

José Daniel Pabón-Caicedo<sup>1</sup>  
Juan Carlos Alarcón-Hincapié<sup>2</sup>

## EL EFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LAS ZONAS ÁRIDAS Y SEMIÁRIDAS DE COLOMBIA

**Resumen.** Con datos de temperatura media anual del aire y de precipitación anual registrados en el período 1971–2000 y estimados bajo diferentes escenarios de cambio climático para 2011–2040 y 2070–2100, llevados a resolución espacial de 900 metros, se calcula un índice de aridez y se establecen las áreas áridas y semiáridas en el territorio continental colombiano para los períodos mencionados. Con la comparación de las distribuciones espaciales de los diferentes períodos se estableció la modificación que podría ocurrir en la extensión de las zonas áridas y semiáridas en el transcurso del siglo XXI. Como resultado se obtuvo que el cambio climático ampliará las áreas áridas y semiáridas del país especialmente en la región Caribe, valle del río Magdalena, la Orinoquía y la Amazonía, así como algunos sectores en el Pacífico y parte interandina nariñense y del valle del Cauca (Yotoco y Dagua).

**Palabras claves:** climas áridos y semiáridos; cambio climático; clima de Colombia.

**Introducción.** Se consideran zonas áridas o semiáridas aquellas en las que predominantemente se presentan limitación o déficit en la oferta natural de agua para diversos procesos físico-bióticos y socio-económicos. Estas condiciones cubren cerca del 30% de la superficie de los continentes, están relacionadas con valores ecosistémicos tan importantes como el bosque seco, son alberges de biodiversidad única en la escala global y son habitadas por cerca del 20% de la población mundial. Estas áreas son muy sensibles a las fases extremas de la variabilidad climática (Sivakumar et al., 2005), particularmente las asociadas a déficit de precipitación y sequías, a las que se exponen las comunidades establecidas allí, por lo general altamente vulnerables (Ribot, et al., 1996; Kane and Yohe., 2000), lo que produce impactos desastrosos a estas regiones; de otra parte, con el cambio climático algunas zonas áridas están aumentando su extensión y contribuyendo a la agudización del fenómeno de cambio global conocido como la desertificación (Baumhauer, 2007; Akhtar-Schuster et al. 2007). Dada la importancia de estas áreas, es necesario tener idea acerca de los cambios en su extensión, para identificar en donde se podrían estar agudizando los impactos por la fase extrema de la variabilidad climática asociada a las condiciones de déficit de agua, para sustentar políticas de gestión de desastres por tales extremos y para fundamentar estrategias de adaptación al cambio climático, como orientadas a controlarla.

En Colombia, las zonas áridas y semiáridas ocupan cerca de 200.000 km<sup>2</sup>, es decir 16–17% del territorio continental del país, según Molano-Campuzano (1964), distribuidas como se muestra en la Figura 1; tal distribución concuerda en gran medida con la estimada a partir de un índice de aridez basado en variables climatológicas del período 1971–2000 realizada por Alarcón-Hincapié (2016), sin embargo en esta estimación el área cubierta por condiciones áridas es cercana al 10% del territorio colombiano. UNESCO (2010), basado en el método de determinación de la aridez expuesto por Lobo et al. (2005) estima que cerca de 5'945.000 hectáreas o el 5% del territorio colombiano presenta algún grado de aridez. Según IDEAM (2015) las zonas áridas y desérticas, sin considerar las semiáridas, ocupan una extensión cercana al 2%, mientras que Alarcón-Hincapié (2016) estima un 3%. En las zonas áridas y semiáridas del territorio colombiano habita una población considerable que sufre los impactos de las sequías que de manera recurrente trae la variabilidad climática, lo que podría ser exacerbado por la modificación del clima en el largo plazo.

Como elemento que pueda servir de base para la gestión del riesgo de desastre por sequía, como información para explorar medidas de adaptación al cambio climático y como conocimiento

<sup>1</sup> Departamento de Geografía, Universidad Nacional de Colombia; e-mail: jdpabonc@unal.edu.co.

