

# DESCRIPCIÓN DE LA SUPERFICIE BIOFÍSICA Y CAMBIOS EN SU COMPORTAMIENTO DE 1993 AL 2008 EN LA CIUDAD DE MEXICALI, B.C., MÉXICO

África CASILLAS HIGUERA<sup>1</sup>, O. Rafael GARCÍA CUETO<sup>1</sup>, Raúl VENEGAS<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California, México

<sup>2</sup> Facultad de Arquitectura, Universidad Autónoma de Baja California, México

Casillas.africa@gmail.com, rafaelcueto@uabc.mx, raulvenegas5@hotmail.com

## RESUMEN

Esta comunicación evalúa algunos parámetros biofísicos como el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizado (NDVI), temperatura de cuerpo negro y albedo de elementos del mosaico urbano en la ciudad de Mexicali, Baja California, ubicada al noroeste de México. Se realizó un análisis multiespectral de imágenes del satélite Landsat con las siguientes fechas: 6 de abril de 1993, 3 de mayo del 2000, 12 de mayo del 2003 y 17 de Mayo de 2008. Se utilizó el sistema de información geográfico IDRISI para extraer datos de las bandas visibles, térmicas e infrarrojo cercano, con el que fue posible evaluar el cambio espacio-temporal de los parámetros biofísicos mencionados mediante un análisis de componentes principales (CPA) y una serie de tiempo (TSA). Los resultados obtenidos revelan una alteración en la conducta de los parámetros biofísicos con relación al crecimiento en la ciudad, es decir, en 1993 la vegetación era de 20% y en 2008 la disminuyó a 4% sobre todo en los alrededores de la ciudad. Se incrementaron las temperaturas de cuerpo negro y la emisividad tuvo una variabilidad de 0.4, respecto a 1993. El área más deteriorada se encuentra en los alrededores debido a la eliminación y cambio de la cobertura vegetal por distintos elementos urbanos. La cartografía de esta evaluación puede ser útil para los planificadores urbanos.

**Palabras clave:** Sensores remotos, Parámetros Biofísicos, Urbanización,

## ABSTRACT

In this communication it evaluates some parameters biophysical as Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), black body temperature and emissivity in the urban mosaic of Mexicali, a Mexican city located in the northwest of the country. A multispectral analysis of Landsat satellite images with the following dates: on April 6, 1993; May 3, 2000; May 12, 2003 and May 17, 2008 was realized. We evaluate changes, temporal and spatial, of the biophysical parameters by means of an Geographical Information System; component principal analysis (CPA) and time series (TS) to visible, infrared-near and thermal bands, were utilized. The vegetation diminished of a 20 % in 1993 to 4 % in 2008 in the outskirts of the city. Also, the blackbody temperatures increase its values in 2003, relative to 1993, and the emissivity had a variability of 0.4, respect to 1993. The cartography of such evaluation it can be useful to urban planners in urban future development.

**Key words:** Remote sensing, biophysical parameters, urbanization.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los diversos usos de suelo, determinan la localización de los sistemas sociales y humanos e influyen en la posible fragmentación de hábitats que afectan decisivamente el clima (Luque, 2006). Al eliminar la vegetación natural y sustituirla por superficies impermeables o sin transpiración como metal, asfalto y concreto, se producen cambios radicales en las características superficiales y atmosféricas de una región (García-Cueto et. al, 2007). El ambiente urbano consiste en dos componentes: 1) El natural, que incluye los diferentes fenómenos y elementos naturales, tales como cobertura de suelo, geología, aire, agua, suelo y clima no modificado; 2) El artificial, que incorpora el ambiente social y la contaminación urbana resultado de las actividades del ser humano (Zoran, et. al 2006). Estos dos componentes en conjunto afectan favorable o desfavorablemente la vida de los ciudadanos (Nichol y Wong, 2004).

