencia de uso -hábitos de consumo- (Figura 1). De acuerdo a la teoría microeconómica, los cambios en el precio y en el ingreso podrían afectar la demanda del servicio en dos momentos: el corto y el largo plazo. Por ejemplo, si se incrementa el precio del servicio eléctrico domiciliario, en el corto plazo, una familia reduciría su consumo usando los aparatos menos tiempo, pero en el largo plazo podría cambiar sus aparatos por unos de mayor ahorro de energía, y seguir usándolos el mismo número de horas que empleaban antes de que les incrementara la tarifa (Morales y col., 2012).

La relación anterior, ha sido modelada básicamente en dos formas: 1) modelos que incluyen la variable stock directamente y 2) modelos que la incluyen de manera indirecta y que se denominan de ajuste parcial (Morales y col., 2012). Algunos trabajos empíricos estiman el consumo utilizando los dos enfoques. Por ejemplo, el de Houthakker (1951), quien elaboró un trabajo sobre el consumo de energía eléctrica en Gran Bretaña empleando datos de sección cruzada. Este autor, encuentra que la demanda es muy sensible a los cambios en el precio del servicio y el ingreso. Por su parte, Fisher y Kaysen (1962), señalan que aunque en principio es deseable usar modelos en donde se incluya la variable stock de equipos tanto en el corto como en el

largo plazo, el problema con la generación de los datos es severa, lo cual, genera estimadores imprecisos particularmente para el largo plazo. El problema para generar datos sobre el stock de equipos, contribuyó a la creación de modelos en los que dicha variable fuera incluida indirectamente, tales modelos, son los llamados de ajuste parcial. Éstos asumen que el consumo deseado de energía eléctrica domiciliaria de largo plazo depende también de un stock deseado de equipos eléctricos (Bernt y Samaniego, 1983; Hondroyannis, 2004; Dergiades y Tsoulfidis, 2008; Athukorala y Wilson, 2010). Mediante este enfoque y el manejo de series de tiempo de 1962 a 1979 en frecuencia anual, Berndt y Samaniego (1983), estiman la demanda residencial de energía eléctrica en México. Entre los resultados más importantes, los autores encuentran que el consumo de energía eléctrica domiciliaria presenta una elasticidad precio e ingreso inelástica -menor que 1-, es decir, que ante incrementos en el ingreso y el precio del servicio, la demanda si reacciona, pero lo hace en menor proporción al incremento experimentado. Por su parte, Hondroyannis (2004), estima la demanda residencial de electricidad en Grecia empleando datos mensuales de 1986 a 1999. Los resultados indican que el precio del servicio (0.41), el ingreso (1.56) y la temperatura de la región (0.19), son variables relevantes para explicar el consumo de electricidad.

### Figura 1.

Equipos electrodomésticos de uso frecuente en el hogar.  
Figure 1. Household appliances most frequently used.



En Estados Unidos, Dergiades y Tsoulfidis (2008), estiman la demanda residencial de energía eléctrica en función del ingreso, el precio promedio de la electricidad, precio del petróleo, condiciones climatológicas y el número de viviendas ocupadas de 1965 a 2006 en frecuencia anual. Las estimaciones indican que la elasticidad precio de los servicios de electricidad es de 0.38 en el corto plazo, en tanto que la elasticidad ingreso es de 0.27. Por último, Athukorala y Wilson (2010), estimaron los efectos del precio del servicio, el ingreso y el precio de un bien sustituto (queroseno), empleando series de tiempo de 1960 a 2007 para el caso de Sri Lanka, encontrando una elasticidad ingreso de 0.78 y una elasticidad precio de 0.61. En este sentido, el objetivo de este trabajo consistió en cuantificar el impacto del precio del servicio, el ingreso promedio de la zona, el crecimiento de los usuarios en la red y los efectos estacionales sobre la demanda de energía eléctrica. Dichos impactos ayudarán a entender mejor el comportamiento de la demanda del sector, así como elaborar pronósticos y escenarios sobre el consumo ante posibles modificaciones de tales variables.

Es importante resaltar que el trabajo se realizó con datos a nivel regional y en frecuencia mensual, a diferencia de otras investigaciones que se elaboran sobre este tema, las cuales son comúnmente a nivel país y en frecuencia anual.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

El municipio de Tampico, se encuentra localizado al sur del Estado de Tamaulipas, en las coordenadas 97° 52' de longitud y a los 22° 17' 10" de latitud; a una altura de 12 metros sobre el nivel del mar. Al norte, colinda con la ciudad de Altamira, al sur con Tampico Alto, perteneciente al Estado de Veracruz, al este con el municipio de Madero, y al oeste con Ébano, San Luis Potosí, México (INAFED, 2010). Y es considerado el puerto más importante del noreste mexicano, a través del cual se tiene acceso al Golfo de México (Explorando México, 2014).

De acuerdo al Censo de Población y Vivienda 2010, la ciudad cuenta con 297 554 habitantes. La cual se encuentra conformada por 84 736 hogares, con un promedio de 3.5 habitantes por hogar, siendo así el 5º municipio

más poblado del estado de Tamaulipas (INEGI, 2013). El clima predominante es de tipo tropical subhúmedo, cálido y extremoso, con temperaturas promedio anuales de 24 °C, alcanzando máximas de los 36.8 °C y mínimas de 9.7 °C en promedio. Lo cual, hace que el consumo de energía eléctrica dentro de los hogares sea intensivo en períodos de verano. Sus principales actividades se encuentran en el área de servicios portuarios y comerciales, y recientemente se encuentran realizando esfuerzos importantes para desarrollar la industria turística.

### Diseño y tipo de estudio

El análisis de este trabajo se llevó a cabo mediante un modelo econométrico, con series de tiempo mensuales durante el período de 1998 a 2005. Los datos fueron obtenidos de la Comisión Federal de Electricidad división de Golfo (CFE, 2011), el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI, 2010), y el Banco de México (2010), para la ciudad de Tampico, Tamaulipas, México.

### Modelo econométrico

Se empleó una función de demanda estilo Cobb-Douglas, para estimar los efectos de las variables propuestas sobre el consumo de electricidad doméstico en el municipio de Tampico, siguiendo el trabajo de algunos autores (Donatos y Mergos, 1991; Silk y Joutz, 1997; Hondroyannis, 2004; Morales y col., 2012).

$$Q_t = A I_t^{\beta_1} P_{e_t}^{\beta_2} P_{g_t}^{\beta_3} U_t^{\beta_4} e^{E_t} \quad (1)$$

### Variables

$Q_t$  es el consumo doméstico de electricidad

en el período  $t$ , medido en megawatts hora (Mw.h);  $A$  es un término constante en el modelo;  $I_t$  es el ingreso medido por las remuneraciones reales por persona ocupada de salarios a obreros de la industria maquiladora de exportación del estado, la cual es empleada como una variable proxy del ingreso, debido a la falta de una mejor variable como el producto interno bruto (PIB) del municipio;  $P_{e_t}$  es el precio real de la electricidad medida como un índice;  $P_{g_t}$  es el precio real del gas medido como un índice;  $U_t$  es el número de usuarios del servicio. Adicionalmente, se introdujeron variables ficticias o dummies para obtener el efecto mensual, que podrían captar entre otras cosas, los efectos estacionales de la temperatura, y por último, la variable  $E_t$  capta el error del modelo. Vale la pena mencionar que al aplicar logaritmos a la ecuación 1 los coeficientes dan como resultado el cálculo de las elasticidades o el cambio porcentual de la variable  $Q_t$ , al modificar en 1 % cualquiera de las variables y en donde el término constante queda incluido dentro de  $\beta_0$ . Asimismo, al incluir las variables dummies se toma como referencia el mes de junio por ser de los más calurosos y su efecto queda contenido dentro del término constante, por lo cual, no se incluye una variable directa con este mes en el modelo.

### Quedando de la siguiente manera:

$$\ln Q_t = \beta_0 + \beta_1 \ln I_t + \beta_2 \ln P_{e_t} + \beta_3 \ln P_{g_t} + \beta_4 \ln U_t + \beta_5 \text{Enero} + \beta_6 \text{Febrero} + \beta_7 \text{Marzo} + \beta_8 \text{Abril} + \beta_9 \text{Mayo} + \beta_{10} \text{Julio} + \beta_{11} \text{Agosto} + \beta_{12} \text{Septiembre} + \beta_{13} \text{Octubre} + \beta_{14} \text{Noviembre} + \beta_{15} \text{Diciembre} + E_t \quad (2)$$

**Tabla 1.**

Orden de integración de las variables de estudio.  
Table 1. Order of integration in the study variables.

Variables	Intercepto	Intercepto y tendencia	Ninguno	Orden de integración
Consumo ( $Q_t$ )	-1.188			I(1)
Usuarios ( $U_t$ )		-1.994		I(1)
Ingreso (Pesos) ( $I_t$ )			2.571	I(1)
Precio Electricidad ( $P_{e_t}$ )			-0.451	I(1)
Precio Gas (LP) ( $P_{g_t}$ )		-3.653*		I(0)

## Procedimiento estadístico de los datos

Para realizar el análisis de regresión clásico se debe probar estacionariedad en las variables mediante la prueba de Dickey Fuller Aumentada (DFA). Ello debido a que se está trabajando con series de tiempo. La Tabla 1 muestra los resultados de esta prueba. Es importante estimar la matriz de correlación de las variables. Ello, permite identificar cuáles son las variables que causan problemas de multicolinealidad en el modelo a estimar -empíricamente un valor superior a 0.8 es un indicador de este problema-, en este sentido, el precio del gas y el número de usuarios están en el límite como se puede apreciar en la Tabla 2. De ahí que en el modelo estimado no se introduzca el precio del gas, pues la multicolinealidad podría arrojar un ajuste bueno del modelo, y poca significancia en las variables regresoras.