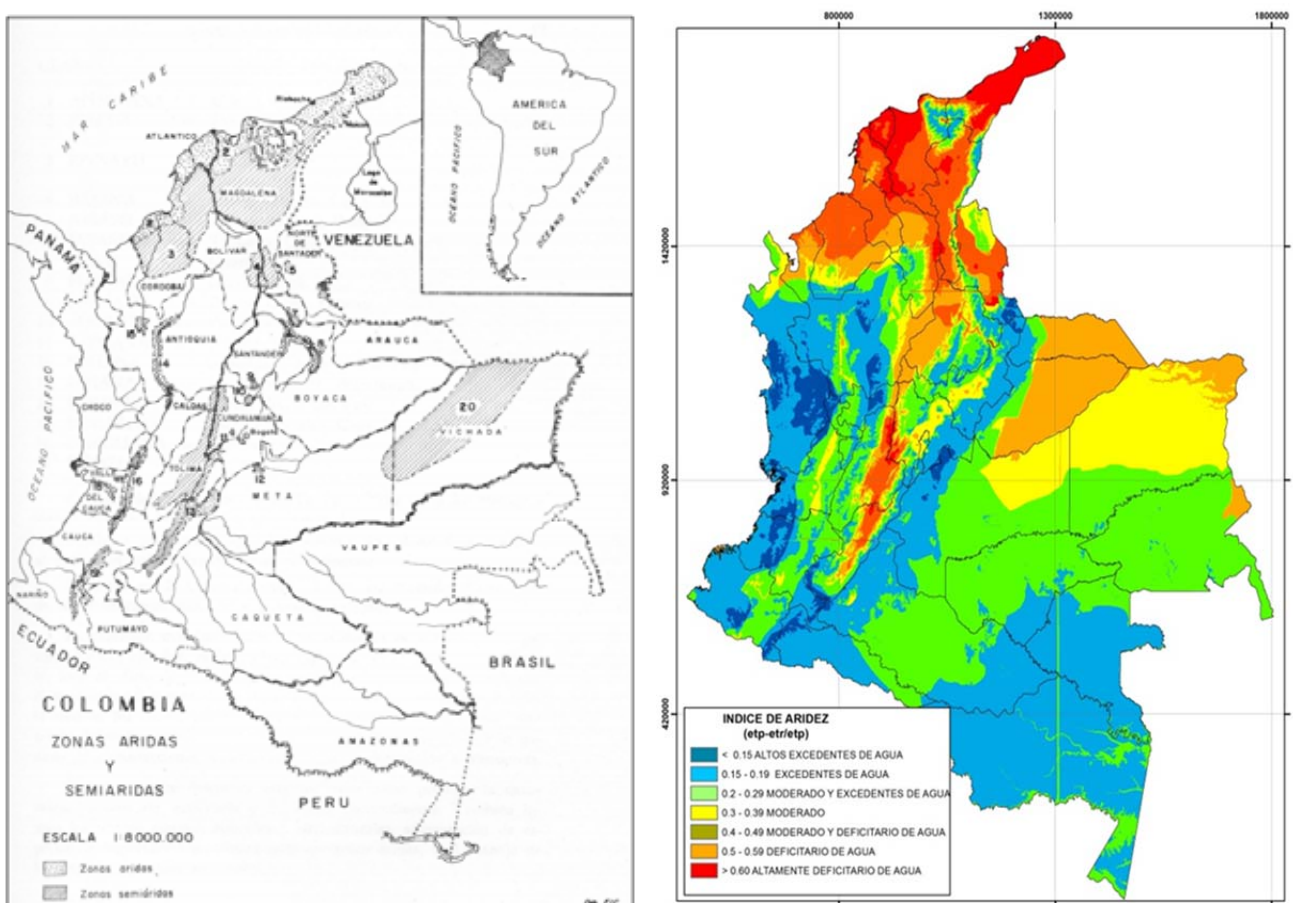
<sup>2</sup> Ingeniería Ambiental, Universidad Distrital Francisco José de Caldas; e-mail: jcalarconh@udistrital.edu.co.

fundamental en la lucha contra la desertificación, se realizó el presente análisis del efecto del cambio climático en las zonas áridas y semiáridas colombianas durante el siglo XXI.

**Materiales y métodos.** Para identificar las zonas áridas y semiáridas, en el presente análisis se utilizó el Índice de Aridez (Ia) descrito en IDEAM (2010) y usado por IDEAM (2000; 2010 y 2015), el cual se calcula a partir de la relación entre la evapotranspiración real y la potencial expresada de la siguiente manera:

$$Ia = \frac{ETP_{ajustada} - ETR}{ETP_{ajustada}}$$

Donde **Ia** es el Índice de Aridez;  $ETP_{ajustada}$  es la evapotranspiración potencial (en milímetros) ajustada por brillo solar;  $ETR$  es la evapotranspiración real (mm). Este índice representa la dinámica superficial del suelo a partir de las variables de evapotranspiración potencial (ETP) y se utiliza en clasificaciones climáticas por grado de humedad. Este índice permite establecer los lugares con diverso grado de excedentes y o de déficit de agua.



**Fig. 1.** Distribución de las zonas áridas y semiáridas en Colombia. A la izquierda según lo observado por Molano-Campuzano (1964); a la derecha según estimaciones de Alarcón-Hincapié (2016) con el clima 1971–2000.

(La numeración en el mapa de la izquierda corresponde a las zona áridas de:

- 1 – Desierto de La Guajira; 2 – Zonida árida del litoral Caribe; 3 – Zona semiárida del norte;
- 4 – Zona La Gloria (Gamarra); 5 – Zona de Ocaña; 6- Desierto del Táchira (ríos Táchira y Zulia);
- 7 – Valle de río de Oro; 8 – Desierto del Chicamocha; 9 – Desierto de La Candelaria; 10 – zona semiárida de Ubaté;
- 11 – Zona semiárida de la Sabana de Bogotá (al suroccidente Soacha, Bosa); 12 – Cañón del río Negro;
- 13 – Alto Magdalena (Tolima y Huila); 14 – Cañón de la cuenca media del río Cauca;
- 15 – Cuenca alta del río Sucio (Antioquia); 16 – La planada del Valle del Cauca; 17 – Zona de Yotoco (valle);
- 18 – Cañón del Dagua; 19 – ríos Patía, Juanambú y Guaitara; 20 – Sector seco de la Orinoquía.

En el mapa de la derecha las zonas áridas y semiáridas corresponden a los colores rojo y anaranjado.

La evapotranspiración potencial se calculó según lo propuesto por Thornwaite & Mather (1955; 1957) y la ETR según la fórmula de Turc (1955). Para la  $ETP_{ajustada}$  por latitud, se aplicó un factor a la ETP de la siguiente manera:

$$ETP_{ajustada} = 1.02147 * ETP$$

Para el cálculo se utilizaron datos de temperatura media anual del aire y de precipitación anual de estaciones climatológicas distribuidas en el territorio colombiano, con los que se calcularon los promedios multianuales 1971–2000. Se generaron datos para una grilla con resolución espacial de 900 metros mediante el proceso descrito por Alarcón-Hincapié (2013) en el que se utilizó el IDW como método de interpolación.

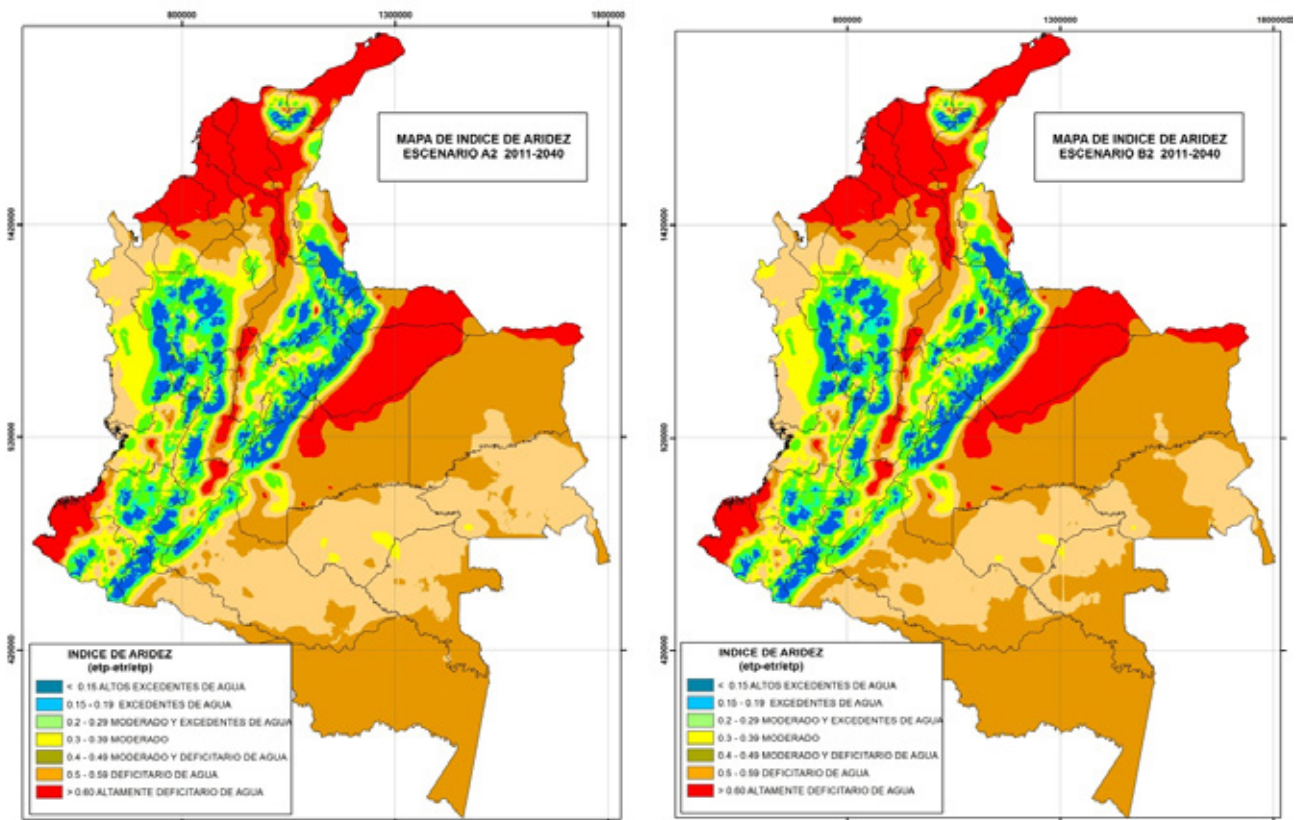
**Resultados y discusión.** El primer resultado de este trabajo es el mapa que se presenta a la derecha de la Figura 1. En promedio para el país el  $Ia$  es de 0,23, o sea condiciones moderadas y excedentes de agua, lo que en términos generales no indica grado de aridez alguno; sin embargo, el análisis detallado de la distribución espacial de  $Ia$  permite identificar sectores altamente deficitarios de agua localizados en la península de La Guajira y norte de los departamentos de Magdalena y Atlántico, así como también en los límites de los departamentos de Cundinamarca y Tolima y sur del departamento de norte de Santander, que en total ocupan un 2,9% del área continental del país; las zonas deficitarias de agua, por su parte ocupan un 6.9% y se localizan en el la cuenca del río grande de la Magdalena, norte del departamento de Córdoba, Sucre, Magdalena, Cesar y parte del departamento de Norte de Santander; condiciones moderadas a deficitarias se observan en la Sabana de Bogotá, en el valle del río Chicamocha, así como también en la Orinoquia y amazonia colombiana. Se debe mencionar que cerca del 80% de la población y actividades económicas del país están localizadas en cuencas con algún grado de déficit de oferta natural de agua.

La distribución del  $Ia$  para los períodos 2011–2040 y 2071–2100 bajo escenarios A2 y B2 se presentan en las Figuras 2 y 3. (Hay que tener en cuenta que, en términos de intensidad de los cambios en los escenarios IPCC (2000), el escenario A2 es el más drástico, en tanto que el B2 sería relativamente conservador). Para el período 2011–2040 la distribución de las condiciones de aridez prácticamente no se diferencia en los dos escenarios, solo en sitios muy puntuales y en la Orinoquia se notan las diferencias. Para el período 2071–2100 el escenario A2 presenta la mayor cobertura de zonas áreas, mientras que el B2 cubre menor área del país con esta condición.