Por otra parte, las imágenes de satélites han traído un nuevo conocimiento de la variabilidad espacial y temporal de la superficie biofísica urbana (Zarco y Sepulcre, 2007). Con las geotecnologías es posible estimar, entre otros parámetros físicos, emisividad, albedo y elementos que cubren la superficie de la tierra como proporciones de cobertura vegetal, agua, rocas. El área verde ha sido estudiada extensamente usando diferentes índices como el índice de vegetación de diferencia normalizado (NDVI, Weng et. al. 2006), reconocido por ser uno de los indicadores más útiles en el estudio de características de la biosfera terrestre (Santana et. al. 2010). Al ser un índice normalizado su intervalo de variación oscila entre  $-1$  y  $1$ . Así, las áreas con vegetación densa presentan valores positivos. Por su parte, los cuerpos de agua presentan una tendencia a valores negativos. Finalmente, las rocas y suelo desnudo, al tener una respuesta espectral similar en ambas bandas, obtienen valores cercanos a cero. (Aguirre y Morales 2005).

Algunas de las afectaciones en la dinámica urbana comúnmente estudiadas mediante imágenes satelitales son la variación de temperaturas (Weng op. Cit. 2006), reconstrucciones biofísicas (Steyaert y Knox, 2008), tipo de forestación (Díaz, Presutti 2009), riesgos de incendios urbanos (Modugn et al. 2008) e isla urbana de calor ( Hequn, Yonhg 2005) entre otros, los cuales son provocados por el crecimiento acelerado de las ciudades sin tomar en cuenta la sustentabilidad. El gobierno de México tiene interés en esta problemática, actualmente existen programas dirigidos a las instituciones de educación superior donde se imparten materias que incorporan el tema de salud ambiental y el enfoque de sustentabilidad (Agenda 21). Por ello el objetivo de este trabajo es proporcionar información útil a planificadores urbanos tomando como estudio de caso a Mexicali, B.C., que es una ciudad mexicana localizada en el noroeste del país.

La ciudad de Mexicali, B.C, está ubicada a  $32^{\circ} 33''$  latitud norte y longitud  $115^{\circ} 28''$  oeste, con una altitud media de 4 metros sobre el nivel del mar (figura 1). La ciudad se localiza en la parte más alejada del noroeste mexicano, en el límite internacional entre México y Estados Unidos. Se caracteriza por tener un clima árido, muy cálido y con variabilidad térmica extrema (ha rebasado los  $50^{\circ}\text{C}$  en el verano, y en invierno puede presentar temperaturas inferiores a  $0^{\circ}\text{C}$ ). Desde 1950 las industrias empezaron a instalarse en esta ciudad generando más empleos, lo que convirtió a Mexicali en una ciudad de intenso desarrollo, donde la inmigración desde otros estados de la República y el mundo han sido de manera continua. Su población actual es de 855,962 habitantes (INEGI, 2005). En el año 1993, la ciudad cubría

una extensión aproximada de 91.43 Km<sup>2</sup> y para el 2003 se expandió a 116.64 Km<sup>2</sup> (Casillas y García, 2009).

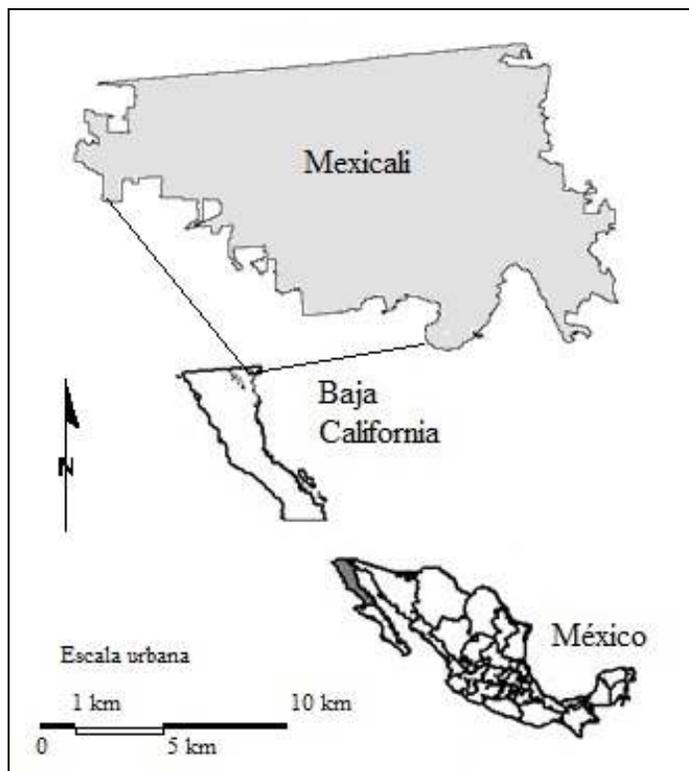


Fig. 1: Localización de Mexicali, B.C., México, elaboración propia.

