

# Boletín Ambiental



Mapa temperatura del aire  
Fuente: elaboración propia

Instituto de Estudios Ambientales -IDEA- Sede Manizales

**173** | noviembre de  
2020

## Análisis de la correlación existente entre el gradiente de la temperatura del aire y los cambios en los usos del suelo en el departamento de Caldas

## Análisis de la correlación existente entre el gradiente de la temperatura del aire y los cambios en los usos del suelo en el departamento de Caldas

Esteban Ramírez Osorio

Ingeniero civil Universidad del Quindío

Candidato a magíster en Ingeniería de Recursos Hidráulicos

Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales

Jeannette Zambrano Nájera

Profesora asociada

PhD Ingeniería Civil

Directora Instituto de Estudios Ambientales -IDEA-

Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales

Para descargar el boletín:

 [Http://idea.manizales.unal.edu.co/boletin-ambiental.html](http://idea.manizales.unal.edu.co/boletin-ambiental.html)

## 1 Introducción

La temperatura del aire es una de las variables climatológicas más importantes en los análisis climáticos debido a que el cambio en el gradiente de esta variable tiene consecuencias sobre los seres vivos que habitan el planeta. Según el Foro Humanitario Global dirigido por Koffi Annan, anualmente, 325 millones de personas se afectan gravemente por el calentamiento global en los lugares más diversos del planeta, incluyendo a Colombia. Para el año 2030 esta cantidad subiría a 600 millones (Rodríguez y Mance, 2009).

En este sentido, es muy importante el estudio de los factores determinantes de la variación de la temperatura del aire. Entre los más importantes se tienen los factores antrópicos, los cuales están estrechamente ligados al incremento de las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI), aerosoles en la atmósfera y la variación en la cubierta terrestre- Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático- (IPCC, 2007). Uno de los factores antrópicos con mayor influencia sobre la variación del cambio en las temperaturas es la modificación de los usos del suelo; es generado, principalmente, por la intensificación de la agricultura, la deforestación y la expansión urbana. Por esta razón, se propone en este trabajo una revisión de la correlación entre los usos del suelo y las temperaturas para el departamento de Caldas.

## 2 Materiales y métodos

### Localización del área de estudio

El presente estudio fue desarrollado en el departamento de Caldas, el cual se encuentra ubicado geográficamente en la franja tropical en zona de baja latitud ecuatorial. Las coordenadas del departamento son: 5°46'20" N, 4°47'30" N y 75°55'38" W, 74°37'55" W. Caldas está localizado en la región andina colombiana entre las cordilleras Central y Occidental y limita con Antioquia al norte, con Boyacá al noreste, con Cundinamarca al este, al sur con Tolima y Risaralda y al oeste con Risaralda. El área superficial es de 7450 km<sup>2</sup> (Vélez Upegui et al., 2015).

