


## Estimación de emisión de metano (CH<sub>4</sub>) en el relleno sanitario Presidente por medio de imágenes satelitales

### Estimation of methane emission (CH<sub>4</sub>) in the Presidente landfill through satellite images

Dahiana Tello Lozada<sup>1</sup>, Karen Tatiana Peña Choco<sup>2</sup>, & Francisco Luis Hernández Torres<sup>3</sup> 

**Para citar este artículo:** Tello, D., Peña, K., Hernández, F. (2020). Estimación de emisión de metano (CH<sub>4</sub>) en el relleno sanitario Presidente por medio de imágenes satelitales. Revista de Topografía Azimut, (11), pp: 11-17

Fecha de Recepción: 12 de marzo de 2019

Fecha de Aceptación: 4 de diciembre de 2019

#### Resumen

Los rellenos sanitarios (RS) son una de las mayores fuentes antropogénicas de gas metano (CH<sub>4</sub>), un gas de efecto invernadero (GEI) con larga vida y una capacidad de retención de calor mayor a la del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Los RS, por ser sistemas de disposición final para residuos sólidos, son de gran importancia en la cadena de generación de gases y requieren ser analizados de forma individual. El relleno sanitario Presidente (RSP) se encuentra en el departamento del Valle del Cauca y tiene una extensión de 21.35 ha, cumplió su vida útil en diciembre de 2015, por lo que actualmente brinda servicio de depósito de desechos domiciliarios e industriales a dieciocho municipios del Valle del Cauca, y dadas sus características de operación se debe evaluar la producción de GEI. Para este estudio se seleccionaron imágenes satelitales del sensor ETM+ a bordo del satélite Landsat 7 y del sensor OLI a bordo del satélite Landsat 8; se aplicó un modelo empírico de estimación de metano, el cual relaciona un modelo basado en las bandas térmicas para calcular el factor temperatura a través de la temperatura superficial terrestre (TLS) y los flujos temporales por chimenea de metano determinados directamente por tomas de monitoreo en campo. El conjunto de datos

de las imágenes satelitales permitió estimar la TLS que, combinada con las concentraciones de metano tomadas en campo de las chimeneas entre 2014-2015, posibilitaron la determinación de la variabilidad temporal de la emisión del gas.

**Palabras clave:** emisión de metano, Landsat, sensores remotos, temperatura superficial.

#### Abstract

Landfills (RS's) are one of the largest anthropogenic sources of methane gas (CH<sub>4</sub>), a long-lived greenhouse gas (GHG) with a heat retention capacity greater than that of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>). The RSs, because they are final disposal systems for solid waste, are of great importance in the gas generation chain and need to be analyzed individually. The Presidential Sanitary Landfill (RSP) is located in the Department of Valle del Cauca and has an extension of 21.35 ha. It has reached its useful life in December 2015. Currently, it provides residential and industrial waste deposit service to 18 municipalities in the Valle del Cauca and given its operating characteristics, the GHG production must be evaluated. For this study, satellite images of the ETM + sensor were selected on board the Landsat 7 satellite and

<sup>1</sup>Ingeniera Topográfica, Universidad del Valle. Grupo de Investigación en Percepción Remota GIPER. Correo electrónico: dahiana.tello@correounivalle.edu.co

<sup>2</sup>Ingeniera Topográfica, Universidad del Valle. Grupo de Investigación en Percepción Remota GIPER. Correo electrónico: karen.pena@correounivalle.edu.co

<sup>3</sup>Magíster en Ingeniería, Universidad del Valle. Grupo de Investigación en Percepción Remota GIPER. Correo electrónico: francisco.hernandez@correounivalle.edu.co

the OLI sensor on board the Landsat 8 satellite. An empirical model of methane estimation was applied, which relates a model based on the thermal bands to calculate the factor temperature through the terrestrial surface temperature (TLS) and the temporary flows by methane chimney determined directly by field monitoring shots. The data set of the satellite images allowed us

to estimate the TLS which, combined with the methane concentrations taken in the field of the chimneys in the years 2014-2015, made it possible to determine the temporal variability of the gas emission.

