

BALANCE RADIATIVO Y SUS CONSECUENCIAS EN EL COMPORTAMIENTO TÉRMICO EN TIRADEROS MUNICIPALES: ESTUDIO DE CASO EN LA CIUDAD DE MEXICALI, B.C., MÉXICO

Rafael GARCÍA CUETO*, Néstor SANTILLÁN SOTO y Sara OJEDA-BENÍTEZ

Instituto de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California. Blvd. Benito Juárez y Calle de la Normal s/n Col. Insurgentes Este, C.P. 21280

*Autor responsable; rafaelcueto@uabc.edu.mx

(Recibido agosto 2011, aceptado noviembre 2011)

Palabras clave: residuos sólidos, bioclima, radiación neta, albedo, temperatura del suelo, imágenes térmicas, transectos térmicos

RESUMEN

El clima de cualquier región es afectado por influencia antrópica cuando se cambia el uso de suelo nativo, como por ejemplo, cuando se establecen tiraderos de basura en las periferias de las ciudades. La respuesta térmica de esta modificación es el resultado de la composición de suelo heterogéneo del sitio que se integra a los procesos de la atmósfera baja al interactuar con el ambiente. Como resultado se promueven la generación de microclimas, no siempre deseables, dentro de la región. En esta investigación se presenta un análisis de las componentes radiativas superficiales y temperaturas del suelo sobre una cobertura de residuos sólidos municipales situado en las afueras de la ciudad de Mexicali, B.C., México. Se realizan mediciones con instrumentación que usualmente se utilizan para evaluar balance energético en la atmósfera baja, complementada con mediciones de temperatura de suelo realizadas con una cámara de imágenes en infrarrojo siguiendo transectos determinados previamente. Las campañas de medición se llevaron a cabo durante un horario matutino con el fin de obtener el comportamiento sin ganancia solar y en las primeras horas del mediodía cuando se tiene la máxima ganancia solar. La radiación neta, el albedo y la temperatura del suelo en el basurero se comparan con los obtenidos del suelo circundante sin perturbación por el basurero encontrándose diferencias importantes, las cuales pueden ser atribuidas al cambio local en el uso del suelo, las propiedades biofísicas de los materiales y el poder calorífico de los residuos depositados en el vertedero. Se discuten las afectaciones potenciales del bioclima en las comunidades circundantes.

Key words: solid waste, bioclimate, net radiation, albedo, soil temperature, thermal images, thermal transects

ABSTRACT

The climate of any place on the Earth can be affected by anthropogenic influence when changing the use of native soil, for example, when establishing dumps on the cities surroundings. The thermal response of this change is result of the composition of heterogeneous soil, which integrates to the processes of lower atmosphere by interacting with the environment. As a result, it promotes the generation of microclimates, not always

desirable, within of a region. This research presents an analysis of surface radiative components and soil temperatures, above of coverage of municipal solid waste on the outskirts of Mexicali City, Mexico. Measurements are performed with instrumentation that is usually used for energy balance in the lower atmosphere, complemented with soil temperature measurements made with a thermal infrared camera along predetermined transects. Surveys were realized during the morning schedule to get the behavior without solar gain, and when it has the maximum solar gain, i.e., in the early hours of noon. Net radiation, albedo and soil temperature are compared and discussed with data obtained from surrounding soil undisturbed by the dump. The results obtained show important differences, which can be attributed to local changes in land use, the biophysical properties of materials, and the calorific power of waste deposited in the dump. A discussion of the potential damages to the bioclimatic conditions of the surrounding communities is addressed

INTRODUCCIÓN

Desde el siglo pasado a la actualidad, la urbanización ha contribuido de manera importante a un gasto considerable de energía y también a un incremento en la generación de desechos, producto de las diversas actividades del hombre. Esto ha ocasionado la alteración del ambiente contaminando suelo, agua y aire, que afecta negativamente a todos los seres vivos. Uno de los problemas ambientales más serios de las ciudades en todo el mundo, es la disposición final de la basura (Ojeda y Beraud 2003), actividad que usualmente se hace en tiraderos a cielo abierto y con una mezcla muy heterogénea de los residuos sólidos (Sha'Ato 2007, Sharholy *et al.* 2007), los cuales están superando la capacidad de asimilación de la Tierra (Marchettini 2007). La disposición de los residuos sólidos urbanos generalmente se encuentra en zonas rurales donde predominan sin alteraciones las condiciones climáticas de la región, pero que pueden ser modificadas al ubicar un tiradero de basura. Este impacto ambiental por cambio de uso de suelo se ha estudiado en los últimos años con un enfoque hacia la ciudad sustentable y se ha documentado que la urbanización induce 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 1999). Las modificaciones a la cobertura del suelo nativo de una región generalmente conducen a un clima térmico modificado, 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 (ICU), que se ha estudiado intensamente en varias ciudades del mundo (Voogt y Oke 2003, Chen *et al.* 2006, Picon