Continuando con el procedimiento, cuando las variables son no estacionarias, se deben transformar, tomando las primeras diferencias para determinar el orden de integración y poder aplicar el enfoque de cointegración. Una vez identificado que el orden de las variables económicas es el mismo I(1), se estima mediante Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO) la ecuación 1, de donde se obtiene el residuo y se le aplica la prueba DFA. El objetivo aquí es encontrar un residuo estacionario I(0). Un residuo estacionario implica una media  $\mu$  y una varianza constante en el tiempo. Si esto sucede, se puede decir que las variables están cointegradas y el análisis de regresión clásico sigue siendo válido. Véase la prueba DFA sobre el residuo de la ecuación 1 en la Tabla 3. Una vez probado que el residuo es estacionario se estima la ecuación 2 en el software econométrico Eviews 5. Además, fue necesario estimar la prueba de autocorrelación serial de Breusch-Godfrey o LM para detectar si los errores estaban correlacionados en el tiempo.

Debido a la existencia de autocorrelación serial, se procedió a corregir el problema mediante una estructura autorregresiva del error AR(p) al estilo Crockane - Orcut. Asimismo, aunque no es común que las series de tiempo presenten problemas de heterocedasticidad, también se estima la

### Tabla 2.

Matriz de correlación.

Table 2. Correlation matrix.

	Consumo	Usuarios	Precio Electricidad	Precio Gas (LP)	Ingreso (Pesos)
Consumo	1				
Usuarios	0.3985	1			
Precio Electricidad	-0.0258	0.645	1		
Precio Gas (LP)	0.3013	0.855	0.571	1	
Ingreso (Pesos)	0.1781	0.656	0.374	0.473	1

### Tabla 3.

Orden de integración del error estimado.

Table 3. Order of integration in the estimated error.

Variables	Intercepto	Intercepto y tendencia	Ninguno	Orden de integración
Residuo		-3.623*		I(0)

\*Se rechaza al 5 %.

prueba de White. Los resultados se muestran en la Tabla 4, donde ambas estimaciones indican ausencia de correlación serial y heterocedasticidad. El resultado de la Tabla 5 se estima mediante MCO.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una vez que el modelo fue corregido de los problemas estadísticos anteriores, se encontró que el impacto del crecimiento de la población captado por el número de usuarios en la red fue la variable que ayudó a explicar en mayor medida las variaciones del consumo. Es decir, ante un incremento porcentual de los usuarios en la red, el consumo de electricidad de la región se incrementa en 1.35 %. Caso contrario al obtenido en el Área Metropolitana de Monterrey (AMM), en donde el impacto más fuerte en el consumo se da vía el ingreso económico de la región (Morales y col., 2012).

Lo anterior pone de manifiesto, la importancia que tiene la planeación del crecimiento urbano del municipio y de

### Tabla 4.

Prueba de autocorrelación serial y examen de heterocedasticidad.

Table 4. Serial autocorrelation and heteroskedasticity test.

Prueba de White (Heterocedasticidad)			
Estadístico F	1.540	Probabilidad	0.105
Obs*R <sup>2</sup>	24.024	Probabilidad	0.119
Prueba de LM (Correlación Serial hasta 12 rezagos)			
Estadístico F	1.282	Probabilidad	0.253
Obs*R <sup>2</sup>	18.322	Probabilidad	0.106

los usuarios en la red e implícitamente la población, así como los flujos migratorios que se presentan en la ciudad.

El coeficiente estimado del precio del

**Tabla 5.**

Estimación de la ecuación 2.  
Table 5. Estimation of equation 2.

Variable	Coficiente	Error estándar	Probabilidad
Constante (Junio)	-2.133	2.510	0.398
Precio Electricidad	-0.253	0.098	0.012
Ingreso	-0.444	0.167	0.009
Usuarios	1.359	0.218	0.000
Enero	-0.330	0.053	0.000
Febrero	-0.273	0.043	0.000
Marzo	-0.409	0.045	0.000
Abril	-0.313	0.024	0.000
Mayo	-0.244	0.033	0.000
Julio	-0.027	0.034	0.423
Agosto	0.134	0.026	0.000
Septiembre	0.056	0.038	0.140
Octubre	0.190	0.041	0.000
Noviembre	-0.042	0.050	0.413
Diciembre	-0.076	0.045	0.095
AR(1)	0.292	0.097	0.004
AR(2)	0.543	0.094	0.000
AR(5)	-0.323	0.090	0.001
R ajustada	0.944827		

servicio (0.25), indica una elasticidad precio de la demanda inelástica. En otras palabras, ante un incremento porcentual en el índice de precios de energía eléctrica, ésta disminuye en 0.25 % el consumo de energía eléctrica domiciliar del municipio, resultado que si bien coincide en ser inelástico -menor que 1- como el reportado previamente por diferentes autores (Berndt y Samaniego, 1983; Hondroyiannis, 2004; Athukorala y Wilson, 2010; Morales y col., 2012), el efecto que se calcula en este trabajo es menor, especialmente respecto al de Bernt y Samaniego (1983), quienes estiman una elasticidad precio de 0.81 para el caso mexicano. Sin embargo, debe mencionarse que el trabajo de los autores anteriores, estima los determinantes de la demanda de energía mediante el enfoque de series de tiempo a nivel país y en frecuencia

anual, en tanto que este trabajo, lo hace a nivel municipal y mensual. De ahí la dificultad para comparar los resultados. Por otro lado, el trabajo de Morales y col. (2012), estima una elasticidad precio de 0.65 para el AMM, la cual continúa siendo mayor respecto al calculado en el municipio de Tampico -esto significa que los habitantes del AMM, son más sensibles a la variación de precios en el servicio respecto a los habitantes del municipio de Tampico-. Una posible explicación para la diferencia de coeficientes entre estas dos regiones, puede deberse a que en el análisis del AMM, se estima el efecto del precio del servicio sobre el consumo de energía de los nueve municipios que integran dicha área, en tanto que en este trabajo se hace exclusivamente para Tampico. Las variables ficticias que captaron los efectos estacionales, y que,

de forma indirecta, perciben los efectos del clima sobre el consumo de electricidad salieron altamente significativas. En la Tabla 5, se puede observar que en los meses de enero, febrero, marzo, abril, mayo y diciembre el consumo de electricidad se redujo -respecto del mes de junio-, siendo marzo el más sensible (0.40).

En tanto que en agosto y octubre el consumo es mayor. La variable que se empleó como proxy del ingreso de la zona, aunque presentó significancia estadística, tiene el signo diferente al esperado por la teoría microeconómica, resultado que es contrario a las estimaciones realizadas por Berndt y Samaniego (1983). Y por lo tanto, el uso de las remuneraciones reales por persona ocupada de salarios a obreros de la industria maquiladora de exportación del estado, no es una buena variable para captar el efecto ingreso. Vale la pena comentar que otra posible diferencia entre los estudios anteriores y el elaborado aquí, pueden deberse al uso de diferentes metodologías para estimar los determinantes de la demanda de energía eléctrica, como el empleo de las series de tiempo mediante el enfoque de cointegración, vectores autorregresivos, modelos ARIMA, o el enfoque de rezagos distribuidos y cointegración (ARDL).

Sin embargo, también es importante mencionar, que cada enfoque ha sido elaborado para un objetivo específico, o cuando las series estadísticas no cumplen con los supuestos de estacionariedad. A la fecha, no existe un consenso sobre cuál de ellas es la mejor forma de estimar efectos. De hecho, se podría decir, que el manejo de las series de tiempo es una cuestión de arte, más que un método exacto. A pesar de esto, el ajuste del modelo empleado es aceptable (R ajustada), con lo cual se puede decir que el 94 % de la variabilidad del modelo es explicada por las variables propuestas.

## CONCLUSIONES

La obtención y elaboración de la base de datos para desarrollar el modelo econométrico de series de tiempo a nivel municipal permitió estimar los impactos de las variables propuestas sobre el

consumo de energía de la ciudad de Tampico. Los resultados derivados a partir del modelo propuesto *ad hoc*, indicaron que el crecimiento de la población medida por el incremento de los usuarios en la red, fue la variable más importante para explicar las variaciones del consumo, resaltando que en los meses calurosos se consume mayor electricidad, ello debido posiblemente al mayor uso de sistemas de enfriamiento. La elasticidad del precio de la demanda estimada, indicó que

para administrar la demanda de manera sustentable, no basta con incrementar las tarifas, ya que su efecto es muy pequeño. Para ello, es necesario generar políticas públicas que incentiven a la industria a producir artículos con mayor eficiencia energética, así como programas sobre cultura de ahorro y buen manejo del servicio de electricidad en el hogar. Sin embargo, es importante considerar que los coeficientes estimados pueden variar, dependiendo de la metodología

estadística que se emplee, los datos y su período de tiempo. A pesar de lo anterior, existe un buen número de trabajos que estiman elasticidades precio de la demanda e ingreso, inelásticas (valores menor a 1). Ello, debido principalmente a que el servicio no puede ser sustituido con facilidad y, a que su uso es un servicio necesario para el funcionamiento de los aparatos eléctricos, que facilitan el desarrollo de las actividades dentro del hogar.■

## REFERENCIAS

Athukorala, W. and Wilson, C. (2010). Estimating short and long-term residential demand for electricity: new evidence from Sri Lanka. *Energy Economics*. 32(10): 534-540.