**Keywords:** Landsat, methane emission, surface temperature, remote sensing.

## INTRODUCCIÓN

En el último siglo las emisiones de metano han incrementado por el alto nivel de las emisiones antropogénicas, modificando el proceso natural del efecto invernadero que permite la vida en la tierra al retener el calor de la energía solar dentro de ella, logrando que el calentamiento global pueda darse al ser una fase natural (Whitmarsh, Seyfang y O'Neill, 2011); por medio de tratados como como el protocolo de Kioto, se ha concluido que resulta importante y necesario de identificar todas las fuentes que generan gases de efecto invernadero (CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, etc.) y cuantificar las emisiones de estos gases con el fin de intervenir en los impactos generados. Los vertederos de basura como el caso de los rellenos sanitarios (RS) se han incluido en aportadores de gas de efecto invernadero (GEI), en especial el gas metano; estos grandes depósitos de basura pueden generar gases después de cinco años de funcionamiento y seguir haciéndolo luego de ser sellados (Camargo y Vélez, 2009).

Börjesson *et al.*, (2016) identificaron las técnicas, métodos y modelos para medir la cantidad de emisiones que se producen en fuentes naturales y antropogénicas, entre las cuales destacan los modelos estáticos cinéticos de primer orden; en estos se considera que los residuos depositados en un año se convierten potencialmente en biogás y que el metano producido se emite el mismo año. En los modelos cinéticos de primer orden se supone que la producción de gas es proporcional a la degradación de materia orgánica. Para

el caso de los RS, se aplica el modelo cinético de primer orden como LandGEM, MicroGEN-MGM (Camargo y Vélez, 2009).

Takeuchi, Tamura y Yasuoka (2003) utilizaron datos obtenidos a través del sensor NOAA AVHRR para estimar las emisiones terrestres de metano; Akumu *et al.*, (2010) estimaron la cantidad de emisiones de metano de los humedales costeros en el noreste de Nueva Gales del Sur, Australia, utilizando Landsat ETM+ y considerando el aumento de la temperatura; Agarwal y Garg (2009) desarrollaron un modelo semiautomático de emisión de metano empírico (SEMEM) para estimar el metano de los humedales, utilizando los datos del sensor MODIS (siglas del inglés *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*); finalmente, Cortez (2013) integró imágenes del sensor ETM+ y MODIS, con el fin de aplicar el modelo empírico de estimación de CH<sub>4</sub>.

En este proyecto se aplica el modelo empírico desarrollado por Agarwal y Garg (2009) para evaluar las emisiones de metano a partir de imágenes de satélite provenientes de los sensores ETM+ y TIRS a bordo de los satélites Landsat 7 y Landsat 8, respectivamente.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El relleno sanitario Presidente (RSP) está ubicado en el corregimiento de Presidente, municipio de San Pedro, Valle del Cauca, funciona desde 1998 y ocupa actualmente una extensión de 19.8 ha, recibiendo diariamente

570 toneladas de residuos domiciliarios que le aportan varios municipios del Valle del Cauca y empresas del sector; la vida útil del vertedero es de diecisiete años, los cuales se cumplieron en 2015. Para realizar la aplicación del modelo empírico de estimación de CH<sub>4</sub> se usaron dos imágenes satelitales Landsat 7 del sensor ETM+ para el 17 de febrero de 2014 y 3 de enero de 2015, también de Landsat 8 del sensor TIRS para el 17 de febrero de 2014<sup>4</sup>. Los datos de validación de temperatura fueron obtenidos del informe Estudio de Niveles de Inmisión para PM<sub>10</sub> y PST, punto 1-Relleno (Interno) realizado por BugASEO para 2014 y 2015, estos correspondieron principalmente a las mediciones de biogás en diez chimeneas de 57 del vaso 1, así como datos de precipitación y humedad relativa medidos en la zona. Los datos de CH<sub>4</sub> suministrados en el estudio de inmisión para PM<sub>10</sub> y PST se encontraban en partes por millón, así que, para ser trabajados en esta investigación, se hizo la conversión a gramo/m<sup>3</sup>.

También es importante conocer las condiciones meteorológicas de la zona como temperatura, humedad, precipitación acumulada, entre otras, ya que estos factores condicionan el comportamiento de la temperatura; por lo tanto, se solicitó información meteorológica a entidades como la CVC (Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca) y el IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales). Las estaciones meteorológicas fueron elegidas de acuerdo con la proximidad del RSP y la disposición de los datos; así, se trabajó con la media anual obtenida de estos datos para los años de estudio, además, se delimitó la zona de estudio (vaso 1) en las imágenes de satélite por medio de un archivo en formato .shp obtenido del plano topográfico del RS brindado por la empresa Proactiva Colombia (2011).