et al. 2009) y que tiene implicaciones prácticas en la conservación de energía y agua, salud humana y confort, dispersión de contaminantes y circulación local del aire (Roth 1989). El concepto de componentes radiativas incluye todas las mediciones que estén relacionadas con la radiación solar, entre ellas, radiación neta, solar global, directa y difusa. En este estudio, se hace un especial énfasis en la propiedad radiativa conocida como albedo, el flujo de radiación neta (RN) y la temperatura del aire (TA). El albedo se define como el cociente de la radiación solar reflejada por las superficies entre la radiación solar incidente y la RN como la diferencia de la radiación solar entrante de onda corta menos la radiación terrestre de onda larga (Peixoto 1993). Sobre superficies como los tiraderos de basura, la respuesta de las propiedades mencionadas debe diferir de las superficies que comúnmente se encuentran en las coberturas urbanas, ya que además de contaminar el suelo, uno de los grandes problemas de los residuos sólidos en la actualidad al llegar al sitio de disposición final, es la composición de los mismos que es usualmente una mezcla no homogénea. Por otra parte, la temperatura de superficie del suelo (TS) es un factor clave en la determinación del intercambio de materia y energía entre la superficie terrestre y la atmósfera. Entre otras cosas, modula la temperatura del aire en la capa más baja de la atmósfera, es crucial en el balance de energía de la atmósfera baja, ayuda a determinar los climas internos de las construcciones y afecta los intercambios de energía que se relacionan con el confort de los sujetos. En estudios relacionados con la medición de TS en áreas relativamente extensas, como ciudades o en terrenos cultivados, generalmente se utilizan bandas espectrales adecuadas, medidas por sensores remotos desde satélites o aviones (Nichol 2005). Este es el caso de las imágenes Landsat, Modis, NOAA-AVHRR, ATLAS,

etc., que son útiles cuando se desea caracterizar superficies relativamente homogéneas, o cuando, si bien las superficies muestran heterogeneidad, se tiene información relativa a la emisividad térmica, albedo, etc., que permiten realizar correcciones a lo estimado por el sensor. En el caso bajo estudio, por la heterogeneidad de los materiales que cubren la superficie del suelo en muy cortas distancias y la falta de información concerniente a las propiedades biofísicas de los materiales, se requirió proponer una metodología sencilla que consistió en realizar mediciones *in situ* de las TS, en recorridos lineales imaginarios, llamados transectos.

La heterogeneidad de los materiales de desecho seguramente afecta la distribución radiativa y térmica, lo que a su vez podría ser un indicativo de modificaciones en otros parámetros climáticos. Es común que en muchas zonas urbanas se acostumbre almacenar temporalmente la basura en terrenos baldíos o en lugares que habitualmente son transitados por personas o algún tipo de fauna doméstica con potenciales daños a la salud. Estas motivaciones impulsaron la actual investigación que consiste básicamente en realizar mediciones y analizar el comportamiento de las variables radiativas, meteorológicas y temperaturas de suelo, modificadas al cambiar una cobertura de suelo natural por la de un tiradero de basura a cielo abierto, lo que podría ocasionar una diferencia sustancial en el bioclima local.

MATERIALES Y MÉTODOS

El sitio donde se realizó este estudio fue el tiradero ubicado en el ejido Hipólito Rentería, situado a 20 km al sur de la zona urbana de Mexicali, B.C. (**Fig. 1**).

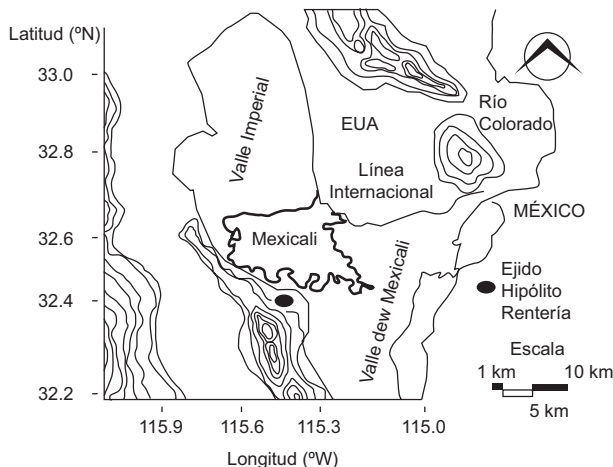


Fig. 1. Ubicación del tiradero a cielo abierto Hipólito Rentería

Durante años este lugar fue el destino de los residuos urbanos y actualmente sólo se utiliza parcialmente ya que se encuentra en etapa de clausura.

