

Distribución per cápita del agua en el Ecuador

Distribution per capita of water in Ecuador

Campos Antonio^{1,*}, Banda Richard², Sinichenko E.-K.³ & Gritsuk I.-I.⁴

¹ Universidad Técnica de Manabí, Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, Carrera de Ingeniería Civil, Av. Urbina y Che Guevara, Tel. (593-05) 2632677 - 2632692; Fax: (593-05) 2651569

² Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias Naturales, Escuela de Ingeniería Geológica y Ambiental, Av. Raúl Gómez Lince s/n y Av. Juan Tanka Marengo. Tel. (593-04) 3080777.

³ Universidad de la Amistad de los Pueblos de Rusia, Facultad de Ingeniería, Departamento de Hidráulica y Obras Hidrotécnicas, Ordzhonikidze 3, Moscú, Rusia, 115419. Tel./Fax +7 (495) 9520829. engr@pochta.rudn.ru, rks47@mail.ru

⁴ Academia de Ciencias de Rusia, Instituto de Problemas Hídricos, Gubkina 3, Moscú, Rusia, 119333, Tel. +7 (499) 1355456 - 1350427 - 1357201; Fax: +7 (499) 1355415. grizli2881@mail.ru

Recibido 12 de enero 2016; recibido en forma revisada 22 de mayo 2016, aceptado 4 de junio 2016
Disponibile en línea 30 de junio 2016

Resumen

Se describe la disponibilidad de agua a nivel mundial para luego concretar en las estimaciones a nivel per cápita en el territorio continental ecuatoriano al año 2016. Para el estudio se tomó como base los caudales modulares estimados por la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA) y los datos poblacionales del Censo de Población y Vivienda realizado en Ecuador en el año 2010. El estudio demostró que la disponibilidad de agua global por habitante se encuentra dentro del rango propuesto por el Banco Mundial, sin embargo, la repartición real es inequitativa y deficiente, sobre todo en la provincia de Manabí y otras regiones de la costa ecuatoriana, cuyos ríos sólo se alimentan de las precipitaciones en el período de lluvias.

Palabras clave: Agua, Ecuador, Hidrogeología, caudales modulares, déficit hídrico.

Abstract

The availability of water at global scale and the estimation of this resource per capita in the Ecuadorian mainland until 2016 are described. This paper is supported on the modular volumes estimated by the The National Water Secretary of Ecuador (SENAGUA) and the population data from the Census of Population and Housing conducted in Ecuador in the year 2010. The study showed that the overall availability of water per capita is within the range proposed by the World Bank; however, the present distribution is inequitable and deficient, especially in the province of Manabí and other regions of the coast of Ecuador, whose rivers are fed only by the rainfalls during the rainy season.

Keywords: Ecuador, hydrogeology, modular flows, hydric deficit, water.

Introducción

El agua existe en la Tierra en el espacio llamado la hidrosfera, que se extiende aproximadamente 1.50 km en la atmósfera, y cerca de 1 km hacia abajo en la corteza terrestre, donde ésta se mueve a través de un laberinto denominado ciclo del agua.

El agua se evapora de la superficie del océano y de la tierra para convertirse en parte de la atmósfera; donde se condensa para luego precipitarse a la tierra en forma de lluvia o nieve.

Del agua dulce de la Tierra, alrededor de 2 - 3 partes del total, se encuentra contenida en el hielo polar, y la gran parte del volumen restante, se presenta en forma de aguas subterráneas, localizadas a una profundidad de 200 a 600 metros, en concordancia con las investigaciones y estimaciones hidrogeológicas realizadas. Por debajo de esta profundidad, la mayor parte del agua subterránea es salina, sólo el 0.006% del agua dulce está contenida en los ríos. El agua biológica, es decir, aquella contenida en los tejidos de las plantas y los animales, es de aproximadamente 0,003% de toda el agua dulce, que es la mitad del

* Correspondencia del autor:
E-mail: acampos@utm.edu.ec



volumen contenido en los ríos (Danilov-Danilyan, 2006).

Según los cálculos realizados por la UNESCO en 1978, la cantidad total de agua en la Tierra es de 1,385'984,610 km³, de los cuales sólo 35'029,210 km³ son de agua dulce, lo cual equivale al 2,53%. El volumen total aproximado de agua dulce contenido en los ríos es de aproximadamente 2,115.00 km³. Su distribución por continentes depende de las condiciones geográficas y climáticas (Ismayilov & Perminov, 2013).

