

REVIEW ARTICLE / ARTÍCULO DE REVISIÓN

IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON AVAILABILITY OF SURFACE WATERS IN SOUTH AMERICA

IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA DISPONIBILIDAD DE LAS AGUAS SUPERFICIALES EN SUDAMERICA

Giovene Pérez-Campomanes¹ & José Iannacone^{1,2}

1 Laboratorio de Ecología y Biodiversidad Animal. Facultad de Ciencias Naturales y Matemática. Grupo de Investigación en Sostenibilidad Ambiental (GISA), Escuela Universitaria de Posgrado, Universidad Nacional Federico Villarreal (EUPG –UNFV), Lima, Perú.

2 Laboratorio de Parasitología. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Ricardo Palma (URP), Lima, Perú.

Author for correspondence: giovene.perez.c@gmail.com / joseiannaconeoliver@gmail.com

ABSTRACT

In the present work, a review was made of the current state of the assessment of the climate impact on the availability of surface waters in South America. A review of 72 scientific articles refereed and indexed during the period 2010 to 2019 of 10 countries was made: Argentina, Bolivia, Brazil, Colombia, Chile, Ecuador, Paraguay, Peru, Uruguay, and Venezuela. Scientific articles in Spanish, English and Portuguese were reviewed. Twenty-eight articles were obtained that fit the variables related to the topic of which 7 were the main ones: climate change, rain, vulnerability, climatic variability, hydrological modeling, water regulation, and rural development. It was observed that there is an increase in the number of scientific articles carried out in the last five years, reflecting the interest of South American countries in the presence of climate change and its impact on the availability of surface waters. Colombia and Brazil presented the highest number of scientific articles. Research has been carried out in hydrographic basins in South America, and their behavior has been simulated, through the use of mathematical models. Surface waters for agricultural use were investigated in the upper part of the basins and in the

city for the consumption of the population. Generally it is in times of scarcity of the water resource that the planning is carried out. The characteristics of each basin, the behaviors and customs of the inhabitants of the upper basin must be included, as well as all the users involved in the use of the water resource. It is important that the governments of the countries of South America continue promoting scientific research in this area.

Key words: basin – rain – temperature – water resource – vulnerability

RESUMEN

En el presente trabajo, se hizo una revisión sobre el estado actual de la evaluación del impacto climático en la disponibilidad de las aguas superficiales en Sudamérica. Se hizo una revisión de 72 artículos científicos arbitrados e indizados durante el periodo 2010 al 2019 de 10 países: Argentina, Bolivia, Brasil, Colombia, Chile, Ecuador, Paraguay, Perú, Uruguay, y Venezuela. Se revisaron artículos científicos en español, inglés y portugués. Se obtuvo que las variables relacionadas con el tema fueron 28, de las cuales 7 fueron las principales: cambio climático, lluvia, vulnerabilidad, variabilidad climática, modelamiento hidrológico, regulación de las aguas, y desarrollo rural. Se observó que existe un aumento en el número de artículos científicos realizados en los últimos cinco años, lo que refleja interés de los países de Sudamérica ante la presencia del cambio climático y su impacto en la disponibilidad de las aguas superficiales. Colombia y Brasil, presentaron el mayor número de artículos científicos. Se ha desarrollado investigaciones en cuencas hidrográficas de Sudamérica, y se ha simulado su comportamiento, a través del uso de modelos matemáticos. En la zona alta de las cuencas se investigó las aguas superficiales para uso agrícola, y en la ciudad para el consumo de la población. Generalmente es en épocas de escasez del recurso hídrico que se realiza la planificación. Se debe incluir las características de cada cuenca, los comportamientos y costumbres del poblador de la cuenca alta, así como a todos los usuarios involucrados en el uso del recurso hídrico. Es importante que los gobiernos de los países de Sudamérica sigan promoviendo la investigación científica en esta temática.

Palabra claves: cuenca – lluvia – recurso hídrico – temperatura – vulnerabilidad

INTRODUCCIÓN

Se define el cambio climático, como una modificación del clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante un período de tiempo en forma comparativa (Xue *et al.*, 2017). También se considera que el cambio climático principalmente se expresa como una variación en la precipitación y en la temperatura (Nam *et al.*, 2011). De igual forma se expresa como el cambio en el valor medio o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante largos períodos de tiempo, generalmente decenios o períodos más largos. El cambio climático puede deberse a procesos internos naturales, a fuerzas externas o a cambios antropogénicos persistentes en la composición de la atmósfera o del uso de la tierra (IPCC *et al.*, 2007; Nam *et al.*, 2011; Chen *et al.*, 2019).

Las aguas superficiales podemos definir las como las masas acuosas provenientes de la precipitación que circulan sobre o bajo la superficie terrestre, y que llegan a una corriente para finalmente ser drenadas hasta la salida de una cuenca (IPCC, 2007). De igual forma, la conceptualizamos como aquellas masas de agua que fluyen por debajo de la superficie del suelo (Nam *et al.*, 2011; Mejía, 2012; Bolaños-Chavarría & Betancur-Vargas, 2018).

La evaluación del cambio climático y su impacto en las aguas superficiales es importante, porque al analizarla podemos encontrar una relación estrecha entre ambas variables (Delpla *et al.*,

2009; Nan *et al.*, 2011; Xue *et al.*, 2017; Bi *et al.*, 2018; Wang *et al.*, 2019). Se puede observar consecuencias directas del cambio climático con el aumento o disminución de la disponibilidad de las aguas superficiales (Poblete *et al.*, 2013; Montalvo & Francés, 2017; Wu *et al.*, 2018). Por ende, está demostrado que el cambio climático puede modificar el agua disponible que es necesaria para mantener la calidad de vida y el desarrollo sostenible (Nan *et al.*, 2011; Duran-Encalada *et al.*, 2017; Xue *et al.*, 2017; Chen *et al.*, 2019; Wang *et al.*, 2019).

En países de Sudamérica como Argentina, se ha registrado cambios en los patrones de temperatura y precipitación en los últimos 60 años, producto de la presencia del cambio climático y se espera que estas tendencias se mantengan (Chesini, 2018), y si evaluamos el impacto directo del cambio climático a nivel de una cuenca, el aumento en la precipitación promedio favorece la ocurrencia de eventos como inundaciones, los que cambian en frecuencia e intensidad (León-Ochoa *et al.*, 2019).

En Quito, Ecuador ante la presencia del cambio climático, se incrementa las temperaturas medias en 1,2 °C, las mínimas medias en 1,1 °C y finalmente las máximas medias en 0,7°C. También se ha generado una disminución en las precipitaciones en el orden de los 7 mm de lluvia por mes (Hernandez-Díaz, 2016).

En Paraguay la mayoría de los modelos ejecutados dan como resultado un aumento de la precipitación en la región sobre el final de cada año,

en los meses de noviembre y diciembre, entre la década de 2020 y la década del 2050, donde la media de la precipitación muestra un incremento de hasta $1 \text{ mm}\cdot\text{día}^{-1}$ en el mes de octubre, para la ciudad de Asunción (Bidegain *et al.*, 2012). Si analizamos el impacto del cambio climático en las aguas superficiales, una de las grandes preocupaciones es el conocimiento de los procesos de vulnerabilidad (Mussetta *et al.*, 2017), lo que hace necesario una agenda climática nacional participativa (Torres-Alruiz & Ulloa-Torrealba, 2018). Así mismo, la mayor fortaleza detectada, se centra en la protección del ser humano ante la amenaza de enfermedades resultantes del cambio climático (Villafuerte-Holguín *et al.*, 2018).

En Colombia, la gestión del agua está centrada en el ámbito estatal, al ser las corporaciones ambientales de las regiones, las que aplican las principales herramientas de gestión, concesiones de agua, tasas por uso del agua, tasas por vertimientos de aguas residuales y los planes de ordenación y manejo de cuencas (Rojas-Padilla *et al.*, 2013). Si deseamos contar con mayor información meteorológica disponible, es necesario mantener y aumentar la red de estaciones meteorológicas, y con ello mejoramos las posibilidades de observar tendencias y ciclos que permitan incrementar las proyecciones del cambio climático (Sarricolea *et al.*, 2017). Es necesario hacer uso de la información disponible en el estado, por parte del Ministerio de Agricultura (MAGAP) y otras instituciones para tomar las medidas necesarias para garantizar el bienestar de la población,

y continuar con estos estudios de forma sistemática (Álvarez-Hernández & Montaña-Peralta, 2017).

Debemos seguir investigando las tendencias en la precipitación con series de tiempo largas y completas, dado que los resultados de las pruebas estadísticas realizadas permitirían formular medidas de adaptación al manejo de los excedentes hídricos (Bazzano *et al.*, 2019), y con toda la información disponible, se emplearían en futuras investigaciones (Chávez-Jiménez & González-Zeas, 2015). Queda en evidencia la preparación de una hoja de ruta que permita consensuar las prioridades de investigación, en función de las agendas sectoriales de desarrollo sostenible y las capacidades propias de las instituciones de educación superior e institutos públicos o privados de investigación (Cadilhac *et al.*, 2017).