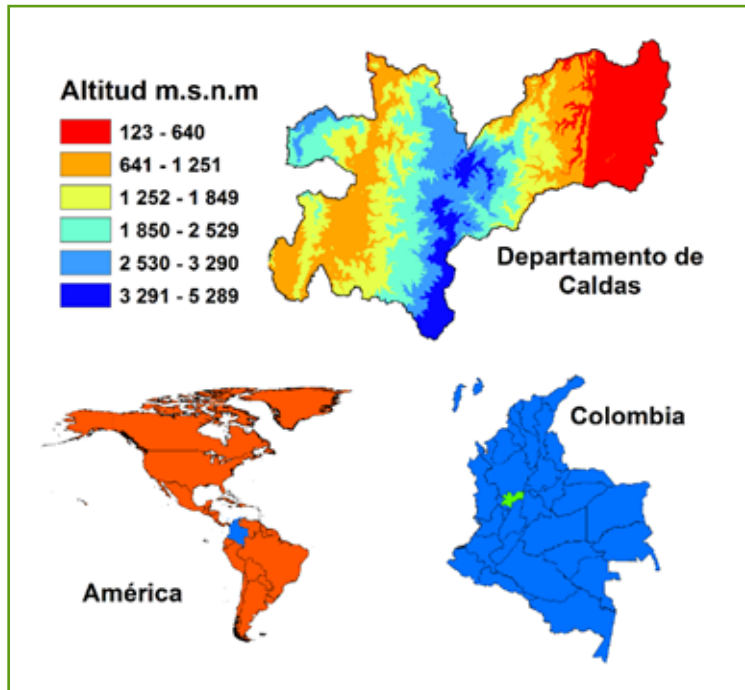


Figura 1 Localización geográfica del departamento de Caldas

## Método empleado

El modelo de correlación espacial usado fue el de mínimos cuadrados ordinarios, el cual se basa en establecer una variable dependiente. En este caso fue la temperatura media del aire obtenida a través de la recolección de datos de temperatura media mensual. Adicionalmente, se establecieron variables explicativas relacionadas con las características de los suelos. Estas variables se encargan de predecir o explicar las variaciones en la variable dependiente, por ende, si existe correlación entre la temperatura del aire y los cambios en los usos del suelo, este modelo está en capacidad de evidenciarlo.

### 3 Resultados

Inicialmente, se obtuvieron mapas de temperatura del aire en el departamento de Caldas, elaborados a partir de la información arrojada por las diferentes estaciones meteorológicas ubicadas en el departamento y sus alrededores, mientras que, los mapas de uso del suelo de los años 2010 y 2014 fueron suministrados previamente. Finalmente, se emplearon 5 modelos utilizando la herramienta de mínimos cuadrados ordinarios, la cual está en las herramientas estadísticas del software ArcMap. A continuación se muestran los resultados obtenidos para el año 2010.

#### a. Mapas de temperatura del aire

La información correspondiente a la temperatura del aire se obtuvo de las estaciones pertenecientes a las siguientes entidades: Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales (UNAL), Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), Unidad de Gestión del Riesgo (UGR) de la Alcaldía de Manizales, Corporación Autónoma Regional de Caldas (CORPOCALDAS), Empresa Metropolitana de Aseo (EMAS), Generación de Energía Construcción de Proyectos y Comercialización de Soluciones Energéticas (ISAGEN) y Central Hidroeléctrica de Caldas (CHEC). En total se emplearon 30 estaciones. Una vez procesados los datos climatológicos, se obtuvieron mapas de temperatura del aire para los años 2010 y 2014.

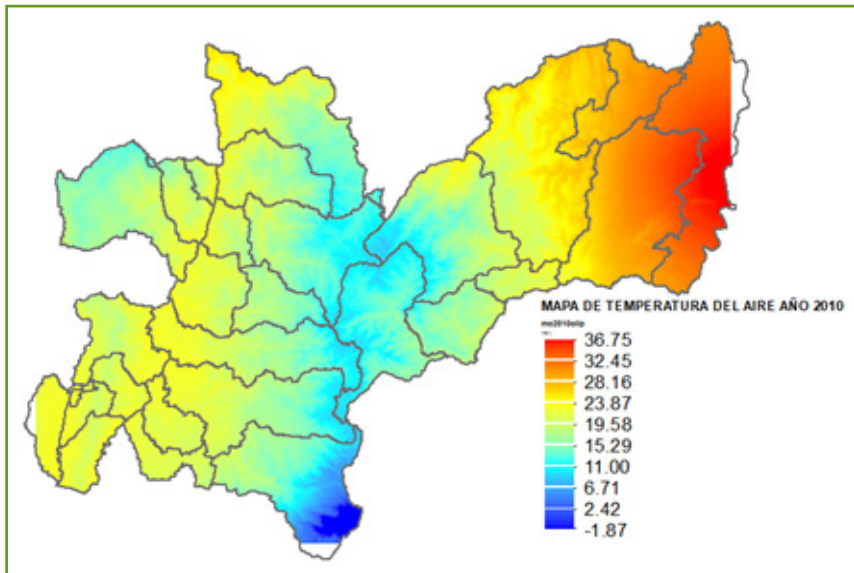


Figura 2. Mapa de temperatura del departamento de Caldas para el año 2010  
Fuente: elaboración propia

De igual forma se obtuvo el mapa de temperatura considerando el gradiente altitudinal. Para ello se utiliza la metodología propuesta por Fries et al., 2009 en donde la obtención de mapas de temperatura del aire se realiza usando la técnica de tendencia directa. Esta técnica consiste en corregir el valor de la temperatura del aire de cada estación estandarizándola con la altitud. Para esto, todas las estaciones se dejan en una sola altitud. En el caso de este proyecto se dejaron a una altitud de 1000 ms.n.m., teniendo en cuenta que, si se toman valores de altitud muy cercanos a cero, se presenta una tendencia a valores negativos, lo cual alteraría los valores reales con relación a la temperatura. A continuación, se muestra el mapa obtenido considerando el gradiente altitudinal.