Se realizó también la corrección atmosférica aplicando el método *Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Hypercubes* (FLAASH), usando el *software* ENVI 5.3 (Aguilar *et al.* 2015). Para el cálculo de los valores de radiancia se usó el modelo presentado por Sekertekin *et al.*, (2015).

$$L\lambda = \left( \frac{LMAX - LMIN}{QCALmax - QCALmin} \right) * (QCAL - QCALmin + LMIN) \quad (1)$$

Donde  $L\lambda$  es la radiancia espectral en la abertura del sensor en vatios/(m<sup>2</sup> \*ster\*micras);  $Lmax\lambda$  el resplandor espectral a escala en QCALmax en vatios/(m<sup>2</sup> \*ster\*micras);  $Lmin\lambda$  el resplandor espectral reducido a QCALmin en vatios/(m<sup>2</sup> \*ster\*micras);  $QCAL$  el valor del píxel en números digitales;  $QCALmin$  el valor de píxel calibrado mínimo cuantificado = 1 y  $QCALmax$  el valor de píxel máximo = 255.

Para convertir los valores de radiancia de las bandas ópticas a valores de reflectancia se utilizó la ecuación propuesta por Sekertekin *et al.*, (2015).

$$\rho_p = \frac{\pi x L\lambda d^2}{ESUN\lambda \cos \theta_s} \quad (2)$$

Donde  $L\lambda$  es radiancia espectral en la abertura del sensor;  $d$  es la distancia Tierra-sol en unidades astronómicas;  $ESUN\lambda$  es irradiancia solar exoatmosférica solar media y  $\theta_s$  es ángulo cenital solar en grados.

Considerado la dinámica de retener el calor de la radiación solar que genera los cambios de la temperatura en la tierra por la concentración de gases como el de caso de estudio (CH<sub>4</sub>), la estimación de los cambios de temperatura en una zona identificada es un método que permite cuantificar los niveles de gases efecto invernadero. Para el caso de las imágenes espaciales, hay que llevar los valores

<sup>4</sup>Las imágenes satelitales fueron obtenidas de <https://earthexplorer.usgs.gov>

de número digitales a radiancia para eliminar la temperatura de brillo generada por el sensor y obtener los valores de temperatura en grados Celsius o Kelvin (Agarwal y Garg, 2009).

$$TLS = \frac{C_2}{\lambda \left( \log \left\{ \frac{\epsilon C_1}{R \lambda^5} + 1 \right\} \right)} \quad (3)$$

Donde  $C_1$  es la constante resultante de la operación  $2\pi h c_2 = 3,74183 \times 10^{-6} w m^2$ ;  $C_2$  es una constante que equivale a  $1,4388 \times 10^{-2}$ ;  $\epsilon$  es la emisividad;  $\lambda$  es la longitud de la onda y  $R$  es la radiancia.

La emisividad se calcula por medio de la siguiente ecuación (Roşca *et al.*, 2017).

$$\epsilon = 0,985 * P\nu + 0,96 * (1 - P\nu) \quad (4)$$

Donde  $P\nu$  es el escalonamiento del índice de vegetación de diferencia normalizado NDVI para reducir la incertidumbre, que se obtiene según Roşca *et al.*, (2016) con:

$$NDVI = \frac{\rho_{IRC} - \rho_R}{\rho_{IRC} + \rho_R} \quad (5)$$

Donde  $\rho_{IRC}$  es la reflectancia en el infrarrojo cercano y  $\rho_R$  es la reflectancia en el rojo.

El cálculo del escalonamiento del índice de vegetación ( $P\nu$ ) se realizó a partir de Roşca *et al.*, (2016).

$$P\nu = \frac{(NDVI - NDVI_{min})^2}{(NDVI_{max} - NDVI_{min})^2} \quad (6)$$

Se aplicó el modelo empírico de estimación de CH<sub>4</sub> propuesto por Cortez (2013), y Agarwal y Garg (2009).

$$E_{CH_4} = E_{obs} * F_t * A \quad (7)$$

Donde  $E_{CH_4}$  es el valor de CH<sub>4</sub> estimado globalmente;  $F_t$  es el factor de temperatura (adimensional);  $E_t$  es el flujo de CH<sub>4</sub>

observado (kg) (tiempo);  $A$  es el área de la zona de estudio.

