

EVALUACIÓN PRELIMINAR COMPARATIVA DE LA RADIACIÓN SOLAR Y POTENCIAL ENERGÉTICO ENTRE DOS CIUDADES DE LA FRONTERA MÉXICO Y ESTADOS UNIDOS

Néstor SANTILLÁN SOTO¹, O. Rafael GARCÍA CUETO¹, Sara OJEDA BENITEZ¹, Samuel COLTON²

¹ *Instituto de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California, México*

² *Arizona Western College, Main Campus, Yuma Arizona, USA.*

nestor.santillan.soto@gmail.com, rcueto0920@hotmail.com, sara.ojeda.benitez@gmail.com, sam.colton@azwestern.edu

RESUMEN

La radiación solar es uno de los recursos energéticos más importantes de nuestro planeta. Actualmente ha cobrado importancia y se ha incrementado el interés para utilizar el recurso solar como un elemento renovable y no contaminante. Es bajo este contexto que en esta comunicación se presenta la evaluación y se realiza un comparativo de las mediciones de radiación solar global y potencial energético estimado. Estas mediciones se realizaron con piranómetros instalados en la ciudad de Mexicali, Baja California, al noroeste de México y en la ciudad de Yuma, Arizona, en el suroeste de Estados Unidos. A estas dos ciudades las separan 96 km., ambas ciudades han mostrado un desarrollo sostenido, y climáticamente se caracterizan porque anualmente se presentan una gran cantidad de días soleados, temperaturas cálidas extremas y muy poca precipitación. Los resultados muestran diferencias tanto en el comportamiento como en la intensidad de las mediciones a pesar de su cercanía, lo que parece ser un indicativo de que los flujos a meso-escala parecen dominar a los sistemas sinópticos que prevalecen en la región. El potencial energético es estimado mediante la propuesta de aprovechamiento de varios umbrales. Con esta estimación se proyecta el aprovechamiento energético si se utilizara el recurso solar y se muestra la cantidad equivalente de gases de efecto invernadero que se dejarían de producir. Este estudio comparativo no tiene precedente en México y son pocos los datos medidos que a nivel regional se tienen lo que demuestra su importancia para las propuestas de estrategias de mitigación en el cambio climático.

Palabras clave: Radiación Solar, Potencial Energético, Gases de Efecto Invernadero, Cambio Climático.

ABSTRACT

Solar radiation is one of the most important energy resources of our planet. It has now become important and has increased the interest to use the solar resource as a renewable and clean element. It is in this context that this paper presents the evaluation and makes a comparison of measurements of global solar radiation and estimated energy potential. These measurements were made with pyranometer installed in the city of Mexicali, Baja California, northwestern Mexico and the city of Yuma, Arizona, in the southwestern United States. These two cities are separate by 96 km. Both cities have shown a sustained development, and are characterized climatically because annually presents a large number of sunny days, extremes warm temperatures and little precipitation. The results show differences in both, behavior and in the

intensity measurements despite their closeness, which appears to be an indication that the meso-scale flows appear to dominate the synoptic systems that prevail in the region. The energy potential is estimated by the proposed use of several thresholds. With this estimate the energy use is projected if the solar resource use and displays the equivalent amount of greenhouse gases that would stop production. This comparative study is unprecedented in Mexico, and few measured data at the regional level are demonstrating their importance to the proposed mitigation strategies on climate change .

Key words: Solar Radiation, Potential Energy, Greenhouse Gases, Climate Change.