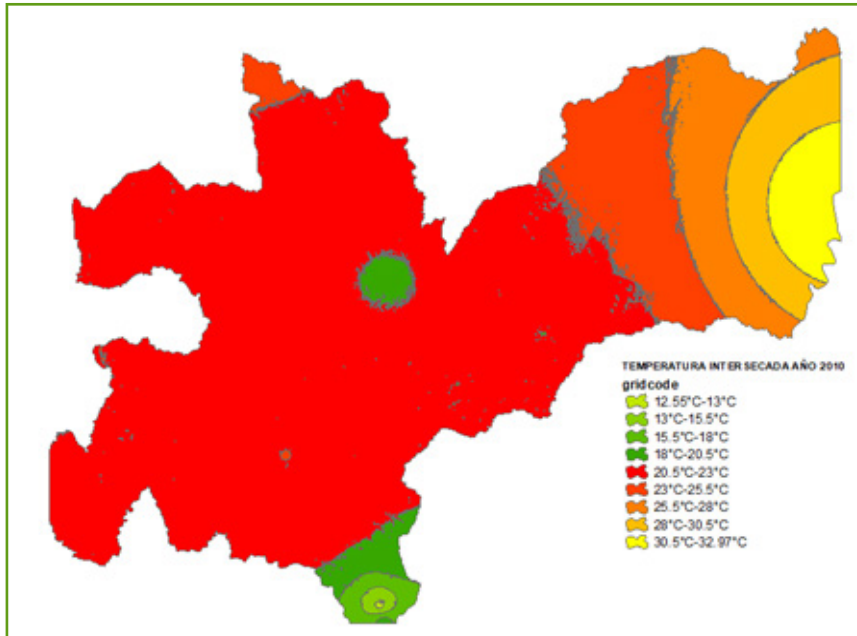


Figura 3. Rangos de temperaturas estandarizadas a 1000 ms.n.m. para el año 2010  
Fuente: elaboración propia

## b. Mapas de usos del suelo

Los mapas de usos del suelo obtenidos fueron procesados de manera que hubiera coincidencia entre los dos mapas, ya que, debido a que el mapa del 2014 no fue validado en campo, este no contenía el nivel de detalle del mapa del 2010, es decir, hasta el nivel 5 de la metodología Corine Land Cover, por lo tanto, fue necesario homogenizar y unir la información.

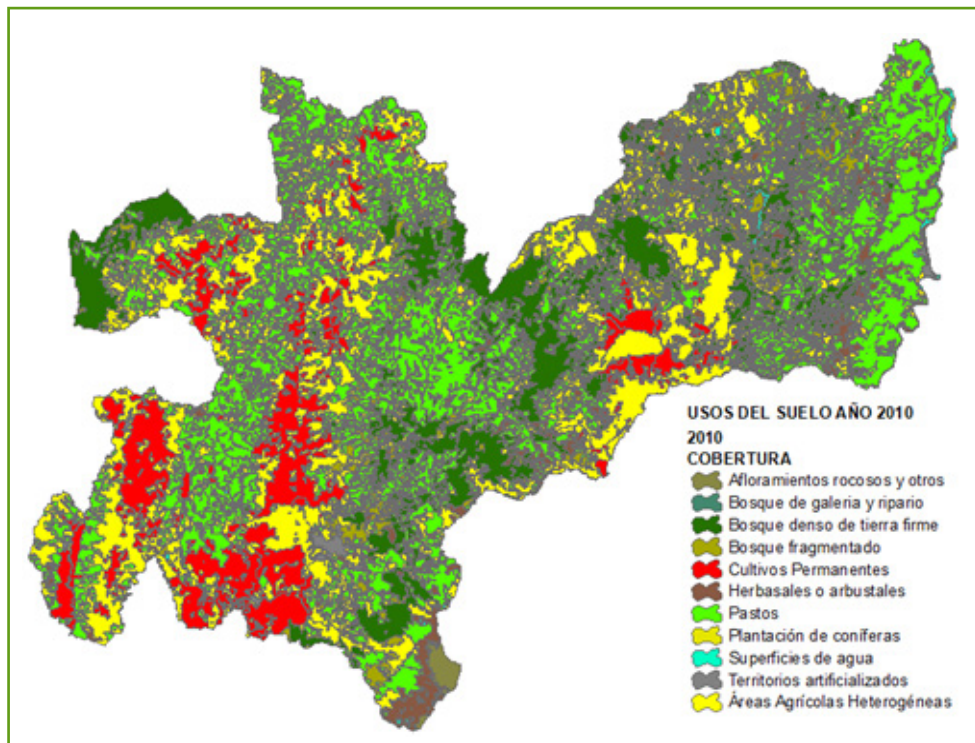


Figura 4. Mapa de usos del suelo para el año 2010  
Fuente: CORPOCALDAS e IGAC 2012