El factor de temperatura se calcula a partir de la temperatura superficial terrestre por medio de la ecuación (8).

$$F(T_s) = \frac{e^{0,334(TLS-23)}}{1} + e^{0,334(T_s-23)} \quad (8)$$

Donde  $e$  es el valor de Euler = 2.71828182845

## RESULTADOS

En la Figura 1 se presenta la estimación de las emisiones de metano (CH<sub>4</sub>), realizadas a partir de imágenes de satélite de los sensores de Landsat 7 (ETM+) y Landsat 8 (TIR) para el año 2014, y se comparan con los observados en las chimeneas del RSP; de manera general, se observa que el metano estimado a partir de las imágenes de satélite supera los valores medidos en campo excepto en las chimeneas ocho y dieciséis para los datos obtenidos con el sensor TIR 10 del satélite Landsat 8. Sin embargo, se debe destacar que los datos de metano estimados a partir de las imágenes de satélite de los sensores ETM+ y TIR de los satélites Landsat 7 y 8, respectivamente, son consistentes entre sí y guardan un comportamiento similar.

Se observa que en las chimeneas 1 y 12 se obtienen los mayores valores de estimación del metano y en las chimeneas 8 y 14 los menores valores. En la chimenea 8 existe una mayor concordancia entre los valores de metano obtenidos en campo y los estimados con imágenes de satélite para ambos sensores; los valores de metano estimados a partir de las bandas 6.1 y 6.2 del sensor ETM+ son iguales, lo que se explica por qué estas bandas capturan información de un mismo sector del espectro electromagnético, solo que con alta y baja ganancia respectivamente. Los valores de metano estimados a partir de las bandas

10 y 11 del sensor TIR del satélite Landsat 8 solo son similares en las chimeneas 4 y 14, con mayores diferencias en las chimeneas 10, 18 y 20. En el caso de los valores de metano estimados con el satélite Landsat 8 se explica porque el sensor TIR captura diferentes regiones del espectro electromagnético en las bandas 10 y 11.

En la Figura 2 se presenta la estimación de las emisiones de metano (CH<sub>4</sub>) realizadas a

partir de imágenes de satélite de los sensores de Landsat 7 (ETM+) para 2015, al tiempo que se comparan con los observados en las chimeneas del RSP. Al igual que en el 2014, las estimaciones de metano por medio de imágenes de satélite se encuentran por encima de los valores observados en campo, con excepción de la chimenea 8. Como se explicó anteriormente, los datos de metano estimados a partir de las bandas 6.1 y 6.2 del sensor ETM+ del satélite Landsat 7 son iguales.

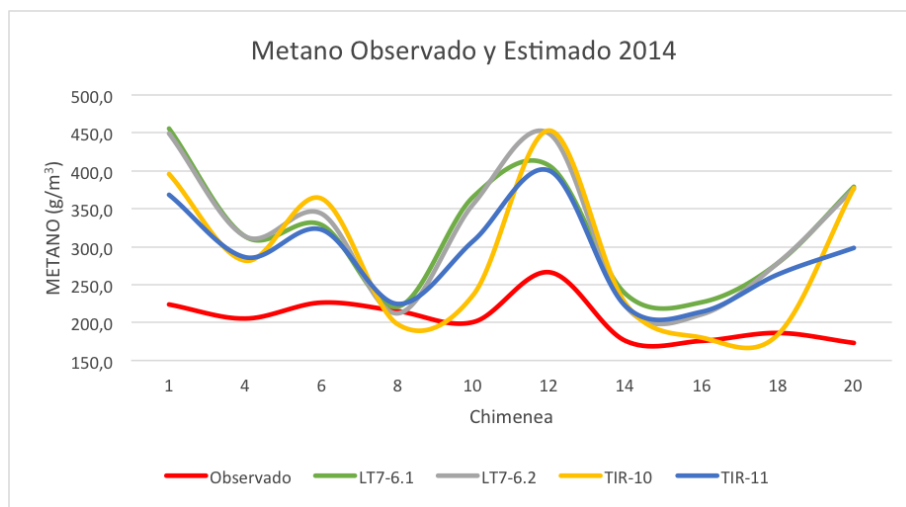


Figura 1: Relación del metano observado y estimado para 2014.