La combinación de un modelo hidrológico, un modelo global del clima y los escenarios climáticos han permitido modelar los posibles efectos del cambio climático sobre los flujos y almacenamientos en una cuenta de alta montaña; así mismo, la información que nos proporciona la modelación matemática resulta de suma importancia para definir las acciones a corto, mediano y largo plazo que deben de implementarse para mitigar los efectos del cambio Climático (Xue *et al.*, 2017; Orozco *et al.*, 2018; Wang *et al.*, 2019). Se ha demostrado que el principal factor climático responsable de influir en el régimen del flujo medio del recurso hídrico, es la precipitación, mientras

que la temperatura, es capaz de alterar ligeramente el régimen hidrológico de los ríos y desempeña un papel secundario (Retegan & Borcan, 2014).

La disminución del hábitat natural y de la deforestación pueden alterar a la biodiversidad, al suelo y al agua (Tozato, 2015; Perez-Ortega *et al.*, 2018). Los desequilibrios ambientales relacionados con el agua no deben ser atribuidos exclusivamente al cambio climático. Dado que las fuentes hídricas han disminuido, es necesario estudiar otras fuentes de abastecimiento de agua menos vulnerables a las alteraciones climáticas, como la desalinización de agua de mar, para garantizar así la oferta de agua que soporta las demandas hídricas futuras de la población (Chapman *et al.*, 2017; Guerrero, 2020).

El objetivo de la presente revisión es evaluar la información disponible sobre el impacto climático en las aguas superficiales en Sudamérica en base a la revisión de artículos científicos publicados en revistas arbitradas e indizadas durante 2010 al 2019.

MATERIALES Y MÉTODOS

Al realizar la búsqueda en las siguientes cuatro bases de datos: Google, Google académico, Scielo, y Scopus fueron seleccionados 72 artículos científicos publicados en revistas arbitradas e indizadas. Se hizo la pesquisa con las frases: “cambio climático”, “impacto del climático” y “efecto del cambio climático en las aguas superficiales”. También se buscó con las palabras: “impacto climático” y “efecto del cambio climático” colocando el nombre de cada uno de los 10 países

de Sudamérica: Argentina, Bolivia, Brasil, Colombia, Chile, Ecuador, Paraguay, Perú, Uruguay y Venezuela. Se buscó en español, inglés y portugués. En la presente investigación, no fueron consideradas ni tesis, ni resúmenes de congreso sobre el tema. Se realizó la búsqueda de artículos científicos académicos, durante el periodo del 2010 al 2019.

Se clasificó los artículos científicos encontrados en orden de antigüedad, del más reciente (2019), al más antiguo (2010). Se colocó el país, el nombre de la revista científica, el volumen de la revista el número de las páginas en la que fue publicado y todas las variables relevantes seleccionadas encontradas. Posteriormente la información fue consolidada y fueron buscadas otras variables empleadas en los artículos científicos revisados. Luego se realizó la sistematización y ordenamiento definitivo, obteniendo las variables más representativas, que finalmente fueron 28 variables, las que fueron enumeradas para una mejor identificación. Las 7 variables que más fueron empleadas en los artículos científicos revisados fueron las siguientes: “cambio climático”, “lluvia”, “vulnerabilidad”, “variabilidad climática”, “modelamiento hidrológico”, “regulación de las aguas” y “desarrollo rural”. Se elaboró, varias figuras relacionando países *vs* publicaciones, publicaciones *vs* año de publicación, artículos científicos *vs* idiomas, países *vs* variables más citadas. Se usó las pruebas t de Student para comparar si el número de artículos publicados,

entre 2010-2014 *vs* 2015-2019 fueron estadísticamente similares, previo análisis de homocesticidad de varianzas con la prueba de Levene (F) y prueba de normalidad. Se empleó la correlación de Pearson (r_{pearson}) que asociada el número total de artículos científicos encontrados en cada uno de los 10 países de Sudamérica con el número de artículos científicos que citan la variable “cambio climático” por

país. Se usó como valor de comparación un valor de $p < 0,05$. Para todos los estadísticos descriptivos e inferenciales se usó el paquete estadístico SPSS versión 23,00.

Aspectos éticos

Los autores del presente artículo de revisión declaran que se ha cumplido con toda la normatividad ética nacional e internacional.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 1. Relación de 72 artículos científicos en revistas arbitradas e indizadas, que evalúan el impacto climático en las aguas superficiales en Sudamérica. La información es ordenada en base al año de publicación del 2019 al 2010, país sudamericano, título en idioma original, revista científica, y variables empleadas.

N°	Año	País	Título	Journal/ Revista científica	Variables empleadas
1	2019	Perú	Modelación de la disponibilidad hídrica del río Piura - Perú, considerando la incidencia del cambio climático	Journal of High Andean Research	2, 11,20
2	2019	Brasil	Cambios climáticos y eventos extremos en la Amazonia: la inundación del 2015 en el Estado de Acre, Brasil	Espacio abierto	4, 26
3	2019	Colombia	Gestión estratégica del recurso pluvial urbano: condición actual en Colombia	Cuadernos de Vivienda y Urbanismo	2,20,21
4	2019	Ecuador	La productividad agrícola más allá del rendimiento por hectárea: Análisis de los cultivos de arroz y maíz duro en Ecuador	La granja: Revista de Ciencias de la Vida	14

5	2019	Colombia	Climate impacts on hydropower in Colombia: A multi-model assessment of power sector adaptation pathways	Neotropical Biodiversity	2,28
6	2019	Brasil	Estimating the impact of climate change on wind and solar energy in Brazil using a South American regional climate model	Renewable Energy	2,28
7	2019	Paraguay	Impact assessment of climate change on buildings in Paraguay—Overheating risk under different future climate scenarios	Building Simulation	2
8	2019	Uruguay	Transformaciones de la narrativa del cambio climático global en Uruguay	Sociologías, Porto Alegre	6, 27
9	2019	Perú	Perceptions of climate change and its impacts: a comparison between farmers and institutions in the Amazonas Region of Peru	Climate and Development	2, 22
10	2018	Colombia	Efecto del fenómeno El Niño 2015-2016 en la calidad del agua del río Magdalena, municipio de Purificación -Tolima1	Revista producción mas limpia	4,7
11	2018	Brasil	Impacto das mudanças climáticas no recursos hídricos no submedio da bacia hidrográfica do Rio São Francisco – Brasil	REDE – Revista Eletrônica do Prodema Fortaleza	12, 13
12	2018	Brasil	Fatores determinantes da evidência ção das mudanças climáticas nas empresas brasileiras participantes do carbón disclosure project (CDP)	Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade – GeAS	2

13	2018	Brasil	Impactos das mudanças climáticas na cultura da soja no nordeste do estado do Pará	Revista Brasileira de Agricultura Irrigada	11,14
14	2018	Colombia	Indicadores del impacto del cambio climático en la agricultura familiar andina colombiana	Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático	2,22
15	2018	Chile	Gobernanza del agua y desafíos emergentes para estructuras normativa e institucionales rígidas: un análisis desde el caso chileno	Revista del CLAD Reforma y Democracia	17, 18, 19
16	2018	Brasil	Impacto das mudanças climáticas no recursos hídricos no submedio da bacia hidrográfica do Rio São Francisco – Brasil	REDE – Revista Eletrônica do Prodema Fortaleza	12, 13
17	2018	Venezuela	Represas hidroeléctricas en los andes venezolanos: Problemática ambiental, crisis energética y energías alternativas	Saber, Universidad de Oriente, Venezuela.	13,28
18	2018	Ecuador	Cambio climático y contaminación ambiental como generadores de crisis alimentaria en la América andina: Un análisis empírico para Ecuador	Revista de investigación Operacional	2,22
19	2018	Colombia	Construction of index with artificial intelligence to evaluate vulnerability to climate change in Andean tropical micro-watersheds. Study case in Colombia.	Revista Dyna	1,2,24
20	2018	Perú	Los servicios ecosistémicos hidrológicos: entre la urbanización y el cambio climático. Percepción campesina y experta en la subcuenca del río Shullcas, Perú	Espacio y Desarrollo	23,25

Continúa Tabla 1

21	2018	Perú	Riesgo ambiental por arsénico y boro en las cuencas hidrográficas Sama y Locumba de Perú	Medisan	1, 18
22	2018	Argentina	Distribución de probabilidades de los caudales mensuales en las regiones de Cuyo y Patagonia (Argentina). Aplicación al monitoreo de sequias hidrológicas	Meteorológica	16, 20
23	2018	Venezuela	Adaptación al cambio climático en Venezuela: ¿Quiénes y cómo se investiga en el país?	Revista Hispana para el Análisis de Redes Sociales(Redes).	1,2,15,21
24	2017	Colombia	Cambio climático y salud humana: Una revisión desde la perspectiva colombiana	Salud Uninorte	2,7
25	2017	Chile	A la búsqueda de periodicidad en los valores pluviométricos del norte grande de Chile	Dialogo andino	9
26	2017	Colombia y Argentina	Vulnerabilidad al cambio climático: Dificultades en el uso de indicadores en dos cuencas de Colombia y Argentina	Empiria	1,2,23
27	2017	Colombia	Tendencia espacial y temporal de eventos climáticos extremos en el valle geográfico del Rio Cauca	Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica	6, 8, 9
28	2017	Chile	Tendencias de la precipitación en el norte grande de Chile y su relación con las proyecciones de Cambio climático	Diálogo Andino	9
29	2017	Brasil	Assessing the impact of climate change on surface water resources of Wular Lake	Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry	2, 9