Los datos radiométricos, meteorológicos y de temperatura del suelo se obtuvieron con el siguiente equipo:

- Sensor de radiación solar global piranómetro CMP3 (Kipp and Zonen)
- Sensor de radiación solar global piranómetro LI200X (Campbell Scientific)
- Sensor de radiación neta Q-7.1 (Campbell Scientific)
- Sensor de temperatura y humedad relativa HMP45C (Vaisala)
- Equipo de covarianza turbulenta WXT520 (Vaisala)
- Equipo de adquisición de datos CR23X (Campbell Scientific)
- Cámara infrarroja i5 (FLIR Systems)
- Termómetro infrarrojo 403265 (Extech).

Los programas utilizados para la configuración de los sensores con el equipo de adquisición de datos fueron el SCWIN (generador de programas Campbell Scientific) y para el monitoreo y acopio de los datos se utilizó el PC200W (programa de soporte Campbell Scientific). Se programó el registro de datos cada minuto para todas las variables radiométricas y meteorológicas. El área muestreada, considerada como superficie activa de captación por los sensores radiométricos, fue de 113 m², por lo que la muestra representa un área y no mediciones puntuales. Al centro de esta área se ubicaron las estaciones climatológicas y los sensores de radiación, colocándose estos a una altura de 0.6 metros de acuerdo al área de estudio y a 1.2 metros el resto de los sensores, considerando esta altura como la adecuada para medir las variables atmosféricas que determinan el confort térmico. Las campañas de medición se realizaron en dos días representativos de la primavera de 2011; el primer día, el 14 de abril, se efectuó cuando se tiene la máxima ganancia solar, es decir, en las primeras horas después del mediodía (13:45 a 15:35); el segundo día, el 15 de abril en un horario matutino (7:30 a 9:30) con el fin de obtener el comportamiento en las primeras horas de la mañana, lo que permitió contrastar las diferencias en pérdidas radiativas durante el período nocturno; cabe hacer la aclaración que ningún intento se hizo para estimar las pérdidas por efectos convectivos. Para la evaluación comparativa, se hicieron mediciones similares en forma sincronizada en una cobertura homogénea de suelo nativo, a 150 metros de distancia entre uno y otro sitio.

Las mediciones de TS en el sitio con basura se realizaron con la cámara infrarroja cuya resolución de imagen es de 80×80 píxeles; las imágenes infrarrojas instantáneas se almacenan en una tarjeta de memoria mini SD-estándar y se hace la transferencia de archivos vía USB a una computadora. En el suelo sin basura se midió la temperatura con el termómetro infrarrojo 403265. Este termómetro provee medidas de temperatura mediante un puntero láser integral. Su escala de medición es de $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $550\text{ }^{\circ}\text{C}$; su resolución es de $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, y su tiempo de respuesta es de 1 segundo. El factor de emisividad del suelo se consideró de 0.94, por ser seco y de color claro (Oke, 1987). El área seleccionada de medición para las mediciones de temperatura del suelo en ambos lugares, con basura y nativo, fue un cuadrado de $4 \times 4\text{ m}$. Para las mediciones en el sitio con basura, que se hicieron cada 20 min, se diseñaron ocho transectos térmicos, tres en dirección oeste-este (WE1, WE2, WE3) tres en dirección norte-sur (NS1, NS2, NS3), y dos en diagonal, en sentido noroeste-sureste (NW-SE), y en sentido noreste-suroeste (NE-SW). En el sitio sin basura, dada su homogeneidad en las características de la superficie del suelo se realizaron sólo dos transectos, uno en el sentido noroeste-sureste y otro en el sentido noreste-suroeste, efectuándose las mediciones cada 10 minutos con el objetivo de obtener un valor representativo de los periodos de evaluación dado que las intensidades de los vientos estuvieron en la

categoría de débiles a moderados; en una experiencia anterior se había observado que el calor ganado por la superficie del suelo por la radiación solar, se pierde rápidamente en condiciones de vientos de las magnitudes presentes. Una vez obtenidos los datos radiométricos, meteorológicos y de temperaturas de suelo en ambos lugares se procedió a realizar estadística básica y elaboración de gráficas comparativas, mediante el programa Excel.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta sección se presentan, comparan y discuten los resultados de la RN, albedo, TS y TA de las campañas de medición. En la **figura 2** se puede observar que sobre una cobertura con RS la respuesta de la RN es mayor en ambas campañas. Este comportamiento está estrechamente relacionado con los resultados del albedo, ya que éste es mayor sobre el suelo nativo en los periodos matutino y vespertino (**Fig. 2**). Por las características de este suelo los resultados del albedo son mayores ya que es una superficie más reflectora que la cubierta con RS.

Como referencia comparativa de albedos se presenta el **cuadro I**.