## 2. DATOS Y METODOLOGIA.

Los datos utilizados para el análisis multiespectral durante el periodo 1993-2008, fueron obtenidos a partir de las bandas visible, infrarroja cercana y térmica de cuatro imágenes satelitales Landsat, identificadas con el código 39-37 (Path y Row, respectivamente), suministradas por dos diferentes sensores, las del mapeador temático (TM) que corresponde a las fechas 6 de abril de 1993 y 17 de mayo de 2008, y las del mapeador temático mejorado (ETM) de fechas 3 de mayo del 2000 y 12 de mayo del 2003.

Debido a que las imágenes satelitales fueron captadas con diferentes sensores las proyecciones originales no coincidían entre sí, por lo que antes de iniciar la extracción de información espectral fue necesario realizar un pre-procesamiento de georeferencia similar, es decir se igualaron las características mediante una reproyección en la escala de píxel, cuadrícula, resolución y se estableció un mismo sistema y unidad de referencia (tabla 1), posteriormente se extrajo el área de estudio correspondiente al perímetro de la ciudad aplicando una máscara del contorno urbano del año 2008 a cada imagen. Todo el procesamiento digital se realizó mediante el sistema de información geográfico Idrisi Andes.

Sistema de referencia	Unidad	No. de Renglones	No. de Columnas	Coordenada Superior Izquierda	Coordenada Inferior Derecha
Utm 11 n Wgs84	METROS	594	927	X= 631570 Y= 3618454	X= 659375 Y= 3600637

Tabla1. Características generales de las imágenes landsat 1993, 2000, 2003 Y 2008.

Una vez delimitada el área de trabajo, se procedió a calcular el índice de vegetación de diferencia normalizado (NDVI), el cual constituye una buena medida de la actividad fisiológica en plantas; se expresa como el cociente entre la diferencia espectral reflejada de las bandas infraroja cercana (NIR) y visible (VIS), y la suma de ambas (ec. 1):

$$NDVI = (NIR - VIS)/(NIR + VIS) \quad (Ec. 1)$$

A partir de las bandas térmicas se estimaron temperaturas de cuerpo negro en grados centígrados, mediante la aplicación del algoritmo (Ec. 2) de modelo de cuerpo negro incluido en el Software Idrisi Andes.

$$T_s = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)} \quad (Ec. 2)$$

Donde L es la radianza de cuerpo negro, K<sub>1</sub> y K<sub>2</sub> son constantes de calibración, con valores K<sub>1</sub> = 60.776 mWcm<sup>-2</sup>sr<sup>-1</sup>μm<sup>-1</sup>, K<sub>2</sub>=1260.56 mWcm<sup>-2</sup>sr<sup>-1</sup>μm<sup>-1</sup>.

Al conjunto de imágenes resultantes se le aplicó una serie de tiempo y un Análisis de Componentes Principales (PCA), con el fin de conocer el cambio en los patrones de las variables a estudiar, esta técnica es utilizada ampliamente en estudios de percepción remota debido a que las bandas adyacentes en una imagen multiespectral generalmente están correlacionadas (Aguirre y Morales 2005 op. cit). En el siguiente diagrama (figura 2) se aprecia de forma resumida la metodología aplicada en el estudio.

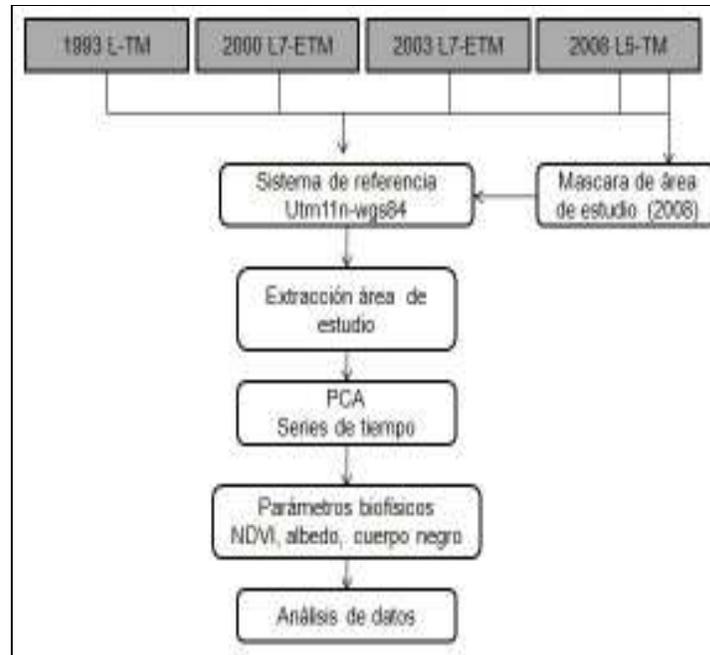


Fig. 2: Diagrama metodológico.

### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En la figura 3 se aprecia una colección de índices de vegetación normalizado en escala de grises para los años 1993, 2000, 2003 y 2008. El color oscuro representa los valores negativos y los colores claros son valores que tienden a 1. El PCA aplicado al NDVI muestra variaciones significativas en los dos primeros componentes principales (CP1 y CP2) al cambiar la emisividad y distribución de vegetación dentro del área de estudio, específicamente en la periferia.

Durante el año 1993 (figura 3.a), los valores más altos de NDVI correspondieron a tierras de cultivos que se encontraban alrededor o incluso dentro de la ciudad así como algunas zonas deportivas. Para el 2000 (figura 3.b) el área agrícola disminuyó en proporción al crecimiento urbano, de la misma manera la vegetación ubicada en la parte céntrica se redujo. En 2003 (figura 3.c) se aprecian valores bajos de NDVI en la mayor parte del área de estudio, al existir poca vegetación ubicada en los alrededores, sobre todo en la parte sur y en la este de la ciudad cercana a un cuerpo de agua. A diferencia de años anteriores, en el 2008 (figura 3.d), se observa de forma general en el entramado urbano una baja densidad de vegetación situada en parques, zonas deportivas y el bosque de la ciudad, por tal motivo la emisividad total se vio afectado tal como lo indica el CP1 con una variabilidad positiva de 0.4.

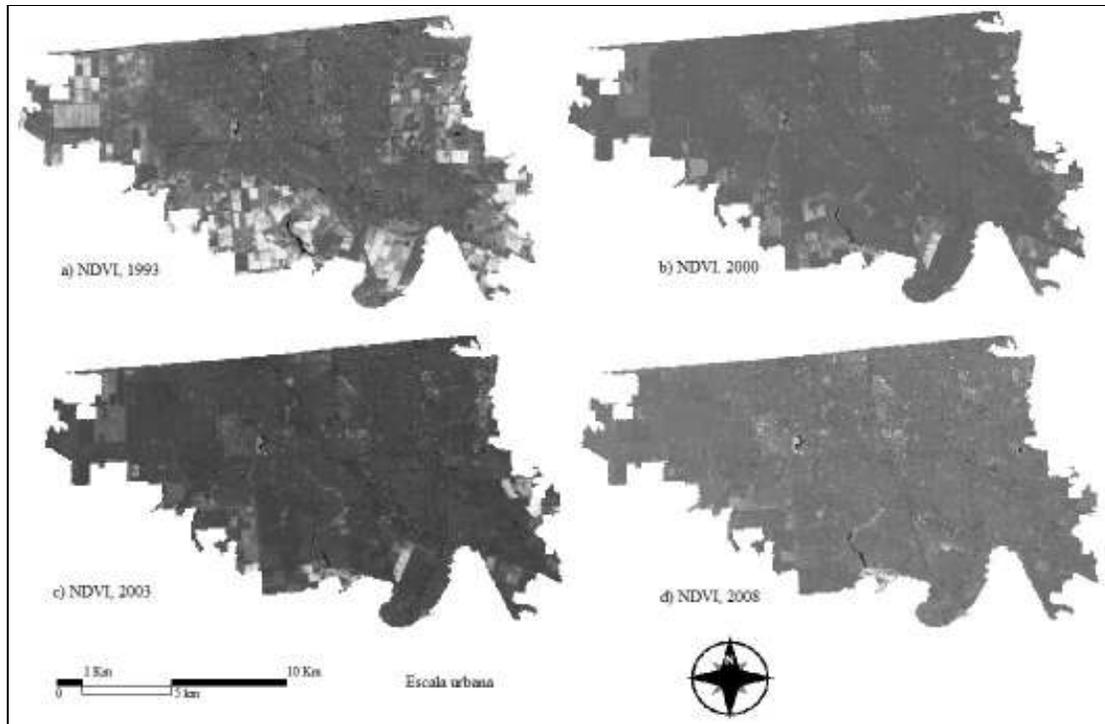


Fig. 3: Cobertura vegetal en la ciudad de Mexicali B.C., y su evolución temporal (a.1993, b.2000, c.2003 y d.2008).

El análisis de series de tiempo realizado al conjunto de imágenes indica de forma temporal una tendencia negativa de 4.88 en valores positivos del NDVI con una  $R^2$  de 0.85 (figura 4). En 1993 se tenía un 20% de vegetación en la ciudad de Mexicali, para el año 2003 sufre un drástico decremento a 9.2%. En el siguiente par de años (2003) la cobertura de área verde tuvo una disminución de 0.8 quedando en 8.4%; finalmente, debido a al cambio de cobertura y de uso de suelo, en el 2008 el porcentaje de vegetación en la ciudad es de tan solo un 4.0%.

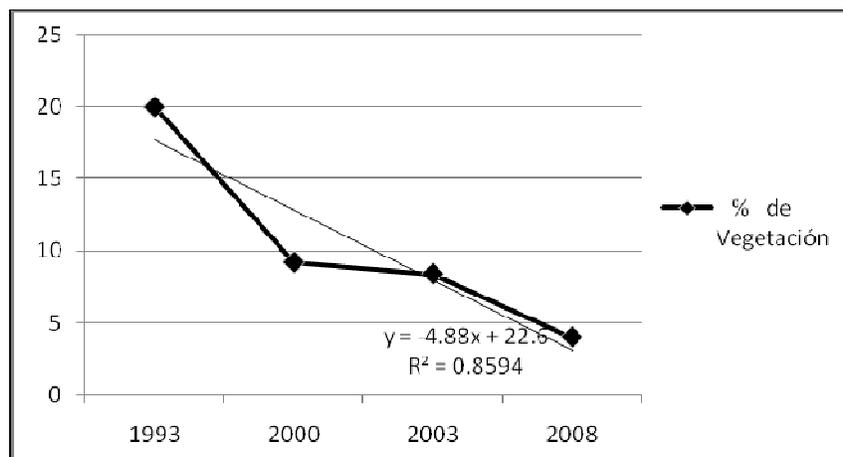


Fig 4: Gráfica de distribución del porcentaje de vegetación en Mexicali, BC. años 1993, 2000, 2003 y 2008

En 1993 se aprecia un contraste en el rango de temperaturas de cuerpo negro (TCN, figura 5), el área de estudio cuenta con un mayor porcentaje de tierras intra y peri-urbanas recubiertas con vegetación, donde las TCN más bajas están ubicadas en los alrededores, y las TCN más altas se localizan al centro de la ciudad (34-52°C). Por otra parte en mayo del 2008 se observa una distribución distinta, es decir, las temperaturas han modificado su comportamiento significativamente, al aumentar la TCN en la periferia del entramado urbano presentando valores mayores (desde 41 hasta 52°C), ya que al remover o cambiar el área agrícola a elementos propios de la urbanización como lo son casas, asfalto, pavimento, entre otros, funcionan como acumuladores térmicos que irradian calor a las áreas contiguas.

El comportamiento de los indicadores ambientales analizados, NDVI y temperatura de cuerpo negro evidencian una relación inversa, por lo que a mayores niveles de índice de vegetación existe una TCN más fría y las temperaturas altas están espacialmente asociadas a valores bajos de NDVI.