Continúa Tabla 1

30	2017	Venezuela	Análisis integral del impacto del Cambio Climático en los regímenes de agua, crecidas y sedimentos de una rambla mediterránea	Ingeniería del Agua	2; 11
31	2017	Chile	Encuadres del cambio climático en Chile: Análisis de discurso en prensa digital	Convergencia Revista de Ciencias Sociales	2, 15
32	2017	Ecuador	Desafíos para la investigación sobre el cambio climático en Ecuador	Neotropical Biodiversity	1, 2; 15
33	2017	Argentina	Tendencias en la precipitación en Tucumán bajo efecto del Cambio Climático	Meteorologica	2,9
34	2017	Ecuador	Completamiento de series de precipitación en la región sur de Ecuador y caracterización de su pluviometría y aridez	Revista de Climatología	9, 10, 12
35	2017	Argentina	Caracterización de la distribución espacial y temporal de las precipitaciones de la cuenca del río de La Plata	Tecnologías y ciencias del agua	9, 6
36	2017	Ecuador	Potential impacts to dry forest species distribution under two climate change scenarios in southern Ecuador	Neotropical Biodiversity	2
37	2017	Argentina	Una primera aproximación al estudio del efecto del cambio climático sobre la provisión de servicios de los ecosistemas en Región Pampeana (Argentina)	Ciencias Agronómicas	2
38	2016	Argentina	Problemáticas del cambio climático en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires - aportes de las cubiertas vegetadas en la regulación térmica	Uncuyo	6

Continúa Tabla 1

39	2016	Chile	Ocurrencia de eventos de sequías en la ciudad de Santiago de Chile desde mediados del siglo XIX1	Revista de Geografía Norte Grande	9,12
40	2016	Brasil	A governança da água, a vulnerabilidade hídrica e os impactos das mudanças climáticas no Brasil	Caminos de la ley, Belo Horizonte	1, 2, 18
41	2016	Argentina	Variabilidad de Baja Frecuencia de la Persistencia de la Temperatura en el Sudeste de Sudamérica	Revista Brasileira de Meteorologia	6, 8
42	2016	Chile	Diagnóstico para un cambio: los dilemas de la regulación de las aguas en Chile	Revista Chilena de Derecho	20
43	2016	Colombia	Dilemas en el uso del agua: ¿cómo se distribuye el recurso hídrico en la cuenca amazónica colombiana?	Gestión y Ambiente	16, 14
44	2016	Perú	Impacto del cambio climático en la seguridad alimentaria en zonas campesinas vulnerables de los Andes del Perú /The impact of climate change on food security in vulnerable rural zones in the Peruvian Andes	Revista mexicana de ciencias agrícolas	2, 14
45	2016	Perú	Evolution of the climate change concept and its impact in the public health of Peru	Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública	2, 22
46	2016	Perú	Climate change, mountain people and water resources - the experiences of the Mountain Institute, Peru	Unasyuva	2,26
47	2015	Perú y Ecuador	El impacto de los caudales medioambientales en la satisfacción de la demanda de agua bajo escenarios de cambio climático	Ribagua	5, 11

Continúa Tabla 1

48	2015	Perú	Identificación de vulnerabilidades gestión de riesgos de inundaciones y adaptación al cambio climático en el cono norte de Arequipa: avances y perspectivas (2014 -2016)	Veritas	1, 15, 26
49	2015	Colombia	Cambio climático y variabilidad climática, para el periodo 1981 -2010 en las cuencas de los Ríos Zulia y Pamplonita, norte de Santander- Colombia	Luna Azul	1,2, 6, 17
50	2015	Chile	Variabilidad y cambios climáticos observados y esperados en el Altiplano del norte de Chile	Revista de Geografía Norte Grande	2, 6,9
51	2015	Chile	El impacto de los caudales medioambientales en la satisfacción de la demanda de agua bajo escenarios de cambio climático	Ribagua	2, 12, 19
52	2015	Chile	Estrategia de adaptación local al cambio climático para el acceso equitativo al agua en zonas rurales de Chile	Ediciones Universidad de Salamanca	1,16,25
53	2015	Argentina	Los desafíos sanitarios del cambio climático en Argentina	Aidis Argentina	2
54	2015	Uruguay	Simulación hidrológica continua en la cuenca del río Cuareim con el modelo MGB-IPH	Innotec	10, 19
55	2015	Perú	Impact of climate change on some grapevine varieties grown in Peru for Pisco production	Journal international des sciences de la vigne et du vin	2, 22
56	2015	Uruguay	Modelado de la calidad de agua en ríos de montaña con impacto antrópico. Caso de estudio Sierra chica de Cordova Argentina	Contaminación Ambiental	11

Continúa Tabla 1

57	2014	Bolivia	Climate change impact on countrywide water balance in Bolivia	Environmental Change	2,20
58	2014	Colombia	Cambio climático y vulnerabilidad: Prospectivas para la región nororiental de Colombia- Santanderes	Bistua	2, 3
59	2014	Brasil	Impactos das mudanças climáticas na ecoclimatologia de <i>Aleurocanthus woglumi</i> Ashby, 1903 (Hemiptera: Aleyrodidae) no estado do Pará	Revista Brasileira de Meteorologia	27
60	2014	Bolivia	Social Impacts of Climate Change in Bolivia: A municipal level analysis of the effects of recent climate change on life expectancy, consumption, poverty and inequality	Lajed	2,23
61	2013	Colombia y Brasil	Análisis comparativo de modelos e instrumentos de gestión integrada del recurso hídrico en Sudamérica: los casos de Brasil y Colombia	Ambiente y agua	16,19, 25
62	2013	Brasil	Análisis comparativo de modelos e instrumentos de gestión integrada del recurso hídrico en Sudamérica: los casos de Brasil y Colombia	Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science	16,19
63	2013	Ecuador	Adaptación autónoma al cambio climático: experiencias de emprendimientos rurales de Ecuador	Letras Verdes. Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales	2,14
64	2012	Brasil	Mudanças climáticas e o escoamento superficial na bacia hidrográfica do rio Goiana - Pernambuco - Brasil	Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM	19

Continúa Tabla 1

65	2012	Bolivia	Empleo de sistemas de información geográfica, datos de sensoramiento remoto y fuentes de acceso libre global, como herramienta para modelar agua, energía y cambio climático en Bolivia	Acta Nova	2
66	2012	Paraguay	Escenarios climáticos futuros para Paraguay.	Meteorológica	6
67	2012	Uruguay	Adaptación al cambio climático y la variabilidad: algunas opciones de respuesta para la producción agrícola en Uruguay	Revista mexicana de ciencias agrícolas	2, 15,22
68	2011	Bolivia	Cambio climático y variabilidad de la dinámica de los ecosistemas de Wirikuta, Municipio de Catorce (1950-2010)	Revista Geográfica de América Central	2, 6
69	2011	Brasil	Impacto das Mudanças Climáticas na Evapotranspiração em Nível de Bacia Hidrográfica Utilizando um Sistema de Informações Geográfica	RBRH — Revista Brasileira de Recursos Hídricos	2, 8, 9, 10
70	2011	Colombia	Future scenarios of Smart Grids in Colombia and their impact on climate change	Innovative Smart Grid Technology Latin America	24,27
71	2011	Brasil	Potenciais impactos das mudanças climáticas globais sobre a agricultura	Revista Trópica – Ciências Agrárias e Biológicas	6,22,27
72	2010	Brasil	Geomorfologia aplicada a reconstrução e ao monitoramento do impacto das mudanças Climáticas em Ambientes glaciais	Revista de Geografia	6

Leyenda: 1. Vulnerabilidad, 2. Cambio climático, 3. Desarrollo sostenible, 4. Fenómeno del niño, 5. Análisis de sensibilidad; 6. Variabilidad climática, 7. Calidad del agua, 8. Temperatura, 9. Lluvia, 10. Evapotranspiración, 11. Modelamiento hidrológico, 12. Indicadores de escasez de agua, 13. Usos múltiples, 14. Producción agrícola, 15. Adaptación al cambio climático, 16. Cuenca hidrográfica, 17. Políticas de agua, 18. Agua potable, 19. Recursos hídricos, 20. Regulación de aguas, 21. Resiliencia, 22. Desarrollo rural, 23. Impactos sociales, 24. Inteligencia artificial, 25. Comunidades campesinas, 26. Ecosistemas e inundaciones. 27. Calentamiento global, 28. Energía Renovable.

La Tabla 1 presenta 72 artículos científicos encontrados en la búsqueda realizada durante el periodo del 2019 al 2010, ordenados del más reciente al más antiguo, de acuerdo a la publicación del país que no necesariamente está ligada

al país de la revista que está publicando el artículo científico. Las variables son representadas por números en cada uno de los artículos. Los títulos de los artículos son presentados en inglés, español y portugués.