La cobertura de uso del suelo con mayor área en el mapa de uso de suelo de los años 2010 y 2014 fue la correspondiente a pastos. En el año 2010, dicha cobertura cubría el 34.4 % del área del departamento, mientras que, en el año 2014, el porcentaje de cobertura de pastos fue del 41.7 %, es decir, que tuvo un incremento del 7.3 %. Por otro lado, la cobertura correspondiente

a áreas agrícolas heterogéneas tuvo un incremento de 5.2 %, pasando del 23.7 % en el año 2010 al 28.9 % en el año 2014; es importante saber que la variación de estas áreas puede tener influencia en los cambios en las temperaturas del aire.



### c. Mapas de temperatura del aire y usos del suelo intersecados

Este procesamiento consiste en buscar la intersección (herramienta intersecar) entre el mapa de temperatura representado en polígonos con clasificación de la temperatura cada 2.5 °C y el mapa de usos del suelo de los años 2010 y 2014. Dicho geoprocésamiento consiste en calcular la intersección geométrica de las entidades de entrada, en este caso, el mapa de temperatura del aire y el mapa de usos del suelo. Las entidades que se superponen en todas las capas se escriben en la clase de entidad de salida. De esta forma se obtuvieron dos mapas, uno correspondiente al año 2010 y otro al año 2014.

De igual forma, se sacaron las estadísticas zonales de la temperatura del aire para cada uso del suelo de los años 2010 y 2014.

Tabla 1. Estadísticos de temperatura por tipo de cobertura para los años 2010 y 2014

TIPO DE COBERTURA	T MIN		T MAX		T RANGE		T MEAN		DESV. STD	
	2010	2014	2010	2014	2010	2014	2010	2014	2010	2014
Afloramientos rocosos	-1.94	-2.19	35.29	34.88	37.22	37.07	6.31	2.76	10.90	7.50
Herbazales o arbustales	-1.56	-2.28	36.71	36.22	38.26	38.51	21.22	18.72	9.63	9.89
Bosque de galería y ripario	12.62	12.45	36.32	35.57	23.70	23.12	24.34	27.32	5.09	5.15
Bosque denso de tierra firme	3.82	3.44	35.53	35.13	31.71	31.70	17.13	17.00	6.73	6.36
Bosque fragmentado	4.19	4.30	35.75	35.30	31.56	31.00	20.94	20.73	7.10	6.72
Plantación de coníferas	13.13	13.37	19.95	20.51	6.82	7.14	16.10	16.39	0.83	0.83
Superficies de agua	-0.44	6.89	36.75	36.30	37.19	29.41	26.44	28.87	6.42	4.25
Áreas agrícolas heterogéneas	1.92	-1.84	36.75	36.28	34.83	38.13	20.56	19.01	4.57	5.94
Cultivos Permanentes	14.85	-1.34	27.20	36.23	12.35	37.56	20.11	17.50	1.40	5.95
Pastos	-0.79	-0.98	36.74	36.27	37.53	37.25	21.44	23.09	7.93	5.84
Territorios Artificializados	11.63	-0.15	36.69	36.24	25.06	36.39	20.55	20.22	6.05	5.49

Las coberturas que tienen mayor rango entre temperaturas máximas y mínimas son: afloramientos rocosos, herbazales o arbustales y pastos. Esto indica que este tipo de coberturas se adaptan a climas muy variables. Este factor aumenta la necesidad de contar con una buena red de estaciones meteorológicas que garanticen buena cobertura en todo el departamento; adicionalmente, es muy importante que dichas estaciones se encuentren ubicadas en los diferentes usos del suelo. Con esto se garantiza un completo conocimiento climatológico de las coberturas.