Para enlazar los resultados radiométricos con los de TS se tomaron 552 imágenes infrarrojas en el suelo con basura y 300 mediciones con el termómetro IR en el suelo sin basura. Una imagen infrarroja,

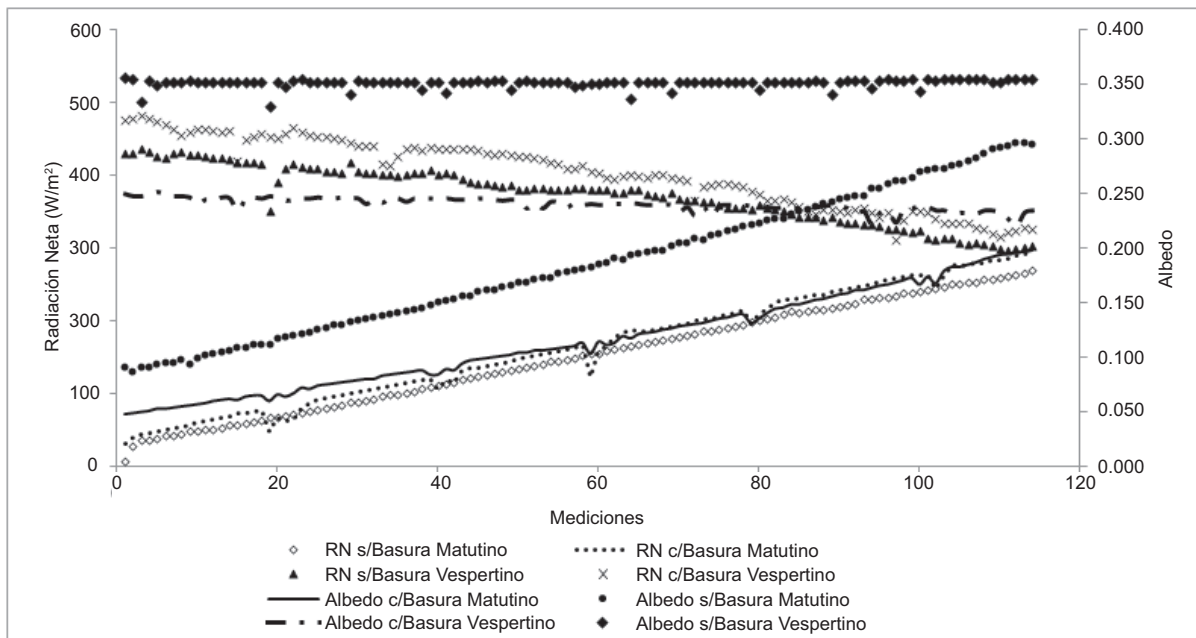


Fig. 2. Radiación neta y albedo

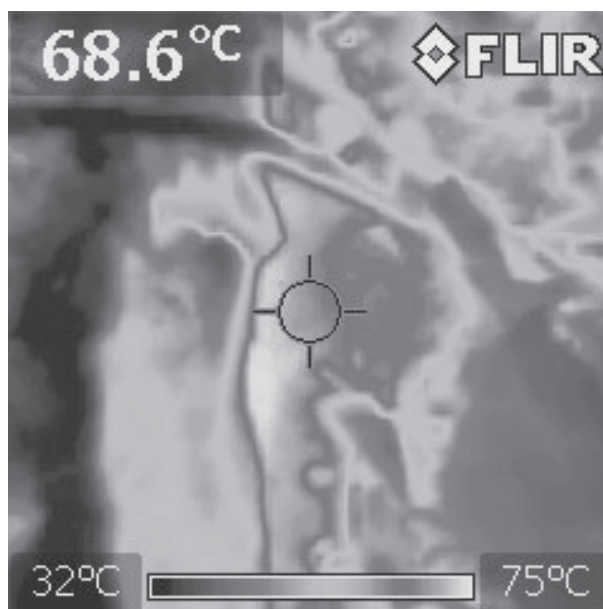
CUADRO I. ALBEDO DE DIFERENTES SUPERFICIES Y MATERIALES (Adaptado de Arnfield 1982 y Oke 1987)