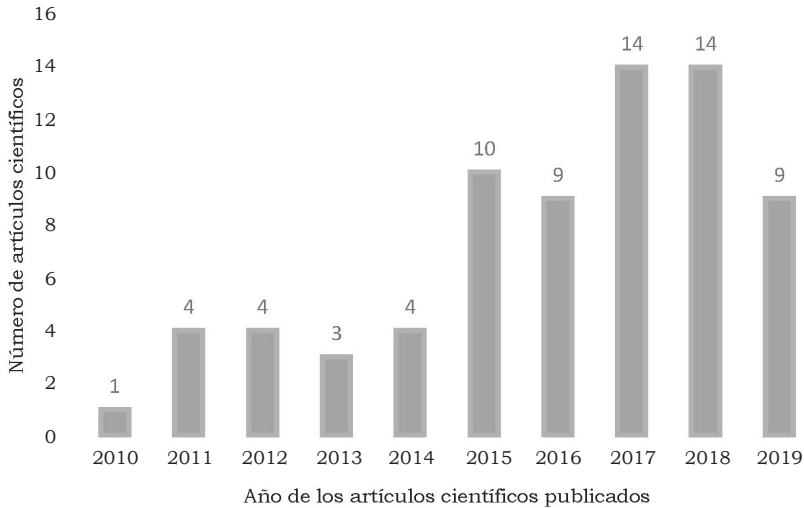


Figura 1. Número de artículos científicos por año entre 2010 al 2019 en el estudio del impacto climático en las aguas superficiales en Sudamérica.

De acuerdo a la Fig. 1, se observa que el número de artículos científicos, por año de publicación, donde se puede apreciar la tendencia ascendente desde el 2015 al 2019. 2010 y 2013 fueron los años en que

se publicaron una menor cantidad de artículos científicos. Se observa que están aumentando la publicación de artículos científicos en 2015-2019 ($11,20 \pm 2,28$) vs 2010-2014 ($3,20 \pm 1,30$) ($t = 6,17$, $P = 0,000$).

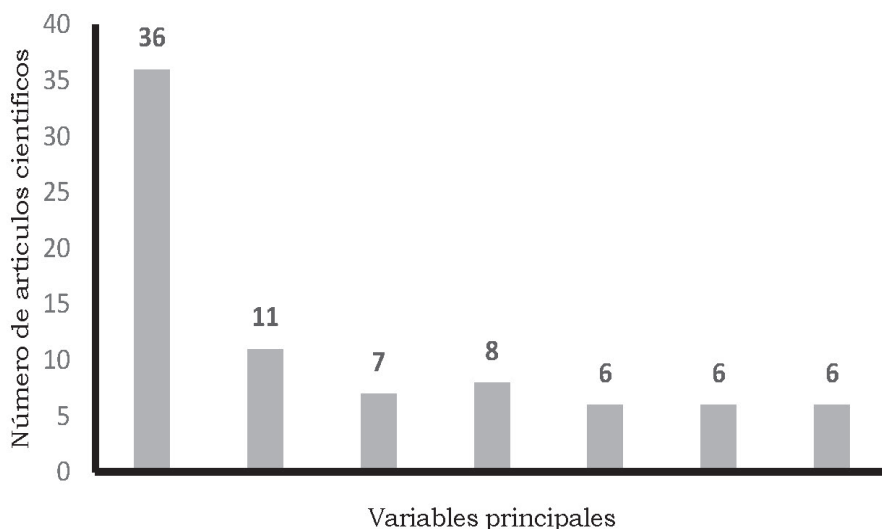


Figura 2. Las 7 variables principales encontrados en el estudio del impacto climático en las aguas superficiales en Sudamérica, mencionados en las revistas científicas arbitradas e indizadas. 1= cambio climático, 2= lluvia, 3=vulnerabilidad, 4=variabilidad climática, =5: modelamiento hidrológico, 6= regulación de las aguas y 7=Desarrollo rural. En la gráfica el número de artículos no suma 72 debido a que un artículo científico puede presentar una o más variables en la investigación.

De acuerdo a la Fig. 2, se observa el número de artículos científicos publicados con relación a las 7 variables principales que se emplearon en la revisión sobre el impacto del cambio climático en las aguas superficiales en Sudamérica. Como

resultado se tiene que la variable “cambio climático” se emplea en el 50% de los artículos (50 %), y los de menor incidencia son “modelamiento hidrológico”, “regulación de las aguas”, y desarrollo rural (8,33 %) cada uno.

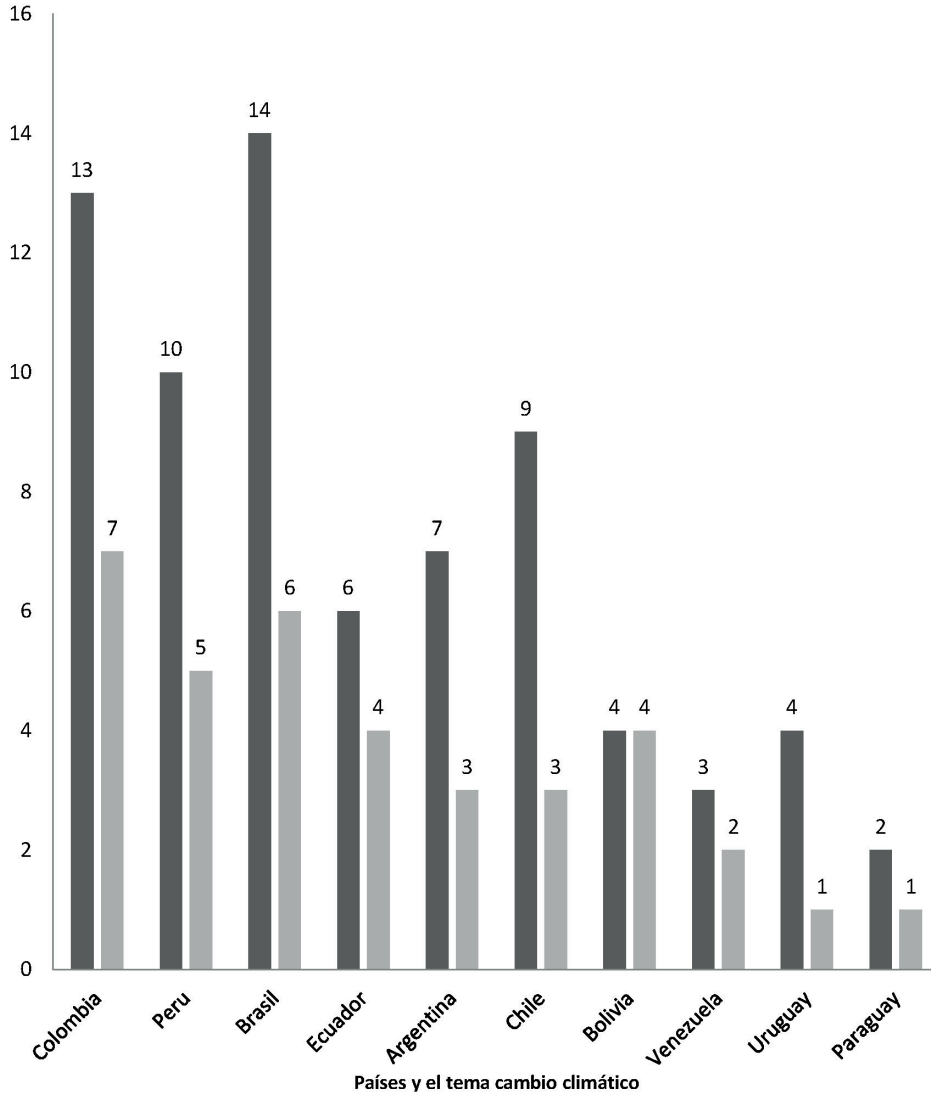


Figura 3. Número de artículos científicos por país y su comparación con los artículos científicos que mencionan la variable “cambio climático” por país. Las barras negras son los artículos científicos por países y las barras grises son la variable cambio climático. Se ordenaron los países de acuerdo al país que tiene más citas de la variable “cambio climático”.

En la Fig. 3 se observa el número total de artículos científicos en los 10 países, comparado con el número de artículos científicos que citan la variable “cambio climático”. Se encontró una correlación positiva entre ambas variables ($r_{\text{pearson}} = 0,81$; $p = 0,005$). Se observa que los países que tienen mayor número de citas de la variable “cambio climático” fueron Colombia, Brasil y Perú, y las que tienen menos citas fueron Paraguay, Uruguay y Venezuela (Fig. 3).

Las revistas: Meteorológica, Diálogo andino, Revista mexicana de ciencias agrícolas, Innotec, y Ribagua, son las que se han encontrado con un mayor número de publicaciones con relación a la temática evaluada. De la revisión de las revistas científicas arbitradas e indizadas, se concluye que se tiene 54 artículos científicos escritos en español, 8 en inglés, y 10 en portugués.

Principales variables:

Luego de la revisión de los 72 artículos científicos en revistas científicas arbitradas e indizadas se encontró que 7 variables fueron las más citadas: “cambio climático”, “lluvia”, “vulnerabilidad”, “variabilidad climática”, “modelamiento hidrológico”, “regulación de las aguas” y “desarrollo rural”. A continuación en cada una de estas 7 variables se pasa a explicar los principales aportes de los artículos científicos.

Cambio climático: en Sudamérica, se encontró en 36 artículos sobre esta variable, en Argentina, Bolivia, Brasil, Colombia, Chile, Ecuador, Paraguay,

Perú, Uruguay y Venezuela. La percepción integral del tiempo atmosférico y su presencia en las prácticas laborales es más determinante que las acciones individuales y colectivas para conocer sobre el clima o el cambio climático (Taks, 2019). La estimación de los cambios en la precipitación para las décadas de 2020, 2050 y 2080 varían, según los modelos climáticos analizados (Bidegain *et al.*, 2012). Ante los efectos del cambio climático es necesario tomar las acciones preventivas en las cuencas hidrográficas, como implementar sistemas de alerta temprana, identificar áreas propensas a sequías e inundaciones (León-Ochoa *et al.*, 2019). Finalmente es importante conocer que una sociedad preparada para afrontar la variabilidad del clima está mejor entrenada para afrontar los efectos del cambio climático (Martínez *et al.*, 2017).