1. INTRODUCCIÓN

La ciudad de Mexicali alcanzó los 550 mil habitantes en el año 2000 y se estima que rebasará los 650 mil para el 2010 al ritmo actual de crecimiento, 2.3% anual (CONAPO, 2004). Esta aceleración en el proceso de urbanización impondrá costosas y enormes exigencias de infraestructura productiva, equipamiento y servicios, no sólo en Mexicali, sino en todas las ciudades del país, así como fuertes presiones sobre el medio ambiente y los recursos naturales que serán necesarios prevenir y contener. Las áreas urbanas, con mayores exigencias espaciales cada vez, ocupan espacio aéreo, tierra, ríos, etc., con impactos que modifican principalmente la vegetación natural, la calidad del agua, la calidad del aire y el clima (Giorgi 2007). Al nivel de la capa límite atmosférica, las diferentes características del diseño de espacios y el fenómeno de la isla de calor urbana ocasionan, en el interior de las ciudades, la individualización de áreas en función de pequeñas variaciones en las condiciones climáticas. Esta variedad de microclimas puede presentar importantes consecuencias: por un lado su innegable papel sobre las condiciones de confort bioclimático dada su escala espacial; y por otro la posible influencia que puede ejercerse sobre el desarrollo de la isla de calor (García Codron, 2004). Los procesos de urbanización inducen cambios radicales en la naturaleza de la superficie y, por tanto, en las propiedades atmosféricas de una región; involucra no solamente la transformación de las propiedades radiativas, térmicas, hídricas y aerodinámicas (Oke, 1987), sino que a su vez, modifica los balances de calor, masa y momentum (Oke et al., 1999), por lo que se generan un conjunto de distintos climas a micro y mesoescala, dando lugar, por ejemplo al conocido efecto de isla de calor urbano (García et.al., 2007), en el que la ciudad tiene un clima térmico modificado, comparado al área rural (Badarinath, et al., 2002), y que tiene implicaciones prácticas en la conservación de energía y agua, salud humana y confort, dispersión de contaminantes del aire y circulación local del aire (Roth y Oke, 1989). En Mexicali el escenario semidesértico de hace 100 años contrasta con el actual, las nuevas superficies van modificando la mancha urbana (Casillas, 2009) y así el medio ambiente, contribuyendo al aumento de las temperaturas mínimas que en los últimos 30 años en la ciudad de Mexicali, B.C. se han documentado (García Cueto et. al., 2009). Es bajo este escenario que se desarrolla este estudio comparativo y a pesar de lo adverso de la región se motiva la necesidad de la adaptación al nuevo clima urbano. Por otra parte la ciudad de Yuma ubicada a 96 Km. de Mexicali (Figura 1) actualmente está utilizando el recurso solar de una manera eficiente y con enfoque científico ya que algunos de sus edificios de ciencias naturales aprovechan la energía solar para su iluminación y con nuevas inversiones de hasta 5 MW para extender su uso a todas las necesidades de alumbrado del Main Campus (Arizona Western College, 2010). El conocimiento que genera esta investigación complementa investigaciones que actualmente se están desarrollando en Baja California, México: reactores de metano, sistemas de refrigeración por concentración y desalación de agua de mar.



Fig. 1: Ubicación geográfica de Mexicali (México) y Yuma (EUA).

2. EQUIPO

El acopio de la información radiométrica fue realizado con el siguiente equipo:

- Sensor de radiación solar global piranómetro estrella 240-8101 (sensor patrón).
- Sensor de radiación solar global piranómetro CMP3.
- Sensor de radiación solar global piranómetro Licor LI200X
- Sensor de radiación solar global piranómetro SP-LITE
- Datalogger CR10 (de la compañía Campbell Scientific)

Los programas utilizados para la configuración de los sensores con el data logger fue el SCWIN (de Campbell Scientific) y para el monitoreo y acopio de los datos el PC200W 4.0 (Datalogger Support Software de Campbell Scientific).

Las mediciones de la ciudad de Yuma fueron proporcionadas por el sistema instalado en el Main Campus del Arizona Western College. El nombre del equipo es Fat Spaniel Technologies de la compañía Monitoring Customer Independent Energy Solutions Inc. La información está disponible en el sitio http://www.azwestern.edu/online_services.html.

Los periodos de obtención de datos para el estudio comparativo fueron del 28 de Diciembre 2009 al 28 de Enero 2010, clasificando esta base de datos como representativo de las condiciones de invierno. Para el mes de Abril, representativo de primavera, se consideró del 2 de Abril al 2 de Mayo del 2010, y finalmente del 3 al 30 de Julio para los datos correspondientes al periodo de verano.

Los márgenes de error en los sensores CMP3, LI200X y SP-LITE son de $\pm 3\%$, excepto el piranómetro estrella 240-8101, el cual presenta un error menor al 3%.

