
Presión demográfica sobre el agua:

un análisis regional
para Ecuador

Demographic pressure on water:
A regional analysis for Ecuador

María Chamba-Ontaneda¹

Priscilla Massa-Sánchez²

Andrea Fries¹

¹ Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL),
Departamento de Geología, Minas e Ing. Civil (DGMIC), Sección Recursos Hídricos,

² Universidad Técnica Particular de Loja (UTPL), Departamento de Economía
Loja, Ecuador
merys15@gmail.com

Resumen

El análisis de la presión demográfica sobre los recursos hídricos es fundamental en la gestión sostenible del agua. En este trabajo se determinó el Índice de Presión Demográfica sobre el Agua (IPDA) para los 55 cantones más poblados del Ecuador, combinando cinco variables: distribución de la población, población en zonas áridas, consumo doméstico estimado de agua, crecimiento poblacional y estrés hídrico. Los resultados obtenidos indican que la mayor presión demográfica sobre el recurso hídrico se concentra en la región Costa, mientras que la menor presión se presenta en la Amazonía. Estos resultados responden principalmente a la concentración poblacional relativa en estas zonas y a las características hidrológicas y climáticas que condicionan la cantidad de agua disponible.

PALABRAS CLAVE: recurso hídrico; presión demográfica; estrés hídrico; IPDA.

Abstract

The analysis of demographic pressure on hydrologic resources is fundamental for a sustainable water management. In this work, the Water Demographic Pressure Index (IPDA) was determined for the 55 most populated cantons of Ecuador, combining five variables: distribution of the population, population in arid zones, estimated domestic water consumption, population growth and water stress. The results obtained indicated that the greatest demographic pressure on water resources is concentrated at the Coast, while the lowest pressure occurs in the Amazon region. These results are mainly due to the relative population concentration and the hydrological and climatic conditions, affecting s the amount of available water.

KEY WORDS: water resource; population pressure; water stress; IPDA.

1. Introducción

Cerca del 75% de la superficie del planeta está cubierta por agua, un elemento esencial y significativo para todo ser vivo (Altieri, 2016). No obstante, menos del 1% de este recurso es apto para el consumo o uso humano [World Wildlife Fund (WWF), 2012]. Este pequeño porcentaje está en peligro debido a las actividades humanas que contaminan los cuerpos de agua, mediante procesos industriales y la minería que reduce la cantidad disponible. Además, existe, en numerosos países del mundo, una gestión deficiente de este recurso que genera desequilibrios entre la oferta y la demanda hídrica (Monforte-García y Cantú-Martínez, 2009). Este problema se amplía debido al acceso desigual y el crecimiento continuo de la población mundial, que adicionalmente provoca un incremento de la demanda del recurso hídrico. Ya para el 2011, la población mundial llegó a los 7.000 millones de individuos y se estima que para 2024 la cifra aumentará en 1.000 millones más. A este ritmo, en el 2045 la población mundial estará cerca a los 9.000 millones [Fondo de Población de las Naciones Unidas (UNFPA), 2011].

Con el crecimiento previsto durante los próximos años, los impactos antropogénicos negativos en los recursos naturales se incrementarán también, especialmente respecto a la disponibilidad del agua para uso humano (Altieri, 2016; Arévalo *et al.*, 2011). Para el año 2013 se estimó que 780 millones de personas no tuvieron acceso a agua potable y, alrededor de 2.000 millones no contaron con servicios adecuados de saneamiento [Organización Mundial de la Salud (OMS), 2015]. Según el informe de World Water Development (WWDR3; WWAP, 2009) sobre el desarrollo del agua en el mundo, casi la mitad de la población mundial (47%) vivirá en regiones de alto estrés hídrico para el año 2030. Esta proyección es preocupante al conocer que en el

2000 cerca de 508 millones de seres humanos (8%) vivían en regiones con estrés hídrico o con escasez de agua (WWAP, 2009). Este aumento se debe a diferentes factores que influyen en la disponibilidad del agua a escala mundial, como el crecimiento de la población, la contaminación de los cuerpos de agua, el cambio en el uso de la tierra, el cambio climático y el progreso de la sociedad (Davies y Simonovic, 2011).

La mayor cantidad de agua dulce en el mundo (65%) se encuentra en América Latina (Fernández, 2009), donde Ecuador, un país andino, es uno de los países con mayor concentración de redes hídricas por unidad de superficie (Tromben, 2011). Ecuador es privilegiado respecto a la cantidad de agua disponible en su territorio, porque cada habitante de la vertiente costera cuenta con una disponibilidad de 4.863,41 m³/habitante/año y los de la vertiente amazónica 172.786,36 m³/habitante/año (Campos *et al.*, 2014). Estos valores son muy superiores al umbral de Falkenmark que establece 1.700 m³/habitante/año para determinar el estrés hídrico a escala mundial (McCarthy *et al.*, 2001). Sin embargo, la cantidad de agua disponible varía, no sólo dentro de la misma región sino también durante el transcurso del año, cuando existe una marcada diferencia entre la época lluviosa y la época seca (Calles, 2016).

En general, el balance hídrico del Ecuador es positivo para todas las regiones; no obstante, existe una presión sobre el recurso hídrico debido a la demanda de los diferentes sectores para satisfacer sus múltiples necesidades [Galarraga, 2000; Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA), 2011]. El uso del agua en el país está distribuido en consumo humano (~10%), uso industrial (~10%) y riego (~80%); (SENAGUA, 2013). Sin embargo, no todos los lugares tienen acceso directo a la red pública de agua potable, debido a que existe una fuerte desigualdad en la cobertura de ésta entre las áreas urbanas y rurales, como también entre las

diferentes regiones del país (Bell, 2015). En 2012, las zonas urbanas contaron con una cobertura de red de agua potable de 94%, pero las zonas rurales apenas de 36% [Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (SENPLADES), 2013].

Esta discrepancia entre las diferentes zonas y regiones demanda un estudio referente al estrés hídrico en Ecuador. Así, se pueden identificar las áreas más vulnerables y prioritarias para implementar y mejorar la distribución de este recurso, incluyendo la construcción y optimización de la infraestructura.

Para evaluar las presiones sobre el recurso hídrico, el presente trabajo aplicó un análisis multicriterio a escala regional y local, incluyendo variables de distribución de la población en el territorio, población en zonas áridas, consumo doméstico estimado de agua, crecimiento poblacional y estrés hídrico. Como unidad territorial de análisis se estableció la división cantonal de cada una de las provincias del país, determinando el índice de presión demográfica sobre el agua (IPDA). El estudio analizó los cantones más poblados del Ecuador, donde información climatológica e hidrológica por lo menos de 10 años estaban disponibles. Mediante los resultados obtenidos se generó una herramienta para apoyar la toma de decisiones respecto a la gestión hídrica a nivel gubernamental en el Ecuador.

2. Área de estudio

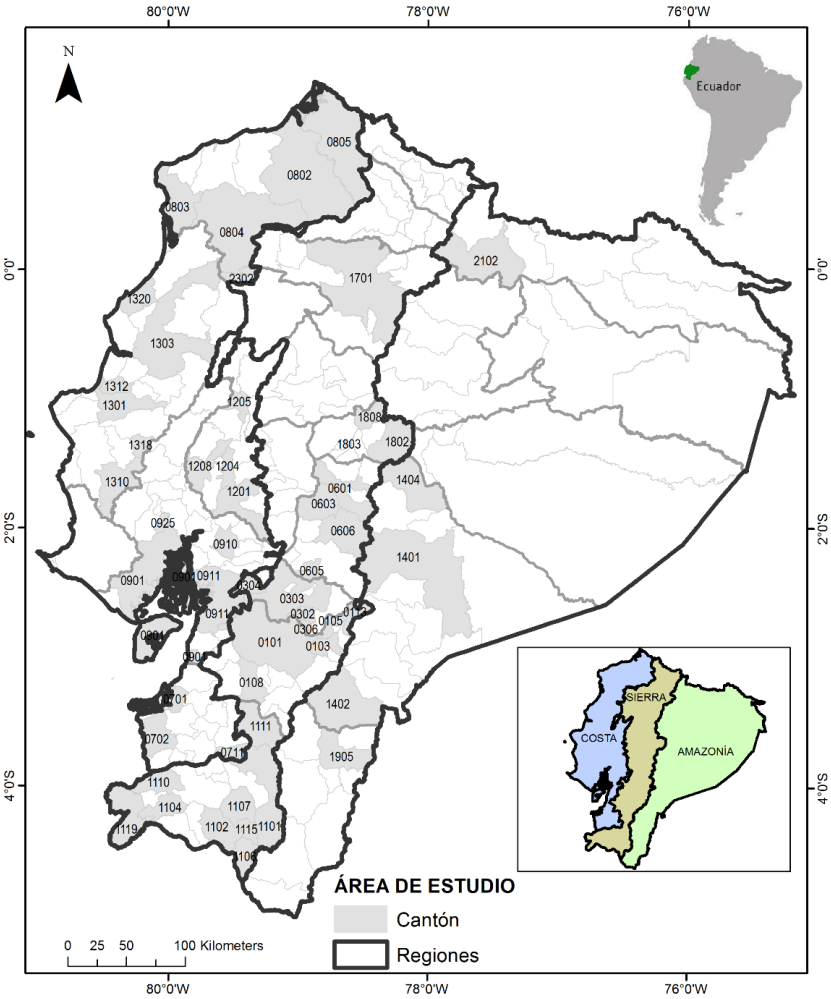
Ecuador está ubicado en el noroeste de América del Sur. Limita al norte y noreste con Colombia, al sur y sureste con Perú y al oeste con el océano Pacífico, entre las coordenadas geográficas 1°28'N y 5°01'S de latitud y los 75°11' y 81°00' de longitud [Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), 2015]. La cordillera de Los Andes cruza el país de norte a sur, formando una divisoria climática, que ha dado

origen a la formación de tres regiones naturales diferentes: la Litoral o Costa, la Interandina o Sierra y la Amazónica u Oriental (FIGURA 1). Aparte de las tres regiones continentales, se define una cuarta región, denominada Insular, que comprende el archipiélago de Colón, provincia de Galápagos, situado a 1.000 km al oeste del Ecuador en el océano Pacífico (Galarraga, 2000).

Cada una de las regiones presenta características climáticas propias. El clima de la Costa está influenciado por las corrientes marinas del pacífico oriental, particularmente la corriente fría de Humboldt y la corriente cálida del Niño, que determinan en gran medida el régimen de precipitaciones. Esta región tiene una estación lluviosa, entre los meses de diciembre y abril; el resto del año es generalmente seco. Por el contrario, la región Sierra muestra un régimen bimodal, con lluvias máximas en los meses de abril y octubre, simultáneamente con la posición perpendicular del Sol sobre el Ecuador. Sin embargo, existe un período relativamente seco (entre junio y septiembre) cuando las precipitaciones son un poco más escasas. Además, el sector interandino presenta una topografía muy irregular, especialmente en la parte alta, donde la topografía forma espacios físicos separados y el clima cambia a cortas distancias. La región Amazónica tiene un clima tropical húmedo con lluvias abundantes durante todo el año [Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), 2006]. En general, la precipitación media anual para todo el territorio del Ecuador es de 2.274 mm, que equivale a 583 km³/año.

Ecuador contiene 31 sistemas hidrográficos, de los cuales 24 corresponden a la vertiente del océano Pacífico, con una superficie total de 124.644 km² (49 %), y 7 a la vertiente del Amazonas, con una superficie de 131.726 km² (51 %). Los sistemas hidrográficos están divididos en 79 cuencas, de las cuales 72 pertenecen a la vertiente del océano Pacífico y 7 a la vertiente del Amazonas (FAO, 2016).

FIGURA 1. Mapa regional y político-administrativo del Ecuador según cantones más poblados



Sin embargo, el mayor potencial hídrico del país (88%) se ubica en esta última.

La información del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC, 2017) estima para Ecuador una población de 16.776.977 millones de habitantes, concentrándose principalmente en la región Costa con un total de 8.303.168, seguida por la región Sierra con 7.504.942. El tercer lugar lo ocupa la región Amazónica con 898.547 habitantes, y por último la región Insular con 30.890

habitantes. Por esta distribución espacial de la población existen regiones en el país donde el estrés hídrico es evidente, particularmente en la Costa, sur del país y en la zona de transición al desierto del norte de Perú [Comisión Económica para América Latina y El Caribe (CEPAL), 2013]. La división político-administrativa del país comprende 24 provincias, subdividida en 221 cantones, los cuales se subdividen a su vez en 1.500 parroquias.

El crecimiento poblacional en el Ecuador, según los resultados del censo del 2010 realizado por el INEC, indica que las zonas urbanas muestran un incremento de habitantes, siendo que en las zonas rurales ocurre lo contrario, donde se observa una disminución, asociada entre otras cosas a la no accesibilidad de la población a los servicios básicos. Las provincias con mayor crecimiento son: Guayas (código 09), Pichincha (código 17), Manabí (código 13), Los Ríos (código 12) y Azuay (código 01), en ese orden (INEC, 2014). Los cantones denominados Unidades Territoriales de Análisis (UTA's) fueron codificados atendiendo al Clasificador Geográfico Estadístico (INEC, 2016).