Superficie	Propiedades	Albedo
Suelo	Húmedo, oscuro-Seco, claro	0.05-0.40
Desierto	---	0.20-0.45
Hierba	Larga (1.0 m)-Corta (0.02 m)	0.16-0.26
Agua	Ángulo cenital pequeño	0.03-0.10
	Ángulo cenital grande	0.10-1.00
Nieve	Vieja-Fresca	0.40-0.95
Plástico negro	---	0.08
Papel	---	0.42
Heno	---	0.22
Carretera	Asfalto	0.05-0.20
Paredes	Concreto	0.10-0.35
	Ladrillo	0.20-0.40
	Piedra	0.20-0.35
Techos	Alquitrán y grava	0.08-0.18
	Teja	0.10-0.35
	Pizarra	0.10
	Paja	0.15-0.20
	Hierro corrugado	0.10-0.16
Ventanas vidrio claro	Ángulo cenital < 40°	0.08
	Ángulo cenital 40° a 80°	0.09-0.52
Pintura	Blanca, enyesada	0.50-0.90
	Rojo, gris, verde	0.20-0.35
Áreas urbanas	Rango	0.10-0.27
	Promedio	0.15

ejemplo característico del lugar con residuos sólidos se presenta en la **figura 3**; la temperatura de 68.6 °C, mostrada en la esquina superior izquierda es el valor registrado en el círculo central de la misma figura. En ella se puede observar la amplia variabilidad térmica (la escala en la parte inferior de la figura), que en este caso es de 43 °C, producto de la heterogeneidad de los materiales de desecho, (**Fig. 4**).

El comportamiento de las TS en todos los transectos muestra una gran variabilidad, (**Fig. 5**).

Una comparación de las TS con basura, respecto a las TS sin basura se muestra en la **figura 6**. De aquí se destaca que: 1) la variabilidad térmica en un suelo sin basura es mucho menor y 2) el comportamiento temporal de las temperaturas del suelo parece seguir el ángulo de inclinación del sol (obsérvese la **figura 6** al inicio de las mediciones y al final de ellas), ya que en esta época del año por la latitud a la que se encuentra

**Fig. 3.** Imagen infrarroja del lugar con basura**Fig. 4.** Asociación de basura a temperaturas mostradas en la **figura 3**.

Mexicali (32°27') el sol se inclina rápidamente en el horizonte.

En el **cuadro II** se presenta un resumen de los estadísticos básicos de TS de la campaña vespertina del 14 de abril de 2011.

El valor más alto de TS que se registró fue de 68.6 °C y el más bajo de 30.9 °C. La desviación estándar presenta valores altos, lo cual puede deberse a que la imagen térmica no fue tomada siempre en el mismo punto, y dada la diversidad de residuos que había en el suelo, un ligero desplazamiento entre las imágenes tomadas da una lectura sensiblemente diferente, dependiendo del material captado por la cámara. El comportamiento de las temperaturas promedio de suelo con basura se presenta en la **figura 7**. Se observa una amplia variación diurna. Un análisis

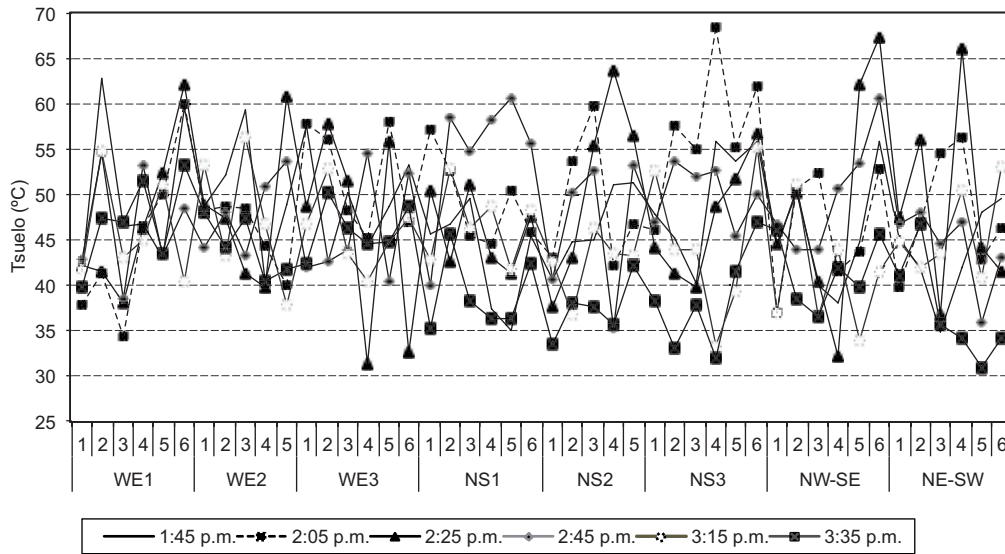


Fig. 5. Comportamiento de temperaturas de suelo con basura, 14-abril-2011 (1:45pm-3:35pm)