Un reservorio singular de agua dulce, a nivel mundial, es el lago Baikal, el cual es de origen tectónico y se encuentra ubicado en la parte sur de Siberia Oriental. Su contenido de agua es 11 veces mayor al existente en todos los ríos del mundo, es decir, 23,000 km³. La mayor profundidad del lago Baikal es 1,741 km, por lo que se lo considera como el lago más profundo del mundo con agua dulce de la mejor calidad. El lago se formó en una profunda fosa tectónica en la corteza terrestre, misma que tiene la posibilidad de seguir creciendo.

La mayor parte de agua dulce se encuentra en América del Sur y las islas de Oceanía (Nueva Guinea, Nueva Zelanda, Tasmania, etc.), donde la escorrentía anual para 1 km² de superficie, ha sido estimada en 661,000 y 1'556,000 m³, respectivamente. En este ámbito, Australia es la zona que tiene menor disponibilidad de agua dulce, misma que ha sido calculada en 39,000 m³/año por kilómetro cuadrado. La Antártida ocupa un lugar especial, ya que en esta zona de la Tierra, los ríos no fluyen, encontrándose el agua dulce en forma de hielo y se ha llegado a estimar que ésta constituye el 62% del agua dulce de todo el planeta (Markov, 2004).

América del Sur tiene una superficie de 17,8 millones de km², con una densidad poblacional de 10 personas por kilómetro cuadrado. Se encuentra inscrita en la dirección meridional, rodeada perimetralmente por grandes extensiones de agua de los océanos Pacífico y Atlántico. A lo largo de la margen occidental del continente se extiende la denominada Cordillera de los Andes, misma que sirve de barrera en el movimiento de las masas de aire, desempeñando un importante papel en la transferencia de humedad en la zona oriental.

La característica principal de la distribución de la precipitación en América del Sur, consiste en que una gran parte de su territorio, debido al efecto de apantallamiento de la Cordillera de los Andes, se encuentra humedecido por una precipitación cuya suma anual sobrepasa 1,600mm.

La mayor parte de la precipitación cae en el área de gran altitud orográfica (8000 mm, al sur de Chile y al norte de Colombia), y la menor, en la zona costera estrecha del Pacífico, entre 12 y 280 mm (Dublyansky & Oliferov, 2005).

El objetivo del presente estudio consiste en determinar la disponibilidad de agua dulce per cápita para la parte continental del Ecuador, esto es para las regiones Costa, Sierra y Oriente.

Materiales y Métodos

El Ecuador es un país que se distingue por poseer 4 regiones bien diferenciadas por sus características climáticas: Costa, Sierra, Oriente y Región Insular, con una superficie total de 283,560 km². El país se compone de 24 provincias, cada una con su correspondiente codificación; en la **Costa** se tiene 6: 07 El Oro, 08 Esmeraldas, 09 Guayas, 12 Los Ríos, 13 Manabí y 24 de Santa Elena; en la **Sierra**, 11: 01 Azuay, 02 Bolívar, 03 Cañar, 04 Carchi, 05 Cotopaxi, 06 Chimborazo, 10 Imbabura, 11 Loja, 17 Pichincha, 18 Tungurahua y 23 de Santo Domingo de los Tsáchilas; en el **Oriente**, 6: 14 Morona Santiago, 15 Napo, 16 Pastaza, 19 Zamora Chinchipe, 21 Sucumbíos y 22 Orellana; y, en la **Región Insular**, 1: 20 Galápagos (Figura 1).

Los ríos más grandes de la Costa son Esmeraldas y Guayas. La Cordillera de los Andes se constituye en la divisoria (parteaguas) de las vertientes del Pacífico y del Amazonas. Los principales ríos de la región oriental son: Pastaza, Putumayo, Napo y Aguarico (Figura 2).

Para la administración de los recursos hídricos en lo relacionado al control, uso, gestión, diseño y construcción de infraestructura hidráulica, el país está dividido en nueve sistemas hidrográficos llamados demarcaciones hidrográficas (Figura 2).

El concepto de *demarcación hidrográfica* está enlazado con el de *cuenca hidrográfica*, sólo que, a mayor escala, una demarcación hidrográfica está conformada por varias cuencas hidrográficas que pertenecen a una misma red de drenaje.