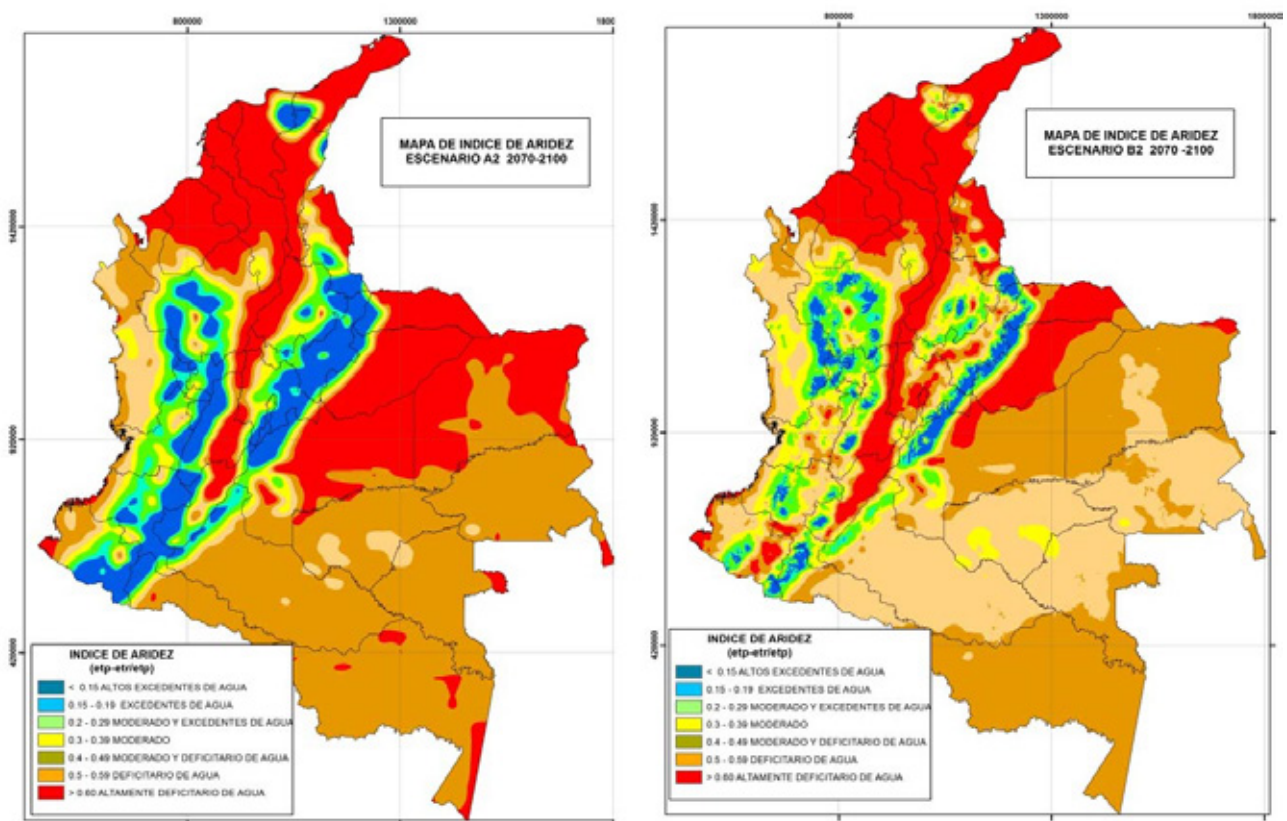
Al comparar el mapa de la Figura 1 derecha con los expuestos en la Figura 2, que muestra el índice de aridez en dos escenarios para el período 2011–2040, se observa un crecimiento marcado de las zonas áridas (áreas altamente deficitarias de agua), especialmente en la región Caribe, un amplio sector de la Orinoquia, valle del río Magdalena y el sector de Yotoco y Dagua en el Valle del Cauca; también se registra la aparición de nuevas zonas áridas al suroccidente sobre costa del Pacífico y la región andina nariñenses. Gran parte de la Orinoquia y la Amazonía tendrán condiciones semiáridas. Para el período 2071–2100 las zonas áridas de la región Caribe y del valle del Magdalena se extienden aún más; la del Pacífico nariñense que aparece en 2011–2040 se reduce, pero en el escenario B2 se intensifica la de la región Andina nariñense.