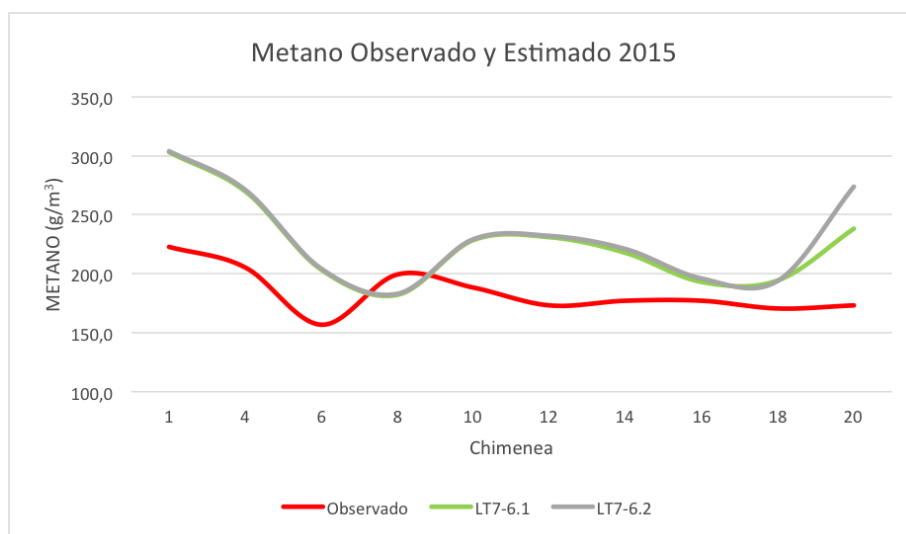
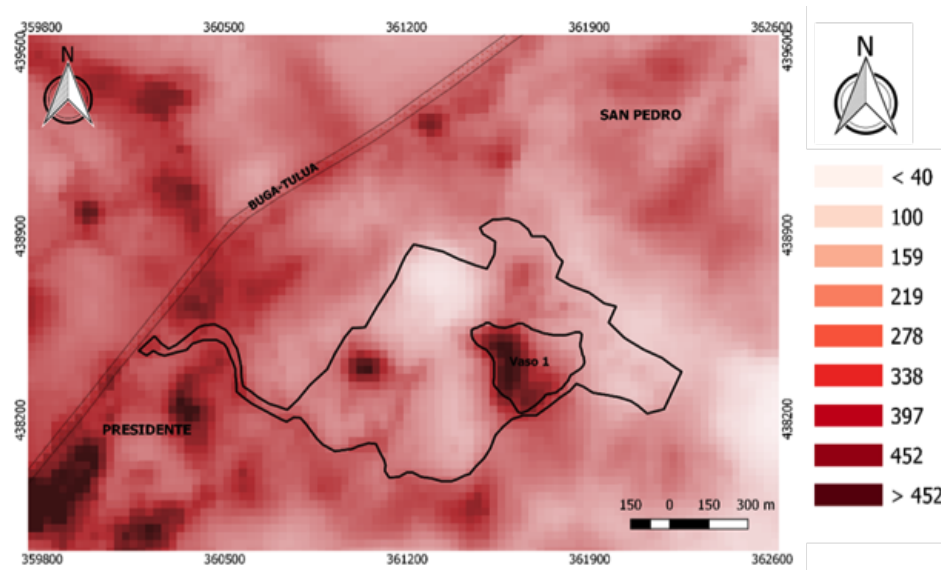


Figura 2: Relación del metano observado y estimado para el 2015.



**Figura 3:** Distribución espacial de emisiones de metano en el RSP para 2015.

En la Figura 3 se representa la distribución espacial de los valores obtenidos a partir del modelo de estimación empírico de metano, también se representaron en un mapa para el 2015 debido a su buena correlación en el proceso de validación. Se muestran los resultados obtenidos en el mapa para la banda 6.1.

## DISCUSIÓN

La estimación de metano en el RSP se realizó, poniendo a prueba un modelo de estimación empírico basado en la TLS, que hasta hace pocos años solo había sido utilizado en humedales (Agarwal y Garg, 2009). En México fue utilizado para estimar las emisiones de metano en un RS (Cortez, 2013). Este modelo fue probado por primera vez en este estudio para el RSP y los autores coinciden con el hecho de que el método es confiable y puede refinarse para ajustarlo a las condiciones climáticas propias de cada zona.