Con la creación de la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA), por decreto presidencial Nro. 1088 del 15 de mayo de 2008, desaparecieron las instituciones que regionalmente venían administrando lo relacionado con el desarrollo de recursos hídricos, tales como la Comisión de Estudios para el Desarrollo de la Cuenca del Río Guayas (CEDEGE), la Corporación Reguladora de los Recursos Hídricos de Manabí (CRM), Comisión de Desarrollo para Chone, Flavio Alfaro, El Carmen, Pedernales y Sucre (CEDEM), entre otras.

Dentro de las primeras actividades desarrolladas por SENAGUA, a quien se le atribuyó las competencias de las desaparecidas instituciones, fue hacer un inventario de la infraestructura y de los recursos hídricos existentes, para lo cual el país fue dividido en cuencas hidrográficas según la metodología Pfafstetter, las mismas que después, se las clasificó en 9 grupos, que llegaron a constituirse en las llamadas "Demarcaciones hidrográficas".

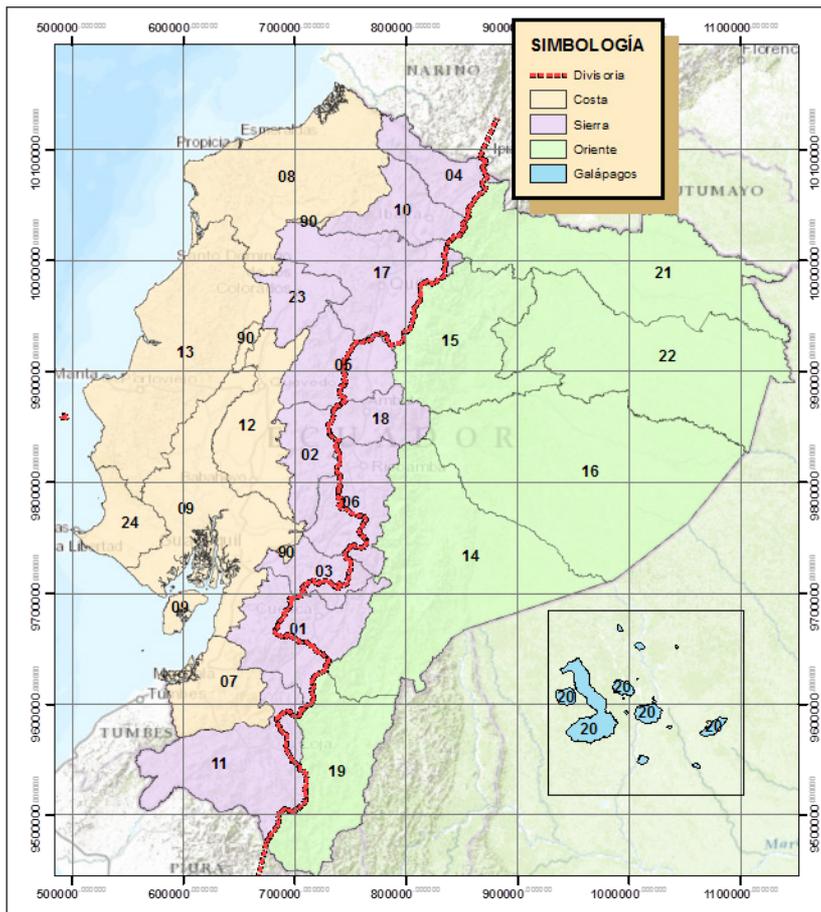


Figura 1. División política del Ecuador
Fuente: Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC)

Al oeste de la divisoria de vertientes se encuentran 6 demarcaciones, cuyos ríos descargan al océano pacífico, las cuales son: Mira, Esmeraldas, Manabí, Guayas, Jubones y Puyango-Catamayo; y, las 3 demarcaciones restantes: Napo, Pastaza y Santiago, están en la parte oriental del país, y sus ríos pertenecen a la vertiente del río Amazonas.

Todos los ríos del Ecuador, excluyendo a los de la Demarcación Hidrográfica de Manabí, reciben aporte del agua de los glaciares de la cordillera de los Andes. Por esta razón los ríos de Manabí prácticamente se secan en los meses de estiaje.

Debido a su ubicación geográfica, en Ecuador existen dos periodos climáticos bien diferenciados: el lluvioso y el seco, comúnmente llamados por la población, invierno y verano, respectivamente. El período lluvioso dura de 5 a 6 meses, de diciembre a abril o mayo y se caracteriza por lluvias constantes con incremento de la temperatura, mientras que, en el seco, de junio a noviembre, las lluvias son escasas y la temperatura descende.

Como información base para el desarrollo de la investigación, se tiene: 1) Caudales Modulares estimados la Secretaría del Agua (SENAGUA) en 2008; 2) Censo de Población y Vivienda del Ecuador del 28 de noviembre del 2010.

Sobre la base de datos de lluvias y las superficies de cuencas y microcuencas hidrográficas, SENAGUA efectuó una primera estimación de la repartición del agua por unidad de área (1 km²), que es lo que se conoce como *caudales modulares* (Cuenca, 2008) (Figura 3).

La disponibilidad de agua por habitante fue estimada en función de los indicados caudales modulares y de la población asentada. La población empleada en los cálculos fue tomada del Censo Poblacional realizado en 2010, misma que fue proyectada al 2016. Para dicha proyección, de acuerdo a lo estimado por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), se tomó como una tasa de crecimiento demográfica intercensal anual de 1.52% (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2015). El estudio fue llevado a cabo en el período noviembre de 2013 a enero de 2016.



Figura 2. Demarcaciones hidrográficas del Ecuador y ríos principales
 Fuente: Secretaría Nacional del Agua -SENAGUA

Para la estimación de la disponibilidad de agua anual por habitante, los autores de la presente investigación elaboraron la siguiente fórmula, basados en técnicas similares (Materón, 1991) usadas para el diseño de sistemas de agua potable, en lo que a estimación de demanda se refiere:

$$D = \frac{P Q A G}{T} \quad (1)$$

Donde:

- D, Disponibilidad anual de agua, m³/hab./año
- P, Población asentada en la zona de análisis, habitantes
- Q, Caudal modular en la zona de análisis, l/s/km²
- A, Área de la zona de análisis, km²
- G, Garantía hídrica, %
- T, Tiempo medido en 1 año, segundos

En la fórmula (1) la garantía hídrica G es un factor de seguridad expresado en porcentaje, misma que considera el porcentaje asegurado de la provisión de un todo.

En el caso de la escorrentía, ésta puede disminuir por la infiltración del suelo, por la cobertura vegetal, por las obras para el almacenamiento del agua, como son las represas, reservorios, albardas, evaporación, entre otras.

Debido a que la investigación se inscribe en todo el territorio nacional continental ecuatoriano, y tomando como base los datos contenidos en normas ex IEOS vigentes, se adopta una garantía del 60%, misma que se obtuvo como una media aplicable a los valores más críticos (SSA & IEOS, 2015).

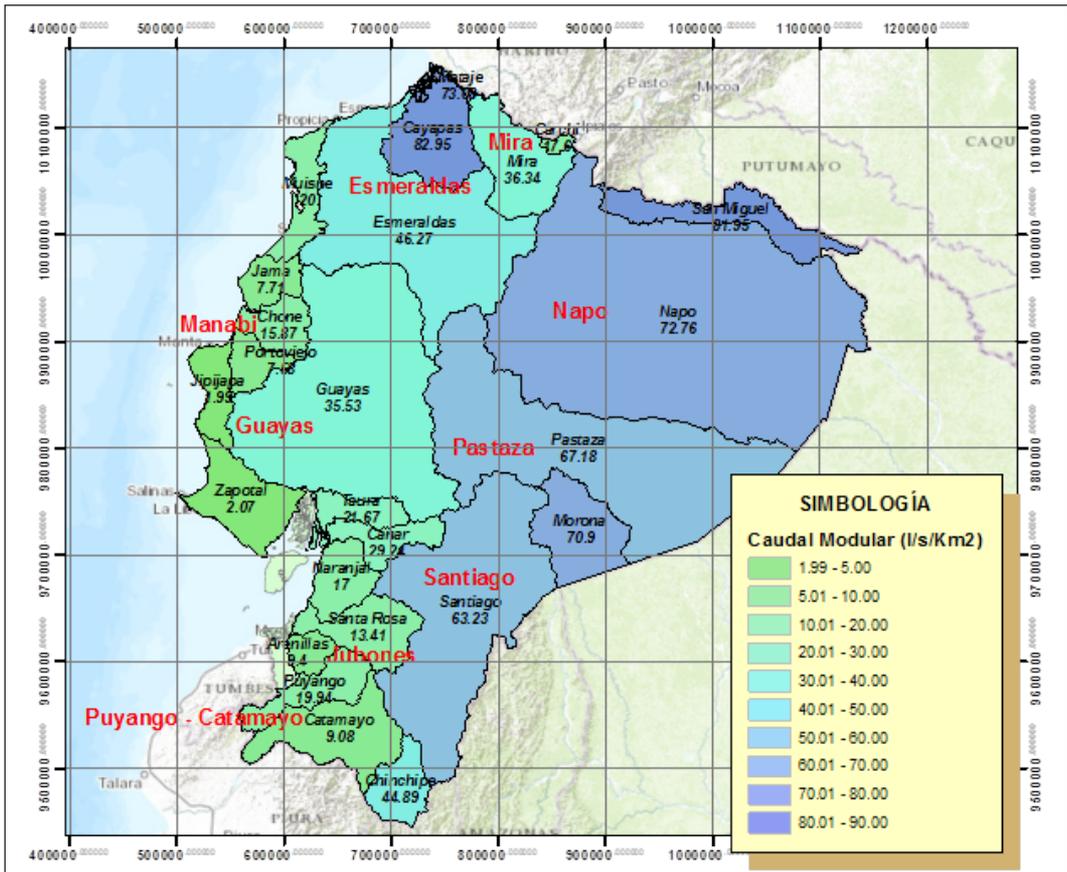


Figura 3. Caudales modulares por sistemas hidrográficos
 Fuente: Secretaria Nacional del Agua -SENAGUA

Resultados y Discusión

En concordancia con los datos tomados del Censo de Población y Vivienda de 2010 (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2015), y el crecimiento demográfico anual del 1,52%, para 2016 tenemos las siguientes proyecciones de población: 13'601,032 habitantes asentados en las áreas correspondientes a la vertiente del Pacífico; y, 2'227,081, para la vertiente del río Amazonas (Tabla 1).

Sobre base de la metodología propuesta se llegó a estimar los volúmenes anuales de agua de 68,262.25 y 172,786.36 hm³, para las vertientes del Pacífico y del río Amazonas, respectivamente (Tabla 2).

Con los datos estimados de volúmenes anuales y población asentados en las vertientes del Ecuador, se obtuvo las siguientes disponibilidades de agua: 5,018.90 m³/hab./año para la vertiente del Pacífico, y para la del Amazonas 77,584.23 m³/hab./año (Figura 4, tabla 3).

Aunque la disponibilidad de agua de la cuenca del Pacífico supera 1.700 m³/hab./año, valor

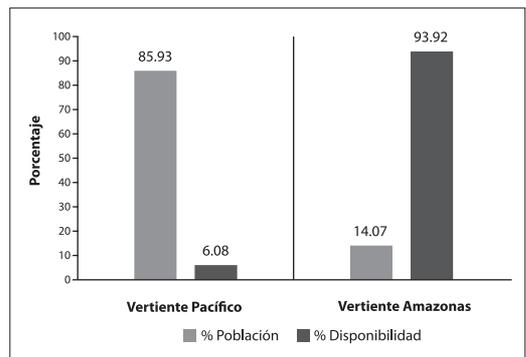


Figura 4. Valores porcentuales de población y disponibilidad de agua

correspondiente a la norma calculada por el Banco Mundial y las Naciones Unidas, en ciertas zonas costeras, cuyos ríos no tienen el aporte de los deshielos de los nevados, los valores de la disponibilidad del agua se encuentran por debajo de este nivel, sobre todo en el periodo de estiaje. Los valores promedio de los caudales modulares para todos los sistemas hidrográficos del país (Cuenca, 2008), fluctúan entre

1.99 a 90.00 l/s/km² (Figura 3), las estimaciones parciales por sistemas hidrográficos de los volúmenes anuales disponibles se presentan en la Tabla 2.

Tabla 1. Proyección de la población del Ecuador por vertientes hidrográficas al 2016

Provincia	Censo 2010 (hab.)	Proyección 2016 (**) (hab.)
Vertiente Del Pacífico		
El oro	600.659	201,039
Esmeraldas	534.092	246,517
Guayas	3.645.483	180,110
Los Ríos	778.115	657,563
Manabí	1.369.780	584,690
Santa Elena	308.693	3,990,844
Carchi	164.524	435,972
Imbabura	398.244	491,500
Pichincha	2.576.287	851,831
Santo Domingo de los Tsáchilas	368.013	1,499,548
Bolívar	183.641	2,820,356
Cañar	225.184	402,877
Loja	448.966	337,938
Zonas no delimitadas	32.384	35,452
Azuay (*)	356.064	389,796
Chimborazo (*)	229.291	251,013
Cotopaxi (*)	204.603	223,986
SUBTOTAL	12.424.022	13,601,032
Vertiente Del Amazonas		
Sucumbíos	176.472	193,190
Napo	103.697	113,521
Orellana	136.396	149,318
Pastaza	83.933	91,885
Morona Santiago	147.940	161,955
Zamora Chinchipe	91.376	100,033
Tungurahua	504.583	552,385
Azuay (*)	356.064	389,796
Chimborazo (*)	229.291	251,013
Cotopaxi (*)	204.603	223,986
Subtotal	2.034.354	2,227,081

Nota

(*) Para las estimaciones, por ser provincias territorialmente ubicadas en las dos vertientes hidrográficas, se asignó el 50% de la población total a cada una de las vertientes.

(**) Para la proyección poblacional al 2016, se consideró un crecimiento por progresión geométrica, donde se tomó una tasa de crecimiento demográfica intercensal anual de 1.52% de acuerdo a lo estimado por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC).

En confrontación con los resultados obtenidos por SENAGUA en 2008, frente a los obtenidos en esta investigación, se determinó que existe una disminución del recurso hídrico per cápita, a razón del 5.30 y 15.30 %, para las cuencas del Pacífico y Amazonas, respectivamente (Tabla 4), lo que, prorrateado para el periodo de análisis, arroja tasas de disminución anual de 0.66 y 1.91 %.

SENAGUA realizó sus estimaciones en 2008, para lo cual, debido a la ausencia de información actualizada, se empleó los siguientes insumos: a) Rendimiento de caudales, datos tomados del Plan Nacional de Recursos Hidráulicos de la República del Ecuador, Recursos Hídricos Superficiales, INERHI - CEDEX, 1989; y b) División Hidrográfica del Ecuador a nivel de sistemas cuencas y subcuencas, tomado de la Propuesta interinstitucional de división hidrográfica del Ecuador (MMREE, IGM, MOP, MIDUVI, CNRH, DINAREN, CONELEC, CLIRSEN, INAMHI, 2002).

Las cuencas con déficit se concentran fundamentalmente en dos provincias: Manabí (sistema hidrográfico de Jama, Portoviejo y Jipijapa) y el este y el sur del Golfo de Guayaquil (sistema de Arenillas y Zapotal).

Esta situación se da principalmente por el hecho de que los ríos de estas zonas no cuentan con una fuente de alimentación permanente de agua de los deshielos de la cordillera de los Andes, como es el caso de las otras zonas del país, lo cual ha creado la necesidad de proyectar y construir obras de regulación y almacenamiento para satisfacer las necesidades hídricas de abastecimiento, riego y otros usos en el periodo seco.

Conclusiones

La cantidad anual promedio de agua disponible en el paisaje de Ecuador es 241,048.61 hm³, de los cuales para la vertiente del Pacífico corresponden 68,262.25; y, los restantes 172,786.36, para la vertiente amazónica.

La disponibilidad de agua per cápita para el año 2016 es de 5,018.90 m³/hab./año para la vertiente del Pacífico, y para la del Amazonas 77,584.23 m³/hab./año.

La tasa de disminución anual de la disponibilidad per cápita es de 0.66 y 1.91 % para las vertientes del Pacífico y Amazonas, respectivamente.

Recomendaciones

En aras de garantizar el recurso agua en cantidad y calidad para la población actual y futuras, el gobierno nacional a través de las entidades competentes y de las universidades del país, debe implementar planes y proyectos, tendientes en primer lugar, a determinar con datos actualizados la situación de los recursos

hídricos en el Ecuador; para después concentrarse el monitoreo periódico, manejo, conservación y optimización de dichos recursos.