Los cambios que ocurren en la extensión de las zonas áridas y semiáridas debido a diferentes escenarios de cambio climático se sintetizan en la Tabla 1. En esta es posible apreciar que bajo el escenario B2, la condición de aridez (altamente deficitario) pasa a cubrir el 19,1% en el 2011–2040 y en el 20170–2100. Con el escenario A2 el cambio en las zonas áridas sería a 14,8% y 29,8% del territorio colombiano respectivamente para los dos períodos señalados.

En general, en comparación con la situación de 1971–2000, las condiciones de aridez se extenderán y cubrirán mayor área del país durante el siglo XXI.



**Fig. 2.** Distribución espacial del índice de aridez  $I_a$  en el período 2011–2040 bajo los escenarios A2 (izquierda) y B2 (derecha)



**Fig. 3.** Distribución espacial del índice de aridez  $I_a$  en el período 2071-2100 bajo los escenarios A2 (izquierda) y B2 (derecha)



**Porcentaje del territorio continental colombiano cubierto con diferentes categorías del índice de aridez (Ia) bajo el clima 1971-2000 y en escenarios A2 y B2 en 2011-2040 y 2071-2100**

ZONA	ACTUAL	A2 2011-2040	B2 2011-2040	A2 2070-2100	B2 2070-2100
ALTOS EXCEDENTES DE AGUA	21,6%	5,9%	2,7%	8,8%	2,7%
EXCEDENTES DE AGUA	20,2%	2,8%	1,6%	3,1%	1,6%
MODERADO Y EXCEDENTES DE AGUA	27,1%	8,3%	5,4%	5,7%	5,4%
MODERADO	11,3%	8,9%	8,1%	4,7%	8,1%
<b>MODERADO Y DEFICITARIO DE AGUA</b>	<b>10,1%</b>	<b>26,0%</b>	<b>30,3%</b>	<b>7,0%</b>	<b>30,3%</b>
<b>DEFICITARIO DE AGUA</b>	<b>6,9%</b>	<b>33,3%</b>	<b>32,8%</b>	<b>41,0%</b>	<b>32,8%</b>
<b>ALTAMENTE DEFICITARIO DE AGUA</b>	<b>2,9%</b>	<b>14,8%</b>	<b>19,1%</b>	<b>29,8%</b>	<b>19,1%</b>

**Conclusiones.** Con el análisis de la distribución espacial de un índice de aridez en diferentes escenarios climáticos se pudo establecer que el cambio climático traerá para Colombia la ampliación de las áreas áridas y semiáridas, proceso que será especialmente marcado en la región Caribe, valle del río Magdalena, la Orinoquía y la Amazonía, así como algunos sectores en el Pacífico y parte interandina nariñense y del valle del Cauca (Yotoco y Dagua). En general el avance en extensión de las áreas áridas se bastante marcado pasando de cerca del 3% en el período 1971-2000 a 14-19% en 2011-2040 y a 19-30% en 2071-2100.