3. METODOLOGÍA

Se procedió a instalar y programar los sensores y el equipo de monitoreo en las instalaciones de la estación meteorológica del campus universitario, ubicado en la ciudad de Mexicali, realizando el acopio de los datos. Los datos obtenidos del datalogger fueron transferidos al programa Excel para su adecuado manejo, utilizando gráficos para visualizar el comportamiento y su magnitud. Por otra parte la información radiométrica de la ciudad de Yuma fue tomada del portal electrónico del Arizona Western College y fue comparada con los datos de Mexicali en periodos similares.

4. RESULTADOS

La Figura 2 presenta el gráfico con el comparativo entre Mexicali y Yuma en el mes de Enero, se observa que a nivel diario el patrón presentado en ambas ciudades es similar, no obstante, se presentan valores más altos en Yuma. Debido a lo anterior en este mes la ciudad de Yuma cuenta con más potencial del recurso solar.

Esta tendencia cambia en el mes de Abril (Figura 3) en ambas ciudades. Como puede verse el potencial presenta una tendencia mayor para Mexicali.

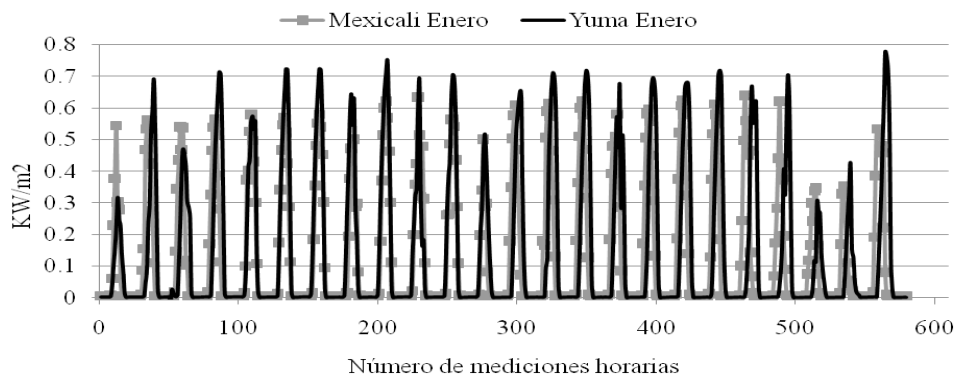


Fig. 2: Radiación Solar Mexicali y Yuma Enero 2010

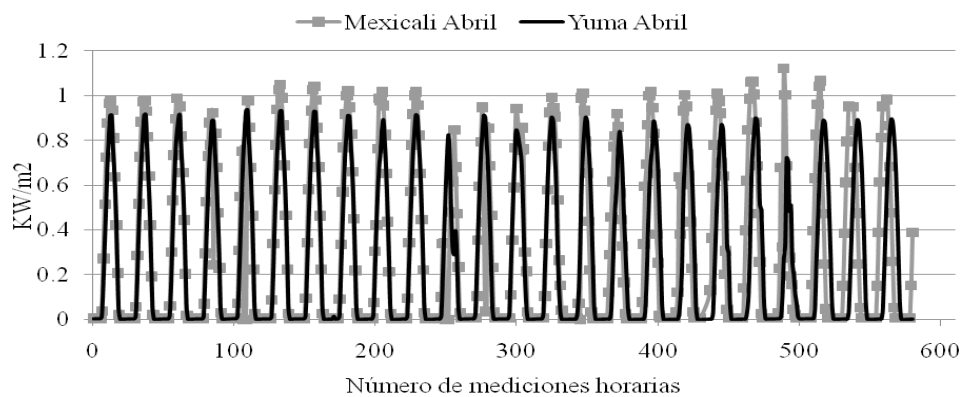


Fig. 3: Radiación Solar Mexicali y Yuma Abril 2010

En la Figura 4 sigue prevaleciendo una marcada tendencia para la ciudad de Mexicali por encima de la ciudad de Yuma con resultados mayores para el mes de Julio.