Para 2014 los valores no estuvieron tan bien correlacionados debido, principalmente, a que para la fecha de la toma de los datos *in situ* y las imágenes disponibles

tanto para Landsat 7 como para Landsat 8 tenían problema por mucha nubosidad presente, una de las principales cosas a tener en cuenta para aplicar el modelo de CH<sub>4</sub> es que en lo posible las imágenes se encuentren libres de nubosidad (Cortez, 2013). La principal limitación encontrada en los modelos de correlación lineal que estudian la dependencia de una variable con la otra es la incapacidad que se tiene para involucrar aspectos importantes que podrían determinar la viabilidad de un modelo, se ha observado mejoras en los modelos lineales cuando se agregan variables como elevación, pendiente y aspecto (Brabyn *et al.*, 2014).

## CONCLUSIONES

Se utilizó el modelo propuesto por Agarwal y Garg (2009) para estimar el metano y se comprobó que es un modelo fácil de aplicar. Aun cuando los resultados obtenidos con las imágenes de satélite sobreestiman los valores de metano, es un punto de partida para realizar el monitoreo continuo de las emisiones en los rellenos sanitarios del país. Los resultados y productos obtenidos de este estudio permitieron cumplir con el objetivo de

probar un método diferente que minimizara el trabajo en campo, pero que fuera igual de preciso para el monitoreo de gases. Una vez probada la hipótesis de que las imágenes satelitales son grandes contribuyentes para el monitoreo de la atmósfera a partir del cálculo de variables, se aplica para otros gases o aerosoles presentes en la atmósfera.

En este proyecto se utilizaron imágenes térmicas de los sensores ETM+ y TIRS de los satélites Landsat 7 y 8 respectivamente, lo anterior para el cálculo de las variables que permiten la estimación de las emisiones de metano debido a su alta resolución espacial (900 m<sup>2</sup>), comparado con las imágenes del sensor MODIS (62500 m<sup>2</sup>). Las estimaciones de metano con las imágenes del sensor ETM+ para el 2015 presentaron una mejor correlación con los datos tomados en campo; sin embargo, es posible mejorar estos resultados incluyendo nuevas variables al modelo como elevación, pendiente y aspecto.

## REFERENCIAS

Agarwal, R. and Garg, J. (2009). Methane emission modelling from wetlands and waterlogged areas using MODIS data. *Current Science*, 96(1), 36-40.

Akumu, C., Pathirana, S., Baban, S. and Bucher, D. (2010). Modeling Methane Emission from Wetlands in North-Eastern New South Wales, Australia Using Landsat ETM+. *Remote Sensing*, 2, 1378-1399.

Brabyn, L. et al. (2014). Accuracy assessment of land surface temperature retrievals from Landsat 7 ETM+ in the Dry Valleys of Antarctica using iButton temperature loggers and weather station data. *Environmental Monitoring and Assessment*, 186(4), 2619- 2628.

Börjesson, G., Galle, B., Samuelsson, J. y Svensson, B. (octubre, 2000). Emisiones de RS'S: opciones para el monitoreo y control. Trabajo presentado en *Conferencia Waste 2000*, Stratfordupon-Avon.

Camargo, Y. y Vélez, A. (2009). Emisiones de biogás producidas en rellenos sanitarios. Trabajo presentado en *II Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos*, Barranquilla, Universidad del Norte.

Cortez, J. (2013) *Estimación de emisiones de metano del Relleno Sanitario Bordo Poniente por medio de imágenes de satélite*. (Tesis de maestría). Ciudad de México, Instituto Politécnico Nacional.

Proactiva Colombia (2011). Campaña de medición de la producción de biogás en condiciones pasivas en el relleno sanitario regional presidente. San Pedro.

Roşca, C., Harpa, G., Croitoru, A., Herbel, I., Imbroane, A. and Burada, D. (2017). The impact of climatic and non-climatic factors on land surface temperature in southwestern Romania. *Theoretical and Applied Climatology*, 130(3-4), 775-790.

Takeuchia, W., Tamura, M. and Yasuoka, Y. (2003). Estimation of methane emission from West Siberian wetland by scaling technique between NOAA AVHRR and SPOT HRV. *Remote Sensing of Environment*, 85(1), 21-29.

Whitmarsh, L., Seyfang, G. and O'Neill, S. (2010). Public engagement with carbon and climate change: to what extent is the public 'carbon capable'?. *Global Environmental Change*, 21(1), 56-65.