**Reconocimientos.** El análisis presentado en este documento es parte del proyecto de investigación «Análisis de procesos regionales que acentúan o suavizan la señal global del calentamiento y el cambio climático sobre el territorio colombiano», financiado por Colciencias (código 110156935174) y por la Universidad Nacional de Colombia (QUIPU 201010020957) bajo el contrato N° 0154-2013 y desarrollado por el grupo «Tiempo, clima y sociedad» del Departamento de Geografía, Facultad de Ciencias Humanas de la Universidad Nacional de Colombia.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Akhtar-Schuster M., Schmiedel U., Jürgens N., 2007: Biodiversity and desertification. In the Chapter 3 «Water and Climate Change», paragraph «3.2. Possible Consequences» of the book «Global Change: Enough water for all?» (Lozan J.L., Grassl H., Hupfer P., Menzel L., Schönwise C-D. (Eds), 2007: Global Change: Enough Water for all? Wissenschaftliche Auswertungen – GEO, Hamburg, Germany, 384 p.), pp. 224-226.
2. Alarcón J.C., Pabón J.D., 2013: El cambio climático y la distribución espacial de las formaciones vegetales en Colombia. Colombia Forestal, 16 (2), pp. 171-185.
3. Alarcón-Hincapié, 2016: Impacto del Cambio Climático en Recurso Hídrico del territorio Colombiano. Aceptado en *Natureza & Sociedade*.
4. Baumhauer R., 2007: Accelerated desertification. In the Chapter 3 «Water and Climate Change», paragraph «3.2. Possible Consequences» of the book «Global Change: Enough water for all?» (Lozan J.L., Grassl H., Hupfer P., Menzel L., Schönwise C-D. (Eds), 2007: Global Change: Enough Water for all? Wissenschaftliche Auswertungen – GEO, Hamburg, Germany, 384p.), pp. 220-224.
5. IDEAM, 2000: Estudio Nacional del Agua. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá D.C. 39 p.
6. IDEAM, 2010: Estudio Nacional del Agua 2010. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá D.C. 420 p.

7. IDEAM, 2015: Estudio Nacional del Agua 2014. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Bogotá D.C. 493 p.
8. IPCC, 2000: Special Report on Emissions Scenarios. Edited by N. Nakicenovic and R. Swart. / Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom and New York, NJ, USA.
9. *Molano-Campuzano J.*, 1964: Zonas áridas de Colombia. Boletín de la Sociedad Geográfica de Colombia. V. XXII, No 83–84, ([http://www.sogeocol.edu.co/documentos/084\\_zon\\_arid\\_de\\_col.pdf](http://www.sogeocol.edu.co/documentos/084_zon_arid_de_col.pdf)).
10. *Kane S.M., Yohe G.W. (Eds)*, 2000: Societal Adaptation to Climate Variability and Change. Springer Science. 257 p.
11. *Lobo D. L., Gabriels, D., Ovalles F.V., Santibáñez, F. Moyano, M.C., Aguilera, R., Pizarro, R., Sangüesa, C. y Urra, N.* 2005. Guía metodológica para la elaboración del mapa de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas de América Latina y el Caribe. CAZALAC, Chile, 59 p.
12. *Pabón J.D.*, 2012: Cambio climático en Colombia: Tendencias en la segunda mitad del siglo XX y escenarios posibles para el siglo XXI. Rev. Acad. Colomb. Cienc. 36 (139), pp. 127–144.
13. *Pabón-Caicedo J.D.*, 2013: An Assessment of Climate Change in Colombia: Trends in the 20th Century and Scenarios for the 21st Century. CEGeoIC 2013 International Conference on Geo-and Environmental Information and Communication Proceedings, CODATA Germany, Berlin, Germany. pp. 1–10.
14. *Ribot J.C., Magalhaes A.R., Panagides S.S. (Eds)*, 1996: Climate Variability, Climate Change and Social Vulnerability in Semi-Arid Tropics. Cambridge University Press. 175 p.
15. *Sivakumar M.V.K., Das H.P., Brunini O.*, 2005: Impacts of Present and Future Climate Variability and Change on Agriculture and Forestry in the Arid and Semi-Arid Tropics. Climate Change, 70 (1), pp. 31–72.
16. *Thorntwaite C.W., Mather J.R.*, 1955: The Water Balance. Laboratory of Climatology Publ. 8. Centerton, NJ.
17. *Thorntwaite C.W., Mather J.R.*, 1957: Instructions and Tables for Computing Potential Evapotranspiration and the Water Balance. Drexel Institute of Technology, Laboratory of Climatology, Publications in Climatology 10(3), 311 p.
18. *Turc L.*, 1955. Le bilan d'eau des sols. Relation entre la précipitation, l'évaporation et l'écoulement. Ann. Agron. 5, 491–569.
19. UNESCO, 2010: Atlas de Zonas Áridas de América Latina y el Caribe.- Proyecto *Elaboración del Mapa de Zonas Áridas, Semiáridas y Subhúmedas de América Latina y el Caribe*, CAZALAC, Documentos Técnicos del PHI-LAC, N°25.