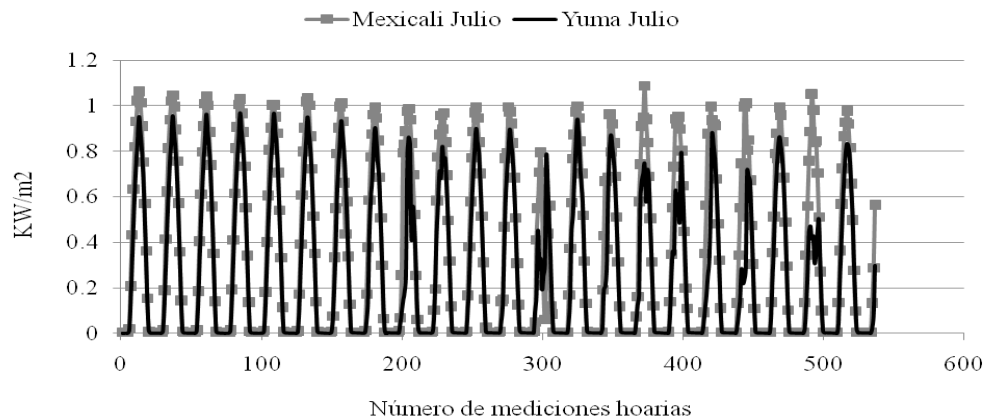


Fig. 4: Radiación Solar Mexicali y Yuma Julio 2010

De forma más clara se observa en los promedios mensuales de la Figura 5, que en los meses de Abril y Julio la magnitud del recuso solar aumenta de forma importante respecto al mes de Enero para Mexicali. Se observa también que en el mes de Enero la ciudad de Yuma supera el potencial de Mexicali.

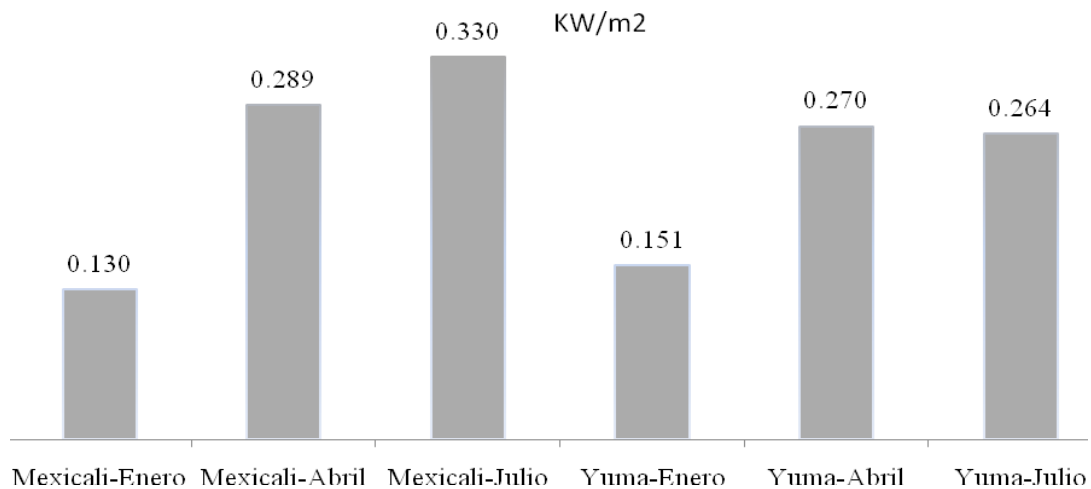


Fig. 5: Promedios mensuales Enero-Abril-Julio en Mexicali y Yuma.

Durante el mes de Enero se realizaron campañas de medición solar, haciendo un enfoque particular y comparativo solo en la ciudad de Mexicali, con diferentes sensores con el fin de observar la respuesta de varios equipos con diferentes características de fabricación y compararlos entre sí. Los resultados fueron muy interesantes ya que los diferentes sensores presentaron el mismo comportamiento pero el valor de la magnitud medida presentó algunas diferencias. La Figura 6 muestra un periodo de mediciones identificado como Enero-1 (16 al 26 de Enero 2010) y en la Figura 7 podemos apreciar el periodo Enero-2 (1 al 10 de Enero 2010) los cuales corresponden a los datos recopilados en las campañas de medición solar en el

mes de Enero 2010 en donde se aprecian diferencia del orden de 0.1 KW/m² entre los sensores CMP3, LI200X y SP-LITE.