3. Metodología

3.1 Datos

La investigación se desarrolló con base en datos demográficos existentes de los 55 cantones más poblados del Ecuador (UTA's; FIGURA 1). Los datos fueron facilitados y levantados por el INEC en los censos del 2001 y 2010. Los datos climatológicos se obtuvieron de los anuarios meteorológicos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología de Ecuador (INAMHI, 2013) para el periodo 1990-2010. Los anuarios meteorológicos incluyen información mensual y anual de todas las estaciones meteorológicas en funcionamiento del país, particularmente datos de precipitación y temperatura. El valor promedio de consumo plurianual de agua por habitante en el Ecuador fue asumido de la Red Internacional de Comparaciones para Empresas de Agua y Saneamiento (IBNET, 2016). Para el análisis de los datos y para graficar los resultados se utilizó el *software* ArcGIS 10 (ESRI, 2012).

3.2 Cálculo de índices

3.2.1 Índice de Presión Demográfica sobre el Agua (IPDA)

El IPDA es el resultado del análisis integrado de cinco variables: **1)** Indicador de Distribución Espacial de la Población (IDP); **2)** Indicador de Población en Zonas Áridas (IPZA); **3)** Indicador de Consumo Doméstico Estimado de Agua (ICDEA); **4)** Indicador de Crecimiento Poblacional (ICP); e **5)** Índice de Estrés Hídrico (IEH), (Chías *et al.*, 2007; Quentin *et al.*, 2007).

3.2.2 Indicador de Distribución espacial de la Población (IDP)

El IDP determina la población relativa de cada una de las UTA's mediante una relación entre subpoblaciones (cantón) y la población total del área de estudio, que corresponde a la sumatoria de la población de los 55 cantones en estudio (Eller, 2001). Se puede calcular el IDP aplicando la siguiente expresión (Ecuación 1).

$$IDP_i = \frac{p_i}{P} \quad [1]$$

Donde p_i es la población total de la UTA de análisis y P la población total en los 55 cantones (7.980.253 habitantes).

3.2.3 Indicador de Población en Zonas Áridas (IPZA)

El IPZA determina la población relativa (%) de cada cantón que habita en zonas climáticas secas o áridas. Estas zonas se definieron mediante el Índice de Aridez de De Martonne (Wang y Takahashi, 1999), utilizando datos anuales de temperatura (T) y precipitación (P) de cada estación meteorológica existente en el cantón (Maliva y Missimer, 2012). El Índice de Aridez (A_m) de cada estación fue estimado mediante la ecuación 2:

$$A_m = \frac{P}{(T + 10)} \quad [2]$$

Los valores de A_m se interpretan como sigue (CUADRO 1).

CUADRO 1. Clasificación del Índice de Aridez

Valor de A_m	Zona
0 – 5	Desiertos (hiperárido)
5 – 10	Semidesierto (árido)
10 – 20	Semiárido
20 – 30	Subhúmedo
30 – 60	Húmeda
> 60	Perhúmeda

Para generar mapas espaciales y valores continuos de A_m para cada cantón se aplicó el método geoestadístico de interpolación *Kriging* ordinario (FAO, 2001). Los resultados fueron validados mediante información de estaciones meteorológicas del cantón que presentan una serie de datos inferior a 10 años, no incluidos en el análisis (Gallardo, 2006).

El IPZA se determinó finalmente mediante la expresión [3].

$$IPZA_i = 100 \times \frac{A_m}{p_i} \quad [3]$$

3.2.4 Indicador de Consumo Doméstico Estimado de Agua (ICDEA)

El ICDEA estima la tasa de consumo de agua que la población utiliza para uso doméstico. Se expresa mediante la ecuación [4] (Manzano *et al.*, 2007), en unidades de litros por día (l/día).

$$ICDEA_i = p_i \times x_i \quad [4]$$

Donde x_i el consumo promedio de agua por persona (l/día).

Para determinar x_i se aplica el valor promedio de consumo plurianual de agua por habitante para Ecuador, reportado por IBNET (2016). Los resultados obtenidos se ajustaron con datos de temperatura media de las UTA's y, luego se rea-

lizó la correlación directa entre la temperatura ambiental y la tasa de consumo de agua, tal como lo sugiere Balling *et al.* (2008).

3.2.5 Indicador de Crecimiento Poblacional (ICP)

El ICP permite determinar la tasa de crecimiento de la población en cada una de las UTA's mediante modelos aritméticos, geométricos o exponenciales, que influye en el volumen de consumo doméstico de agua (Vörösmarty *et al.*, 2000). En este trabajo se usó el modelo exponencial, suponiendo un crecimiento en forma continua y no cada unidad de tiempo (Ecuación 5; Torres-Degró, 2011).

$$ICP_i = 100 \times \frac{1}{h} \times \ln \frac{p_{ic+1}}{p_{ic}} \quad [5]$$

Donde h es el tiempo entre dos eventos de censo (INEC, 2001; 2010), p_{ic} es la población total de los 55 cantones durante el censo (c).

3.2.6 Índice de Estrés Hídrico (IEH)

El IEH estima la distribución de una unidad volumétrica de agua (1.000.000 m³) entre la población de la UTA, indicando la disponibilidad del agua en este cantón. La estimación del volumen de agua disponible se establece mediante el balance primario de masa entre la precipitación y la evapotranspiración aplicando el método de Thornwaite (Ruíz *et al.*, 2012). El IEH para cada UTA se calculó mediante la siguiente fórmula [6] (Massa-Sánchez *et al.*, 2018):

$$IEH_i = 0.01 \times \frac{k}{u_{4i}} \quad [6]$$

Donde k es el volumen de agua renovable, u_{4i} el agua disponible per-cápita en el cantón.

3.3 análisis combinado de variables

La expresión de cálculo del IPDA con los 5 índices o indicadores es la siguiente (Ecuación 7; Massa-Sánchez *et al.*, 2018):

$$IPDA_i = \sum_{j=1}^j f_j g_{ji} \tag{7}$$

Donde *f* es un factor de peso específico asignado a cada los indicadores (*j*), *i* representa las unidades espaciales de análisis, y *g* es un índice normalizado demográfico que se calcula mediante la siguiente expresión (Chías *et al.*, 2007)

$$g_j = \frac{d_j - d_{jm}}{d_{jM} - d_{jm}} \tag{8}$$

Donde *d_j* es el indicador de la presión demográfica a evaluar, *m* y *M* son los valores mínimo y máximo del indicador.

El peso específico asignado a cada variable tiene alta influencia en el resultado final. Generalmente, se considera el IPZA y el IDP como las variables de mayor importancia, porque indican la concentración de personas que habitan en zonas áridas, seguido por el IEH que señala la cantidad de agua disponible en la zona (Manzano *et al.*, 2007). Los índices de menor peso son ICDEA y ICP, debido a que el consumo doméstico del agua depende de la disponibilidad del agua en la zona y del crecimiento de la población. Los pesos para esta investigación fueron adoptados de Massa-Sánchez *et al.* (2018), (CUADRO 2).

CUADRO 2. Factores de peso asignados a cada variable para el cálculo del IPDA

Indicador o índice	Factor de peso específico (f)*
IDP	0.25
IPZA	0.40
ICDEA	0.10
ICP	0.05
IEH	0.20
Total	1.00

* LOS VALORES EXPRESAN EL GRADO DE INFLUENCIA QUE TIENE CADA VARIABLE EN LA PRESIÓN SOBRE EL RECURSO HÍDRICO

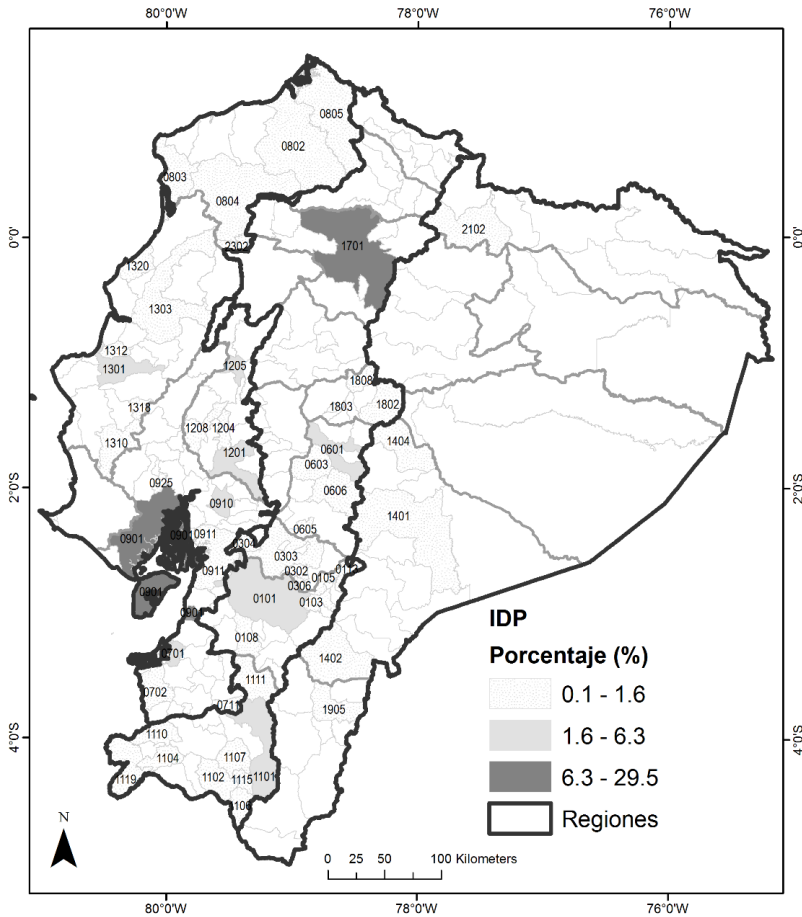
Finalmente, los valores obtenidos del IPDA para cada UTA fueron clasificados en 3 categorías para una mejor interpretación de los datos. En general, los valores del IPDA tienen un rango entre 0 y 1, en donde valores cercanos a 1 indican mayor presión sobre el recurso hídrico. La clasificación fue realizada con base en un histograma generado con la herramienta “*Spatial Analyst*” del *software* ArcGIS 10 (ESRI, 2012), lo cual permite establece rangos de igual intervalo. Debido a que el balance hídrico del Ecuador es positivo para todas las regiones (SENAGUA, 2011), se establecieron las siguientes categorías: 0 – 0.21 (bajo); 0.22 – 0.43 (moderado); y > 0.43 (alto).

4. Resultados y discusión

Las FIGURAS 2 a la 7 muestran de forma individual y esquematizada el rango de valores de cada uno de los cinco índices calculados. El IDP (FIGURA 2) muestra la población relativa de cada UTA respecto a la población total de los 55 cantones bajo estudio. Es claramente visible que más de la mitad de la población (57.5%) se concentra solamente en 2 UTA’s [Guayaquil (0901): 29.46% y Quito (1701): 28.06%]. Guayaquil es la ciudad más poblada del Ecuador, seguido por la capital Quito. Los otros cantones con alta concentración de población son generalmente las capitales provinciales (INEC, 2017).

La FIGURA 3 muestra la ubicación de la población que habita en zonas áridas (IPZA) según el índice de aridez. SENAGUA (2011) indica que todas las regiones del Ecuador tienen un balance hídrico positivo; sin embargo, existen cuencas deficitarias que se concentran en la región Costa, particularmente en las provincias Manabí (13), Guayas (09) y El Oro (07). Los cantones más áridos, donde existen cuencas deficitarias, están ubicados en particular en la zona de transición al desierto del norte de Perú. El alto IPZA de estos cantones indica una susceptibilidad a sufrir problemas de abastecimiento hídrico para la población porque la disponibilidad de agua es

FIGURA 2. Indicador de Distribución Espacial de Población (IDP [%])

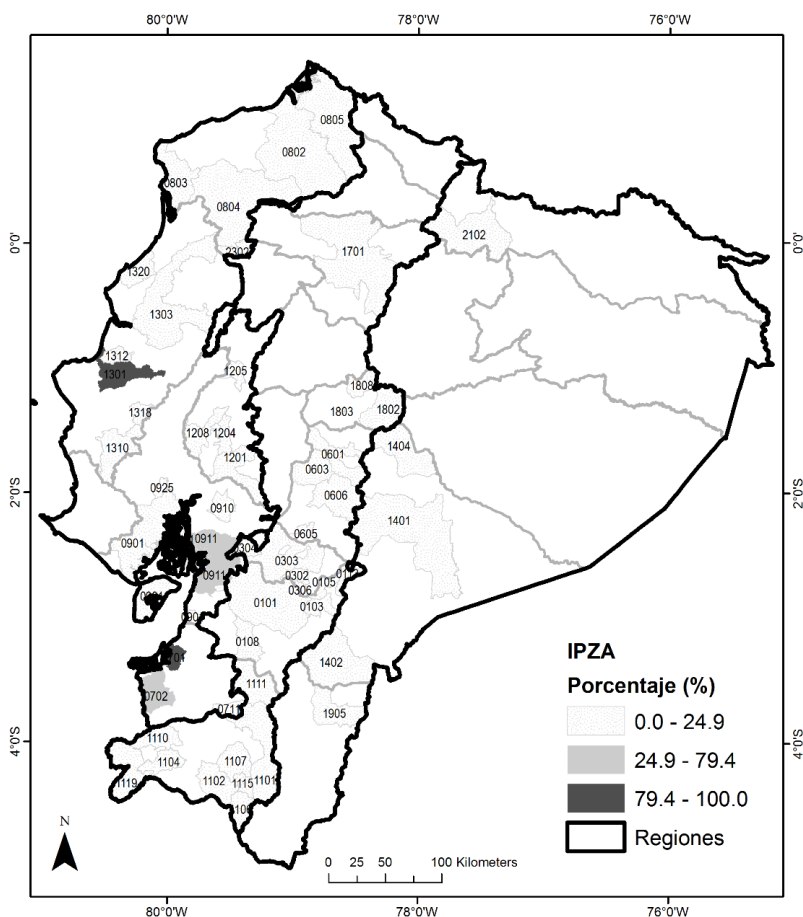


limitada, por lo menos estacionalmente (INAMHI, 2006). La UTA más susceptible es Machala (0701), no solo por su ubicación en la zona de transición al desierto del norte de Perú sino también por la falta de grandes sistemas higrológicos.

El mapa del ICDEA (FIGURA 4) guarda relación directa con el IDP. Es evidente que en las zonas con mayor población, el consumo diario de agua es más alto. El consumo de agua más elevado fue estimado para las UTA's (0901 y 1701) que corresponden a los cantones de Guayaquil y Quito, con un valor de 533.081.730,825 l/día y 407.723.093,235 l/día,

respectivamente. Alta concentración de personas implica mayor presión sobre el recurso hídrico, porque especialmente las ciudades de mayor tamaño poblacional muestran un aumento en la demanda. La situación se empeora debido al éxodo rural observado en el Ecuador [Organización de las Naciones Unidas (ONU), 2014]. Las ciudades más afectadas son las capitales provinciales y la capital nacional como también los puertos de mayor envergadura del país, donde la concentración de personas es particularmente alta, resultando en una gran demanda de agua (Chías *et al.*, 2007).

FIGURA 3. Indicador de Población en Zonas Áridas (IPZA [%])



El ICP (FIGURA 5) indica claramente el éxodo rural observado en Ecuador (ONU, 2014). En el 2001, el 39% de los habitantes ecuatorianos vivían en zonas rurales (INEC, 2001), mientras que para el año 2015, el porcentaje disminuyó a 32% [Centro Latinoamericano para el Desarrollo Rural (RIMISP), 2017]. El crecimiento urbano se debe especialmente a los jóvenes del campo (15 a 24 años) que buscan nuevas oportunidades en las ciudades o quieren continuar con sus estudios. En general, la mayor parte de los emigrantes rurales se moviliza hacia las capitales provinciales (93%)

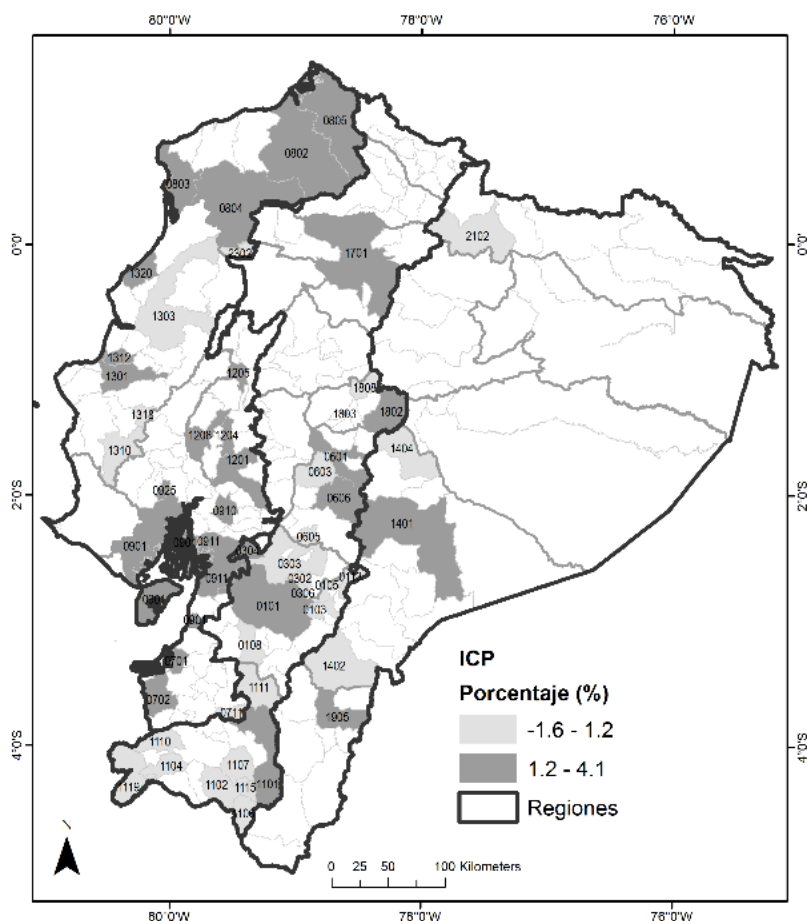
y solo el 7% se va al exterior (Villacís y Carrillo, 2012). El fenómeno del éxodo rural tiene mayor incidencia en la provincia de Loja (11), ubicado en el sur del Ecuador, debido a la baja producción agrícola (transición al desierto del norte de Perú) y la escasa oportunidad laboral (Villacís y Carrillo, 2012). Los 3 cantones con mayor reducción poblacional a escala nacional se encuentran en la provincia de Loja: Gonzanamá (1107; -1.64%), Espíndola (1106; -0.62%) y Quilanga (1115; -0.55%).

Por otro lado, también hay que incluir a los extranjeros que migran (inmigrantes) al Ecuador,

Otro acentuado crecimiento de población se puede observar en la Amazonia, específicamente en los cantones Morona (1401) y Yanzatza (1905), debido a la industria petrolera y minera subsidiada por el estado (Ochoa *et al.*, 2015). En resumen, el mayor crecimiento poblacional se encuentra en las capitales provinciales, cerca de los puertos principales (Guayaquil, Manta y Esmeraldas) y en zonas mineras.

El índice de estrés hídrico (IEH) está directamente relacionado con la cantidad de agua disponible para la población de la UTA, e indica

FIGURA 5. Indicador de Crecimiento Poblacional (ICP [%])

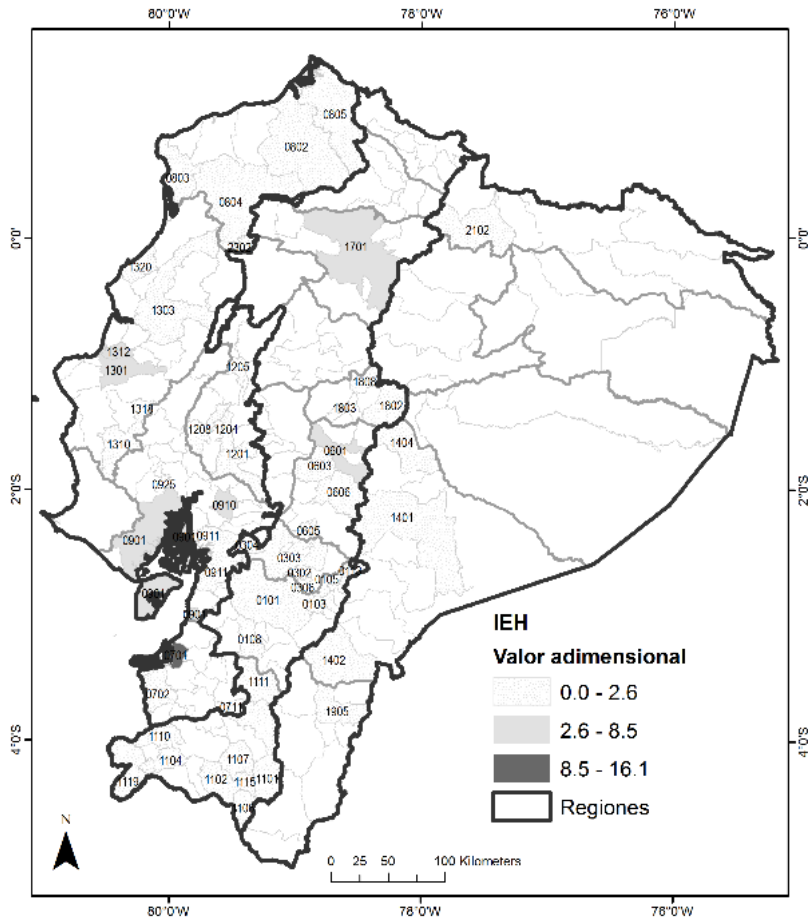


la capacidad de regulación del recurso hídrico durante el año (Galarraga, 2000). Debido a esto, el IEH guarda una estrecha relación con el IDP y el IPZA, porque los valores más elevados corresponden a los cantones más poblados con baja disponibilidad de agua, que se encuentran en su mayoría en la región Costa (FIGURA 6). Las UTA's más afectadas son Machala (0701; valor: 16.15), Portoviejo (1301; valor: 7.03), y Guayaquil (0901; valor: 5.92). En la Costa los niveles de precipitación son generalmente más bajos comparado con el resto del país y concentrados entre los meses de

diciembre y abril (INMAHI, 2006), porque esta región es la más afectada, especialmente las cuencas deficitarias y la zona de transición al desierto del norte de Perú. El resto de las UTA's analizadas presentan generalmente un IEH bajo, debido al balance hídrico anual positivo para todo el territorio ecuatoriano (SENAGUA, 2011).

Mediante la combinación de los índices individuales (Ecuación 7) se determinó la presión sobre el recurso hídrico (IPDA) en los 55 cantones más poblados del Ecuador (FIGURA 7). Como se ha mencionado antes, existe un desequilibrio

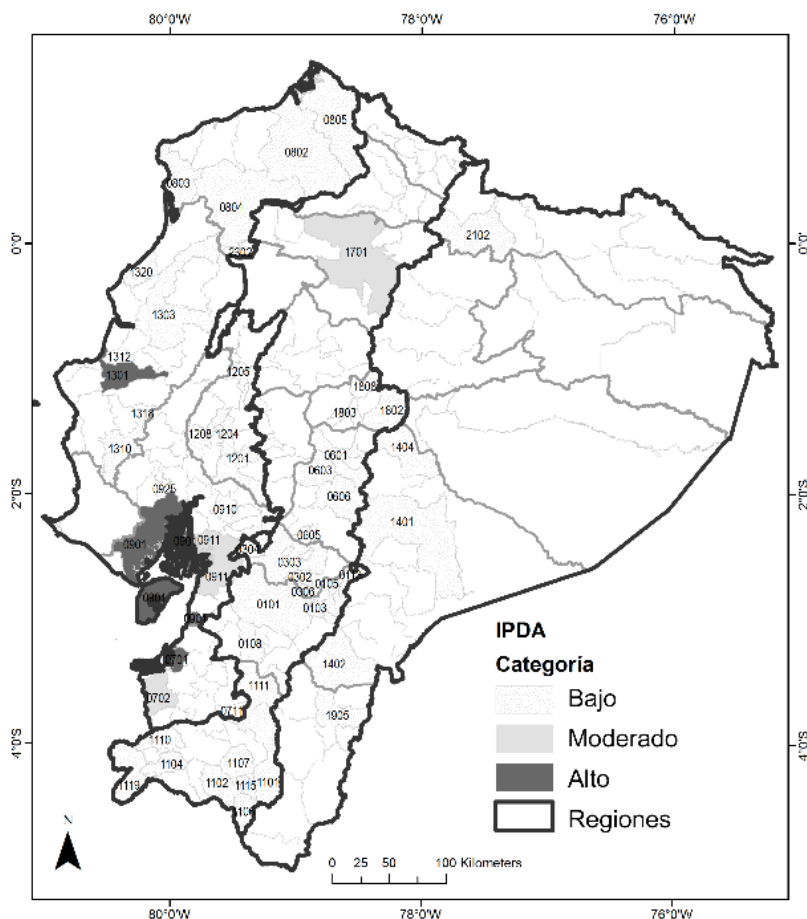
FIGURA 6. Índice de Estrés Hídrico (IEH)



en el potencial hídrico en el país; a la región Costa corresponde el 12%, mientras que a la región Amazónica el 88%. Además, la población está concentrada en las ciudades o cerca de los puertos importantes, por lo que se espera un estrés hídrico elevado en cuencas deficitarias con alta densidad poblacional. Por esta razón, los pesos específicos más altos para los índices individuales (CUADRO 2) fueron asignados a IPZA (0.40) y IDP (0.25), los cuales indican la concentración de personas en zonas áridas.

De los 55 cantones analizados solo 6 tienen un IPDA moderado a alto, de los cuales 5 se encuentran en la región Costa en cuencas deficitarias con problemas de abastecimiento de agua (Galarraga, 2000; SENAGUA, 2013), y solo uno en la región Sierra [Quito (1701)]. Los 3 cantones con IPDA altos están ubicados en la región Costa (Machala (0701): 0.66; Portoviejo (1301): 0.51; y Guayaquil (0901): 0.46; Figura 7), donde existen cuencas deficitarias y alta concentración poblacional. El elevado IPDA lleva a problemas de abastecimiento de agua para consumo doméstico, porque las cuencas circundantes

FIGURA 7. Mapa del Índice de presión demográfica sobre el recurso hídrico (IPDA)



no suministran suficiente agua para la demanda (SENAGUA, 2011). Los problemas se agravarán en el futuro debido al crecimiento de la población previsto para estos cantones.

Quito es el único cantón interandino con un IPDA moderado, siendo la capital de Ecuador y la segunda ciudad más poblada del país. Debido a esto, la presión o demanda sobre el recurso hídrico es generalmente alta (FAO, 2013), por lo que se implementaron diferentes programas de optimización del uso del agua en la ciudad durante los últimos años, incluyendo la protección

de las cuencas hidrográficas de aporte [Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Quito (EPMAPS), 2017]. Sin embargo, en zonas urbanas, la expansión constante del alcantarillado y los consiguientes aumentos en el volumen de aguas residuales, debido al crecimiento poblacional, provocan una presión adicional sobre el recurso hídrico, así como también sobre las instalaciones de tratamiento existentes (Quentin *et al.*, 2007).

La región Amazónica no muestra cantones con estrés hídrico, debido a la baja densidad poblacional y la alta disponibilidad del recurso (172.786,36 m³/

habitante/año; Campos *et al.*, 2014; CEPAL, 2013). Sin embargo, en muchas zonas rurales no existe infraestructura hidráulica adecuada.

5. Conclusiones

El presente trabajo da una visión general sobre la demanda de agua y el crecimiento de la población en los 55 cantones más poblados del Ecuador. El IPDA fue obtenido en función de 5 índices: distribución de la población (IDP), población en zonas áridas (IPZA), consumo doméstico estimado de agua (ICDEA), crecimiento poblacional (ICP) y estrés hídrico (IEH), que permitió identificar las zonas más vulnerables respecto al déficit del recurso hídrico. Los resultados obtenidos corresponden a la presión demográfica sobre el recurso hídrico en función de la demanda para abastecimiento y consumo doméstico, sin considerar otros usos consuntivos del agua como la agricultura y la industria debido a la escasa disponibilidad de datos.

Las UTA's más afectadas se encuentran en la región Costa (Machala, Portoviejo y Guayaquil), donde existen cuencas deficitarias con problemas

de abastecimiento de agua y concentraciones masivas de habitantes. Estas UTA's contienen las capitales provinciales y los puertos principales (Guayaquil, Manta y Esmeraldas) del país. Debido a esto, son los principales destinos para la migración de extranjeros y del éxodo rural. Los valores mínimos corresponden a la Amazonía debido a la baja densidad poblacional y la alta disponibilidad del recurso hídrico.

Las UTA's más vulnerables tienen una densidad poblacional del territorio muy alta y al mismo tiempo una baja cantidad de agua disponible per cápita. Esto se debe a las condiciones climáticas presentes, que muestran una variación estacional bien marcada (estación húmeda y estación seca), que influye directamente en la disponibilidad del agua durante ciertas temporadas del año y la calidad de este. La distribución espacial identificada de las zonas más vulnerables respecto al estrés hídrico puede servir como base para la implementación de acciones para la gestión del agua y como referencia para futuros trabajos de investigación que evalúen la evolución de la presión demográfica sobre el agua.

6. Referencias citadas

- ALTIERI, D. 2016. *The effects of overpopulation on water resources and water security*. Disponible en: <http://fubini.swarthmore.edu/~ENVS2/dan/Essay4.html>. [Consulta: enero, 2019].
- ARÉVALO, D.; LOZANO, J. y J. SABOGAL. 2011. *Estudio nacional de Huella Hídrica Colombia: Sector Agrícola*. Disponible en: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/11915/101-126%20Arevalo_Huella%20Hidrica.pdf. [Consulta: abril, 2018].
- BALLING, R. C.; GOBER, P. & N. JONES. 2008. "Sensitivity of residential water consumption to variations in climate: An intraurban analysis of Phoenix, Arizona". *Water Resources Research*, 44(10): 1-11 (W10401).
- BELL, S. 2015. "Renegotiating urban water". *Progress in Planning*, 96: 1-28
- CALLES, J. 2016. *Monitoreo de la calidad y cantidad del agua. El Agua en el Ecuador*. Agua Ecuador (8 de Julio). Disponible en: <http://agua-ecuador.blogspot.com/2016/07/monitoreo-de-la-calidad-y-cantidad-del.html>. [Consulta: junio, 2018].
- CAMPOS, A.; SINICHENKO, E. e I. GRITSUK. 2014. "Disponibilidad de los recursos hídricos en el Ecuador". Disponible en: http://www.academia.edu/8618821/Disponibilidad_de_agua_en_Ecuador_2014Climate- [Consulta: mayo 2018].

- CHIAS, I.; MAZARI, M.; SANCHEZ, V.; SUZAN, G. y M. TOÑA. 2007. Centro de recursos Idrisi: Módulo Agua-Población. México, D.F. Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM). México.
- CENTRO LATINOAMERICANO PARA EL DESARROLLO RURAL (RIMISP). 2017. *Ecuador: migración de los jóvenes impacta en el crecimiento de la población rural*. (31 de agosto). Disponible en: <https://rimisp.org/noticia/ecuador-migracion-de-los-jovenes-impacta-en-el-crecimiento-de-la-poblacion-rural/>. [Consulta: abril, 2018].
- COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMÉRICA LATINA y EL CARIBE (CEPAL). 2013. *Diagnóstico de la información estadística del agua. Diagnóstico de las estadísticas del agua en Ecuador*. Disponible en: <https://aplicaciones.senagua.gob.ec/servicios/descargas/archivos/>. [Consulta: marzo, 2018].
- CORTEZ P. y P. MEDINA. 2011. “Evolución de la población inmigrante en Ecuador”. *Analítica, Revista de análisis estadístico*, 2(1): 65-83.
- DAVIES, E. & S. SIMONOVIC. 2011. “Global water resources modelling with an integrated model of the social-economic-environmental system”. *Adv. Water. Resource*, 34(6): 684-700.
- ELLER, E. 2001. “Estimating relative population sizes from simulated data sets and the question of greater African effective size”. *American Journal of Physical Anthropology*, 116(1): 1-12.
- EMPRESA PÚBLICA METROPOLITANA DE AGUA POTABLE y SANEAMIENTO DE QUITO (EPMAPS). 2017. Quito, Ecuador.
- ESRI. 2012. *Tutorial de edición*. Disponible en: http://help.arcgis.com/es/arcgisdesktop/top10.0/pdf/tutorial_editing.pdf. [Consulta: mayo, 2018].
- FERNÁNDEZ COLÓN, G. 2009. “La crisis del agua en América Latina”. *Revista Estudios Culturales*, 2(4): 80-96.
- FONDO DE POBLACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS (UNFPA). 2011. *Estado de la población mundial 2011: 7 mil millones de personas su mundo, sus posibilidades*. Disponible en: https://www.unfpa.org/sites/default/files/pub-pdf/SP-SWOP2011_Final.pdf. [Consulta: enero, 2018].
- GALARRAGA, R. 2000. *Informe nacional sobre la gestión del agua en el Ecuador*. CEPAL. Disponible en: <https://www.cepal.org/cgi-bin/getProd.asp?xml=/samtac/noticias/documentosdetrabajo/6/23346/P23346.xml&xsl=/samtac/tpl/p38f.xsl&base=/samtac/tpl/top-bottom.xslt>. [Consulta: marzo, 2018].
- GALLARDO, A. 2006. “Geoestadística”. *Revista ecosistemas*, 15(3): 48-58.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA y CENSOS (INEC). 2001 / 2010. *Resultados de población y vivienda*. Disponible en: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/censo-de-poblacion-y-vivienda/>. [Consulta: febrero, 2018].
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA y CENSOS (INEC). 2014. *División Político Administrativa del Ecuador*. Disponible en: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/clasificador-geografico-estadistico-dpa/>. [Consulta: febrero, 2018].
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA y CENSOS (INEC). 2016. *Clasificador Geográfico Estadístico – DPA*. Disponible en: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/clasificador-geografico-estadistico-dpa/>. [Consulta: febrero, 2018].
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA y CENSOS (INEC). 2017. *Proyecciones de la Población en Ecuador*. Disponible en: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/proyecciones-poblacionales/>. [Consulta: febrero, 2018].

- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA e HIDROLOGÍA (INAMHI). 2006. *Climas del Ecuador*. Ministerio de Energía y Minas, Quito-Ecuador". Disponible en: <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/gisweb/>. [Consulta: diciembre, 2017].
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA e HIDROLOGÍA (INAMHI). 2013. *Anuarios Meteorológicos 1990-2013*. (Ed.). Quito: In I. N. d. M. e. Hidrología, Ecuador.
- MALIVA, R. & T. MISSIMER. 2012. *Arid Lands Water Evaluation and Management*. pp. 21-39. Springer Verlag. Berlin Heidelberg, Germany.
- MASSA-SÁNCHEZ, P.; ARTEAGA, J.; VIÑÁN-MERECÍ, C. y V. A. FERNÁNDEZ. 2018. "Presión demográfica sobre el recurso hídrico y su relación con la sostenibilidad de los destinos turísticos. Un análisis para el sur de Ecuador. Pressão demográfica sobre o recurso hídrico e a sua relação com a sustentabilidade dos destinos turísticos. Uma análise para o sul do Equador". *Revista Portuguesa de Estudos Regionais*, 47: 21-36.
- MANZANO-SOLIS, L.; QUENTIN, E.; FRANCO, R.; GÓMEZ, M.; DÍAZ, C.; SANTANA, M. y M. ROSALES. 2007. *Modelado Geomático de la relación agua-población con base en geodatos censales demográficos*. Universidad Autónoma del Estado de México. Mexico.
- MCCARTHY, J.; CANZIANI, O.; LEARY, N.; DOKKEN, D. & K. WHITE. 2001. *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Cambridge University Press. UK.
- MONFORTE-GARCÍA, G. y P. C. CANTÚ-MARTÍNEZ. 2009. "Escenario del agua en México". *Culcyt*, 6(30): 31-40.
- OCHOA, P.; FRIES, A.; MONTESINOS, P.; RODRÍGUEZ, J. & J. BOLL. 2015. "Spatial estimation of soil erosion risk by land-cover change in the Andes of southern Ecuador". *Land degradation & development*, 26(6): 565-573.
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA y LA ALIMENTACIÓN (FAO). 2001. *El Uso de Computadoras, Programas e Instrumentos Electrónicos en la Planificación y Seguimiento de Planes de Manejo del Bosque Húmedo Tropical - Un Caso en Costa Rica*. Costa Rica: Depósito de documentos de la FAO.
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA y LA ALIMENTACIÓN (FAO). 2013. *Afrontar la escasez de agua: Un marco de acción para la agricultura y la seguridad alimentaria*. Roma, Italia.
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA y LA ALIMENTACIÓN (FAO). 2015. *Cálculo de recursos hídricos renovables (RHR) por país (en km³/año, media)*. Disponible en: <http://www.fao.org/nr/aquastat/>. [Consulta: diciembre, 2017].
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA y LA ALIMENTACIÓN (FAO). 2016. *Ecuador. Recursos Hídricos*. Disponible en: http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/Profile_segments/ECU-WR_eng.stm. [Consulta: diciembre, 2017].
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS (ONU). 2014. *Decenio internacional para la acción "El agua fuente de vida" 2005 – 2015. Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH)*. Disponible en: <http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/iwrm.shtml>. [Consulta: abril, 2016].
- ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OMS). 2015. *Nota descriptiva 391 de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. Disponible en: <http://coin.fao.org/cms/world/ecuador/FAOEcuador.html>. [Consulta: abril, 2016].

- QUENTIN, E.; DÍAZ-DELGADO, C.; GÓMEZ-ALBORES, M.; MANZANO-SOLÍS, L. y R. FRANCO-PLATA. 2007. *Desarrollo geomático para la gestión integrada del agua*. Centro Interamericano de Recursos del Agua. Universidad Autónoma del Estado de México. México.
- RED INTERNACIONAL DE COMPARACIONES PARA EMPRESAS DE AGUA y SANEAMIENTO (IBNET). 2016. *La base de datos de tarifas*. World Bank Group. Washington D.C., USA.
- RUÍZ, O.; GREEN, P.; ARTEAGA, R.; VÁZQUEZ, M. A.; ONTIVEROS, R. E. y R. LÓPEZ. 2012. "Balance hídrico y clasificación climática del Estado de Tabasco, México". *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 28(1):1-14.
- SECRETARÍA NACIONAL DE PLANIFICACIÓN y DESARROLLO (SENPLANDES). 2013. *Plan Nacional para el Buen Vivir 2013 – 2017*. Quito, Ecuador.
- SECRETARÍA NACIONAL DEL AGUA (SENAGUA). 2011. *Estado situacional del Ecuador en cuanto al manejo de los recursos hídricos: Oferta y demanda hídrica en Ecuador*. Quito, Ecuador.
- SECRETARÍA NACIONAL DEL AGUA (SENAGUA). 2013. *Base de datos de otorgamientos de derechos de agua*. Quito, Ecuador.
- TORRES-DEGRÓ, A. 2011. "Tasas de crecimiento poblacional : Una mirada desde el modelo lineal, geométrico y exponencial". *CIDE digital*, 2(1): 142-160.
- TROMBEN, C. 2011. *América Latina y el agua: la crisis de la liquidez*. Disponible en: <https://www.americaeconomia.com/negocios-industrias/america-latina-y-el-agua-la-crisis-de-la-liquidez>. [Consulta: febrero, 2018].
- VILLACÍS B. y D. CARRILLO. 2012. "País atrevido: la nueva cara sociodemográfica del Ecuador". *Revista AnalítiKa* (Edición Especial), **Quito, Ecuador**.
- VÖRÖSMARTY, C. J.; GREEN, P.; SALISBURY, J. & R. LAMMERS. 2000. "Global Water Resources: Vulnerability from Climate Change and Population Growth". *Science*, 289(5.477): 284-288.
- WANG Q. & H. TAKAHASHI. 1999. "A land surface water deficit model for an arid and semiarid region: Impact of desertification on the water deficit status in the Loess Plateau, China". *Journal of Climate*, 12: 244-257.
- WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME (WWAP). 2009. *Water in a changing world*. Disponible en: <http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/water/wwap/wwdr/wwdr3-2009/> [Consulta: abril, 2018].
- WORLD WILDLIFE FUND. 2012. *Una mirada a la agricultura de Colombia desde su Huella Hídrica*. Disponible en: <http://www.wwf.org.co/?249918/Una-mirada-a-la-agricultura-de-Colombia-desde-su-Huella-Hidrica>. [Consulta: abril, 2016].