---

**José Daniel Pabón-Caicedo<sup>1</sup>**  
**Juan Carlos Alarcón-Hincapié<sup>2</sup>**

## THE EFFECTS OF CLIMATE CHANGE ON ARID AND SEMI-ARID AREAS OF COLOMBIA

**Abstract.** *With annual average air temperature and annual precipitation data for the 1971–2000 period and scenarios for the 2011–2040 and 2070–2100 period, in 900 meters of spatial resolution, an aridity index was calculated and the arid and semiarid areas were identified for Colombian territory. By comparing the spatial distributions of the aridity index in different periods, the modification of the coverage of the arid and semiarid areas caused by the*

---

<sup>1</sup> Departamento de Geografía, Universidad Nacional de Colombia; e-mail: [jdpabonc@unal.edu.co](mailto:jdpabonc@unal.edu.co).

<sup>2</sup> Ingeniería Ambiental, Universidad Distrital Francisco José de Caldas; e-mail: [jcalarconh@udistrital.edu.co](mailto:jcalarconh@udistrital.edu.co).

*climate change were established. It was obtained that climate change will expand the arid and semi-arid areas of the country especially in the Caribbean region, valley of the Magdalena river, the Orinoco and the Amazon, as well as some areas in the Pacific and inter-Andean Nariño and Cauca Valley (Yotoco and Dagua).*

**Key words:** *arid and semi-arid climates; climate change; climate of Colombia.*

---

УДК 502.313+551.583+639.1+911.2

А.А. Медведков<sup>1</sup>

## ТРАНСФОРМАЦИЯ «КОРМЯЩИХ ЛАНДШАФТОВ» И ТРАДИЦИОННОЙ КУЛЬТУРЫ АБОРИГЕННЫХ НАРОДОВ СИБИРИ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

**Резюме.** В статье анализируются изменения «кормящих ландшафтов» и их природно-экологических ресурсов, представляющих основу систем жизнеобеспечения аборигенного населения. Рассмотрены возникшие в связи с этим угрозы и особенности трансформации традиционного уклада их жизни. На примере одного из этносов продемонстрированы возможности по адаптации к меняющимся природно-климатическим условиям, с учётом его этнокультурной специфики.

**Ключевые слова:** «кормящие ландшафты», традиционные знания, изменение климата, коренные народы, системы жизнеобеспечения, Сибирь.

**Введение.** В настоящее время климатические изменения достаточно ярко проявляются на жизни коренного населения северных регионов нашей страны – ненцев, долган, селькупов, эвенков, кетов, и др. Для них рыболовство, охотничий промысел, оленеводство, природные ландшафты – это не только ресурсный источник существования, но и часть традиционной культуры. Этим обусловлена повышенная наблюдательность аборигенов за происходящими природно-климатическими изменениями. Долгое время такие знания были слабо востребованными в научных исследованиях. И только в рамках программ Международного полярного года 2007–2008 гг. они стали широко использоваться в научно-исследовательской работе [Крупник, Богословская, 2007]. Важно понимать, что изучение реально происходящих изменений природной среды и их влияние на присваивающие этно-экосистемы не только качественно дополняет глобальные и региональные модели современного климата, но и позволяет осуществлять более достоверные прогнозы и для локального уровня.

Современное потепление климата в сибирских регионах фиксируется с начала 80-х гг. XX в. (рис. 1) и характеризуется участвовавшими теплыми зимами, растянутыми переходными сезонами (рис. 2) и усилением погодно-климатических аномалий. Резкие колебания погодных условий – типичная особенность современного этапа изменения климата, особенно ярко проявляющаяся в континентальных районах страны. Данные климатические изменения влияют на продуктивность «кормящих ландшафтов», продовольственную безопасность и угрожают благосостоянию коренного населения. Становится актуальным вопрос о разработке соответствующих мер и стратегии, для адаптации традиционного хозяйства и образа жизни северных этносов к меняющемуся климату.

---

<sup>1</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра физической географии мира и геоэкологии, Москва, 119991, Россия, старший научный сотрудник, канд. геогр. н.; e-mail: a-medvedkov@bk.ru.