Banco de México (2010). Índice de precios al consumidor por objeto de gasto. [En línea]. Disponible en: <http://www.banxico.org.mx/SieInternet/consultarDirectorioInternetAction.do?accion=consultarCuadro&idCuadro=CP56&sector=8&locales=es>. Fecha de consulta: 1 de enero de 2012.

Berndt, E. and Samaniego, R. (1983). Residential electricity demand in Mexico: a model distinguishing access from consumption. *Land Economics*. 60(3): 268-277.

CFE, Comisión Federal de Electricidad (2011). Estadísticas por sector, México. [En línea]. Disponible en: <http://www.cfe.gob.mx/QUIENESSOMOS/ESTADISTICAS/Paginas/Estadistica.aspx>. Fecha de consulta: 1 de diciembre de 2012.

Dergiades, T. and Tsoulfidis, L. (2008). Estimating residential demand for US. *Energy Economics*. 30: 2722-2730.

Donatos, G. and Mergos, G.

(1991). Residential demand for electricity: the case of Greece. *Energy Economics*. 13(1): 41-47.

Explorando México (2014). Estados mexicanos: Sobre Tampico, México. [En línea]. Disponible en: <http://www.explorandomexico.com.mx/city/74/Tampico/about/>. Fecha de consulta: 24 de febrero de 2014.

Fisher, F. and Kaysen, C. (1962). *A Study in Econometrics: The Demand for Electricity in the United States*. Amsterdam: North-Holland-Publishing Co.

Hondroyannis, G. (2004). Estimation residential demand for electricity in Greece. *Energy Economics*. 26: 319-334.

Houthakker, H. S. (1951). Some calculations of electricity consumption in Great Britain. *Journal of the Royal Statistical Society*. 114: 351-371.

INAFED, Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal (2010). Enciclopedia de los municipios. [En línea]. Disponible en: <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM28tamaulipas/index.html>. Fecha de consulta: 10 de enero de 2014.

INEGI, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (2010). Censo de

Población y Vivienda. [En línea]. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv2010/Default.aspx>. Fecha de consulta: 1 de enero de 2012.

INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2013). México en cifras. [En línea]. Disponible en: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/default.aspx?e=28>. Fecha de consulta: 10 de enero de 2014.

Morales, D., Luyando, J. R. y Flores, D. (2012). Determinantes del consumo de energía eléctrica residencial de la Zona Metropolitana de Monterrey, Nuevo León, en México. *Universidad & Empresa*. 22: 79-98.

ONU, Organización de las Naciones Unidas (2010). World Urbanization Prospects: The 2009 Revision, Nueva York, ONU. [En línea]. Disponible en: [http://esa.un.org/unpd/wup/Documents/WUP2009\\_Highlights\\_Final.pdf](http://esa.un.org/unpd/wup/Documents/WUP2009_Highlights_Final.pdf). Fecha de consulta: 7 de marzo de 2012.

Silk, J. and Joutz, F. (1997). Short and long run elasticities in US residential electricity demand: a co-integration approach. *Energy Economics*. 19: 493-513.

# PRUEBA DE CALIDAD EN LA SUPERFICIE REFLECTORA DE UN CONCENTRADOR SOLAR DE CANAL PARABÓLICO CON EL USO DE LUZ ESTRUCTURADA

## QUALITY TEST TO THE PARABOLIC TROUGH SOLAR COLLECTOR SURFACE USING STRUCTURED LIGHT

**Víctor Iván Moreno-Oliva\***,  
**Edwin Román-Hernández**,  
**Sergio Arturo Rafael-Esesarte y**  
**Rommel García-Hernández**

Campus Tehuantepec. Universidad del Istmo, Ciudad Universitaria s/n, Barrio Santa Cruz, 4ª sección, Sto. Domingo Tehuantepec, Oaxaca, México, C.P. 70760.

\*Autor para correspondencia: [vmorenofcfm@hotmail.com](mailto:vmorenofcfm@hotmail.com)

Fecha de recepción: 19 de junio de 2013 / Fecha de aceptación: 18 de marzo de 2014.

### RESUMEN

Actualmente, existe un gran interés en el estudio de los sistemas de concentración de radiación solar para el aprovechamiento de este recurso. Diversas geometrías, puntuales, lineales y de no enfoque, han sido usadas para la concentración de radiación solar. La cantidad de energía recolectada por estos sistemas es sensible a deformaciones en la superficie reflectora, por lo que se ha vuelto imprescindible

el desarrollo de técnicas para el control de calidad. En este trabajo se desarrolló una técnica óptica basada en el método de triangulación láser, para la cual se utilizó la proyección de una línea de luz láser sobre la superficie a evaluar, una cámara perpendicular a un plano de referencia y el objeto de estudio. La técnica consiste en asociar los desplazamientos laterales de la línea láser, observados por la cámara, con los cambios de altura del objeto respecto al plano de

referencia, a partir de un modelo matemático. Para conseguir una reconstrucción digital del objeto completo se realizó un barrido o escaneo de la línea proyectada sobre el objeto de prueba. Usando este método, se evaluó la superficie reflectora de un prototipo de concentrador solar de canal parabólico de 1 250 mm de longitud en su apertura y 914 mm de longitud de canal. Como resultado se obtuvo la forma real de la superficie del colector, lo

que permitió calcular el foco real del mismo. Además, el rango de diferencias entre la superficie real y la superficie que mejor se ajusta fue del orden de  $\pm 10$  mm. A partir de los resultados, se concluye que esta técnica puede aplicarse a la mejora en los procesos de manufactura de sistemas de concentración solar. La técnica puede ser adaptable para la evaluación de pequeños objetos, obteniéndose alta sensibilidad en el eje Z.

**PALABRAS CLAVE:**

Concentradores solares, pruebas ópticas, óptica geométrica.

**ABSTRACT**

Currently, there is considerable research on the study of solar collection systems to take full advantage of this resource. Several geometries, such as point-like, linear and non-focus, have been used for the concentration of solar radiation. Solar radiation concentrated by this system is sensitive to deformations on the reflecting surface. Therefore, several techniques of optical testing for quality control of the reflecting surface have been developed. In this work we developed an optical technique based on a laser triangulation method that used the projection of a laser beam onto the surface to be evaluated, a camera placed perpendicular to a reference plane, and the object under study. The technique associates lateral displacements of the laser beam, observed by the camera, with changes in height of the object relative to the reference plane, using a mathematical model. To obtain a digital reconstruction of the whole object, we scanned it using the projected beam. Through this method we evaluated the reflecting surface of a parabolic trough solar concentrator prototype with a 1 250 mm opening and 914 mm trough. As result, we obtained the real shape of the collector surface, which allowed calculating its real focus. Furthermore, the range of differences between the real and the best fit surface was approximately  $\pm 10$  mm. From this results, we concluded that the technique can be applied

to improve the manufacturing processes of solar concentrating systems. The technique can be adapted to evaluate small objects with high sensitivity in the Z axis.

**KEYWORDS:** Solar collectors, optical testing, geometrical optics.

**INTRODUCCIÓN**

En la industria, existe la necesidad de evaluar la superficie de piezas que siguen un estricto control de calidad. La determinación de parámetros de rugosidad, la inspección de la topografía y micro-topografía de superficies (Costa y Almeida, 1993; Cha y col., 2000; Snellenburg y col., 2010; Martínez, 2012; Zhenxing y col., 2013); son algunos de los procedimientos para el control de calidad o inspección industrial. En dichos procedimientos son empleados dispositivos como rugosímetros, sensores ópticos, perfilómetros, sistemas scanner, entre otros.

Existen varios parámetros para clasificar un sistema de inspección, los cuales se clasifican en dos tipos, sistemas de contacto (palpadores mecánicos) y sistemas de no contacto (ópticos). Estos últimos tienen la ventaja de no dañar la superficie bajo prueba. Además, existen métodos ópticos, como interferometría (Hou y col., 2007; Peterhänsel y col., 2013), microscopia confocal (Zhao y col., 2012; Dehez y col., 2013), técnicas de Moiré (Shien y Takashi, 2012; Tang y col., 2012), de proyección de franjas y triangulación láser (Rioux, 1984; Zhong, 2001; Wang, 2003; Rueda y col., 2004; Moreno y col., 2005;

Gutiérrez y col., 2013; Miks y col., 2013), que compiten en efectividad, tiempo de análisis, resolución, rango de medición y costo. Algunos trabajos relacionados con la evaluación de la superficie reflectora de concentradores solares con geometría de canal parabólico han sido desarrollados usando técnicas geométricas, como el uso de un perfilómetro óptico (Maccari y Montecchi, 2007), donde es empleado el haz de un láser directamente sobre la superficie del colector, y la posición del haz reflejado revela información de las irregularidades de las pendientes locales. Para obtener una información completa es necesario un escaneo en dos direcciones, lo que hace la prueba más lenta y requiere de un sistema mecánico para la traslación en dos ejes del escáner. Otra propuesta interesante es la referencia (Francini y col., 2012), donde se emplea una pantalla con un arreglo de líneas formando una rejilla cuadrículada. Esta pantalla es enrollada en el tubo receptor del concentrador de canal parabólico y las imágenes son tomadas a diferentes posiciones con una cámara digital. Para una evaluación completa del sistema de colección se requiere del conjunto de varias imágenes tomadas con la cámara a diferentes posiciones. Trabajos más recientes (Moreno y col., 2012), proponen una pantalla nula para la evaluación cualitativa y cuantitativa completa de un segmento del concentrador, con la toma de una sola imagen.

El objetivo de este trabajo

fue desarrollar teórica y experimentalmente un sistema de digitalización de objetos para adaptarlo a la inspección y control de calidad de la superficie reflectora de un concentrador de canal parabólico (CCP). Se presentan el esquema del arreglo experimental, el modelo matemático, así como el desarrollo del software para la digitalización de objetos.

**MATERIALES Y MÉTODOS****Materiales**

El instrumento fue construido en aluminio, el sistema óptico (cámara Canon Mod. DS126291, Taiwán) y láser de estado sólido (clase III, 532 nm, < 50 mW, Taiwán) fue montado sobre una platina. Esta platina fue adaptada a un mecanismo de desplazamiento lineal, por medio de un riel óptico graduado, de 900 mm de longitud, de la marca Edmund Optics, Stock No. A54-402 (E.U.).

**Metodología**

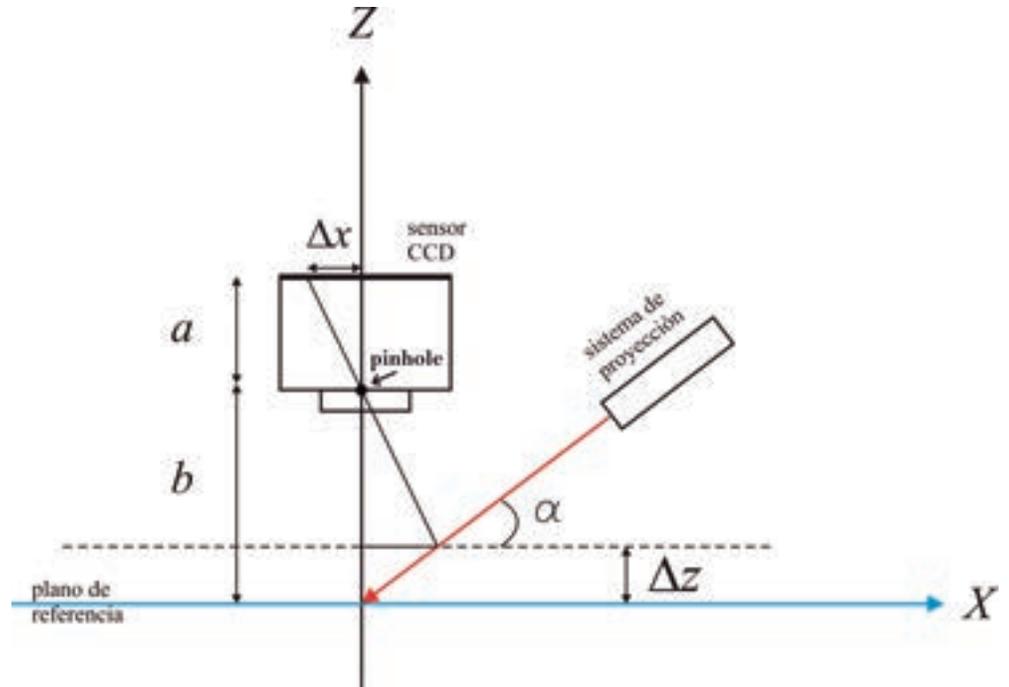
El sistema óptico es colocado de manera tal, que el campo de visión de la cámara cubra en su totalidad el área del objeto, por la sección más pequeña del sensor CCD de la cámara (14.8 mm); y por la sección más grande (22.2 mm), fueron medidos los desplazamientos de la línea láser.

El proceso de evaluación comienza ajustando el campo de visión de la cámara respecto al objeto a evaluar, después se proyecta la línea láser sobre el plano de referencia, y la cámara observa la línea recta de la proyección al centro de la imagen, donde la coordenada en X es tomada como posición inicial

**Figura 1.**

Esquema básico de medición del instrumento.

Figure 1. Basic measurement scheme of the instrument.



o de referencia. Posteriormente, se coloca el objeto de prueba sobre el plano de referencia y se realiza un barrido lineal en la dirección ortogonal al desplazamiento del instrumento. Los desplazamientos del instrumento fueron realizados cada 10 mm, y los cambios de la posición de la línea se observaron con la cámara. Estos cambios o desplazamientos de la línea, se hicieron en la dirección X, medidos pixel a pixel a lo largo de toda la línea sobre el eje Y, evaluando perfil a perfil el objeto. El sistema propuesto se basa en los métodos de triangulación láser; se emplea un sistema de proyección, el cual consiste en un láser que proyecta una línea sobre un plano de referencia a un ángulo  $\alpha$ , una cámara que detecta la posición de la línea colocada de manera perpendicular al plano de referencia, y un sistema de traslación lineal para realizar el barrido de la cámara y el sistema de proyección en conjunto, sobre el objeto de interés. El esquema de medición del instrumento se muestra en la Figura 1.

La línea láser entra en contacto con el objeto y es distorsionada por los cambios de altura  $\Delta z$  del objeto respecto a un plano de referencia, estos cambios de altura son detectados por la cámara como desplazamientos laterales. A partir de la Figura 1, un cálculo directo muestra que la expresión que asocia los desplazamientos laterales  $\Delta x$  con cambios de altura está dada por:

$$\Delta z = \frac{b\Delta x \tan \alpha}{a + \Delta x \tan \alpha} \quad (1)$$

donde  $a$  es la distancia entre el pinhole (diafragma de la cámara) y el plano del sensor de la cámara;  $b$  es la distancia entre el pinhole y el plano de referencia; y  $\alpha$  el ángulo de inclinación del sistema de proyección. El sistema de detección y proyección en conjunto realiza un barrido lineal a lo largo del objeto, perfil a perfil, para obtener la digitalización completa de la superficie.

**Sensibilidad**

Si el desplazamiento mínimo que es observado por la cámara es de un pixel, entonces la resolución queda determinada con la Ecuación (1), donde  $\Delta x$  equivale a dividir el tamaño del sensor de la cámara en la dirección X entre su resolución en la misma dirección, es decir:

$$\Delta x(1\text{pixel}) = \frac{\text{tamaño\_sensor}}{\text{tamaño\_pixeles}} \quad (2)$$

En la Figura 2a, se muestra la curva de sensibilidad del instrumento en función al ángulo del sistema de proyección. Esta curva se obtiene a partir de la expresión (1), usando valores para el ángulo en un barrido de  $0^\circ$  a  $90^\circ$ ; obteniéndose los valores correspondientes sobre el eje Y de la gráfica, el valor de sensibilidad incrementa conforme el ángulo de inclinación  $\alpha$  disminuye respecto al plano de referencia. Es decir, cambios de altura más pequeños pueden medirse a menor ángulo de inclinación del sistema de proyección.

En la Figura 2b se muestra la gráfica de la relación existente entre los desplazamientos axiales  $\Delta z$  (mm) del

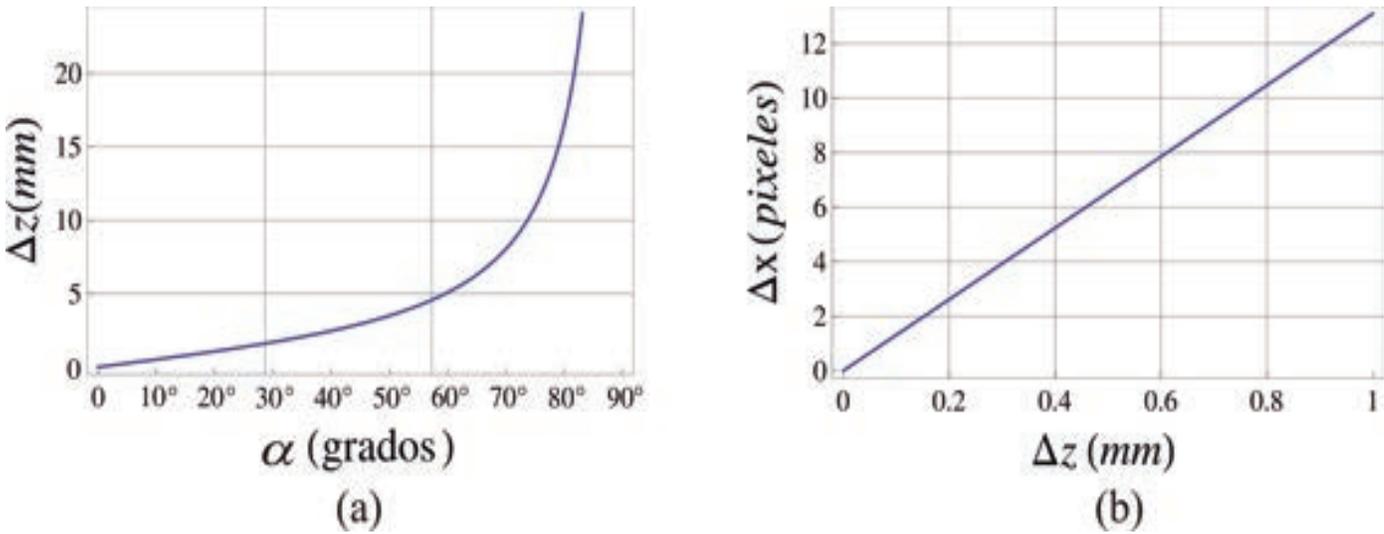
instrumento respecto el plano de referencia, y los desplazamientos laterales de la línea láser ( $\Delta x$ , pixeles), observados por la cámara. Esto se obtiene de igual manera a partir de la ecuación (1), usando valores de  $\Delta z$  en un intervalo de 0 mm a 1 mm, obteniéndose los correspondientes valores  $\Delta z$  asociados.

Puede observarse que la Figura 2b presenta un comportamiento lineal. Esta linealidad permite realizar una calibración previa del instrumento, determinando la ecuación de la recta que se ajusta al conjunto de mediciones realizadas, y así obtener de manera directa la altura  $\Delta z$  asociada al desplazamiento lateral  $\Delta x$  de la línea proyectada. Este procedimiento tiene la ventaja de evitar medir los parámetros requeridos para ser usados en la ecuación (1) del modelo matemático.

**Figura 2.**

a) Curva de sensibilidad del instrumento; b) Relación entre los desplazamientos axiales del instrumento (mm) y los desplazamientos laterales de la línea láser observados por la cámara (píxeles).

Figure 2. a) Sensitivity curve of the instrument; b) Relation between axial displacements of the instrument (mm) and lateral displacements of the laser beam observed by the camera (pixels)



**Software**

La metodología para el diseño del software en este trabajo se basó en implementar de forma eficiente: a) la adquisición de la imagen; b) el mejoramiento de la imagen de entrada mediante filtros; c) el cálculo de los centroides a lo largo de cada perfil evaluado y; d) la determinación de la coordenada Z con la Ecuación (1).

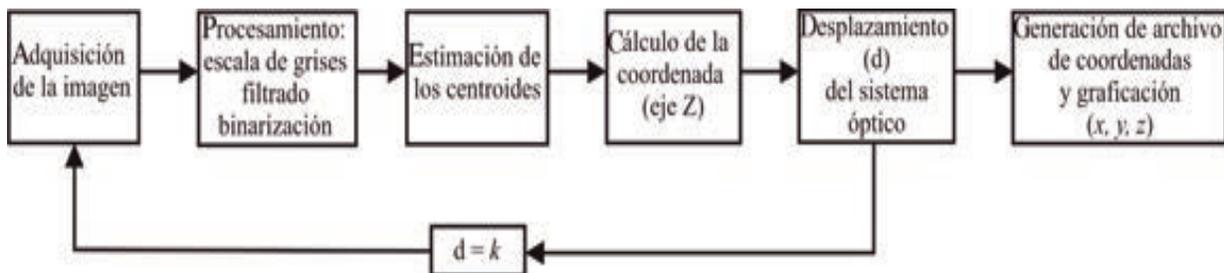
En la Figura 3, se muestra un esquema general de la secuencia de operaciones realizadas por cada imagen capturada en el proceso de escaneo. El proceso de adquisición de la imagen se realiza por medio de la cámara digital y a través de una interfaz con la plataforma Matlab, usando la función getsnapshot.

La evolución del procesamiento realizado se muestra en la Figura 4, donde se muestra cada proceso aplicado a la imagen. La imagen inicial (Figura 4a) es convertida a escala de grises (Figura 4b) usando la función "rgb2gray", y para mejorar sus características de intensidad y disminuir el ruido que contiene, es necesario aplicar una etapa

de suavizamiento por medio de un filtro gaussiano (Figura 4c). La imagen capturada y transformada a escala de grises es filtrada usando la función "imfilter" predefinida en Matlab. Posteriormente, la imagen es binarizada (Figura 4d) para separar la imagen de la línea láser proyectada y el fondo usando la función "im2bw" y

**Figura 3.**

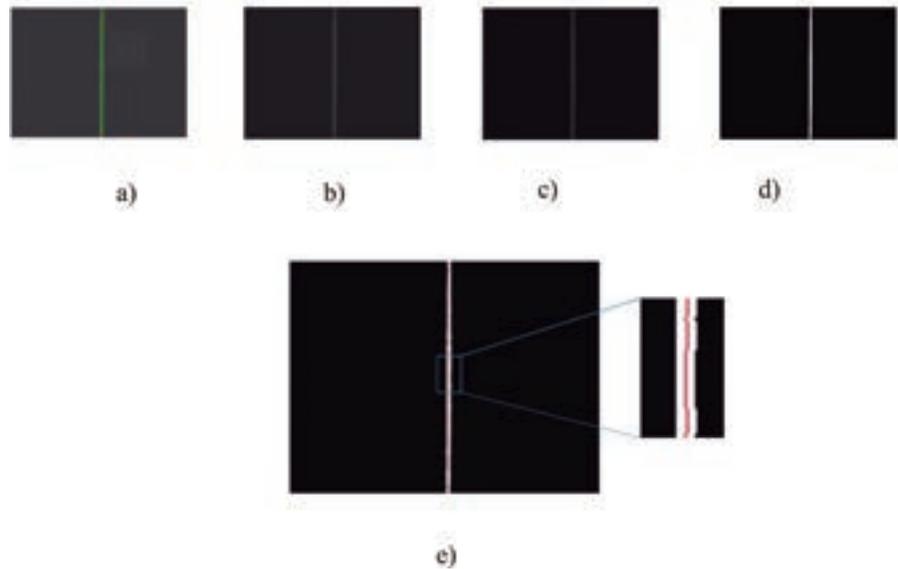
Esquema general de las operaciones realizadas por el software.  
Figure 3. General scheme of the operations performed by the software.



**Figura 4.**

Evolución en el procesamiento de la imagen de la línea láser proyectada. a) Imagen inicial; b) escala de grises; c) aplicación del filtro gaussiano; d) imagen binarizada; y e) estimación de los centroides por cada fila en la imagen.

Figure 4. Processing evolution of the projected laser beam. a) initial image; b) gray scale image; c) application of Gaussian filter; d) binarized image; e) centroids estimation for each row in the image.



un valor de umbral "u" definido convenientemente. Esto permite delimitar los píxeles que no pertenezcan a los de la imagen de la línea proyectada. Para ello, el criterio usado, es obtener un valor de 0 si  $a_{ij}$  (el píxel i-j-ésimo de la imagen de tamaño  $ixj$ )  $\leq u$ , y 1 (valor en píxel

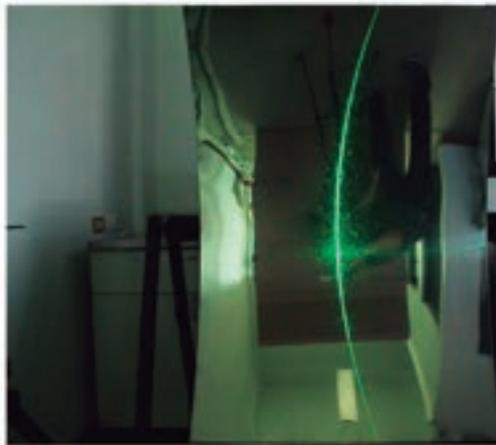
255) en otro caso. Después, para estimar los valores de la posición de todos los puntos (píxeles) de la línea láser proyectada, se determinan los centroides por cada fila de la imagen (Figura 4e). Este proceso se repite por cada desplazamiento realizado, y

finaliza hasta recorrer el total de la longitud del objeto. Finalmente, se guardan todos los valores de las coordenadas (X, Y, Z) obtenidos por cada punto evaluado y se grafican, obteniéndose como resultado la reconstrucción digital. Para conocer cuál es la superficie

que mejor se ajusta al conjunto de datos obtenidos de forma experimental y así obtener la distancia focal real aproximada del colector, se empleó el método de mínimos cuadrados (Bevington y Robinson, 1992), lo que permitió ajustar los puntos obtenidos a la ecuación

**Figura 5a.**

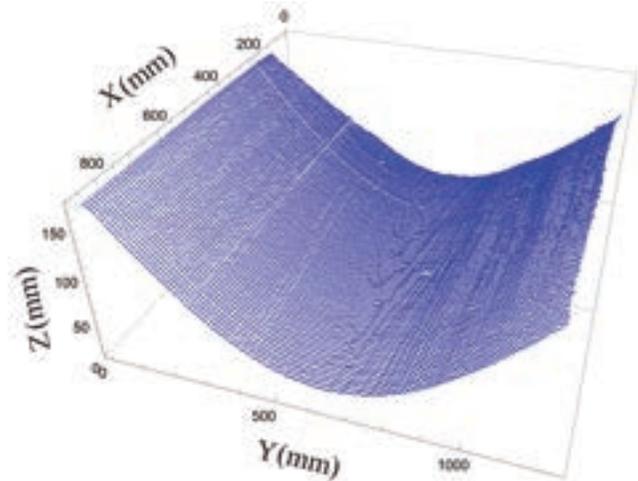
Segmento del CCP y la proyección del láser sobre la superficie.  
Figure 5a. Segment of the PTSC and the laser projection on the surface.



(a)

**Figura 5b.**

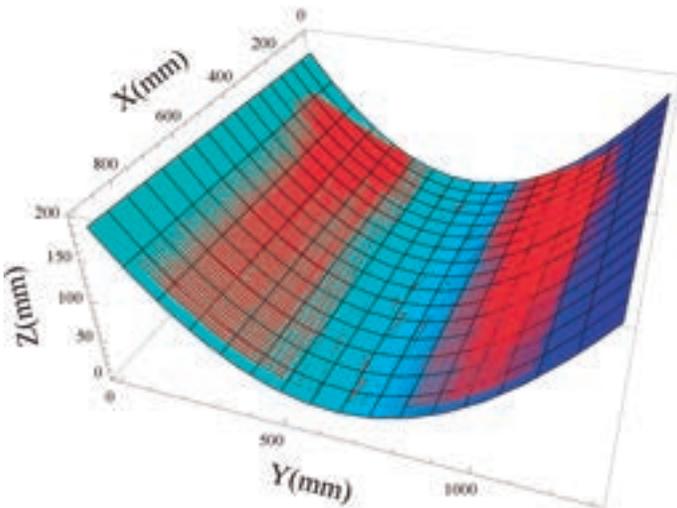
Reconstrucción digital de la forma de la superficie del CCP.  
Figure 5b. Digital reconstruction of the shape of the PTSC surface.



(b)

**Figura 6.**

Gráfica de la mejor superficie ajustada por mínimos cuadrados y el conjunto de puntos obtenidos en la medición.  
 Figure 6. The best adjusted fit surface by least squares and and the set of points obtained in the measurement.



de una sección cónica dada por:

$$Ax^2 + Bxy + Cy^2 + Dx + Ey + F = 0 \quad (3)$$

y los coeficientes encontrados de la superficie que mejor se aproxima a este conjunto de puntos, fueron:

$$A=-2.86777 \times 10^{-6}, B=5.46297 \times 10^{-6}, C=0.00040215, D=0.0159372, E=-0.516743, F=171.59.$$

**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

La Figura 5a muestra el CCP y la proyección del láser sobre la superficie, y la Figura 5b la reconstrucción digital de su forma. La potencia del láser usado permite observar por proyección la línea láser sobre la superficie, aunque las mediciones fueron

tomadas en el laboratorio sin fuentes de luz externas. El número total de perfiles evaluados fue de 86, tomando la mayor parte de área la superficie del colector. La sensibilidad con la que se evaluó la calidad de la superficie fue del orden de 0.49 mm, los parámetros para la evaluación del CCP se muestran en la Tabla 1.

A partir de los datos obtenidos se observó que la superficie que mejor se ajusta al conjunto de puntos, corresponde a un canal parabólico cuyo vértice se encuentra desplazado del origen (Figura 6), y con términos de inclinación debido a posibles desalineaciones entre el sistema de desplazamiento lineal, en la medición, y el CCP.

Con la expresión (3) y realizando cortes sobre el eje  $X = t$  ( $t$  constante) y analizando los perfiles parabólicos

**Tabla 1.**

Parámetros asociados para la reconstrucción del CCP.  
 Table 1. Associated parameters for the reconstruction of the PTSC.

Parámetro	CCP
<i>a</i>	18 mm
<i>b</i>	1 715.58 mm
<i>α</i>	45°
Tamaño del sensor	4 272 pixeles x 2 848 pixeles (22.2 mm x 14.8 mm)

resultantes, se determina el valor de la distancia focal aproximada del CCP. Este valor difiere 101 mm del valor teórico, es decir, el valor del foco real (aproximado) es del orden de 601 mm. Las diferencias entre el ajuste y los datos tienen una desviación media absoluta del orden de 0.71 mm, con un error de ajuste del orden de 2.11 mm. Estas diferencias se atribuyen al hecho de una mala adaptación y pegado de la superficie de acero inoxidable a las costillas que transmiten la forma parabólica, además que el acero inoxidable se deforma muy fácilmente al manipularse y al realizarse los cortes. Castañeda y col. (2012), demostraron cómo pequeñas deformaciones en la superficie de un sistema de concentración influyen en la región de concentración, y por lo consiguiente en su eficiencia. La ventaja e importancia de estos resultados es que permiten conocer el valor real de su distancia focal y saber dónde colocar el absorbedor para aprovechar al máximo la concentración de la energía solar (Dehra, 2010). La sensibilidad del instrumento depende de la inclinación del sistema de proyección, del campo de visión de la cámara y la resolución

de la misma, pudiéndose aumentar al orden de decenas de micrómetros para estudios de micro topografía.

**CONCLUSIONES**

El diseño y construcción de un escáner láser para la digitalización de objetos, adaptado para realizar pruebas de calidad de la superficie reflectora de un concentrador con geometría de canal parabólico (CCP), resultó tan versátil que puede ser adaptado a una máquina Computer Numerically Controlled (CNC), y generar archivos Computer Aided Manufacturing (CAM). Además, es posible realizar una configuración para la evaluación de pequeños objetos para un estudio micro topográfico. La prueba de calidad mostró que el método desarrollado permite establecer si existen errores en la superficie reflectora, facilitando con ello el poder mejorar el proceso de manufactura y producción del CCP.

**AGRADECIMIENTOS**

Este trabajo fue apoyado por el Programa de Mejoramiento del Profesorado (PROMEP), México, bajo los proyectos: UNISTMO-PTC-066, UNISTMO-PTC-071, y por UNISTMO-CA-13.

## REFERENCIAS

- Bevington, P. R. and Robinson, D. K. (1992). *Data Reduction and Error Analysis for the physical Sciences*. 2nd ed. U.S.A.: McGraw-Hill.
- Castañeda, A., Román, E. y Moreno, V. I. (2012). Cáusticas generadas por superficies deformadas. LV Congreso Nacional de Física, XXV RAO-2012. ISSN 0187-4713. [En línea]. Disponible en: [www.cio.mx/~memorias/](http://www.cio.mx/~memorias/). Fecha de consulta: 28 de octubre de 2013.
- Cha, S., Lin, P. C., Zhu, L., Sun, P. C., and Fainman, Y. (2000). Nontranslational three-dimensional profilometry by chromatic confocal microscopy with dynamically configurable micromirror scanning. *Applied Optics*. 39: 2605-2613.
- Costa, M. F. and Almeida, J. B. (1993). System of optical noncontact microtopography. *Applied Optics*. 32: 4860-4863.
- Dehez, H., Piché, M. and De Koninck, Y. (2013). Resolution and contrast enhancement in laser scanning microscopy using dark beam imaging. *Optics Express*. 21: 15912-15925.
- Dehra, H. (2010). Solar energy absorbers, solar collectors and panels, theory and applications, Dr. Reccab Manyala (Ed.). [En línea]. Disponible en: [www.intechopen.com/books/solar-collectors-and-panels-theory-and-applications/solar-energy-absorbers](http://www.intechopen.com/books/solar-collectors-and-panels-theory-and-applications/solar-energy-absorbers). Fecha de consulta: 28 de octubre de 2013.
- Francini, F., Fontani, D., Sansoni, P., Mercatelli, L., Jafrancesco, D., and Sani, E. (2012). Evaluation of surface slope irregularity in linear parabolic solar collectors. *International Journal of Photoenergy*. Doi:10.1155/2012/921780.
- Gutiérrez, J., Mosiño, J., Martínez, A., Gutiérrez, T., Vázquez, E., and Arroyo, J. (2013). Practical eight-frame algorithms for fringe projection profilometry. *Optics Express*. 21: 903-917.
- Hou, X., Fan, W., Li, Y., and Qiang, C. (2007). Experimental study on measurement of aspheric surface shape with complementary annular subaperture interferometric method. *Optics Express*. 15: 12890-12899.
- Maccari, A. and Montecchi, M. (2007). An optical profilometer for the characterization of parabolic trough solar concentrators. *Solar Energy*. 81(2): 185-194.
- Martinez, J. C., Alonso, J., Pedrero, J. A., and Quiroga, J. A. (2012). Topographic optical profilometry by absorption in liquids. *Optics Express*. 20: 28631-28640.
- Miks, A., Novak, J., and Novak, P. (2013). Analysis of imaging for laser triangulation sensors under Scheimpflug rule. *Optics Express*. 21: 18225-18235.
- Moreno, V. I., Castañeda, A., Román, E. y Campos, M. (2012). Prueba de un colector solar de canal parabólico por medio de una pantalla nula cilíndrica. LV Congreso Nacional de Física, XXV RAO-2012. ISSN 0187-4713. [En línea]. Disponible en: [www.cio.mx/~memorias/](http://www.cio.mx/~memorias/). Fecha de consulta: 28 de octubre de 2013.
- Moreno, V. I., Robledo, C., Cordero, A. y Nanco, P. (2005). Reconstrucción 3D de la sagita de una superficie en rotación. *Revista Mexicana de Física*. 51: 636-640.
- Peterhänsel, S., Pruss, C., and Osten, W. (2013). Phase errors in high line density CGH used for aspheric testing: beyond scalar approximation. *Optics Express*. 21: 11638-11651.
- Shien, R. and Takashi, M. (2012). Theoretical error analysis of the sampling moiré method and phase compensation methodology for single-shot phase analysis. *Applied Optics*. 51: 3214-3223.
- Rioux, M. (1984). Laser range finder based on synchronized scanners. *Applied Optics*. 23: 3837-3844.
- Rueda, J. E., Salazar, A. y Meneses, J. (2004). Construcción de un scanner óptico para registrar imágenes 3-d utilizando la técnica de triangulación laser. *Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*. Universidad de Pamplona. 2: 65-72.
- Snellenburg, J., Braaf, B., Hermans, E., Van-der-Heidje, R., and Sicam, V. (2010). Forward ray tracing for image projection prediction and surface reconstruction in the evaluation of corneal topography systems. *Optics Express*. 18: 19324-19338.
- Tang, M., Huimin, X., Jianguo, Z., Xiaojun, L., and Yanjie, L. (2012). Study of moiré grating fabrication on metal samples using nanoimprint lithography. *Optics Express*. 20: 2942-2955.
- Wang, Y. (2003). Three-dimensional profilometer for supersmooth surface. *Optics Energy*. 42: 3013-3016.
- Zhao, W., Chao, L., and Lirong, Q. (2012). Laser divided-aperture differential confocal sensing technology with improved axial resolution. *Optics Express*. 20: 25979-25989.
- Zhenxing, H., Huiyang, Luo., Yingjie, D., and Hongbing, L. (2013). Fluorescent stereo microscopy for 3D surface profilometry and deformation mapping. *Optics Express*. 21: 11808-11818.
- Zhong, J. (2001). Linear integer unconcerned phase-map profilometry by changing the projection angle of the grating. *Optics Energy*. 40: 1377-1382.



# REESTRUCTURACIÓN DEL PROCESO EDITORIAL DE LA REVISTA **CienciaUAT**

**José Alberto Ramírez-de-León\***

Revista CienciaUAT. Universidad Autónoma de Tamaulipas, Centro Universitario Adolfo López Mateos, edificio Centro de Excelencia, primer piso, Ciudad Victoria, Tamaulipas, México, C.P. 87149.

**\*Correspondencia:**  
ramirez@uat.edu.mx

La revista CienciaUAT nace en septiembre de 2006 como el órgano de difusión y divulgación de la Universidad Autónoma de Tamaulipas. Su objetivo era documentar y dar a conocer las actividades de investigación, desarrollo e innovación que realiza la institución de manera independiente o a través de la vinculación con el sector productivo, los diferentes niveles de gobierno u otras instituciones de educación superior. Para realizar esta función, en sus inicios se trabajó mediante una dinámica de periodismo científico, haciendo uso principalmente de la entrevista y del ensayo escrito por los propios autores. La revista evolucionó de manera gradual y natural, publicando trabajos de los

investigadores en los formatos de revisiones temáticas y trabajos de investigación. Este cambio en el perfil de la revista permitió indizarla a las bases de datos Latindex y EBSCO.

En esta nueva administración, CienciaUAT inicia un proceso de reestructuración con el objetivo de poder ingresar al Índice de Revistas Mexicanas Científicas y Tecnológicas del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). Esta decisión obligó a cambios organizacionales y administrativos en el proceso editorial, mismos que deben ser documentados a través de tres años de producción ininterrumpida para lograr la distinción. En la Figura 1 puede observarse la estructura actual de la revista. El primer cambio fue definir con mayor precisión la descripción, objetivo y alcance de la revista, la cual se ha establecido como: CienciaUAT es una revista multidisciplinaria con periodicidad semestral (enero-junio, julio-diciembre), y es publicada por la Universidad Autónoma de Tamaulipas. Su objetivo es difundir el conocimiento en diferentes disciplinas a través de la publicación de trabajos de investigación originales e inéditos y revisiones críticas bibliográficas, realizados

por investigadores de la institución educativa y de cualquier otra institución o centro de investigación nacional e internacional. La revista conjunta la alta calidad científica de los trabajos recibidos, con calidad editorial, formato y presentación del material publicado a color para aumentar el interés del público al que va dirigido. Las publicaciones son en español con resúmenes en inglés.

Otro cambio realizado, fue estructurar el Comité Editorial, cuyas funciones pueden verse en la Tabla 1, que incluyen el nombramiento de un nuevo editor responsable, con un destacado perfil científico y académico. La inclusión de investigadores líderes en su especialidad, adscritos a instituciones nacionales y extranjeras, con un perfil académico y científico reconocido ampliamente para incrementar el impacto científico de la revista. En el caso de los investigadores nacionales, participan preferentemente quienes tienen distinciones del Sistema Nacional de Investigadores 1, 2 y 3. También se creó la figura de Editor de Inglés.

El nombramiento de integrante del Comité Editorial es honorario y su permanencia es voluntaria, pero conlleva trabajo y

**Figura 1.**

Estructura actual de CienciaUAT.

Figure 1. Current structure of CienciaUAT.



compromiso. La primer actividad que ellos realizaron fue participar en establecer la descripción de las funciones y perfiles del Editor Responsable, Comité Editorial, Editores de Área y Editor de Inglés. También se

revisaron y modificaron las normas editoriales de la revista.

CienciaUAT modificó y mejoró algunas de sus actividades administrativas, entre ellas destaca el optimizar el proceso editorial

de evaluación de artículos para mejorar la calidad del material científico (Figura 2). Los pasos principales incluyen la recepción, la revisión del correcto apego al formato editorial, la asignación del Editor de Área y

**Tabla 1.**

Funciones del comité editorial de la revista CienciaUAT.

Table 1. Functions of the editorial board of the journal CienciaUAT.

<b>EDITOR</b>	Es nombrado por el Rector de la Universidad Autónoma de Tamaulipas, y debe ser un investigador con una apropiada trayectoria académica y de reconocido prestigio, con vínculos académicos al interior y exterior de la institución y con experiencia en la publicación, evaluación y edición de material científico y académico. Es el responsable de coordinar todas las actividades que permitan a la revista CienciaUAT publicar material científico de alto nivel. Está sujeto a la supervisión del Comité Editorial y se ve apoyado en sus funciones por el Editor de Inglés, los Editores de Área y el personal que labora en los diferentes departamentos de la revista.
<b>COMITÉ EDITORIAL</b>	Está integrado por investigadores de reconocido prestigio a nivel nacional e internacional. El comité está conformado en su mayoría simple por investigadores externos a la propia institución. El Editor Responsable seleccionará y propondrá al Comité Editorial los nuevos integrantes para participar en el mismo. El Comité Editorial se encarga de revisar los manuscritos recibidos, establecer su pertinencia y calidad, decidir su aceptación con base a las normas editoriales de la revista. Así mismo, debe proponer y aprobar el o los árbitros apropiados para cada artículo. Su trabajo como garante de la calidad científica y académica de la revista es honorario, voluntario, autónomo e independiente de la administración de la revista, lo que le permite ser crítico y eficiente en el ejercicio de sus funciones. Los Editores de Área podrán funcionar como tercer árbitro, a solicitud del Editor Responsable, en los casos en que el arbitraje sea dividido o en los casos de contraposición de criterios específicos en el arbitraje recibido, o en la opinión de los árbitros y los autores.
<b>EDITOR DE INGLÉS</b>	Es nombrado por el Editor. Su principal función es supervisar el correcto uso del idioma inglés en las diferentes secciones de la revista, por lo que debe ser un experto en este idioma, ya sea por ser su lengua nativa o por su vasto y probado dominio del idioma. Preferentemente debe ser un investigador con trayectoria científica y académica reconocida y con buen prestigio en la academia. Forma parte del Comité Editorial.



**Tabla 2.**

Artículos recibidos durante el período 2011 a 2013.  
Table 2. Articles received during 2011 to 2013.

Año	Artículos recibidos	Artículos publicados	Artículos en evaluación	Artículos no aceptados	% de artículos no aceptados
2011	62	33	-	29	46.77
2012	39	16	-	23	58.97
2013	117	18	26	73	62

demasiadas observaciones, o comentarios, señalando la poca seriedad al presentar el manuscrito sin formato o adecuada redacción, suelen retirarlo; y finalmente, en algunos casos, el poco apego al formato editorial también está relacionado con la falta de experiencia en el procedimiento científico, y el material no tiene la calidad suficiente para su aprobación.

Otro esfuerzo importante ha sido incrementar la indización de la revista, lográndose la inclusión de CienciaUAT en las bases de datos Cab Abstracts, EBSCO, Periódica, Actualidad Iberoamericana, Dialnet, MIAR y AGRICOLA. También se cuenta con el registro ISSN otorgado por el Instituto Nacional del Derecho de Autor (2007-7858), para publicar la revista en formato electrónico.

La normatividad para la aceptación en el Índice de Revistas Mexicanas Científicas y Tecnológicas del CONACYT, incluye entre otros aspectos, que el 75 % de las contribuciones sean artículos y reseñas producto de investigación con resultados originales y sujetos a un arbitraje riguroso e imparcial, y que el 65 % de los autores y coautores por cada número publicado, pertenezcan a otras instituciones ajenas a la revista. Así es que el principal reto fue incrementar la cooperación de autores externos, recibir material científico de calidad y publicar la revista en tiempo. La primera estrategia para lograrlo fue reducir la periodicidad de la revista, lo que permitió adecuar los tiempos de publicación, al volumen de material que se recibía con las características requeridas. La segunda estrategia fue convocar a diferentes grupos nacionales e internacionales a participar en temáticas específicas, y para ello se solicitó el apoyo de los investigadores líderes de la institución y miembros del Comité Editorial.

Los resultados han sido muy alentadores, en la Tabla 2 se puede observar que el número de manuscritos recibidos ha aumentado en el último año, y con ello la tasa de no aceptados. En la

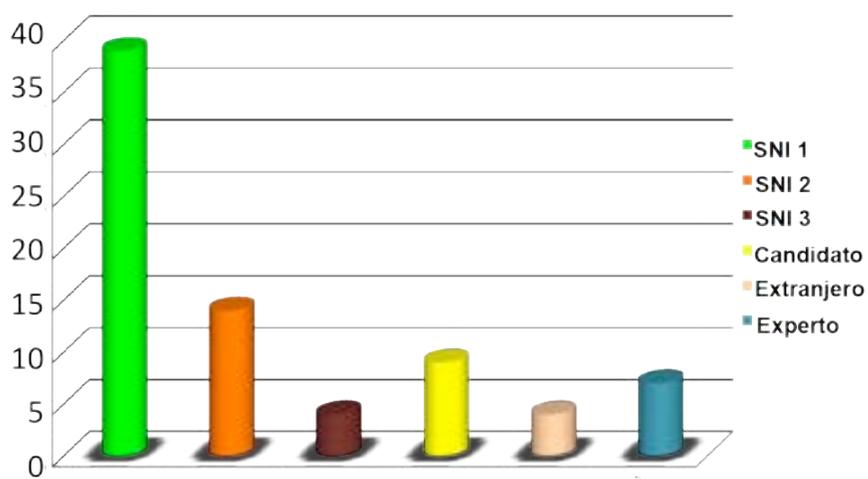
Tabla 4 se aprecia la colaboración de autores y coautores externos en el año 2013.

Por otra parte, se incrementó considerablemente la cartera de árbitros externos con un perfil académico y científico de mayor reconocimiento. Muchos de ellos cuentan con nombramiento del Sistema Nacional de Investigadores (Figura 4). Este nuevo perfil de la cartera de árbitros está asociado con la elevación de la tasa de no aceptados (Tabla 2).

También se ha dado seguimiento a la visibilidad de la revista a lo largo de su existencia. Actualmente, se tienen localizadas 24 citas a los artículos publicados en CienciaUAT, de los que se muestran los más citados en la Tabla 5. Los cambios realizados permiten que CienciaUAT cumpla con los parámetros de calidad que establece CONACYT para que la revista sea admitida en su Índice de Revistas Mexicanas Científicas y Tecnológicas en el 2015.†

**Figura 4.**

Nivel en el SNI de los árbitros de la revista CienciaUAT en 2013.  
Figure 4. SNI level of the CienciaUAT journal referees in 2013.



**Tabla 4.**

Institución de adscripción de los autores que enviaron sus manuscritos a CienciaUAT en 2013.  
Table 4. Institution of affiliation of the authors who submitted their manuscripts to CienciaUAT in 2013.

<b>Datos de Adscripción de Autores</b>	<b>Total de autores</b>
Angiología y cirugía vascular del norte	2
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla	20
Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C	3
Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada - IPN Unidad Querétaro	3
Centro Incubador de Empresas (CIEBT)	1
CINVESTAV-IPN	1
Hospital Regional del ISSSTE Puebla	1
INIFAP Escuela Superior de Agronomía Iguala de la Independencia, Guerrero	3
Instituto Nacional de Salud Pública	1
Instituto Politécnico Nacional	8
Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec	2
Instituto Tecnológico de Mazatlán	5
Instituto Tecnológico de Sonora	3
Instituto Tecnológico de Tepic	6
Instituto Tecnológico de Veracruz	9
Instituto Tecnológico Victoria	4
Instituto de Recursos Naturales del Colegio de Postgraduados	3
Laboratorio de Biotecnología Ambiental	1
Laboratorio de Diagnóstico Vegetal CICLUS	1
Mara Renewables Corporation	1
Programa Educativo de Procesos Alimentarios	3
Programa Educativo de Tecnología de la Información y Comunicación área Sistemas Informáticos (TICSI)	2
Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro	5
Universidad Autónoma de Aguascalientes	3
Universidad Autónoma de Baja California	2
Universidad Autónoma de Baja California Sur	3
Universidad Autónoma de Cd. Juárez Chihuahua	4
Universidad Autónoma de Coahuila	5
Universidad Autónoma de Guerrero	7
Universidad Autónoma de Nuevo León	4
Universidad Autónoma de Querétaro	7

<b>Datos de Adscripción de Autores</b>	<b>Total de autores</b>
Universidad Autónoma de San Luis Potosí	3
Universidad Autónoma de Sinaloa	2
Universidad Autónoma de Tamaulipas	75
Universidad Autónoma de Yucatán	10
Universidad Autónoma del Carmen	5
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo	7
Universidad Autónoma del Estado de México	10
Universidad Autónoma Metropolitana	1
Universidad de Antioquia, Colombia	1
Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas	13
Universidad de Córdoba, España	2
Universidad de Guadalajara	12
Universidad de la Cañada. UNCA	5
Universidad del Istmo, campus Tehuantepec	1
Universidad de Izúcar de Matamoros, Puebla	6
Universidad de León, España	2
Universidad de Sonora	3
Universidad Iberoamericana	1
Universidad Iberoamericana, Puebla	1
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco	5
Universidad Juárez del Estado de Durango	6
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo	3
Universitetskaya nab. San Petersburgo, Rusia	1
Universidad Nacional de Colombia	2
Universidad Politécnica de Sinaloa	1
Universidad Politécnica de Pénjamo	1
Universidad Politécnica Victoria	2
Universidad Simón Bolívar de Venezuela	1
Univesidad Tecnológica de Altamira	4
Universidad Tecnológica de la Selva, Ocosingo Chiapas	5
<b>TOTAL</b>	<b>314</b>

**Tabla 5.****Artículos más citados.**

Table 5. Most cited articles.

ARTÍCULOS CITADOS	CITAS	CITA
Gómez-Sánchez, A., Gómez-Sánchez, D. y Romo-Orozco, J. M. (2010). Percepción del ruido ambiental en la zona urbana de Río Verde, San Luis Potosí, México. <i>CienciaUAT</i> . 5(16): 68-74.	2	Cervantes-Solano, R. A. y Gómez-Sánchez, D. (2012). Estudio del ruido ambiental como causa de estrés. <i>Memorias del verano de la Ciencia 2012. Región centro</i> . [En línea]. Disponible en: <a href="http://www.veranos.ugto.mx/Memorias/12VeranoCienciaRegionCentro/documentos/217.pdf">http://www.veranos.ugto.mx/Memorias/12VeranoCienciaRegionCentro/documentos/217.pdf</a> .
		Gómez-Sánchez, D., Cervantes-Solano, R. A., Recio-Reyes, R. G. y Gómez-Sánchez, A. (2010). Percepción del ruido ambiental en los estudiantes universitarios y las afecciones que provoca en <i>Tlatemoani</i> . [En línea]. Disponible en: <a href="http://www.eumed.net/rev/tlatemoani/04/ssrs.html">http://www.eumed.net/rev/tlatemoani/04/ssrs.html</a> .
Gorordo-Delsol, L. A. (2006). Cultura de los alumnos de la Facultad de Medicina de Tampico "Dr. Alberto Romo Caballero" en materia de donación y trasplante de órganos y tejidos. <i>CienciaUAT</i> . 1(2): 61-64.	2	Olivares-Durán, E. M. y Gorordo-Delsol, L. A. (2008). Encuesta sobre donación de órganos y tejidos en la Universidad Autónoma de Tamaulipas. Parte I. <i>Detransplantes</i> 17: 23-25.
		Olivares-Durán, E. M. y Gorordo-Delsol, L. A. (2008). Encuesta sobre donación de órganos y tejidos en la Universidad Autónoma de Tamaulipas. Parte II. <i>Detransplantes</i> 18: 23-26.
Santamaría-Ochoa, C. D. (2011). El periodismo científico en Ciudad Victoria, Tamaulipas: ¿Una necesidad del nuevo milenio?. <i>CienciaUAT</i> . 3(9): 52-55.	2	Santamaría-Ochoa, C. D. (2012). La entrevista periodística: ¿género o herramienta?. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias de la Comunicación. Universidad de Santiago de Compostela. Santiago de Compostela, España. [En línea]. Disponible en: <a href="http://dspace.usc.es/bitstream/10347/3661/1/SantamariaOchoa.pdf">http://dspace.usc.es/bitstream/10347/3661/1/SantamariaOchoa.pdf</a> .
		Santamaría-Ochoa, C. D. (2013). El periodista ante la entrevista: rutinas profesionales. El caso de Ciudad Victoria, Tamaulipas, México. <i>Fonseca, Journal of Communication</i> . 6: 135-154.
Jiménez-Hernández, S. y Sánchez-González, D. (2007). Ordenación urbana litoral y prevención ante desastres de inundación en los municipios de Tamaulipas, México. El Sistema de alerta temprana contra eventos meteorológicos extremos (SATEME). <i>CienciaUAT</i> . 2(4): 61-66.	2	Sánchez-González, D. (2011). Peligrosidad y exposición a los ciclones tropicales en ciudades del Golfo de México. El caso de Tampico. <i>Revista de Geografía de Norte Grande</i> . 50: 151-170.
		Sánchez-González, D. (2011). Precipitaciones extremas y sus implicaciones en procesos de remoción en masa en la planificación urbana de Tampico, México. <i>Cuadernos Geográficos</i> . 48: 135-159.
Barbosa-Saucedo, E. A., Gracia-Villar, S. y Dzul-López, L. A. (2011). ¿Cómo mejorar la competitividad de las empresas tamaulipecas?: Seis sigma, una alternativa para las pequeñas y empresas medianas. <i>CienciaUAT</i> . 6(19): 56-60.	2	Barbosa-Saucedo, E. A., Gracia-Villar, S. y Dzul-López, L. A. (2013). Propuesta de metodología Lean Seis Sigma en empresas PyMEs: un enfoque participativo con la academia. <i>RIDTEC</i> . 9(1): 10-20.
		Torres-Ayala, V. A. (2012). Uso de Moodle como apoyo b-Learning en clases de 6º y 7º año de enseñanza básica, del colegio Cardenal Raúl Silva Henríquez, en la asignatura de taller de informática. Escuela Universitaria de Educación Virtual. Universidad de Tarapacá. Arica, Chile. Tesis de Maestría. [En línea]. Disponible en: <a href="http://eudev.uta.cl:8080/jspui/bitstream/123456789/144/1/tesis_victor%20torres.pdf">http://eudev.uta.cl:8080/jspui/bitstream/123456789/144/1/tesis_victor%20torres.pdf</a> .