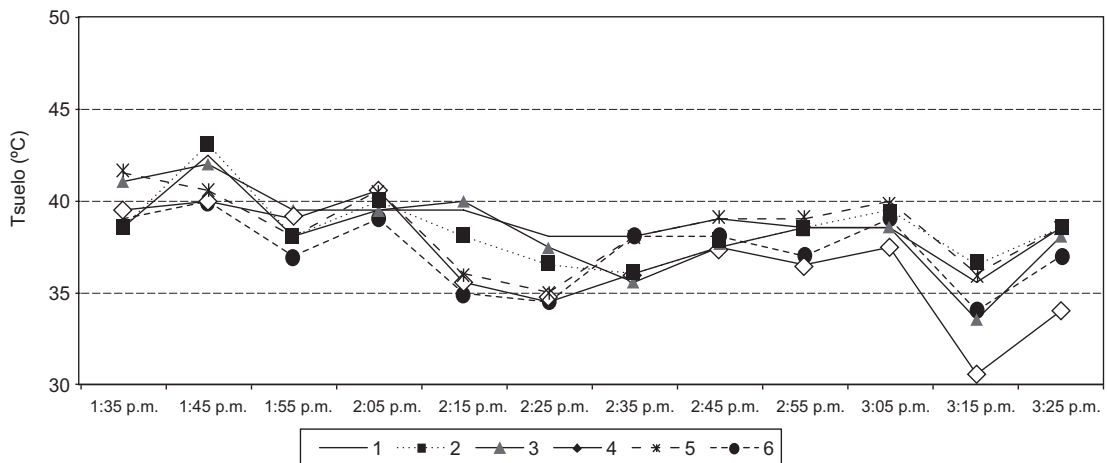


Fig. 6. Comportamiento de temperaturas de suelo sin basura, 14-abril-2011 (1:35pm-3:25pm)

CUADRO II. ESTADÍSTICAS BÁSICAS DE TEMPERATURAS DEL SUELO EN BASURERO, 14-ABRIL-2011, 1:45PM-3:35PM

Variable (°C)	Simbología	1:45	2:05	2:25	2:45	3:15	3:35
Temperatura máxima	TMAX	62.7	68.6	67.3	60.6	56.2	53.2
Temperatura media	TMED	47.2	49.1	47.8	48.2	44.9	41.3
Temperatura mínima	TMIN	34.8	34.2	31.2	35.1	33.3	30.9
Desviación estándar	DESVEST	6.5	7.3	9.1	6.3	5.7	5.5

comparativo con el lugar sin basura indica que, tanto en las condiciones matutinas como vespertinas, los valores medios son más altos en el lugar con basura. Este resultado no es inesperado, dado que el suelo desnudo de los alrededores del basurero debe tener

una capacidad calorífica más baja que el lugar con basura.

Otros factores que pueden contribuir a esta diferencia son la emisividad térmica, el albedo y otros a microescala como la conducción térmica y el ángulo

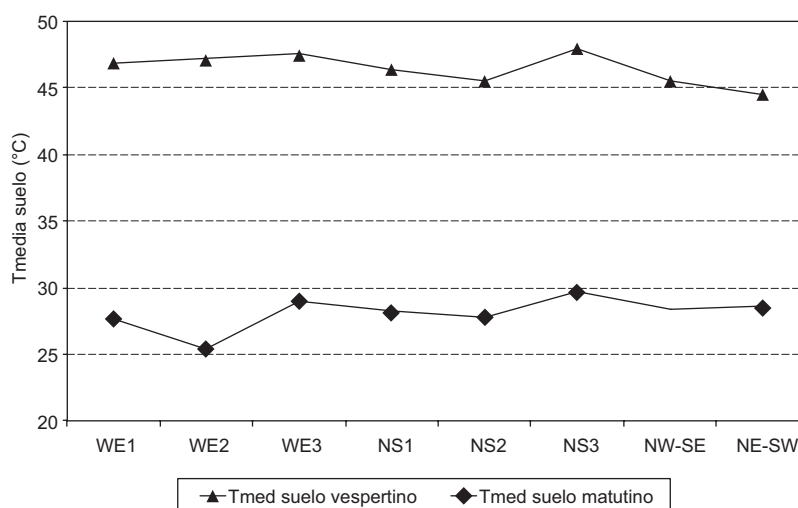


Fig. 7. Comportamiento de temperaturas del suelo con basura, 14-15 de abril de 2011

CUADRO III. COMPARACIÓN DE TEMPERATURAS PROMEDIO (°C) DE SUELO CON BASURA (scb) Y SUELO SIN BASURA (ssb)

Período	TMAX (scb)	TMAX (ssb)	TMED (scb)	TMED (ssb)	TMIN (scb)	TMIN (ssb)	DESVEST (scb)	DESVEST (ssb)
Matutino	36.3	22.8	28.1	21.5	21.6	20.0	5.5	0.4
Vespertino	55.5	40.3	46.4	38.1	38.2	31.3	6.5	0.5

con que los rayos solares inciden en cada material de desecho. La superficie activa, que se usa en estudios de clima urbano para explicar los balances de energía (Grimmond y Souch 1994), se puede usar aquí también para explicar las diferencias en las temperaturas del suelo. Para esta superficie, la homogeneidad o heterogeneidad, en cuanto a las temperaturas medidas podría ser vista en función de la desviación estándar: un valor pequeño indicaría una superficie activa homogénea, mientras que un valor alto daría la idea de una superficie activa heterogénea. En el **cuadro III** se muestran los valores promedio de temperatura del suelo y las desviaciones estándar promedio de cada período de medición para ambos lugares.

En el **cuadro IV** se presentan los valores extremos de TS para los sitios de suelo con y sin basura.

Como referencia al confort térmico, la **figura 8** muestra que los promedios de TA de la superficie con basura prevalecen por encima de las del suelo sin basura, de igual forma este comportamiento se presenta en ambas campañas. Este incremento de las temperaturas es reflejo de la ganancia térmica que genera el basurero, ya que los resultados de las variables radiométricas indican que absorbe más energía solar y refleja menos respecto a la superficie sin perturbación. El transporte advectivo de esta energía hacia comunidades vecinas que por

supuesto necesitaría ser cuantificado, podría tener repercusiones negativas.

En el **cuadro V** se presentan los promedios generales de las propiedades analizadas, predominando los valores más altos de RN y TA y los de menor

CUADRO IV. VALORES EXTREMOS DE TEMPERATURA (°C) DE SUELO CON BASURA (scb) Y SUELO SIN BASURA (ssb)

Período	TMAX (scb)	TMAX (ssb)	TMIN (scb)	TMIN (ssb)
Matutino	52.8	28.5	16.0	16.0
Vespertino	68.4	44.5	42.8	30.5

albedo sobre las coberturas con residuos.

Se aplicó la prueba de diferencia de medias, suponiendo que las muestras obtenidas en cada lugar de medición son aleatorias, normales e independientes. Dado que cada muestra tiene un número de mediciones mayor de 100 se aplicó la prueba Z con un nivel de significancia $\alpha = 0.05$, así que $Z_{(0.05)} = 1.645$. Con cada conjunto de mediciones de RN, TA y albedo se realizó el cálculo de la media y la desviación estándar, con las que fue posible estimar el estadístico Z_0 que se presenta en el **cuadro VI**.

Los resultados obtenidos en el **cuadro VI** indican

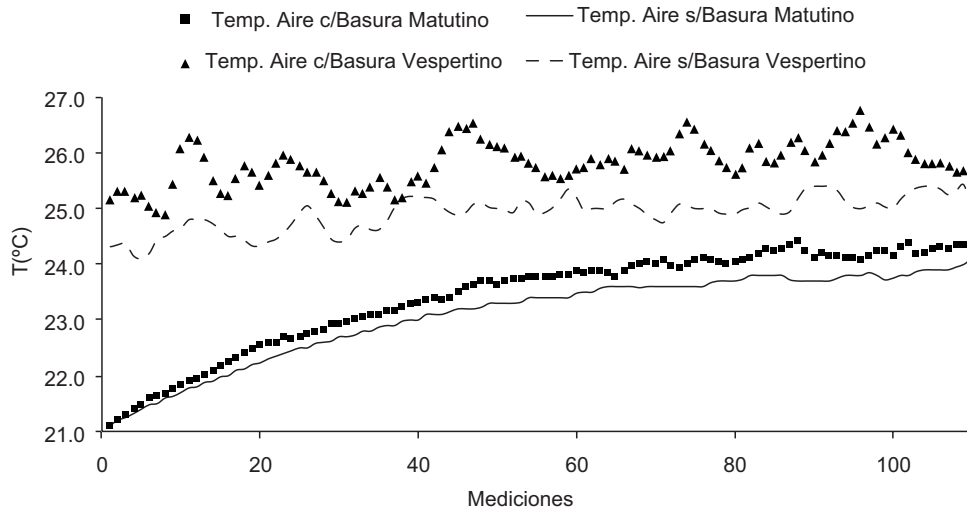


Fig. 8. Temperatura del aire

CUADRO V. PROMEDIOS DE LAS PROPIEDADES RADIA-TIVAS Y CLIMATOLÓGICAS

Nombre de la variable	Sin basura	Con basura
Radiación neta matutina (W/m ²)	153.93	166.94
Radiación neta vespertina (W/m ²)	374.49	404.19
Albedo matutino (adimensional)	0.185	0.116
Albedo vespertino (adimensional)	0.352	0.241
Temperatura del aire matutina (°C)	23.15	23.47
Temperatura del aire vespertina (°C)	24.91	25.81

que, a excepción de la RN en las mediciones matutinas, todas reportan una diferencia en las medias estadísticamente significativas, debido presumiblemente a que las coberturas de suelo son distintos.