Cabe mencionar que el sensor piranómetro estrella es el sensor de referencia para el estudio comparativo entre Mexicali y Yuma, ya que está calibrado en el Laboratorio Nacional de Certificación Radiométrica del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM. Los resultados de las figuras 6 y 7 son datos del comportamiento de sensores sin calibración reciente.

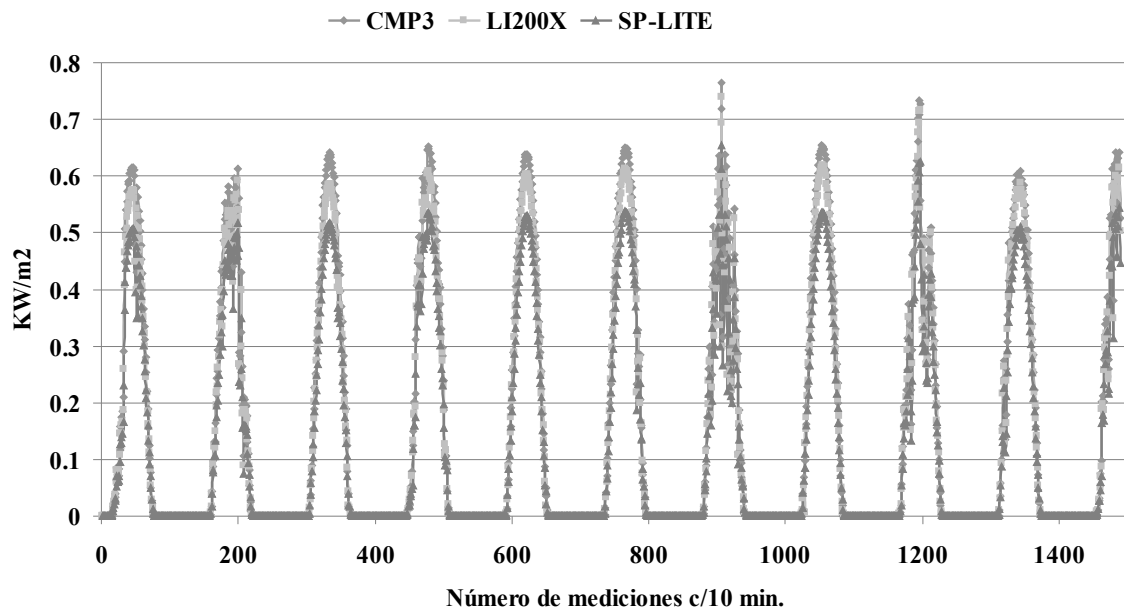


Fig. 6: Estación de sensores Mexicali Enero-1 2010

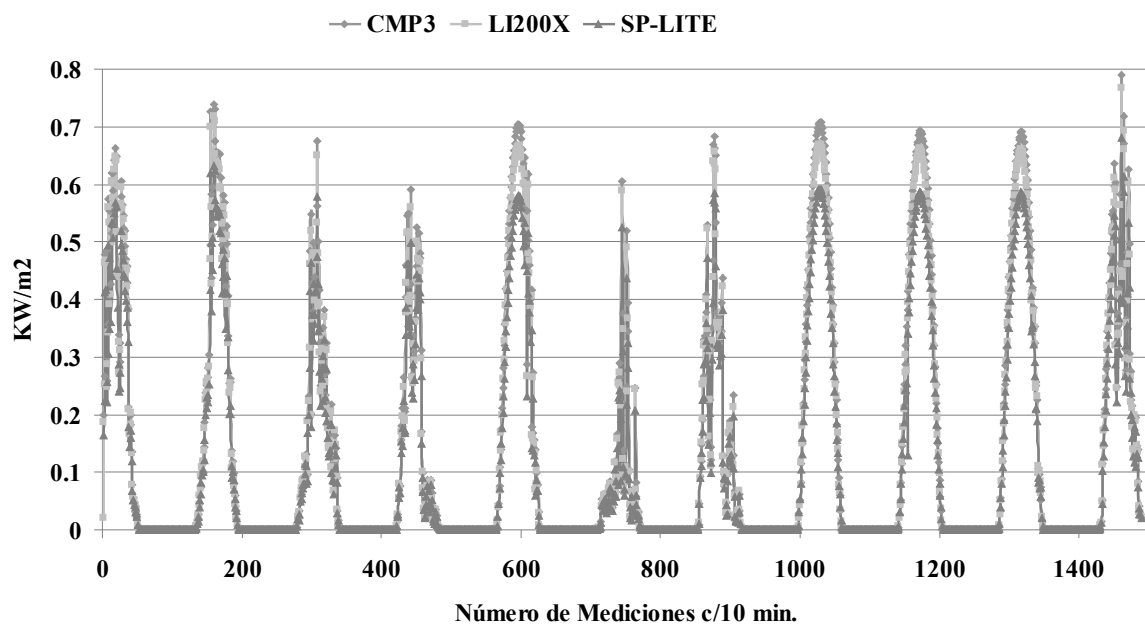


Fig. 7: Estación de sensores Mexicali Enero-2 2010

5. DISCUSIÓN

Ambas ciudades son del tipo semidesérticas, la mayoría de los días del año soleados, poca precipitación, temperaturas extremas. Pequeñas pero apreciables diferencias pueden observarse con los resultados obtenidos. Estas diferencias pueden ser parcialmente explicadas por la cantidad de nubosidad y precipitación que ocurrió, particularmente en el mes enero. En la ciudad de Yuma se totalizaron en ese mes 6.2 cm, mientras que en Mexicali 4.7 cm. En la Tabla 1 se muestra la distribución de la lluvia en los días de ocurrencia.

Día	Mexicali	Yuma
18	0.33	Traza
19	0.71	0.97
20	1.24	0.28
21	2.26	4.95
22	0.18	Traza
27	0.00	Traza
28	0.00	Traza

Tabla 1: DISTRIBUCIÓN DE LA LLUVIA EN EL MES DE ENERO DE 2010

Para el mes de abril la diferencia en la precipitación se acentuó, pues mientras en Mexicali el total mensual fue de 0.26 cm, en Yuma fue de 6.20 cm. Su distribución en los días que se presentó lluvia se presenta en la Tabla 2.

Día	Mexicali	Yuma
1	0.18	0.00
18	0.00	Traza
19	0.03	0.97
20	0.00	0.28
21	0.00	4.95
22	0.05	Traza
27	0.00	Traza
28	0.00	Traza

Tabla 2: DISTRIBUCIÓN DE LA LLUVIA EN EL MES DE ABRIL DE 2010

En el periodo considerado para el mes de Julio no se registraron precipitaciones en ambas ciudades.

Es obvio que la mayor cantidad de lluvia en Yuma, comparada a Mexicali, debe haber estado ligada a una mayor cantidad de nubosidad, y por tanto la energía disponible que se muestra en las figura 3 se explica por esa causa. Así, a pesar de la distancia entre las ciudades, solamente de 96 km, de que la topografía entre ambas es muy similar, y que las dos se encuentren en el desierto sonorenses, el comportamiento termodinámico de la masa de aire muestra su diferencia en esas pequeñas distancias. Esto es muy importante para la cuantificación del potencial de energía disponible a partir del recurso solar a nivel local. Es oportuno mencionar

que aún falta completar el diagnóstico a nivel anual por lo que las conclusiones que emanen a partir de este análisis es preliminar.

Por otra parte el Arizona Western College ha puesto en marcha el aprovechamiento del recurso solar teniendo a la puerta una inversión con capacidad de 5 MW de paneles solares, suficientes para todo el alumbrado del Colegio. Además la ciudad de Yuma será sede de una planta de celdas fotovoltaicas como parte de sus planes de aprovechamiento del recurso para la ciudad.