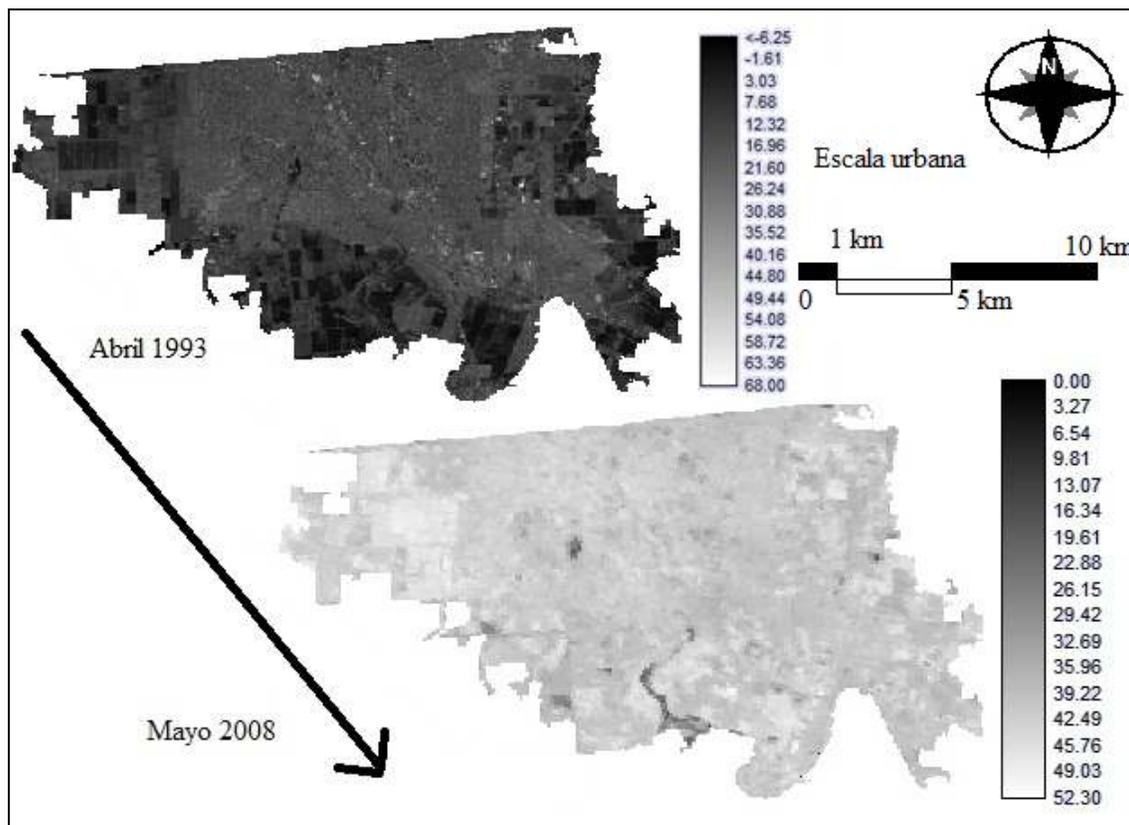


Fig. 5: Temperatura de cuerpo negro en Mexicali, Abril 1993 y Mayo 2008.

#### 4. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha utilizado información provista por 4 imágenes LANDSAT y tecnologías geospaciales con el propósito de evaluar algunos parámetros biofísicos como NDVI,

temperatura de cuerpo negro y emisividad de elementos del mosaico urbano en la ciudad de Mexicali, Baja California, México, en los años 1993, 2000, 2003 y 2008.

El análisis de componentes principales aplicado al NDVI y series de tiempo refleja una alta variabilidad en el periodo estudiado, la cantidad de vegetación en la ciudad ha disminuido a un ritmo acelerado al pasar del 20% en 1993 a un 4% en 2008, el CP1 revela un cambio en el albedo de 0.4. El estudio espacial de temperaturas de cuerpo negro en el año de 1993 muestra bajas TCN en los límites de la ciudad mientras que valores altos de TCN se agrupan en el centro; para el año 2008 los valores altos de TCN cambiaron su comportamiento al distribuirse homogéneamente.

Los resultados obtenidos revelan una modificación en la conducta de los parámetros biofísicos con relación al crecimiento en la ciudad, el área que más se modificó se encuentra en los alrededores debido a la eliminación y cambio de la cobertura vegetal por distintos elementos urbanos como casas, pavimento y asfalto, entre otros, que funcionan como acumuladores térmicos, e intensificando el desarrollo de la isla de calor urbana que impacta negativamente a los habitantes ciudadanos, sobre todo por la incomodidad térmica, lo que genera un mayor desembolso económico por el mayor uso de energía que se debe usar para climatizar los espacios habitados.