## d. Modelos de correlación empleando el método de mínimos cuadrados ordinarios (MCO)

Después de obtener los mapas geoprocesados, se empleó la metodología de (MCO) para realizar los 5 modelos, en los cuales, se pueden ver las variables explicativas en la Tabla 2; la variable dependiente en todos los modelos fue la temperatura media del aire. La ecuación general empleada para modelar los 5 escenarios fue la siguiente:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 * X_1 + e$$

Tabla 2. Variables explicativas del modelo. Fuente: elaboración propia

VARIABLES EXPLICATIVAS (X <sub>n</sub> )	MODELO				
	1 (AÑO 2010)	2 (AÑO 2010)	3 (AÑO 2010)	4 (AÑO 2010)	5 (AÑO 2014)
Altitud	X	X	X	X	X
Porcentaje de área ocupada por la cobertura de vegetación.		X	X	X	X
Cantidad de agua interceptada en mm		X	X	X	X
Coefficiente de rugosidad de Manning		X		X	X
Tipo de cobertura del suelo		X			
Nivel de impermeabilización del suelo		X	X		

El modelo que mejor correlación presentó fue el 4. A continuación se muestran de manera resumida los resultados de este modelo:

**1. Evaluación del rendimiento del modelo.** Los valores de R-cuadrado múltiple y el R-cuadrado ajustado dan valores de 0.9088 y 0.9087 respectivamente. Esto significa que las variables utilizadas explican el 90.8 % de la temperatura del área de estudio, no obstante, la variable que mejor explica la temperatura sigue siendo la altitud.

**2. Análisis de cada variable explicativa del modelo.** Los resultados de este modelo mostraron un coeficiente negativo de -0.00599 para la altitud y -0.0548 para la cantidad de agua interceptada. Lo que quiere decir que, un decremento de 1000 m en la altitud causa un incremento en 5.99 °C en la temperatura; por otra parte, un descenso de 0.548 °C de temperatura se explica por un incremento en 10 mm en la cantidad de agua interceptada. Estos resultados son lógicos ya que es de esperarse que, entre mayor cantidad de agua interceptada, menor será la temperatura. Las variables que mostraron coeficientes positivos fueron el porcentaje de cobertura de la vegetación y el coeficiente de rugosidad de Manning.

Por un lado, el primero dio un valor positivo de 0.009, lo que explicaría que, si el porcentaje de cobertura de vegetación aumenta, las temperaturas también aumentan. Este resultado es de esperarse, ya que, los mayores porcentajes de cobertura están representados por los pastos, donde debido a los bajos niveles de dicha cobertura se incrementan las temperaturas. Por otro lado, el coeficiente de la variable correspondiente al coeficiente de rugosidad de Manning indicó que por cada unidad que se incremente la rugosidad, se incrementará un 1.725 °C la temperatura. La rugosidad es más alta cuanto más alto es el tipo de cobertura; por ejemplo, los bosques tienen mayores valores de rugosidad, seguidos por los pastos y luego por los territorios artificializados. En este caso, no se cumple la hipótesis planteada, lo que se puede deber a que la mayor extensión de suelos está ocupada por pastos, los que, aunque tengan mayor rugosidad no regulan la temperatura como lo hacen los bosques.

**3. Evaluación del T estadístico.** Este parámetro del modelo es analizado con base en los resultados de la probabilidad robusta del mismo. El modelo mostró, en este sentido, que dicho coeficiente es estadísticamente significativo en todas las variables explicativas del modelo.

**4. Evaluación de la importancia del modelo.** En este caso, la probabilidad del índice de Wald en el modelo da 0.000\*. Por lo tanto, indica que la importancia del modelo es significativa.

**5. Evaluación de la influencia del modelo sobre los valores residuales.** Se verifica el índice de Jarque-Bera, el cual indica si los valores residuales se distribuyen normalmente o no. El valor de esta prueba en el modelo es de 0.000\*; esto quiere decir que los valores residuales no tienen una distribución normal, lo que indica que el modelo es tendencioso.

Finalmente, se puede apreciar cómo este modelo muestra que la mayoría de variables explicativas son importantes, excepto la variable correspondiente a rugosidad, la cual, a pesar de que la mayoría de coeficientes mostraron que la variable era estadísticamente significativa, el coeficiente no arrojó tendencias lógicas, es decir, que la temperatura del aire y el coeficiente de rugosidad de Manning se están relacionando de forma directamente proporcional, lo cual es una relación que no es de esperarse.