Lluvia: En Sudamérica, se encontró 11 artículos en 5 países: Argentina, Brasil, Colombia, Chile y Ecuador. Se menciona que la implementación de sistemas de cosecha, manejo del agua y evaluación de las lluvias en la producción pecuaria representa una opción práctica e ideal para la adaptación de los sistemas productivos ante los efectos del cambio climático y de este modo mantener una producción sostenible (Vargas-Pineda *et al.*, 2017). Además, es conveniente subrayar que el concepto de Ciudad Sensible a la lluvia debe adaptarse al contexto latinoamericano, Nacional y de Bogotá (Colombia) (Torres *et al.*, 2019). Un aumento en la frecuencia de eventos extremos climáticos sobre la economía exige que los agentes públicos y

privados creen políticas que posibiliten la máxima mitigación de estos efectos sobre la sociedad y economía (Gómez-Mantilla & Salazar de Cardona, 2014). Es de esperar un aumento en la escasez del agua de origen pluvial y con ello la generación de problemas crecientes de disponibilidad de este recurso para enfrentar las demandas representadas principalmente por la minería, urbanización y conservación de la naturaleza (Sarricolea *et al.*, 2017). Finalmente, tras haber recopilados datos de precipitación en series de tiempo, se ha determinado componentes no aleatorios, sino rítmicos, en las precipitaciones de tres regiones de Chile: Arica, Iquique y Antofagasta, y se destacan las repeticiones a los 3, 5, 8, 9, 13 y 22 años que habrán de cotejarse con los posibles mecanismos de producción de lluvia ya establecidos (Sanz-Donaire & Albornoz-Espinoza, 2017).

Vulnerabilidad: En Sudamérica, se encontró 7 artículos procedentes de 6 países: Argentina, Brasil, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela. Las investigaciones señalan la importancia de conocer indicadores como herramientas explicativas de la vulnerabilidad a eventos climáticos (Mussetta *et al.*, 2017). El diseño de estrategias para lograr una gestión que sea viable, técnica y económica, debe incluir acciones con la participación de la comunidad para disminuir las vulnerabilidades y plasmar medidas concretas para estimar y reducir el riesgo ante las inundaciones (Nuñez del Prado & Peñalva-Bolívar, 2017). Finalmente para combatir las

inundaciones es necesario que todos coincidamos que la educación es fundamental para todas las etapas de formación frente al cambio climático. De igual manera, la vulnerabilidad que se presenta ante su presencia empezando con los niños y siguiendo en las universidades, hacen del tema de la vulnerabilidad ante el cambio climático, un tema obligatorio (Pinto-Hernández & Salazar de Cardona, 2014).

Variabilidad climática: En Sudamérica, se han detectado 8 artículos de 7 países: Argentina, Brasil, Colombia, Chile, Paraguay, Uruguay y Ecuador. Los resultados indican que la variabilidad climática ocasiona una reducción acentuada en el bienestar de las familias y en la producción total de la economía y del PBI (Gomes da Silva & Costa-Gurgel, 2019). La variabilidad temporal y espacial del clima, y principalmente de la precipitación en Chile, permite comprender mejor las causas de la escasa presencia de precipitaciones. Estos últimos autores mencionan que el aumento de la temperatura y la disminución sostenida de la precipitación suponen un aumento de la evaporación del agua en el suelo, lo cual permite pronosticar una mayor presión sobre los recursos hídricos subterráneos, que son escasamente renovables (Sarricolea-Espinoza & Romero-Aravena, 2015). Existe un incremento de años y en los intervalos secos de precipitación en los meses de invierno en la ciudad de Santiago de Chile, por lo que es necesario focalizar estudios futuros que consideren

en su análisis una evaluación de las precipitaciones a una mayor resolución temporal. En este sentido, una evaluación a escala diaria podría ser de amplia utilidad, considerando la importancia de la precipitación en el ciclo hidrológico, y la fuerte demanda por agua que tiene Santiago de Chile, para el consumo humano y para el desarrollo de actividades económicas como la agricultura y la minería (González-Reyes, 2016).

Modelamiento hidrológico: En Sudamérica, fueron encontrados 6 artículos, en 5 países: Perú, Ecuador, Brasil, Paraguay y Venezuela. La combinación de un modelo hidrológico, un modelo global del clima y de un escenario climático ha permitido modelar los posibles efectos del cambio climático sobre los flujos y almacenamientos en una cuenta de alta montaña. Entre los posibles impactos pronosticados existe un mayor riesgo por avenidas máximas extraordinarias e inundaciones (Orozco *et al.*, 2018). Para un intervalo de cuatro años consecutivos de sequía moderada entre los años 2011 al 2014, se revela una condición sin precedentes dentro de 149 años de observación y con condiciones secas que son mayormente registradas desde la segunda mitad del siglo XX en la ciudad de Santiago (Chile) (González-Reyes, 2016). Una suposición estacionaria subestima el pico de crecida y como resultado, el riesgo de inundación real será mayor al del sistema o infraestructura diseñado, esto para obras para un periodo de retorno de 100 años, y fácilmente podrían llegar al final de su vida útil en un periodo

de retorno mucho menor. También se recomienda que se debe hacer una evaluación del riesgo de una estructura hidráulica durante la vida proyectada de la obra (Grajales-Cardona & Carvajal-Serna, 2018). Según la clasificación del uso del suelo, las áreas urbanas crecieron durante los periodos analizados, seguido de la agricultura, principalmente aguas abajo del embalse de Sobradinho (Brasil), ocasionando un aumento de la demanda de recursos los hídricos en la región (Sotto *et al.*, 2019). Finalmente, la reducción en la escorrentía puede generar cambios en los estilos de vida de la población a lo largo de los años, ocasionando problemas vinculados principalmente a la disponibilidad de agua para abastecimiento doméstico y para el sector agrario (Marcos-dos Santos *et al.*, 2013).

Regulación de las aguas: En Sudamérica, se encontró solamente 6 artículos en 5 países: Perú, Argentina, Bolivia, Colombia y Chile, todos en el idioma español. Frente a los impactos del cambio climático sobre los recursos hídricos se ha buscado minimizar las pérdidas futuras y para lograrlo se plantea que todos deben participar de forma articulada, en el manejo integral de una cuenca hidrográfica (Rojas *et al.*, 2013). De acuerdo a la distribución de los cambios permanentes de la temperatura, la precipitación y a las variaciones extremas a nivel intra-anual e interanual, se deben implementar medidas viables de mitigación y adaptación a los efectos del clima, las cuales deben vincular a todos los actores regionales públicos, privados,

comunitarios, no gubernamentales, con el propósito de elaborar los planes regionales de adaptación a los efectos del clima (Alzate *et al.*, 2015).

Se encontró que la regulación de las aguas presenta algunas características como la inclusión de objetivos múltiples en el saneamiento pluvial urbano, la vinculación de la naturaleza como elemento esencial para lograr objetivos estratégicos del drenaje contemporáneo en espacios públicos urbanos; el cambio de la visión de parcela a la visión de cuenca, para todo esto lograr una gestión colectiva de las aguas lluvias en la ciudad. El desarrollo de materiales y artefactos urbanos para que se adapten a los múltiples objetivos del saneamiento pluvial urbano; y un cambio normativo e institucional que facilite la gestión de las aguas pluviales en la ciudad y simplifique la toma de decisiones en la cuenca (Torres *et al.*, 2019).

La planificación del agua, debe iniciarse desde el reconocimiento y socialización de los diversos dilemas que se enfrentan y de la conciencia que la solución probablemente no pasa por un mero cambio normativo, sino que requiere de la integración de soluciones desde diversas disciplinas, las que tienen que partir por un diagnóstico ordenado y consciente sobre los problemas que a enfrentar (Costa-Cordella, 2016). Se recomienda promover el uso del recurso pluvial en Colombia con el fin de incrementar la descentralización de las redes de acueductos por parte de la ciudadanía, reducir el consumo del agua potable que circula por los acueductos

urbanos, y minimizar los riesgos de inundación en áreas urbanas (Villegas-Rodríguez *et al.*, 2019). Se concluyen que la ecohidrología proporciona una dimensión adicional a la gestión del agua en las cuencas hidrográficas (Martínez-Valdés & Villalejo-García, 2019).

Desarrollo rural: En Sudamérica, se encontró 6 artículos en 5 países: Perú, Argentina, Brasil, Uruguay y Colombia. La mayor fortaleza se centra en la protección del ser humano por la amenaza de enfermedades resultantes del cambio climático (Villafuerte *et al.*, 2018). Las condiciones climáticas de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (Argentina), en el período y para los tipos de techos verdes estudiados, señalan que las cubiertas vegetadas pueden ser un aporte a la regulación térmica de las edificaciones (Rosatto *et al.*, 2016).