La cartografía generada en esta evaluación, permite sentar las bases para concientizar a tomadores de decisiones gubernamentales de planificación urbana con la naturaleza, a fin de implementar políticas sustentables no sólo a mediano y largo plazos sino de de manera inmediata.

## **5. AGRADECIMIENTOS**

El primer autor agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y a la Universidad Autónoma de Baja California por el apoyo económico que me ha brindado, asimismo al Dr. Osvaldo Leyva del Instituto de Ciencias Sociales de la UABC. M.I. René Delgado Rendón y al Lic. Julio Cesar Mendivil Andrade.

## **6. REFERENCIAS.**

- AGENDA 21, on line <http://www.un.org/esa/agenda21/natlinfo/countr/mexico/index.htm>,  
AGUIRRE G.R, MORALES M.L. (2005), Análisis espectral del arrecife coralino de Cayos Arcas, Campeche, México, *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM* pp.7-10.  
CASILLAS A., GARCÍA R. (2009), Identificación de la Isla Urbana de Calor en Mexicali, B.C. mediante Imágenes de Satélite y el uso de Sistemas de Información Geográfica. En Selper-Mexico, Mexicali, México, octubre 28-30, pp. 365-372.  
DIAZ G. Y PRESUTTI M. (2009), Evaluación de la aptitud del NDVI y SR derivado de imágenes Landsat 5 TM para estimar parámetros biofísicos de plantaciones de pino con raleo sistemático, Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30, INPE, pp. 2681-2688.  
GARCIA-CUETO, O.R., JAUREGUI, E. TOUDERT, D. Y TEJEDA, A. (2007) Detection of the urban heat island in Mexicali, BC., Mexico, and its relationship with land use. *Atmosfera* vol. 20 pp. 111-135.

- HEQUN Y., YONG L., (2005). A satellite remote sensing based assessment of urban heat island in Lanzhou city , northwest China [http://www.isprs.org/proceedings/XXXVI/8-W27/yang\\_lui.pdf](http://www.isprs.org/proceedings/XXXVI/8-W27/yang_lui.pdf)
- INEGI, Censo de población y vivienda (2005), <http://www.inegi.org.mx>
- LUQUE A.J. (2006), Factores, predicciones e implementaciones en la asignación de usos del suelo: revisión y reflexiones. *Cuadernos de investigación geográfica*, pp. 147-160.
- MODUGNO, S.; SERRA, P. Y BADIA, A. (2008), Dinámica del riesgo de ignición en un área de interfase ur-bano-forestal, *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria*. Pp. 650-659.
- NICHOL, J., & WONG, M., (2004). Modeling urban environmental quality in a tropical city. *Landscape and Urban Planning*, Volume 73, Issue 1, 15 August 2005, Pages 49-58.
- RODRÍGUEZ S., MARINO L., JARAMILLO E., ALFONSO L., CAPOTE .A. (2010), estimación de un índice de calidad ambiental urbano, a partir de imágenes de satélite, *Revista de Geografía Norte Grande*, Vol. 45 pp. 77-95.
- SANTANA L.M., ESCOBAR L.A. Y CAPOTE P.A., (2010), Estimación de un índice de calidad ambiental urbano, a partir de imágenes de satélite, *Revista de Geografía Norte Grande*, Vol. 4, pp. 77-95.
- STEYAERT T. Y KNOX G., (2008), Reconstructed historical land cover and biophysical parameters for studies of land-atmosphere interactions within the eastern United States, *Journal of geophysical research*, VOL. 113, pp. 1-27.
- WENG Q., LU D., LIANG B. (2006). Urban surface biophysical descriptors and land surface temperature variations, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 72, No. 11, pp. 1275–1286.
- ZARCO-T.G., SEPULCRE C. (2007). Remote sensing of vegetation biophysical parameters for detecting stress condition and land cover changes, *Estudios de la Zona No Saturada del Suelo* Vol. VIII. Pp. 37-44.
- ZORAN M., PAVELESCU G., NICOLAE D., TALIANU C. (2006), surface biophysical parameters derived from remote sensing data for urban changes assessment, *Proceedings of the 2nd Environmental Physics Conference Alexandria, Egypt* ,pp.185-195