La Tabla 3 muestra el acumulado equivalente de los gases de efecto invernadero que se han evitado desde la instalación del sistema en el Colegio de Yuma y también se hacen algunas comparaciones prácticas de la utilización energética generando la misma cantidad de gases de efecto invernadero pero por quema de hidrocarburos.

GEI	Cantidad/Kg
CO ₂	149021.4
NO _x	247.5
SO ₂	408.6
La energía para operar una televisión por 1 839 738 horas.	
La energía para 2036 computadoras por un año.	
El promedio de la contaminación de un auto emitida por más de 33 años.	
La energía para 14 casas por un año.	

Tabla 3: ACUMULADO DE GEI NO GENERADOS Y COMPARATIVOS ENERGÉTICOS EQUIVALENTES.

6. CONCLUSIONES

El estudio preliminar comparativo de esta investigación, muestra que ambas ciudades cuentan con importantes potenciales energéticos de recurso solar; aún falta por completar el diagnóstico a nivel anual, pero dada su cercanía con Yuma, se presume que en Mexicali se presentan todas las condiciones para que las celdas fotovoltaicas formen parte de los materiales para cubrimiento de suelo y generar el inicio de un escenario en donde se minimice la dependencia energética de recursos fósiles. Los datos del potencial solar complementan otras investigaciones sobre energías alternativas actualmente desarrollándose en la ciudad y en el estado de Baja California como lo son bio-reactores de metano, sistemas de refrigeración por concentración y desalación de agua de mar. Los resultados del estudio muestran que los sensores de radiación solar presentan diferencias importantes que requieren un estudio más profundo.

7. REFERENCIAS

- ARIZONA WESTERN COLLEGE, MAIN CAMPUS (2010). http://www.azwestern.edu/news/article_view.html?article_id=1625.
- BADARINATH, K.V.S., BISWADIP G. and DUTT C.B.S. (2002). *Urban environmental monitoring using satellite data*. <http://www.commonwealthknowledge.net/MetCD/Chapter3/C3P08.htm>.

- CASILLAS H. A. (2009). *Climatología de la isla urbana de calor en Mexicali, B.C., y su relación con el uso del suelo*. Tesis de Maestría en Ciencias, Instituto de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California.
- CONAPO, 2004. Consejo Nacional de Población. Secretaría de Gobernación, México. Intervención del Dr. Rodolfo Tuiran Secretario General de CONAPO en la presentación del Programa Operativo de Población 2000 y la Actualización del Programa Estatal de Población 1996-2001, Mexicali, B.C.
- GARCÍA CODRON J.C., DIEGO L. C., FDEZ. DE ARRÓYABE H. P., GARMENDIA P. C., RASILLA A. D. (2004). *El Clima entre el Mar y la Montaña*. Asociación Española de Climatología y Universidad De Cantabria, Serie A, No. 4, Santander.
- GARCÍA CUETO O.R., TEJEDA M. A., JÁUREGUI O. E. (2009). *Heat waves and heat days in an arid city in the northwest of México: current trend and in climate change scenarios*. International Journal Biometeorol, DOI 10.1007/s00484-009-0283-7. Published online.
- GARCÍA CUETO O.R., JÁUREGUI O.E., TOUDERT D. and TEJEDA M.A. (2007). *Detection of the urban heat island in Mexicali, B.C., Mexico and its relationship with land use*. ATMOSFERA 20(2), pp. 111-131.
- GIORGI F, MELEUX F. (2007). *Modeling the regional effects of climate on air quality*. Elsevier, ScienceDirect, C. R. Geoscience 339, pp. 721-733.
- OKE T.R. (1987). *Boundary Layer Climates*. Routledge, pp. 435.
- OKE, T.R., SPRONKEN-SMITH R.A., JÁUREGUI E., GRIMMOND C.S.B. (1999). *The energy balance of central Mexico City during the dry season*. Atmospheric Environment 33, pp. 3919-3930.
- ROTH, T.M. and OKE T.R.. (1989). *Satellite derived Urban Heat Islands from three coastal cities and the utilization of such data in Urban Climatology*. Intl. Journal of Remote Sensing, 10, pp. 1699-1720.