Las tendencias y los datos antes mencionados muestran que un tiradero como el analizado en este estudio puede ser comparado con el fenómeno de la

CUADRO VI. VALORES DE Z₀ PARA RN, TA Y ALBEDO EN LOS TURNOS MATUTINO Y VESPERTINO

Campaña	RN	TA	Albedo
Matutino	1.34	2.68	10.12
Vespertino	5.34	18.87	167.37

ICU, generada por los cambios de uso de suelo que sufre una ciudad como parte de su desarrollo, pero dentro de la zona rural. Las implicaciones de este fenómeno son muy demandantes hacia el ambiente, ya que, independientemente de que los tiraderos de basura contribuyan al calentamiento global por la emisión de gases de efecto invernadero, el grado de confort de las comunidades vecinas al basurero

pueden percibir la ganancia térmica y aumentar el consumo energético lo cual impactaría en más producción de gases de efecto invernadero (GEI) dependiendo del combustible para su generación. Otro aspecto que no se debe pasar por alto es que en esta investigación se aborda el problema en un tiradero autorizado. Las comunidades que pueden ser afectadas en México y en el mundo, difícilmente pueden ser cuantificadas y más aún estimar las toneladas de GEI producidas para mitigar el incremento en la percepción térmica generada por las superficies cubiertas con RS. Esta metodología ha tenido éxito en la climatología urbana. Como no hay otro estudio similar no es posible realizar una comparación de estos resultados con otros lugares. Sin embargo es una opción que debe quedar abierta para su aplicación.

CONCLUSIONES

1. Se muestran diferencias importantes en la radiación neta, el albedo y la temperatura del suelo, al comparar mediciones realizadas en un tiradero a cielo abierto y en un suelo sin basura.
2. La diferencia térmica de temperatura del suelo en el tiradero a cielo abierto y del suelo sin basura puede ser hasta de 20 °C, lo que además de impactar al bioclima local, puede originar una circulación de viento con la posible consecuencia de acarreo de sustancias peligrosas y olores no deseables a la población cercana.
3. Las diferencias encontradas pueden ser explicadas en función de la desigual capacidad calorífica del suelo sin basura y de los materiales de desecho,

y de algunas otras propiedades biofísicas como el albedo (o múltiples albedos), emisividad térmica, conductividad térmica y almacenamiento de calor.

4. La metodología y el equipo utilizados en los estudios de clima urbano han mostrado su utilidad en una cobertura de residuos sólidos.

5. Es necesario replicar las mediciones realizadas en diferentes estaciones del año y en ciclos diarios.

REFERENCIAS

- Arnfield E.J. (1982). An approach to the estimation of the surface radiative properties and radiation budgets of cities. *Phys. Geog.* 3, 97-122.
- Chen X.L., Zhao H.M., Li P.X. y Yin Z.Y. (2006). Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes. *Rem. Sens. Environ.* 4, 133-146.
- Grimmond C.S.B y Souch C. (1994). Surface description for urban climate studies: a GIS based methodology. *Geocarto Int.* 1, 47-59.
- Marchettini N. (2007). An environmental analysis for comparing waste management options and strategies. *Waste Manage.* 27, 562-571.
- Nichol J. (2005). Remote sensing of urban heat islands by day and night. *photogramm. Eng. Rem. Sens.* 71, 613-621.
- Ojeda B.S. y Beraud L.J.L (2003). The municipal solid waste cycle in Mexico: final disposal. *Resour. Conserv. Recy.* 39, 239-250.
- Oke T.R. (1987). *Boundary layer climates*. 2a. Ed. Routledge. Nueva York, 435 pp.
- Oke T.R. (1999). The energy balance of central Mexico City during the dry season. *Atmos. Environ.* 33, 3919-3930.
- Peixoto J.P. y Oort A.H. (1993). *Physics of climate*. 3a. Ed. American Institute of Physics. Nueva York, 520 pp.
- Picón A., Vázquez R., González J., Luvall J. y Rickman D. (2009). Use of remote sensing observations to study the urban climate on tropical coastal cities. *Rev. Umbral* 1, 218-232.
- Roth T.M. (1989). Satellite derived Urban Heat Islands from three coastal cities and the utilization of such data in urban climatology. *Intl. Jour. Rem. Sen.* 10, 1699-1720.
- Sha'Ato R. (2007). Survey of solid waste generation y composition in a rapidly growing urban area in Central Nigeria. *Waste Manage.* 27,352-358.
- Sharholy M., Ahmad K., Basilla R.C. y Gupta R.D. (2007). Municipal solid waste characteristics and management in Allahabad, India. *Res. Cons. Recyc.* 27, 490-496.
- Voogt J.A. y Oke T.R. (2003). Thermal remote sensing of urban climates. *Rem. Sens. Environ.* 86, 370-384.