Los sistemas de captura en cubiertas vegetadas permiten el aprovechamiento de la precipitación como fuente importante de agua. Además, este sistema puede replicarse en sistemas de producción pecuaria que requieran del agua para sus actividades, tales como la limpieza de establos, el mantenimiento de instalaciones y el consumo animal, entre otras (Vargas-Pineda *et al.*, 2017), a pesar de que existan evidencias concretas sobre las consecuencias de un mal manejo del uso del suelo en las ciudades intermedias, sobre todo cuando ocurren desastres naturales. Se ha profundizado poco en los análisis y propuestas de gestión se buscan escenarios posibles en el

mediano y largo plazo (Novillo, 2018). Se recomienda que los gobiernos de los países latinoamericanos promuevan la investigación científica, para entender la forma en la que los agricultores perciben los riesgos climáticos, las limitantes que pueden enfrentar al momento de tomar decisiones de adaptación y la forma en que los contextos locales afectan tanto a la percepción del riesgo como a las acciones de adaptación (López-Feldman & Hernández-Cortés, 2016).

Además, se menciona que la mejora genética de los cultivos actuales, así como la adopción de otras medidas de mitigación y tecnologías contribuirán a garantizar la sostenibilidad agrícola (Bucker-Moraes *et al.*, 2011). Finalmente, una sociedad preparada para afrontar la variabilidad del clima está mejor preparada para afrontar los efectos del cambio climático (Martínez *et al.*, 2017).

Análisis Global

De los resultados obtenidos de la revisión de los artículos científicos, se puede indicar que los años 2015 al 2019, fueron los que presentaron mayor número de publicaciones. Las investigaciones muestran un aumento en la sistematización de la información pluviométrica que puede ser un componente del cambio climático, y podemos concluir que las proyecciones climáticas aún presentan alta incertidumbre en los estudios hidrológicos, y se requiere explorar y experimentar con modelos de simulación para producir proyecciones climáticas más confiables para uso hidrológico (Bhatt & Mall, 2015; Hernán-

dez-Andrade & Martínez-Martínez, 2019; Hernández-Bedolla *et al.*, 2019). La crisis del agua está generando la elaboración de modelos ecohidrológicos para obtener proyecciones, y es a través de los modelos de simulación, que se puede mejorar la gestión sostenible del agua (Bhatt & Mall, 2015; Stefanova *et al.*, 2019).

Investigaciones recientes mencionan que el crecimiento de la población y el cambio climático global son problemas críticos que enfrenta el mundo (Delpla *et al.*, 2009; Duca *et al.*, 2019; Stefanova *et al.*, 2019). Así en México, la prosperidad económica y el bienestar social dependen en gran medida, de la calidad y disponibilidad del agua (Duran-Encalada *et al.*, 2017; Stefanova *et al.*, 2019). El modelo hidrológico de Témex, implementado en la herramienta Eval Hid ha permitido simular caudales medios mensuales en diversas cuencas. Así mismo, sus resultados reflejan la vulnerabilidad de las cuencas a los impactos del cambio climático y a la disponibilidad de los recursos hídricos (Hervis-Grandal *et al.*, 2019).

Se encontró 7 variables importantes y claves en la presente investigación para relacionar el impacto del cambio climático en las aguas superficiales en Sudamérica como: "cambio climático", "lluvia", "vulnerabilidad", "variabilidad climática", "modelamiento hidrológico", "regulación de las aguas" y "desarrollo rural". Según la revisión podemos decir que en el cambio climático, se deben establecer iniciativas importantes para reducir las emisiones de los gases de efecto invernadero (GEI), que influyen en la temperatura del aire y del agua. La respuesta al cambio climático proyectada por la hidrología, generada

por las simulaciones forzadas, muestran una disminución en el flujo de agua en todas las estaciones anuales. La incertidumbre dentro de las proyecciones presentadas se relaciona con el modelo climático y, con la respuesta de las precipitaciones de verano ante el calentamiento global (Erler *et al.*, 2018).

En el modelamiento hidrológico, son los modelos de simulación, los que permiten representar los caudales observados, lo que motiva su implementación en otras cuencas de Uruguay, teniendo la relación entre los parámetros del modelo y las características geomorfológicas de la cuenca hidrográfica (Crisci *et al.*, 2015), y en la regulación de las aguas y vulnerabilidad, los impactos climáticos en el agua y la adaptación esencial no puede considerarse sin abordar todo el impacto de manera integral (Manning *et al.*, 2017). Es necesario invertir en conocimiento, innovación y soluciones para mejorar la calidad de vida de las personas en el mundo, y los servicios ecosistémicos hidrológicos (MacAlistera & Subramanyam, 2018; Peng *et al.*, 2019).

De los 10 países de Sudamérica, tenemos a Brasil y Colombia que tienen mayor número de publicaciones, y su relación principal con la variable “cambio climático”. Las investigaciones en estos países enfatizan que las proyecciones climáticas deben ser introducidas en la última etapa de la gestión del recurso hídrico y evaluar la probabilidad de falla. En un estudio a escala regional se ilustra la dificultad para simular con precisión un marco regulatorio (Sauquet *et al.*, 2019).

En el mundo, la proyección futura de la temperatura máxima, nos muestra un aumento de esta variable (Naumann & Vargas, 2017), lo que nos indica que hay un consenso mundial sobre el cambio climático, que obliga a los países y la sociedad a diferentes medidas para hacer frente a los efectos nocivos de las variaciones del clima (Hameed *et al.*, 2017; Jaiswal *et al.*, 2020). Producto del cambio climático, en cada cuenca, existe un riesgo creciente de inundaciones y sequías, por lo que es necesario aprovechar los resultados para maximizar la disponibilidad del agua (Chiquito-Gesualdo *et al.*, 2019).

En los países de Sudamérica, para el cuidado de las aguas superficiales, ante la presencia del cambio climático, deberá empezar protegiendo las cuencas hidrográficas, trabajar a nivel de cuenca, implementar programas de capacitación, que incluyen a todos los usuarios que forman parte de la cuenca, e inclusive a la sociedad civil. Todos los gobiernos de Sudamérica deberán trabajar de manera conjunta, y articulada, contando con la información adecuada para una mejor toma de las decisiones, teniendo en cuenta otras opciones para mejorar la oferta de agua, como las aguas del mar, que buscarían cubrir las necesidades de las poblaciones, y de todos los seres vivos. Porque si tenemos una sociedad preparada para afrontar la variabilidad del clima, entonces estaría mejor preparada para afrontar los efectos del cambio climático (Martínez *et al.*, 2017).

Se concluye que ante la presencia del cambio climático, se han desarrollado investigaciones en las

diferentes cuencas hidrográficas de Sudamérica, que han simulado su comportamiento, a través del uso de modelos matemáticos. En la zona alta de la cuenca, con las aguas superficiales para uso agrícola, y en la ciudad para el consumo de la población. Generalmente es en épocas de escasez del recurso hídrico que empieza la planificación. Se deben incluir las características de cada cuenca, los comportamientos y costumbres del poblador de la cuenca alta, así como a todos los usuarios involucrados en el uso del recurso hídrico. Es importante que los gobiernos y la academia de los países de Sudamérica sigan promoviendo la investigación científica, tecnológica y de innovación en esta temática. Las variables principales fueron 28, de las cuales 7 son las más mencionadas, importantes y claves, lo que significa,

que hay un mayor uso de dichas variables en los artículos científicos arbitrados e indizados revisados.

Nuestros resultados finalmente señalan que existe un aumento en el número de publicaciones realizadas en los últimos años, lo que refleja un interés de los países de Sudamérica ante la presencia del cambio climático y su relación con las aguas superficiales. Los países Colombia y Brasil, presentan el mayor número artículos científicos de publicados en revistas arbitradas e indizadas, lo que nos enfatiza que dichos países vienen realizando una mayor investigación en el tema. En los países de Sudamérica, se han desarrollado modelos de simulación para evaluar los efectos del cambio climático; sin embargo, estos aún no están articulados con los planes de los gobiernos ni con las necesidades de las poblaciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre, N.; Eguigurena, P.; Maita, J.; Ojeda, T.; Sanamiego, N.; Furniss, M. & Aguirre, Z. 2017. Potential impacts to dry forest species distribution under two climate change scenarios in southern Ecuador. *Neotropical Biodiversity*, 3: 18–29.
- Almeida de Faria, J.; Silveira - Andrade, J. C. & Da Silva- Gomes, S.M. 2018. Factores determinantes da evidenciacao das mudancas climaticas nas empresas brasileiras participantes do carbon disclosure project [CDP]. *Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade – GeAS*, 7: 162-184.
- Álvarez-Hernández, O. & Montaña-Peralta, T. 2017. Completamiento de series de precipitación en la región sur de Ecuador y caracterización de su pluviometría y aridez. *Revista de Climatología*, 17: 17-27.
- Alzate, D.; Rojas, E.; Mosquera, J. & Ramón, J. 2015. Cambio climatico y variabilidad climatica para el periodo 1981 -2010 en las cuencas de los ríos Zulia y Pamplonita, norte de Santander-Colombia. *Luna Azul*, 40: 127-153.
- Bazzano, F.; Heredia, T.; Elías, A.; Lamelas, C. & Forciniti, J. 2019. Tendencias en la precipitacion en Tucuman bajo efecto del cambio climatico. *Metorológica*, 44: 1-14.

- Bhatt, D. & Mall, R. 2015. Surface water resources, climate change and simulation modeling. *Aquatic Procedia*, 4: 730-738.
- Bi, W.; Weng, B.; Yuan, Z.; Ye, M.; Zhang, C.; Zhao, Y.; Yan, D. & Xu, T. 2018. Evolution characteristics of surface water quality due to climate change and LUCC under scenario simulations: A case study in the Luanhe River Basin. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15: 1724.
- Bidegain, M.; Coronel, G.; Ríos, N. & De los Santos, B. 2012. Escenarios climáticos futuros para Paraguay. *Meteorológica*, 37: 47-55.
- Bolaños-Chavarría, S. & Betancur-Vargas, T. 2018. Estado del arte sobre el cambio climático y las aguas subterráneas. ejemplo en Colombia. *Revista Politécnica*, 14: 52-64.
- Bucker-Moraes, W.; Cintra de Jesus-Junior, W. & Bucker-Moraes, W. 2011. Potenciais impactos das mudanças climáticas globais sobre a agricultura. *Revista Trópica – Ciências Agrárias e Biológicas*, 5: 2-14.
- Cadilhac, L.; Torres, R.; Calles, J.; Vanacker, V. & Calderón, E. 2017. Desafios para la investigación sobre el cambio climático en Ecuador. *Neotropical Biodiversity*, 3: 168-181.
- Chapman, S.; Watson, J.E.M.; Salazar, A.; Thatcher, M. & McAlpine, C.A. 2017. The impact of urbanization and climate change on urban temperatures: A systematic review. *Landscape Ecology*, 32: 1921-1935.
- Chávez-Jiménez, A. & González-Zeas, D. 2015. El impacto de los caudales medioambientales en la satisfacción de la demanda de agua bajo escenarios de cambio climático. *Revista Iberoamericana del Agua (Ribagua)*, 2: 3-13.
- Chen, Q.; Chen, H.; Wang, J.; Zhao, Y.; Chen, J. & Xu, Ch. 2019. Impacts of climate change and land-use change on hydrological extremes in the Jinsha River Basin. *Water*, 11: 1398.
- Chesini, F. 2018. Los desafíos sanitarios del cambio climático en Argentina. *Aidis Argentina Ingeniería Sanitaria y Ambiental*, 134: 34-37.
- Chiquito-Gesualdo, G.; Tarso-Oliveira, P.; Bicca-Rodrigues, D. & Vijai-Gupta, H. 2019. Assessing water security in the São Paulo metropolitan region under projected climate change. *Hydrology and Earth System Sciences*, 23: 4955-4968.
- Costa-Cordella, E. 2016. Diagnóstico para un cambio: los dilemas de la regulación de las aguas en Chile. *Revista Chilena de Derecho*, 43: 335-354.
- Crisci, M.; Chreties, C. & Silveira, L. 2015. Simulación hidrológica continua en la cuenca del río Cuareim con el modelo MGB-IPH. *Revista del laboratorio tecnologico de Uruguay*, 10: 40-48.
- De Oliveira-Ponte de Souza, P. & Monteiro dos Santos, C. 2018. Impacto das mudancas climaticas na cultura da Soja no nordeste do estado do Pará. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, 12: 2454-2467.
- Delpa, I.; Jung, A.V.; Baures, E.; Clement, M. & Thomas, O. 2009. Impacts of climate change on surface water quality in relation to drinking water production. *Environment International*, 35: 1225-1233.

- Do Carmo-Sobral, M.; Oliveira de Assis, J.; Ricardo de Oliveira, C.; Nogueira da Silva, G.; Morais, M.; Caminha-Carvalho, R. 2018. Impacto das mudanças climáticas nos recursos hídricos no submédio da bacia hidrográfica do rio São Francisco – Brasil. REDE – Revista Eletrônica do Prodepa, 12: 95-106.
- Duca, G.; Nedealcov, M. & Travin, S. 2019. Regional climate change and surface waters. Sciendo, 13:1-11.
- Duran-Encalada, J.; Paucar-Caceres, A.; Bandala, E. & Wright, G. 2017. The impact of global climate change on water quantity and quality: A system dynamics approach to the US–Mexican transborder region. European Journal of Operational Research, 256: 567–581.
- Erler, A.; Frey, S.; Khader, O.; Orgeville, M.; Park-Young, J.; Hwang, H.T. & Sudicky, E. 2018. Simulating climate change impacts on surface water resources within a lake-affected region. Water Resources Research, 55: 130-155.
- Giménez, A. & Lanfranco, B. 2012. Adaptación al cambio climático y la variabilidad: algunas opciones de respuesta para la producción agrícola en Uruguay. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 3: 611-620.
- Gomes da Silva, R. & Costa-Gurgel, Á. 2019. Cambios climáticos y eventos extremos en la Amazonía: la inundación del 2015 en el Estado de Acre, Brasil. Espacio abierto, 28: 129-151.
- Gómez-Mantilla, A. & Salazar de Cardona, M. 2014. Cambio climático y mitigación: Prospectiva para la region nororiental - Santanderes. Desarrollo local sostenible, 7: 1-14.
- González-Reyes, Á. 2016. Ocurrencia de eventos de sequías en la ciudad de Santiago de Chile desde mediados del siglo XIX. Revista de Geografía Norte Grande, 64: 21-32.
- Grajales-Cardona, D. & Carvajal-Serna, L. 2018. Nonstationary intensity-duration-Frequency curves for Medellín for basin. DYNA, 86: 321-328.
- Guerrero, T. 2020. Crisis del agua, turismo y variabilidad climática en la isla de San Andres. Turismo y Sociedad, 26: 127-154.
- Hameed, M.; Saqib, N.E.; Bandit, B.P. & Shakeel, A.B. 2017. Assessing the impact of climate change on surface water resources of Wular Lake. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, 6: 1967-1972.
- Hegele-Bolson, S. & Issa-Haonat, Á. 2016. A governança da água, a vulnerabilidade hídrica e os impactos das mudanças climáticas no Brasil. Veredas do Direito, Belo Horizonte, 13: 223-248.
- Hernandez- Diaz, Y. 2016. Efectos del cambio climático en registros de temperatura y precipitación en la ciudad de Quito, Ecuador. En: https://www.researchgate.net/profile/Yoandy_Hernandez_Diaz/publication/315000523_Efectos_del_cambio_climatico_en_registros_de_temperatura_y_precipitacion_en_la_ciudad_de_Quito_Ecuador/links/58c80c1892851c2b9d3e5bc8
- Hernández-Andrade, J. & Martínez-Martínez, S. 2019. Tránsito de avenidas en vasos: ¿hidrológico o hidráulico?. Tecnología y ciencias del agua, 10: 147-177.

- Hernández-Bedolla, J.; Solera, A.; Paredes-Arquiola, & Roblero, E.C.X. 2019. Análisis del cambio en las aportaciones hidrológicas en la cuenca del río Júcar a partir de 1980 y sus causas. *Ingeniería del agua*, 23: 141-155.
- Hervis-Grandal, G.; Riverol-Marrero, L.; Vargas-Castilleja, R.; Sanchez-Torres, G.; Duarte-Diaz, C.; González-Robainal, F. & Herrera-Puebla, J. 2019. Evaluación de los recursos hídricos en la cuenca San Diego ante escenarios de cambio climático. *Revista Ingeniería Agrícola*, 9: 21-31.
- 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* [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. & Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 p.
- Jaiswal, R.; Lohani, A. & Tiwari, H. 2020. Development of framework for assessment of impact of climate change in a command of water resource project. *Journal of Earth System Science*, 129: 58.
- León-Ochoa, R.; Portuguese-Maurtua, D. & Velarde, C. 2019. Modelación de la disponibilidad hídrica del río Piura - Perú, considerando la incidencia del cambio. *Revista de Investigación Altoandina*, 21: 182-193.
- López-Feldman, A., & Hernández-Cortés, D. 2016. Cambio climático y agricultura: una revisión de la literatura con énfasis en América Latina. *El trimestre económico*, 83: 459-496.
- Loyola-Martínez, E.; Medellín-Milán, P.; Avalos-Lozano, J. & Aguilar-Robledo, M. 2011. Cambio climático y variabilidad en la dinámica de los ecosistemas de Wirikuta, Municipio de catorce (1950-2010). *Revista Geográfica de América Central*, 2: 1-18.
- MacAlistera, C. & Subramanyam, N. 2018. Climate change and adaptive water management: innovative. *Water internacional*, 43: 133-144.
- Malagón-Rojas, J.; Garrote-Wilches, C. & Paola, C.B. 2017. Cambio climático y salud humana: una revisión desde la perspectiva Colombiana. *Salud univ-norte*, 33: 224-241.
- Manning, D.; Goemans, C. & Maas, A. 2017. Producer responses to surface water availability and implications for climate change adaptation. *Land Economics*, 4: 631-653.
- Marcos-dos Santos, A.; Domiciano-Galvancio, J. & Bezerra de Moura, M. 2013. Mudanças climáticas e o escoamento superficial na bacia hidrográfica do rio Goiana - Pernambuco - Brasil. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, 81: 51-65.
- Martínez-Valdés, Y. & Villalejo - García, V. 2019. Ecohidrología-Ecohidráulica: claves para la gestión integrada de los recursos hídricos. *Ingeniería hidráulica y ambiental*, 15: 95-109.
- Martínez, R.; Zambrano, E.; Nieto, J.; Hernández, J. & Costa, F. 2017. Evolución, vulnerabilidad e impactos económicos y sociales de El Niño 2015-2016 en América Latina. *Investigaciones Geográficas*, 68: 65-78.

- Mejía, A. 2012. *Hidrología aplicada*. Ed. Universidad Agraria La Molina. Lima, Perú.
- Montalvo, C. & Francés, F. 2017. Análisis integral del impacto del Cambio Climático en los regímenes de agua, crecidas y sedimentos de una rambla mediterránea. *Ingeniería del Agua*, 21:4: 263-272.
- Mussetta, P.; Barriento, M., Acevedo, E.; Turbay, S. & Ocampo, O. 2017. Vulnerabilidad al cambio climático: Dificultades en el uso de indicadores en dos cuencas de Colombia y Argentina. *Empiria. Revista de Metodología de Ciencias Sociales*, 36: 119-147.
- Nan, Y.; Bao-Hui, M. & Chun, K.L. 2011. Impact analysis of climate change on water resources. *Procedia Engineering*, 24: 643-648.
- Naumann, G. & Vargas, W. 2017. Variabilidad de baja frecuencia de la persistencia de la temperatura. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 32: 1-17.
- Novillo, N. 2018. Cambio climático y conflictos socioambientales en ciudades intermedias de América Latina y el Caribe. *Letras Verdes*, 24: 124-142.
- Nuñez del Prado, H. & Peñalva-Bolívar, J. 2017. Identificación de la vulnerabilidades, gestión de riesgos de inundaciones y adaptación al cambio climático en el cono norte de Arequipa: Avances y perspectivas 2014-2016. *Veritas*, 16: 37-41.
- Orozco, I.; Ramírez, A. & Francés, F. 2018. Modelación de los impactos del cambio climático sobre los flujos y almacenamientos en una cuenca de alta montaña. *Ingeniería del Agua*, 22: 125-139.
- Palacios-Estrada, M.; Massa-Sánchez, P. & Martínez-Fernández, V. 2018. Cambio climático y contaminación ambiental como generadores de crisis alimentaria en la América andina: un análisis empírico para Ecuador. *Revista investigación operacional*, 39: 234-249.
- Peng, L.C.; Lin, Y.P.; Chen, G.W. & Lien, W.Y. 2019. Climate change impact on spatiotemporal hotspots of hydrologic ecosystem services: A case study of Chinan catchment, Taiwan. *Water*, 11: 867.
- Perez-Ortega, D.; Segovia-Ortega, J.; Cabrera-Moncayo, P.; Delgado-Vargas, I. & Martins-Pompêo, M. 2018. Uso del suelo y su influencia en la presión y degradación de los recursos hídricos en cuencas hidrográficas. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 9: 41-58.
- Pinto-Hernández, J. & Salazar de Cardona, M. 2014. Cambio climático y vulnerabilidad: Prospectivas para la región nororiental de Colombia-Santanderes. *Bistua*, 12: 16-45.
- Poblete, G.; Minetti, J. & Iranzo, D. A. 2013. Variabilidad del clima asociado con la precipitación y caudales de ríos en los Andes Centrales, Sudamérica. *Revista Geográfica*, 154: 91-113.
- Retegan, C.M. & Borcan, M. 2014. *Assessment of the potential impact of climate change upon surface water resources in the Ialomita river basin from Romania*. 14th International Multidisciplinary Scientific GeoConference (SGEM 2014) in Albena, Bulgaria (17-26 June, 2014), 1: 89-96.

- Rojas-Padilla, J.; Perez-Rincón, M., Fabrício-Malheiros, T.; Madera-Parra, C.; Guimarães-Prota, M. & Dos-Santos, R. 2013. Análisis comparativo de modelos e instrumentos de gestión integrada del recurso hídrico en Sudamérica: los casos de Brasil y Colombia. *Revista Ambiente & Água*, 8: 73-97.
- Rojas, J.; Perez, M.; Malheiros, T.; Madera, C.; Protá, M. & Dos Santos, R. 2013. Análisis comparativo de modelos e instrumentos de gestión integrada del recurso hídrico en Suramérica: los casos de Brasil y Colombia. *Revista Ambiente & Água*, 8: 73-97.
- Rosatto, H.; Fernando, B.G.; Tolón-Becerra, A.; Tardito, H. & Leveratto, M. 2016. Problemáticas del cambio climático en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires - aportes de las cubiertas vegetadas en la regulación térmica. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 48: 197-209.
- Sanz-Donaire, J. & Albornoz-Espinoza, C. 2017. A la búsqueda de periodicidades en los valores pluviométricos del norte grande de Chile. *Diálogo Andino*, 54: 83-102.
- Sarricolea-Espinoza, P. & Romero-Aravena, H. 2015. Variabilidad y cambios climáticos observados y esperados en el Altiplano del norte de Chile. *Revista de Geografía Norte Grande*, 62: 169-183.
- Sarricolea, P.; Meseguer-Ruiz, Ó.; & Romero-Aravena, H. 2017. Tendencias de la precipitación en el norte grande de Chile y su relación con las proyecciones de cambio climático. *Diálogo Andino*, 54: 41-50.
- Sauquet, E.; Richard-Bastien, A. & Prudhomme, C. 2019. Water restrictions under climate change: a Rhône-Mediterranean perspective combining bottom-up and top-down approaches. *Hydrology and Earth System Sciences*, 23: 3683-3710.
- Sonsol, R.; de França-Fuck, J.S. & Medeiros-Evangelista, S. 2011. Impacto das Mudanças Climáticas na Evapotranspiração em Nível de Bacia Hidrográfica Utilizando um Sistema de Informações Geográficas. *RBRH — Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 16: 5-12.
- Sotto, D.; Ribeiro, D. G.; Abiko, A.K.; Sampaio, C.A.C.; Navas, C.A.; Marins, K.R.C.; Sobral, M.C.; Philippi Jr., A. & Buckeridge, S.M. 2019. Sustentabilidade urbana: dimensões conceituais e instrumentos legais de implementação. *Estudos Avançados*, 33(97): 61-80. Disponible en https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142019000400061
- Stefanova, A.; Hesse, C.; Krysanova, V. & Volk, M. 2019. Assessment of socio-economic and climate change impacts on water resources in four European lagoon catchments. *Environmental Management*, 64: 701-720.
- Taks, J. 2019. Transformaciones de la narrativa del cambio climático global en Uruguay. *Sociologías*, 21: 102-123.
- Torres-Sanabria, C.; Reyes-Bonilla, A. & Cuartas-Ricaurte, J. 2016. Dilemas en el uso del agua: ¿Cómo se distribuye el recurso hídrico en la cuenca amazónica Colombiana? *Gestión y Ambiente*, 19: 96-109.

- Torres, A.; Galarza-Molina, S. & Molina-Prieto, L. 2019. Bogotá, una ciudad sensible al agua. Cuadernos de vivienda y urbanismo, 12: 1-24.
- Torres-Alruiz, M. & Ulloa-Torrealba, Y. 2018. Adaptación al cambio climático en Venezuela: ¿Quiénes y cómo se investiga en el país? Revista Hispana para el Análisis de Redes Sociales, 29: 20-43.
- Tozato, H.D. 2015. *Conséquences des changements climatiques sur la diversité biologique des zones humides : une analyse de politiques publiques et de gestion au Brésil et en France*. Thèse. En: <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01172358> leído el 12 de marzo del 2020.
- Vargas-Pineda, O.; González-García, N. & Trujillo-González, J. 2017. Analisis de un sistema de cosecha de agua de lluvia a pequeña escala con finalidad pecuaria. Luna Azul, 46: 82-101.
- Venturini, V. & Krepper, C. 2017. Caracterización de la distribución espacial y temporal de las precipitaciones de la cuenca del río de La Plata. Tecnología y Ciencias del Agua, 8: 63-75.
- Vieira, K.; Acuña, R. & Simões, F. 2010. Geomorfología aplicada a reconstrução e ao monitoramento do impacto das mudancas climaticas em ambientes glaciais. Revista de Geografia, 27: 102-114.
- Villafuerte-Holguín, J.; Rodríguez-Estacio, J.L.G. & Perez-Plata, L. 2018. Adaptación autónoma al cambio climático: experiencias de emprendimientos rurales de Ecuador. Letras Verdes, 24: 57-82.
- Villegas-Rodríguez, E.; Sandoval-Betancour, G.; Casas-Matiz, E.; Cortés-Cely, O.A. & Molina-Prieto, L. 2019. Gestión estratégica del recurso pluvial urbano: condición actual en Colombia. Cuadernos de Vivienda y Urbanismo, 12: 24. En: [https://revistas.javeriana.edu.co/files-articulos/CVU/12-24%20\(2019-II\)/151560075001/](https://revistas.javeriana.edu.co/files-articulos/CVU/12-24%20(2019-II)/151560075001/)
- Wang, Y.; Yang, X.; Zhang, M.; Zhang, L.; Yu, X.; Ren, L.; Liu, Y.; Jiang, S. & Yuan, F. 2019. Projected effects of climate change on future hydrological regimes in the Upper Yangtze River Basin, China. Advances in Meteorology, 2019: 1545746.
- Wu, P.; Liang, S.; Wang, X.S.; Feng, Y. & McKenzie, M.J. 2018. Climate-induced hydrologic change in the source region of the Yellow River: a new assessment including varying permafrost. Hydrology and Earth System Sciences, doi:10.5194/hess-2017-744
- Xue, L.; Yang, F.; Yang, Ch.; Chen, X.; Zhang, L.; Chi, Y.; & Yang, G. 2017. Identification of potential impacts of climate change and anthropogenic activities on streamflow alterations in the Tarim River Basin, China. Scientific Reports, 7: 8254.

Received March 13, 2020.

Accepted March 28, 2020.