Referencias

- Cuenca, N. (05 de marzo de 2008). *Gestión de Recursos Hídricos en el Ecuador*. Obtenido de <http://memorias.utpl.edu.ec/sites/default/files/documentacion/periodismo2013/utpl-Gestion-Recursos-Hidricos-Ecuador.pdf>
- Danilov-Danilyan, V. I. (2006). *Uso del agua*. Moscú: Nauka.
- Dublyansky, V. N. y Oliferov, A. N. (2005). *Recursos hídricos continentales*. Simferópol: Universidad Nacional de Tauro V. I. Vernadsky.
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (17 de febrero de 2015). *Población y Demografía del Ecuador*. Obtenido de <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/>
- Ismaylov, G. J. y Perminov, A. V. (2013). *Balace hidrico mundial y los recursos hídricos de la Tierra*. Moscú: FGBOU - Universidad Agraria.
- Markov, Y. G. (2004). *Ecología Social. Interacción de la sociedad y la naturaleza*. Novosibirsk: Editorial de la Universidad de Siberia.
- Materón, H. (1991). *Obras hidráulicas rurales*. Colombia: Universidad del Valle.
- MMREE, IGM, MOP, MIDUVI, CNRH, DINAREN, CONELEC, CLIRSEN e INAMHI. (2002). *Propuesta interinstitucional de división hidrográfica del Ecuador*. Quito.
- SSA e IEOS (2015). *Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales*. Obtenido de <http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/fulltext/normas.pdf>

Tabla 2. Disponibilidad de volúmenes de agua por sistemas hidrográficos del Ecuador

Nro.	Demarcación Hidrográfica (*)	Sistema Hidrográfico (*)	Superficie (*) (km ²)	Caudal Modular (*) (l/s/km ²)	Caudal (m ³ /s)	Volumen Anual (hm ³)
Vertiente Del Amazonas						
1	Napo	San Miguel	5.534,75	81,95	453,57	8.582,32
2		Napo	59.726,00	72,76	4.345,66	82.226,91
3	Pastaza		32.181,80	67,18	2.161,97	40.908,00
4	Santiago	Chinchi	3.133,10	44,89	140,64	2.661,23
5		Santiago	25.069,10	63,23	1.585,12	29.992,99
6		Morona	6.272,57	70,90	444,73	8.414,91
					SUBTOTAL	172.786,36
Vertiente Del Pacífico						
7	Mira	Mira	6.499,57	36,34	236,19	4.469,18
8		Carchi	367,16	17,60	6,46	122,27
9	Esmeraldas	Muisne	3.320,45	20,00	66,41	1.256,56
10		Esmeraldas	23.646,90	46,27	1.094,14	20.702,92
11		Cayapas	6.647,88	82,95	551,44	10.434,16
12		Mataje	172,38	73,08	12,60	238,36
13	Manabí	Jipijapa	2.761,87	1,99	5,50	104,00
14		Portovejo	2.080,96	7,58	15,77	298,46
15		Chone	2.733,54	15,87	43,38	820,84
16		Jama	2.203,31	7,71	16,99	321,43
17	Guayas	Guayas	32.169,90	35,53	1.143,00	21.627,32
18		Cañar	2.839,23	29,24	83,02	1.570,85
19		Taura	2.278,67	21,67	49,38	934,33
20		Zapotal	5.811,06	2,07	12,03	227,61
21	Jubones	Naranjal	3.296,22	17,00	56,04	1.060,29
22		Santa Rosa	4.716,59	13,41	63,25	1.196,78
23		Arenillas	1.396,76	9,40	13,13	248,43
24	Puyango	Catamayo	7.219,89	9,08	65,56	1.240,44
25		Puyango	3.678,87	19,94	73,36	1.388,03
					Subtotal	68.262,25

Nota

(*) Fuente: Secretaría Nacional del Agua

Tabla 3. Disponibilidad de agua per cápita

Vertiente	Población		Disponibilidad De Agua		
	(hab.)	(%)	Total	Per cápita	Porcentual
			(hm ³ /año)	(hm ³ /hab./año)	(%)
Pacífico	13,601,032	85.93	68,262.25	5,018.90	6.08
Amazonas	2,227,081	14.07	172,786.36	77,584.23	93.92
Total	15,828,113	100.00	241,048.61	82,603.13	100.00

Nota

Fuente: Secretaría Nacional del Agua

Tabla 4. Disponibilidad de agua per cápita, comparación con otros estudios

Vertiente	Disponibilidad De Agua			Tasa
	Senagua (2008)(*)	Investigación (2016)	Disminución	Disminución
	(m ³ /hab./año)	(m ³ /hab./año)	(%)	(%/año)
Pacífico	5,300.00	5,018.90	5.30	0.66
Amazonas	91,600.00	77,584.23	15.30	1.91

Nota

(*) Fuente: Secretaría Nacional del Agua