## 4 Conclusiones

Uno de los parámetros más importantes que se calculó en el proyecto fue el gradiente altitudinal; dicho parámetro se estimó como la pendiente en la metodología propuesta por Fries et al., 2009. El resultado de la pendiente fue de -0.006010; esto indica que la temperatura del aire decae 6.01 °C por cada 1000 m de altitud. Según Julián Vélez et al., 2014, el gradiente teórico para el departamento de Caldas es de -6.5 °C por cada 1000 m de altura. Mientras que Pabón-Caicedo y Eslava-Ramírez,

2001, calcularon un gradiente altitudinal para la región andina de  $6.13\text{ }^{\circ}\text{C}$  por cada 1000 m de altitud. Al comparar estos gradientes teóricos con el gradiente obtenido en la presente investigación, se observa que el resultado es muy similar al teórico, lo que significa que dicho gradiente presenta buenos resultados y es fiable la generación de modelos a partir de esta información.

Después de realizar las modelaciones entre la temperatura del aire y otros parámetros, se concluye que la variable que mejor explica la temperatura es la altitud, lo que era de esperar ya que se ha demostrado plenamente la relación entre estas dos variables. Una vez identificado el peso de la altitud en la explicación de la temperatura, el que se estimó como el 90.5 %, se revisó el peso de las otras variables en la explicación de la temperatura; más específicamente, se identificó la relación existente entre las coberturas del suelo y la temperatura.

De las variables empleadas para caracterizar las coberturas del suelo, el tipo de cobertura vegetal no aportó al modelo lineal planteado. Esta variable, inicialmente, se encontraba caracterizada de una forma cualitativa, es decir, cada cobertura tenía un nombre de acuerdo con la clasificación Corine Land Cover. Con el fin de lograr operar dichas variables y lograr introducirlas a los modelos, se codificaron cada una de las coberturas existentes en los mapas de temperatura de los años 2010 y 2014. Este factor hizo que los resultados estadísticos de la variable no se lograran analizar debidamente. Uno de los principales motivos de este suceso se debe a que para cada cobertura se empleó una codificación de manera aleatoria y esto no permitió generar resultados confiables para esta variable, razón por la cual se suprimió el tipo de cobertura de vegetación.

## 5 Referencias

Fries, A., Rollenbeck, R., Gottlicher, D., Nauss, T., Homeir, J., Peters, T., y Bendix, J. (2009). THERMAL STRUCTURE OF A MEGADIVERSE ANDEAN MOUNTAIN ECOSYSTEM IN SOUTHERN ECUADOR AND ITS REGIONALIZATION Andreas Fries, Rütger Rollenbeck, Dietrich Göttlicher , Thomas Nauss, Jürgen Homeier, 1 Introduction. *Erdkunde*, 63(4), 321–335. <https://doi.org/10.3112/erdkunde.2009.04.03>

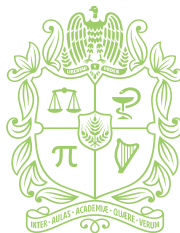
IPCC. (2007). Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. In *Nature* (Vol. 446, Issue 7137). <https://doi.org/10.1038/446727a>

Julián Vélez, J., Aristizábal, B., Darío Duque, N., Zambrano, J., Pérez, Á., Patiño, D., y Li, J. (2014). Clima en Colombia Análisis de Variables Meteorológicas-Año 2014 Línea Base Ambiental de Caldas. <http://cdiac.manizales.unal.edu.co/>

Pabón-Caicedo, J. D., y Eslava-Ramírez, J. A. (2001). Generalidades De La Distribución Espacial Y Temporal De La Temperatura Del Aire Y De La Precipitación En Colombia. *Meteorología Colombiana*, 4, 47–59. <https://doi.org/ISSN-0124-6984>

Rodríguez, M., y Mance, H. (2009). Cambio climático: lo que está en juego. In *Cambio climático: lo que está en juego*. <https://doi.org/Foro Nacional Ambiental>

Vélez Upegui, J. J., Orozco Alzate, M., Duque Méndez, N. D., y Aristizabal Zuluaga, B. H. (2015). Entendimiento de fenómenos ambientales mediante análisis de datos



UNIVERSIDAD  
**NACIONAL**  
DE COLOMBIA

Instituto de Estudios Ambientales - IDEA -  
Teléfono: 8879300 Ext. 50190  
Cra 27 #64-60 / Manizales - Caldas  
<http://idea.manizales.unal.edu.co>  
[idea\\_man@unal.edu.co](mailto:idea_man@unal.edu.co)

**Edición, Diseño y Diagramación:** IDEA Sede Manizales  
Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales