



Cuadernos de Geografía - Revista Colombiana de Geografía

ISSN: 0121-215X

ISSN: 2256-5442

rcgeogra_fchbog@unal.edu.co

Universidad Nacional de Colombia
Colombia

Emisividad de radiación y efecto invernadero por la ocupación urbana del suelo en la cuenca del río Una, São Paulo

Moreno, Argemiro; Lourenço, Roberto

Emisividad de radiación y efecto invernadero por la ocupación urbana del suelo en la cuenca del río Una, São Paulo

Cuadernos de Geografía - Revista Colombiana de Geografía, vol. 27, núm. 2, 2018

Universidad Nacional de Colombia, Colombia

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=281857158009>

DOI: <https://doi.org/10.15446/rcdg.v27n2.67060>



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-SinDerivar 4.0 Internacional.

Emisividad de radiación y efecto invernadero por la ocupación urbana del suelo en la cuenca del río Una, São Paulo

Radiation Emissivity and Greenhouse Effect Due to Urban Occupation of Land in the Una River Basin, São Paulo

Emissividade de radiação e efeito estufa pela ocupação urbana do solo da bacia hidrográfica do rio Una, São Paulo

Argemiro Moreno ¹ argemor29@hotmail.com

 <http://orcid.org/0000-0002-4700-3263>

Roberto Lourenço ² robertow@sorocaba.unesp.br

Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho (UNESP),
Brasil

 <http://orcid.org/0000-0002-5234-8944>

Cuadernos de Geografía - Revista Colombiana de Geografía, vol. 27, núm. 2, 2018

Universidad Nacional de Colombia, Colombia

Recepción: 15 Agosto 2017
Aprobación: 22 Febrero 2018

DOI: <https://doi.org/10.15446/rcdg.v27n2.67060>

Redalyc: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=281857158009>

Resumen: Las cuencas hidrográficas están sufriendo modificaciones en la cobertura natural que afectan sus propiedades físicas superficiales, como la emisividad de radiación. Para analizar este fenómeno, se interpretó con imágenes de satélite la ocupación del suelo con construcciones urbanas en la cuenca del río Una, São Paulo. Luego se estimó la influencia de las zonas identificadas en el comportamiento de la radiación emitida por las superficies urbanas identificadas. Para ello, se aplicó la ley de Stefan-Boltzman geoprocesando imágenes Landsat 8. Se identificó el impacto antrópico de las edificaciones, al comprobar el aumento de la emisión de radiaciones en la cuenca, en contraste con la de las áreas naturales preservadas. Como consecuencia, se observaron condiciones que podrían intervenir en el efecto invernadero que regula la temperatura de la biosfera.

Palabras clave: cambio climático, cuencas hidrográficas, edificaciones urbanas, efecto invernadero, radiación emitida.

Abstract: Watersheds are undergoing modifications in their natural cover that affect their surface physical properties, such as the radiation emissivity. To analyse this phenomenon, satellite images were used to interpret the land occupation by urban buildings in the basin of the river Una, São Paulo. The influence of the identified areas on the behaviour of the radiation emitted by the identified urban zones was then estimated. For this purpose, the Stefan-Boltzman law was applied by geoprocessing Landsat 8 images. The anthropic impact of the buildings was identified when the increase in the radiation emission in the basin was observed, in contrast to that of the preserved natural areas. As a result, conditions were observed that could affect the greenhouse effect that regulates the temperature of the biosphere.

Keywords: climate change, watersheds, urban buildings, greenhouse effect, emitted radiation.

Resumo: As bacias hidrográficas estão sofrendo modificações em sua cobertura natural que afetam suas propriedades físicas superficiais, como é a emissividade de radiação. Para analisar esse fenômeno, a ocupação de terras com construções urbanas na bacia do rio Una, São Paulo, foi interpretada com imagens de satélite. Em seguida, estimou-se a influência das zonas identificadas no comportamento da radiação emitida pelas superfícies urbanas identificadas. Para isso, aplicou-se a Lei de Stefan-Boltzman com imagens digitais Landsat 8 e técnicas de geoprocessamento. Identificou-se o impacto

antrópico das edificações ao comprovar o aumento da emissão de radiações na bacia em comparação com a de áreas naturais preservadas. Como consequência, foram observadas condições que poderiam intervir no efeito estufa, o qual regula a temperatura da biosfera. **Palavras-chave:** mudança climática, bacias hidrográficas, edificações urbanas, efeito estufa, radiação emitida.

Artículo de investigación sobre la relación comparada entre temperatura y radiación de onda larga emitida por la superficie de áreas de bosque autóctono y edificaciones urbanas, en la cuenca hidrográfica de Ibiúna, Brasil, y su influencia en el efecto invernadero, que regula el clima del planeta.

CÓMO CITAR ESTE ARTÍCULO: Moreno, Argemiro, y Roberto Lourenço. 2018. "Emisividad de radiación y efecto invernadero por la ocupación urbana del suelo en la cuenca del río Una, São Paulo." *Cuadernos de Geografia: Revista Colombiana de Geografia* 27 (2): 323-337. doi: 10.15446/rcdg.v27n2.67060.

Introducción

Naturalmente, la superficie de la tierra absorbe gran parte de la radiación solar incidente en forma de onda corta y pasa a emitir radiación de onda larga que actúa directamente sobre los gases de la atmósfera, con lo cual regula su temperatura, ya que cualquier factor que transforme o altere las propiedades de las coberturas superficiales afecta las características atmosféricas del planeta (Bastiaanssen et ál. 1998; King et ál. 2015). Las diversas acciones antrópicas, entre otras, la agricultura y expansión urbana, vienen promoviendo mudanzas en el uso y ocupación del suelo y cambiando las características naturales de la superficie, con modificaciones en los procesos de absorción y emisión de radiación (Cammalleri et ál. 2012; Faria y Schvarsberg 2011). Por lo anterior, es de extrema importancia conocer la magnitud de la radiación de onda larga emitida por una superficie, considerando que el proceso de calentamiento global ocurre porque gases como el metano y dióxido de carbono, principales causantes del efecto invernadero, absorben este tipo de energía y elevan la temperatura de la biosfera (Donohoe et ál. 2014). Además, porque analizar su comportamiento ayuda a comprender los efectos en el clima, dadas las alteraciones ambientales causadas al suelo, en la búsqueda de alcanzar un desarrollo sostenible con la gestión y planeación racional de los recursos naturales y de minimizar los impactos causados con su uso. Por esto, la presente investigación estimó la radiación de onda larga emitida en la superficie de la cuenca hidrográfica del río Una, utilizando imágenes digitales Landsat 8, con el fin de analizar su comportamiento e inferir la influencia que podrían tener en las condiciones del clima por las modificaciones del entorno natural que traen las edificaciones urbanas.

El área de estudio es la cuenca hidrográfica del río Una, localizada en el municipio de Ibiúna del estado de São Paulo, en Brasil (figura 1). La cuenca, con una extensión de 96,46 km², en su cobertura

superficial presenta suelo expuesto, pastos, bosque atlántico, arbustos, edificaciones urbanas y agricultura de ciclo largo y corto. Predomina la cobertura de bosque atlántico, dispuesto en relictos forestales distribuidos geográficamente en toda la extensión del territorio, que vienen siendo eliminados por las ocupaciones urbanas.

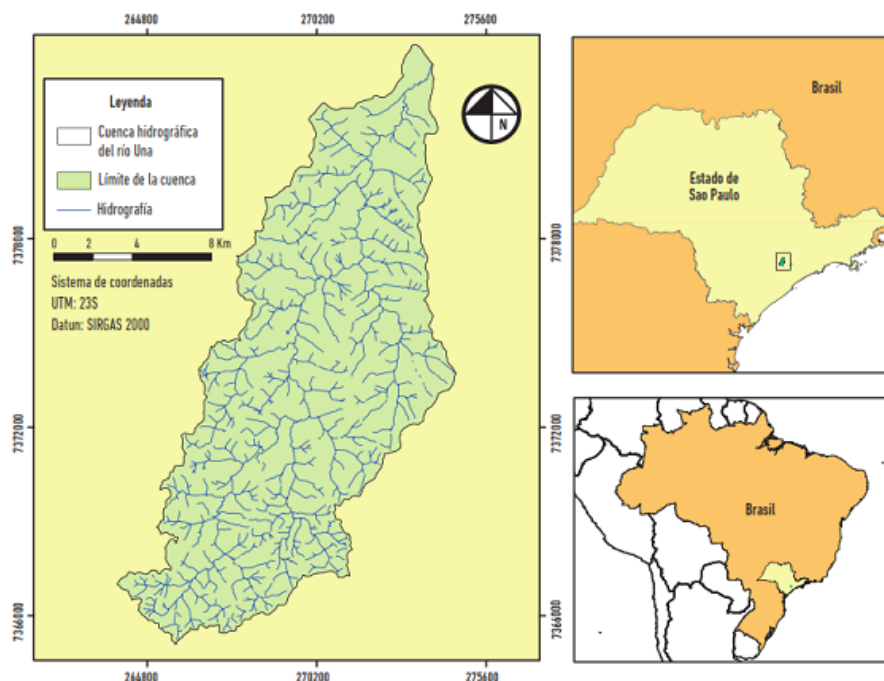


Figura 1.
Cuenca del río Una.

Datos: elaborado a partir de archivos del Instituto Brasileiro de Geografia y Estatística (IBGE).

Para los análisis se utilizaron cuatro imágenes digitales Landsat 8, obtenidas gratuitamente en el portal de la United States Geological Survey, escogidas para representar cada estación. Así, para primavera fue seleccionada la imagen del 23 de septiembre de 2015, para el verano la del 8 de febrero de 2014, para el otoño la del 18 de abril de 2016 y para invierno la del 24 de agosto de 2016, capturadas en similar horario y en condiciones meteorológicas de cielo claro. En el procesamiento digital de las imágenes se usó el software ArcGIS 10.3. La radiación de onda larga emitida en la cuenca fue estimada por medio de la ley de Stefan-Boltzmann, con la ecuación 1:

$$R_L = \sigma \epsilon T^4 \quad [\text{Ecuación 1.}]$$

Donde R_L es la radiación de onda larga emitida por la superficie (Wm^{-2}); σ la constante de Stefan-Boltzmann, con un valor de $5,67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$; ϵ la emisividad superficial (adimensional); y T la temperatura superficial (K). La emisividad de las diferentes coberturas de la cuenca fue estimada mediante la ecuación empírica 2, donde LAI representa el Índice de Área Foliar (Allen et ál. 2011; Silva et ál. 2015):

Esta ecuación se utilizó en áreas de la cuenca donde el índice de vegetación por diferencia normalizada —en adelante, NDVI—, junto al índice de área foliar —en adelante, LAI—, fueron, respectivamente, mayor que cero ($NDVI > 0$) y menor que tres ($LAI < 3$). Para zonas con LAI mayor o igual a tres ($LAI \geq 3$), la emisividad se define con un valor escalar de 0,98, y para el NDVI menor que cero ($NDVI < 0$), se especifica en 0,985 (Allen et ál. 2011; Silva et ál. 2015).

$$\epsilon = 0,95 + (0,01)LAI \quad [\text{Ecuación 2.}]$$

El NDVI es un indicador numérico que se define entre -1 y +1, donde los valores próximos a +1 y superiores a 0,4, aproximadamente, significan presencia de cobertura vegetal en la superficie, y los valores próximos y/o menores que cero (0) indican su ausencia (Chien et ál. 2016; Lanorte et ál. 2014). Este índice, para las imágenes digitales de satélite Landsat 8, fue obtenido a partir de la razón entre la diferencia de reflectancia planetaria de la banda 5 con la banda 4 y la suma de las mismas reflectancias, según la ecuación 3 (Chien et ál. 2016; Rouse et ál. 1974):

$$NDVI = \frac{\rho_5 - \rho_4}{\rho_5 + \rho_4} \quad [\text{Ecuación 3.}]$$

Donde ρ_5 y ρ_4 representan la reflectancia planetaria en la superficie de la atmósfera de las bandas 4 y 5, respectivamente, obtenidas con la ecuación 4 (USGS 2016):

$$\rho = \frac{(0,00002) Q_{cal} - 0,1}{\sin \theta} \quad [\text{Ecuación 4.}]$$

Siendo la reflectancia planetaria en la superficie de la atmósfera ($Wm^{-2}sr^{-1}$); el número digital del pixel en cada una de las bandas 4 y 5 de las imágenes digitales; el ángulo de elevación solar ($^{\circ}$) en el momento de la captura de la imagen por el satélite, disponibles en los encabezados de las mismas.

Por su parte, el índice de área foliar (LAI) fue determinado con la ecuación empírica 5 (Bastiaanssen et ál. 1998; Silva et ál. 2015):

$$LAI = - \frac{\ln \left(\frac{0,69 - SAVI}{0,59} \right)}{0,91} \quad [\text{Ecuación 5.}]$$

Donde, SAVI —en adelante, SAVI— es el índice de vegetación ajustado al suelo que se calculó también a partir de las reflectancias planetarias de las bandas 5 y 4, de acuerdo con la ecuación 6 (Fu et ál. 2017; Huete 1988):

$$SAVI = \frac{(1+L)(\rho_5 - \rho_4)}{L + \rho_5 + \rho_4} \quad [\text{Ecuación 6.}]$$

Siendo L el factor de corrección para SAVI, que varía entre 0 y 1. Definido en esta investigación en 0 para área de mata y 1 para la urbana, siendo de 0,5 para el resto de coberturas (Huete 1988; Papadavid et ál. 2013; Pöças et ál. 2013).

La temperatura superficial de las diferentes coberturas de la cuenca fue calculada con la ecuación 7 (USGS 2016):

$$T = \frac{1321,08}{\ln \left(\frac{774,88}{L_\lambda} + 1 \right)} \quad [\text{Ecuación 7.}]$$

Donde T es la temperatura superficial (K) y λ la radiancia espectral en la superficie de la atmósfera de la banda 10 ($\text{Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}$) —de la imagen digital de satélite Landsat 8—, que fue obtenida del portal del United States Geological Survey en números digitales (Q_{cal}), pudiendo ser redimensionados a radiancia conforme la ecuación 8 (USGS 2016):

$$L_\lambda = (0,0003342) Q_{cal} + 0,1 \quad [\text{Ecuación 8.}]$$

Siendo Q_{cal} el número digital para cada pixel de la banda 10.

Después de calcular la radiación de onda larga emitida por la superficie de la cuenca, con la intención de analizar los efectos causados por la urbanización del entorno natural en su comportamiento, se compararon los valores mínimos, medios y máximos de las áreas de bosques con los

de las edificaciones urbanas, para cada estación, por medio de gráficas y mapas temáticos. También los valores obtenidos fueron confrontados con la literatura referente de otras investigaciones a fines.

Resultados y discusión

La figura 2 muestra la cuenca a color real derivada de las imágenes Landsat 8 para cada fecha en la cual se estima la radiación de onda larga emitida por la superficie; caracterizada con la distribución espacial de las coberturas de bosque atlántico y edificaciones urbanas, que en el transcurso de las estaciones permanecieron constantes en su área superficial.

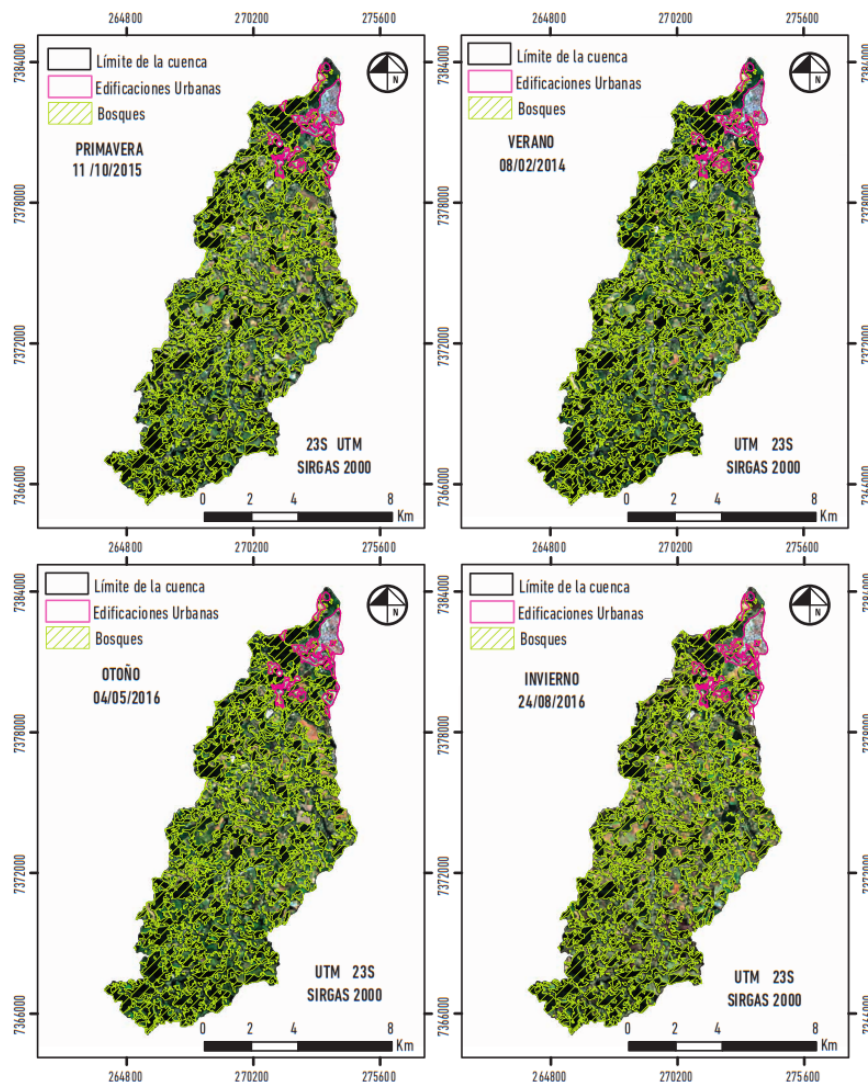


Figura 2.

Imágenes a color natural de la cuenca con la distribución del área urbana y boscosa, en las estaciones climáticas.

Datos: composición RGB 432 de las imágenes Landsat 8.

La cuenca presenta fuerte intervención antrópica con una ocupación desordenada del paisaje por los distintos usos dados al suelo que modifican las características ambientales originales de bosque atlántico. El área

urbana es la zona con mayor alteración, pues fue removida la vegetación con la deforestación previa en el transcurso de los años, sin tener en consideración la conservación de especies nativas ni espacios verdes de uso común. En efecto, se alteraron completamente las propiedades típicas del ecosistema autóctono.

Los valores de NDVI que discriminan la cobertura vegetal en la cuenca del río Una, en las fechas establecidas, se presentan en la figura 3, donde se observan los bosques con altos valores de NDVI —en coloración verde oscuro—, y la zona de edificaciones urbanas al norte de la cuenca con NDVI negativos y/o próximos a cero, en color rojo.

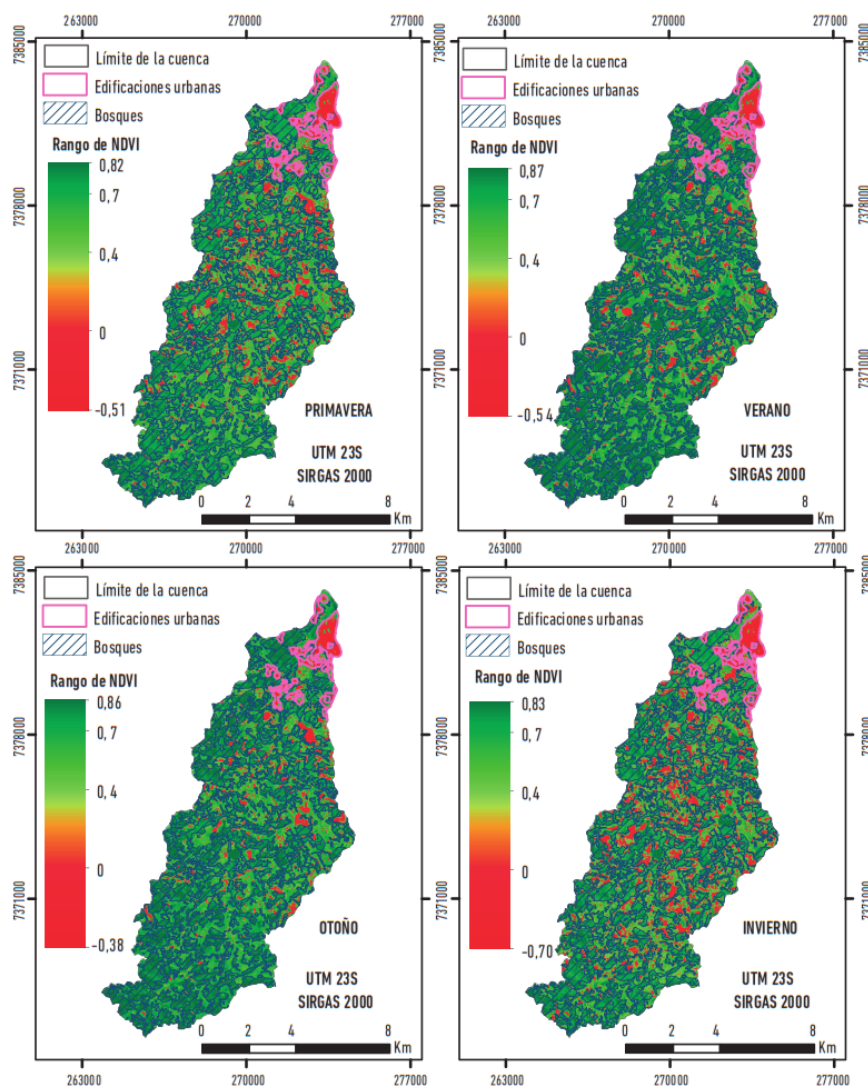


Figura 3.

NDVI de la cuenca y distribución de las áreas boscosas y urbanas, en las estaciones climáticas.

Datos: calculado a partir de las bandas 5 e 4 de las imágenes Landsat 8.

La figura 4 muestra un comparativo de los valores mínimos, medios y máximos de NDVI obtenidos en los píxeles de los fragmentos de bosques y edificaciones urbanas en cada estación climática.

En la figura 4 se visualizan los fragmentos de bosque que presentan un NDVI medio elevado, superior a los 0,70, lo que significa alta densidad y

vigor de la cobertura vegetal; y las edificaciones urbanas, con bajo NDVI, en promedio, inferior a 0,2, por la ausencia de vegetación.

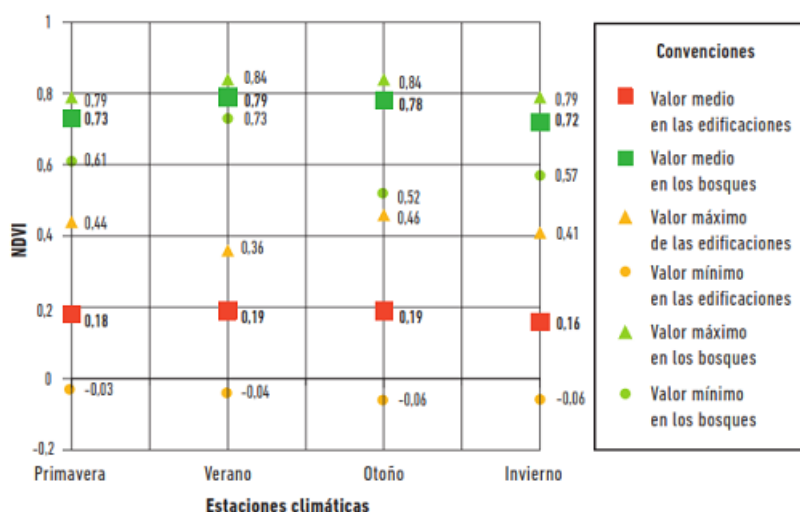


Figura 4.
Comparativo de NDVI en las áreas de bosque con las de edificaciones urbanas.

El NDVI en el área de bosque atlántico varía ligeramente y, según la secuencia estacional, arroja un aumento en verano con respecto a la primavera, mientras que disminuye de otoño a invierno. Estas variaciones se corresponden con el estiaje invernal (valores mínimos de NDVI), época de menores precipitaciones y escasez de agua para la vegetación, y con el periodo de abundancia de agua, con lluvias intensas en el verano (valores máximos de NDVI), quedando el otoño y la primavera como estaciones de transición, con reducción y retorno de las precipitaciones, respectivamente (IPMet 2017).

Es evidente la disminución del vigor vegetal, relacionada directamente con la disponibilidad del agua, que incide en el crecimiento y la supervivencia biológica de la vegetación, que viene sufriendo estrés hídrico y disminuye su proceso de fotosíntesis y, por consiguiente, baja la absorción de dióxido de carbono de la atmósfera. En las edificaciones, el NDVI promedio presenta poca modificación de época a época, por no tener vegetación representativa en su cobertura superficial ni ejercer el estrés hídrico como factor de influencia. En la figura 3 se pueden observar, además de los bosques y las edificaciones, diversas zonas con otras coberturas, que presentan variaciones de NDVI asociadas a su uso en las diferentes temporadas climáticas.

La figura 5 muestra la distribución espacial de la temperatura superficial en la cuenca en las distintas estaciones.

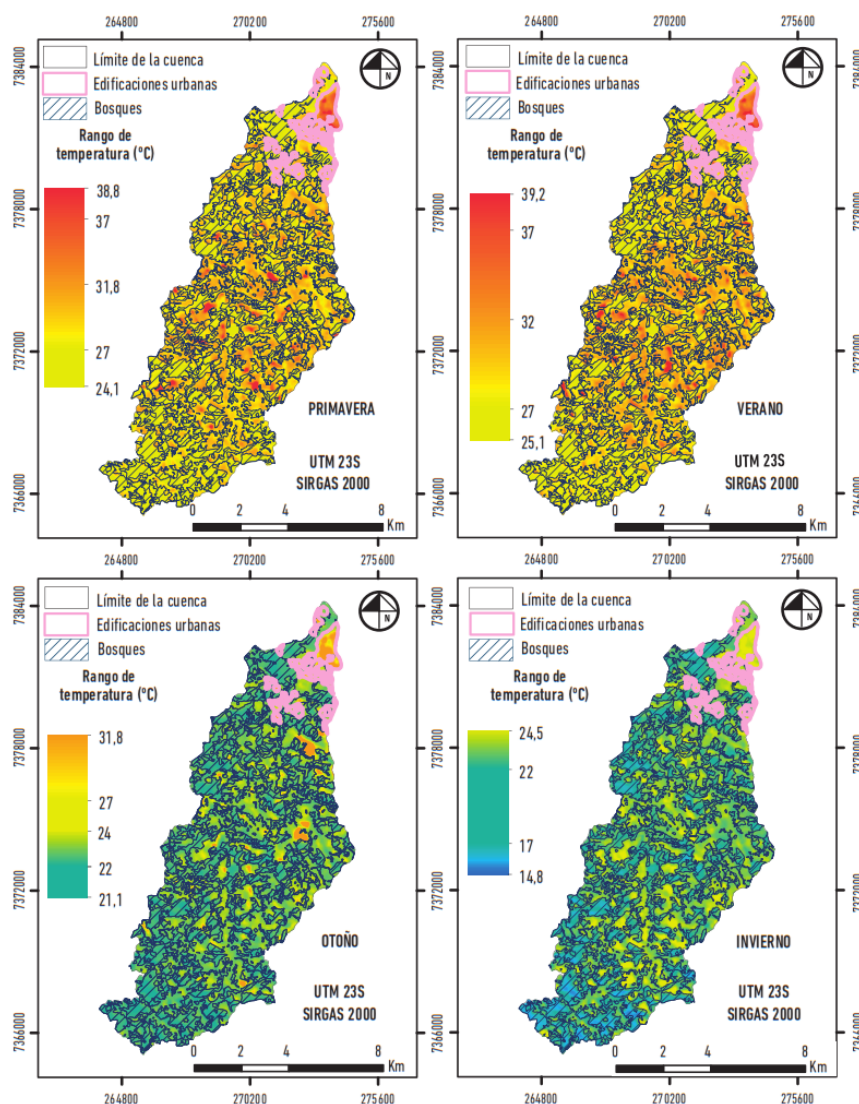


Figura 5.
Temperatura superficial de la cuenca con la distribución de áreas boscosas y urbanas, en las estaciones climáticas.
Datos: calculado a partir de las bandas 10 de las imágenes Landsat 8.

El invierno es la época con rangos inferiores de temperatura en la superficie de la cuenca, seguido del otoño, mientras que el verano y la primavera exhiben los rangos de temperaturas más altos. Las temperaturas superficiales de las edificaciones urbanas son superiores frente a las del bosque en todas las épocas. La figura 6 representa las variaciones de los valores mínimos, medios y máximos de la temperatura en estas dos coberturas.



Figura 6.

Comparativo de los valores de temperatura superficial en las áreas de bosque con las de edificaciones urbanas.

El área urbana, al estar conformada por calles, avenidas, edificios, casas y demás construcciones, constituidas con materiales como asfalto, concreto, vidrio, metales, tejas, entre otros, y por carecer de vegetación, presenta pocos o nulos procesos de evapotranspiración y fotosintéticos que consuman la energía solar incidente —como normalmente ocurre en las áreas fragmentadas de bosque, donde la energía es consumida en los procesos naturales para su supervivencia—, que queda en las edificaciones para ser absorbida como energía térmica, con la consecuente elevación de su temperatura.

Por lo anterior, la influencia de la vegetación en la regulación de la temperatura superficial es de gran importancia en el condicionamiento térmico apropiado de la cuenca, pero las construcciones antrópicas modifican los padrones espaciales y temporales de temperatura, lo que repercute en las condiciones ambientales naturales.

En otros estudios, donde también se determinó la temperatura superficial con imágenes Landsat 8 en otoño, Moreira y Amorim (2016) observaron al noroeste del estado de São Paulo, municipio de Penápolis, que las temperaturas más elevadas están asociadas con áreas de alta concentración de edificaciones, y las más bajas con aquellas donde hay mayor densidad de vegetación. Así, en la malla urbana y el sector industrial se encontraron variaciones térmicas de 28-30 °C, y para el sector residencial, junto con el comercial, se hallaron temperaturas de 24-25 °C. Por contraste, en zonas de bosque atlántico nativo y plantaciones de eucalipto, la variación térmica determinada fue de 21-22 °C. Variaciones de temperatura que corresponden con las obtenidas en la cuenca del río Una para la misma época.

Por su parte, Coelho y Correa (2013), para la época de invierno y utilizando imágenes digitales Landsat 8, identificaron en el municipio de Victoria, estado de Espírito Santo, al sudeste de Brasil, una superficie urbana con temperaturas superiores que la de los bosques. Registraron

en las edificaciones urbanas temperaturas por encima de 30,6 °C, siendo predominantes de 23,1-29 °C, mientras que en los bosques las temperaturas fueron menores de 25,1 °C. Valores que entran en los rangos establecidos para la misma época en la cuenca del río Una.

Situados más distantes de la cuenca del río Una, con imagen Landsat 5 del mes de agosto, Silva (2015), trabajando en la micro cuenca de río Granjeiro, municipio de Crato, estado de Ceará, determinó temperaturas de 26-30 °C en áreas urbanizadas con poca arborización y mucho suelo desnudo, mientras que las menores temperaturas estaban en la cobertura vegetal de bosque en la Floresta Nacional de Araripe, de 20-22 °C. Tendencia semejante a las temperaturas determinadas en la cuenca de estudio.

También para la época de invierno, pero en el municipio de Goiânia, estado de Goiás, insertada en el bioma de Cerrado de la región centro-este de Brasil, Sousa y Júnior (2012) observaron a partir de imagen Landsat 7 del 15 de agosto de 2002, en general, que las áreas de vegetación densa a media presentaron temperaturas de 23-30 °C, mientras las edificaciones urbanas registraron valores de 34-36 °C. Estos valores son superiores a los de la cuenca del río Una, para la cobertura tanto vegetal como urbana; sin embargo, el área urbana también tuvo temperaturas más altas que las naturales, a pesar de ser otro ecosistema con menos densidad vegetal.

En otro estudio, Coelho, Correa y Nascimento (2013), en el municipio de Vila Velha, estado de Espírito Santo, con imagen Landsat 5 del día 30 de julio de 2011, constataron que las áreas urbana e industrial, caracterizadas por alta densidad de construcciones, se destacaron por presentar temperaturas de 24,1-26 °C o de hasta 27°C, como máximo; y para áreas verdes, como bosque de manglar, pastos, silvicultura y campos agrícolas, predominaron temperaturas de 22,1-24 °C. Concluyeron los investigadores que existe gran influencia de la cobertura vegetal en aminorar la temperatura superficial.

Respecto a la temperatura superficial de la cuenca del río Una, se estimó la correspondiente radiación de onda larga emitida por las coberturas en dirección a la atmósfera (figura 7).

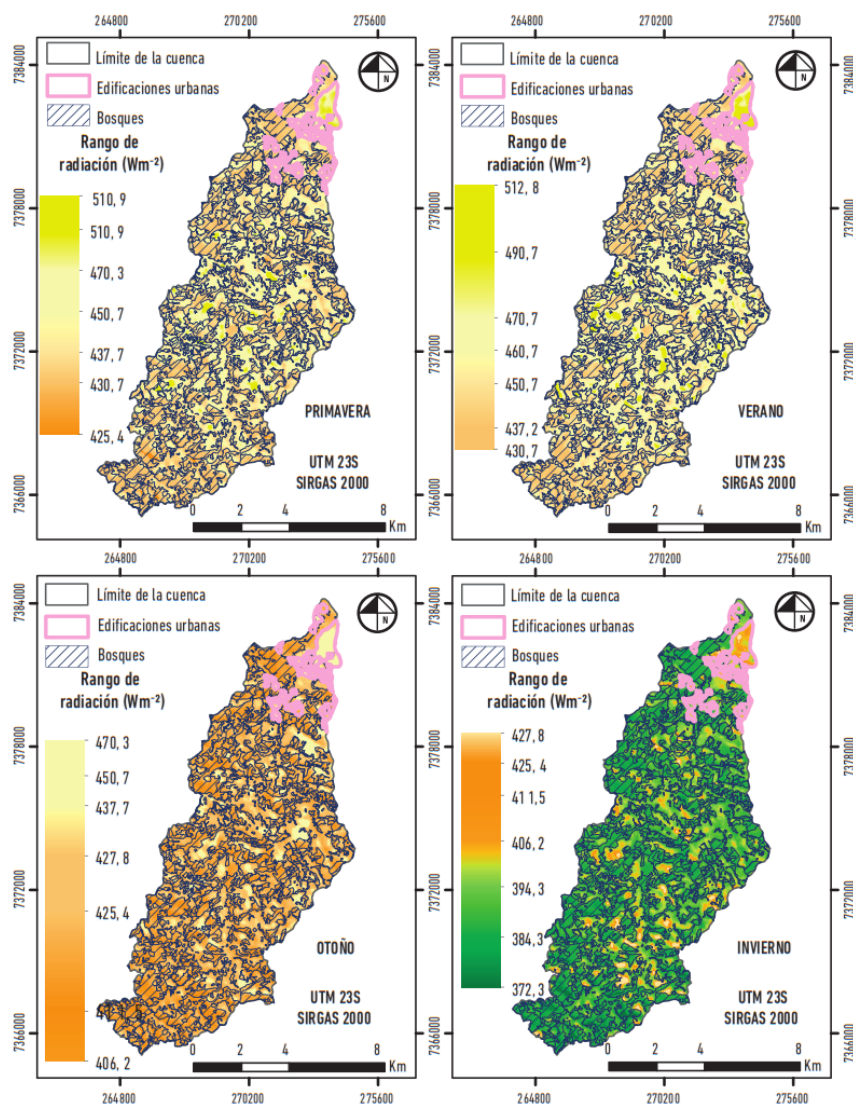


Figura 7.

Radiación de onda larga emitida por la cuenca con la distribución de áreas boscosas y urbanas, en las estaciones climáticas.

Datos: calculado a partir de imágenes Landsat 8.

En la figura 6 se puede observar que los mayores rangos de emisiones se presentan en el verano, seguidos por los de primavera, siendo menores en el invierno y el otoño. La emisión es más alta en verano y primavera, pues son las estaciones con las máximas temperaturas superficiales, debido a que el incremento de la energía emitida por una superficie es directamente proporcional a su temperatura superficial, conforme establece la ley física de Stefan-Boltzmann (ecuación 1).

Las edificaciones urbanas presentan mayor radiación emitida con referencia a las áreas boscosas (figura 8), por ser las que absorben mayor temperatura de superficie en las diferentes épocas. En la figura 8 también se puede visualizar que el rango entre la mínima y la máxima emisividad de radiación es mayor en las edificaciones, por presentar alta heterogeneidad en su entorno producto de sus diversos materiales constituyentes y características físicas distintivas; al contrario, las áreas de

bosque tienen atributos homogéneos, propios del ecosistema de bosque atlántico predominante, que define su emisión.

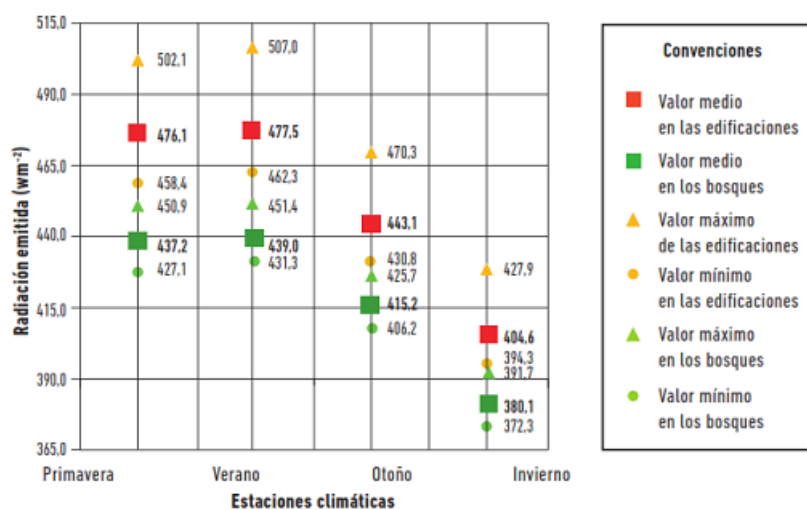


Figura 8.

Comparativo de los valores de radiación de onda larga emitida en las áreas de bosque con la de edificaciones urbanas.

Evidentemente, las áreas ocupadas con construcciones urbanas están causando aumento en la cantidad de radiación de onda larga emitida en la cuenca. Por no existir procesos fotosintéticos y de transpiración, a falta de vegetación, acaba transfiriendo la radiación solar incidente a la superficie en forma energía térmica (calor), provocando un aumento superior de la temperatura con respecto a las áreas de bosque, por lo que emite más radiación a la atmósfera (Bruno et ál. 2007; Liberato y Cardoso 2010).

El comportamiento inducido por intervención humana podría influenciar las condiciones del clima, considerando que la energía emitida a la atmósfera en forma de radiación es absorbida por gases de efecto invernadero, como gas carbónico (CO_2), metano (CH_4) y ozono (O_3), lo que contribuye al calentamiento global con el aumento de la temperatura media del aire en el planeta (Al-Kayssi y Mustafa 2016; Donohoe et ál. 2014; Koua et ál. 2003; Richter y Caillol 2011).

Así, las alteraciones por la ocupación del suelo en la cuenca del río Una están generando cambios en los valores de emisividad de energía, creando características físicas desfavorables que pueden impactar directamente el equilibrio climático. La urbanización, por tener temperaturas superiores, termodinámicamente concentra en su superficie más calor con respecto a los bosques y puede, por transferencia térmica con la radiación emitida, calentar los gases atmosféricos por encima de los límites naturales y colaborar con el calentamiento climático. Por ello es importante la presencia vegetal, para atenuar la temperatura, tanto de la superficie terrestre como del aire en la atmósfera.

Considerando todas las estaciones, la radiación emitida en la cuenca oscila en $372,3\text{-}512,8 \text{ Wm}^{-2}$ (mínima en el invierno y máxima en verano, respetivamente), rango dentro de los límites establecidos por Allen et ál.

(2002), de 200-700 Wm^{-2} , en el cual consideró la variabilidad espacial en el planeta dependiendo del tipo de superficie, la época y la localización.

Referente a otro estudio en São Paulo, Santos et ál. (2013), con metodología similar, pero empleando imágenes digitales MODIS del satélite TERRA, en el municipio de Santa Rita de Passa Quatro, puntualmente para una área de caña de azúcar, estimó en 455,5-458,3 Wm^{-2} la radiación emitida por la superficie en dos fechas de primavera, y en 443-453 Wm^{-2} en invierno; en 456,8-461,6 Wm^{-2} en otoño y en 464-477 Wm^{-2} en verano, valores que están dentro del intervalo estimado para la cobertura de bosque y urbana en la cuenca del río Una, exceptuando la época de invierno, que está por debajo.

Liberato y Cardoso (2010), a partir de mediciones de radiación emitida con torre micrometeorológica durante el periodo de sequía y de lluvias, en la reserva biológica de Jarú, en el Amazonas, concluyeron que la modificación de cobertura vegetal de bosque a pastos aumenta la emisión de radiación de la superficie, y establecieron que en el área de pastos el almacenamiento de calor por biomasa es despreciable con respecto al del bosque, donde ocurre una importante retención de energía solar. Conclusión que concuerda con los resultados obtenidos en la cuenca del río Una.

Conclusiones

El estudio evidenció el importante papel de la vegetación en la transferencia de energía entre la superficie de la tierra y la atmósfera. Al relacionar las áreas de bosque con las edificaciones urbanas, se vio que la radiación emitida en la superficie presenta significativas diferencias que demuestran alteraciones ambientales en la cuenca hidrográfica del río Una. En esta, la ocupación urbana del suelo aumenta la temperatura superficial, con la consecuente emisión de radiaciones, que son superiores a las del ecosistema nativo. Se constata así que los bosques de una cuenca hidrográfica cumplen la importante función de regular la temperatura del aire y del suelo mediante la retención de calor y la absorción de gas carbónico, efectuada con la fotosíntesis. Por el contrario, las edificaciones urbanas alteran significativamente la transferencia de carbono y energía entre la superficie de la Tierra y la atmósfera. De este modo, la deforestación generada por la urbanización del suelo de la cuenca favorece el calentamiento global e impacta en el equilibrio climático. Estudios con el enfoque aquí desarrollado deben colaborar con sectores de gestión pública y/o privada para generar directrices de mitigación de ese impacto que incluyan acciones de manejo y conservación de los bosques de las cuencas hidrográficas y el establecimiento de espacios verdes en las zonas urbanas.

Referencias

- Al-Kayssi, A.W., y S. H. Mustafa. 2016. "Impact of Elevated Carbon Dioxide on Soil Heat Storage and Heat Flux under Unheated Low-Tunnels Conditions." *Journal of Environmental Management* 182:176-186. doi: 10.1016/j.jenvman.2016.07.048.
- Allen, Richard, Ayse Irmak, Ricardo Trezza, Jan M. H. Hendrickx, Wim Bastiaanssen, y Jeppe Kjaersgaard. 2011. "Satellite-Based ET Estimation in Agriculture Using SEBAL and METRIC." *Hydrological Processes* 25 (26): 4011-4027. doi: 10.1002/hyp.8408.
- Allen, Richard, Masahiro Tasumi, Ricardo Trezza, y Wim Bastiaanssen. 2002. *SEBAL: Surface Energy Balance Algorithms for Land; Advance Training and Users Manual*. Idaho: The Idaho Department of Water Resources. Consultado en abril de 2017. <http://www.posmet.ufv.br/wp-content/uploads/2016/09/MET-479-Waters-et-al-SEBAL.pdf>
- Bastiaanssen, W. G. M., M. Meneti, R. A. Feddes, y A. A. M. Holtslag. 1998. "A Remote Sensing Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL): 1. Formulation." *Journal of Hydrology* 212-213:198-212. doi: 10.1016/S0022-1694(98)00253-4.
- Bruno, Jordi, Dirk Bosbach, Dmitrii Kulik, y Alexandra Navrotsky. 2007. *Chemical Thermodynamics of Solid Solutions of Interest in Nuclear Waste Management: A State of the Art Report*, vol. 10 de la Serie *Chemical Thermodynamics*. Amsterdam: Nuclear Energy Agency (AEN-NEA), Thermochemical Data Base Project (TAB), Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD).
- Cammalleri, C., G. Ciraolo, G. La Loggia, y A. Maltese. 2012. "Daily Evapotranspiration Assessment by Means of Residual Surface Energy Balance Modeling: A Critical Analysis under a Wide Range of Water Availability." *Journal of Hydrology* 452-453:119-129. doi: 10.1016/j.jhydrol.2012.05.042.
- Chien, Wen Huan, Tai-Sheng Wang, Hui-Chung Yeh, y Tsu-Kuang Hsieh. 2016. "Study of NDVI Application on Turbidity in Reservoirs." *Journal of the Indian Society of Remote Sensing* 44 (5): 829-836. doi: 10.1007/s12524-015-0533-6.
- Coelho, André Luiz Nascentes, y Wesley de Souza Campos Correa. 2013. "Temperatura de superfície celsius do sensor Tirs/Landsat-8: metodologia e aplicações." *Revista Geográfica Acadêmica* 7 (1): 31-45. doi: 10.18227/1678-7226rga.v7i1.2996.
- Coelho, André Luiz Nascentes, Wesley de Souza Campos Correa, y Fabrício Holanda Nascimento. 2013. "Uso de produtos de sensoriamento remoto para a classificação e análise de temperaturas de superfície no município de Vila Velha/ES (Brasil)." *GeoFocus: Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica* 13 (1): 61-76.
- Donohoe, Aaron, Kyle C. Armour, Angeline G Pendergrass, y David S. Battisti. 2014. "Shortwave and Longwave Radiative Contributions to Global Warming Under Increasing CO₂." *PNAS: Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 111 (47): 16700-16705. doi: 10.1073/pnas.1412190111.

- Faria, Rodrigo de, y Benny Schvartsberg, orgs. 2011. *Políticas urbanas e regionais no Brasil*. Brasília: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo - Universidade de Brasília (FAU-UnB).
- Fu, Li, Dan Zhao, Bingfang Wu, Zhihong Xu, y Yuan Zeng. 2017. "Variations in Forest Aboveground Biomass in Miyun Reservoir of Beijing over the Past Two Decades." *Journal of Soils and Sediments* 17 (8): 2080-2090. doi: 10.1007/s11368-017-1718-0.
- Huete, A. R. 1988. "A Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI)." *Remote Sensing of Environment* 25 (3): 295-309. doi: 10.1016/0034-4257(88)90106-X.
- IPMet (Instituto de Pesquisas Meteorológicas). 2017. "Estações do ano." Consultado en abril de 2017. <https://www.ipmet.unesp.br/4estacoes/>
- King, David A., Dominique M. Bachelet, Amy J. Symstad, Ken Ferschweiler, y Michael Hobbins. 2015. "Estimation of Potential Evapotranspiration from Extraterrestrial Radiation, Air Temperature and Humidity to Assess Future Climate Change Effects on the Vegetation of the Northern Great Plains, USA." *Ecological Modelling* 297:86-97. doi: 10.1016/j.ecolmodel.2014.10.037.
- Koua, T. J., X. H. Chenga, J. G. Zhub, y Z. B. Xie. 2003. "The Influence of Ozone Pollution on CO₂, CH₄, and N₂O Emissions from a Chinese Subtropical Rice-wheat Rotation System Under Free-Air O₃ Exposure." *Agriculture, Ecosystems and Environment* 204:72-81. doi: 10.1016/j.agee.2015.02.013.
- Lanorte, Antonio, Rosa Lasaponara, Michele Lovallo, y Luciano Telesca. 2014. "Fisher-Shannon Information Plane Analysis of SPOT/VEGETATION Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) Time Series to Characterize Vegetation Recovery after Fire Disturbance." *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 26:441-446. doi: 10.1016/j.jag.2013.05.008.
- Liberato, Ailton Marcolino, y Fernando Luiz Cardoso. 2010. "Análises da radiação de onda curta e onda longa na Amazônia." *Revista de Geografia (UFPE)* 27 (3): 169-182.
- Moreira, Janaína Lopes, y Margarete Cristiane de Costa Trindade Amorim. 2016. "O clima urbano de Penápolis-SP através da temperatura da superfície e de índices radiométricos." *Geosaberes: Revista de Estudos Geoeducacionais* 6 (3): 190-202.
- Papadavid, Giorgos, Diofantos G. Hadjimitsis, Leonidas Toullos, y Silas Michaelides. 2013. "A Modified SEBAL Modeling Approach for Estimating Crop Evapotranspiration in Semi-Arid Conditions." *Water Resources Management* 27 (9): 3493-3506. doi: 10.1007/s11269-013-0360-x8.
- Pôças, Isabel, Mário Cunha, Luís S. Pereira, y Richard G. Allen. 2013. "Using Remote Sensing Energy Balance and Evapotranspiration to Characterize Montane Landscape Vegetation with Focus on Grass and Pasture Lands." *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 21:159-172. doi: 10.1016/j.jag.2012.08.017.
- Richter, Renaud de, y Sylvain Caillol. 2011. "Fighting Global Warming: The Potential of Photocatalysis against CO₂, CH₄, N₂O, CFCs, Tropospheric O₃, BC and other Major Contributors to Climate Change." *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews* 12 (1): 1-19. doi: 10.1016/j.jphotochemrev.2011.05.002.

- Rouse, J. W., R. H. Haas, J. A. Schell, D. W. Deering, y J. C. Harlan. 1974. *Monitoring the Vernal Advancement of Retrogradation (Greenwave Effect) of Natural Vegetation*. Reporte final. Greenbelt: NASA/GSFC. Consultado en abril de 2017. <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19750020419.pdf>
- Santos, Francineide Amorim Costa, Bernardo Barbosa da Silva, Carlos Antonio Costa Braga, y Alexandra Chaves dos Santos. 2013. "Diferentes modelos de estimativa da radiação de onda longa a partir de dados MODIS/TERRA." En *Anales XVI Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 8698-8705. Brasil: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Consultado en abril de 2017. <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2013/files/p0550.pdf>
- Silva, Bernardo da, Susana Maria Gico Lima Montenegro, Vicente de Paulo Rodrigues da Silva, Humberto Ribeiro da Rocha, Josicleda Domiciano Galvêncio, y Leidjane Maria Maciel de Oliveira. 2015. "Determination of Instantaneous and Daily Net Radiation from TM - Landsat 5 Data in a Subtropical Watershed." *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* 135:42-49. doi: 10.1016/j.jastp.2015.09.020.
- Silva, Juliana Maria Oliveira. 2015. "Uso do sensoriamento remoto para a estimativa da temperatura de superfície na microbacia do Rio Granjeiro / Crato - Ceará." *Geosaberes: Revista de Estudos Geoeducacionais* 6 (2): 130-144.
- Sousa, Silvio Braz de, y Laerte Guimarães Ferreira Júnior. 2012. "Relation between Land Surface Temperature, Spectral Indices and Land Cover Classes in the City of Goiânia (GO)." *RA'E GA* 26:75-99. doi: 10.5380/raega.v26i0.30151.
- USGS (United States Geological Survey). 2016. *Landsat 8 (L8) Data Users Handbook*, vol. 8. Sioux Falls: Earth Resources Observation and Science (EROS).

Notas de autor

- 1 Profesional en Ingeniería Ambiental, Universidad de Córdoba (UNICORDOBA, 2015); Magíster en Ciencias Ambientales, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESPunesp, 2017). Sus investigaciones se enfocan en la degradación y uso de los recursos naturales, mediante modelaje matemático, cartografía, uso de sensores remotos y geoprocésamiento.
- 2 Profesional en Geografía, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP, 1995), con Magíster y Doctorado en Geociencias y Medio Ambiente de la misma universidad, obtenidos en 1998 y 2002, respectivamente. Es profesor de tiempo completo y vicedirector del campus Sorocaba de la UNESP. Actúa principalmente en las áreas de geoprocésamiento, sensores remotos, planeamiento y gestión territorial y salud ambiental.