

SEGURIDAD HÍDRICA



JOAQUÍN MELGAREJO MORENO
M^a INMACULADA LÓPEZ ORTIZ
PATRICIA FERNÁNDEZ ARACIL

SEGURIDAD HÍDRICA

© los autores, 2023
© de esta edición: Universitat d'Alacant
ISBN: 978-84-1302-234-5

Reservados todos los derechos. No se permite reproducir, almacenar en sistemas de recuperación de la información, ni transmitir alguna parte de esta publicación, cualquiera que sea el medio empleado -electrónico, mecánico, fotocopia, grabación, etcétera-, sin el permiso previo de los titulares de la propiedad intelectual.

TABLA DE CONTENIDO

BLOQUE I - PLANIFICACIÓN

Consideraciones ambientales con relación a la aprobación del Plan Hidrológico del Tajo de Tercer Ciclo 2022-2027 y el Traspase Tajo-Segura José Navarro Pedreño.....	19
Planificación Hidrológica: información, participación y evaluación ambiental estratégica Ángel Ruiz de Apodaca Espinosa	39
Representación espacio-temporal del riesgo de inundación a partir de las indemnizaciones del seguro de riesgos extraordinarios Francisco Espejo Gil, Urko Elozegi Gurmendi.....	59
La desalación en la estrategia de seguridad hídrica. Implicaciones económicas y ambientales Alberto del Villar García.....	73
La desalación en la provincia de Almería: garantía para el abastecimiento y el regadío Francisco Javier Alcántara Pérez	93
Mejorar la resiliencia ante las inundaciones en la Vega Baja (España). Propuesta didáctica en bachillerato Ángela del Carmen Zaragoza, Álvaro-Francisco Morote, María Hernández Hernández.....	105
Resignificando la ciudad como biotopo humano Javier Eduardo Parada Rodríguez, Liliana Romero Guzmán, Jesús Enrique De Hoyos Martínez	117
Gestión del agua y saneamiento básico en una reserva de desarrollo sostenible: comunidad de Nossa Senhora do Livramento do Tupé, Brasil Antonio Jorge Barbosa da Silva Maria Claudia da Silva Antunes de Souza	133
Proposición de una metodología para estimar la erosión del suelo en viticultura mediante ISUM (Improved Stock Unearthing Method). Un caso en el viñedo leonés Antonio Jódar-Abellán, Marta García-Fernández, Susana García-Pisabarro, Jesús Rodrigo-Comino	141
Estimación de la disponibilidad y seguridad hídrica bajo escenarios de cambio climático en una cuenca hidrológica agro-forestal del sureste de España Antonio Jódar-Abellán, Dámaris Núñez-Gómez, Efraín Carrillo-López, Ryan T. Bailey, Pablo Melgarejo	151
Determinación del umbral de escorrentía y disponibilidad hídrica de la cuenca hidrográfica del río Jubones, Ecuador Paolo Brazales Cervantes, Seyed Babak Haji Seyed Asadollah, Antonio Jódar-Abellán.....	163
Análisis del umbral de escorrentía de la cuenca del río Obispo, en la provincia del Carchi (Ecuador) Pablo David Viera Ríos, Derdour Abdessamed, Antonio Jódar-Abellán.....	175
El acuífero del Peñón (Alicante): un pequeño acuífero kárstico Víctor Sala Sala, José Miguel Andreu Rodes, Miguel Fernández Mejuto, Ernesto García Sánchez.....	185

¿Se observan cambios en la precipitación que afecten al Acuífero del Ventós (provincia de Alicante)?

José Miguel Andreu Rodes, Igor Gómez Domenech, Miguel Fernández-Mejuto, Juan Bellot Abad197

Revisión de las políticas de modernización de regadíos en la Comunidad Valenciana. La estrategia valenciana de regadíos 2020-2040

David Sancho-Vila, Marta García-Mollá207

El impacto del proyecto europeo ARSINOE en la gestión del acuífero de la isla de El Hierro (Canarias)

Juan C. Santamarta, Noelia Cruz-Pérez, Joselin S. Rodríguez-Alcántara, Alejandro García-Gil, Miguel Á. Marazuela, Carlos Baquedano, Jesica Rodríguez Martín, Luis Fernando Martín Rodríguez 219

BLOQUE II - INFRAESTRUCTURAS

Reutilización de aguas regeneradas en la cuenca del segura. Adaptación al reglamento (UE) 2020/741: retos y oportunidades

Sonia M. Hernández López, José Carlos González Martínez231

Caracterización hidrológica de los caudales ecológicos mínimos en España

Luis Garrote de Marcos 249

Sobrevvertido en presas de hormigón. Evaluación de las acciones hidrodinámicas

Luis G. Castillo Elsitdié, José M. Carrillo Sánchez, Juan T. García Bermejo 269

Consideraciones sobre la estimación de hidrogramas de rotura de presas

Luis Altarejos García 295

La seguridad de las infraestructuras hidráulicas

Francisco Javier Flores Montoya315

La ordenación del territorio y la planificación hidrológica al servicio de la seguridad hidráulica y energética

Francisco Javier Flores Montoya325

La evolución de los servicios urbanos del agua en Madrid: un servicio de alta calidad

Ignacio Lozano Colmenarejo345

BALTEN: el agua regenerada como garantía de suministro de agua de riego en Tenerife

Ana Sánchez Espadas, Jesús Rodríguez Martí363

El sector del agua urbana frente a las nuevas exigencias legislativas para mantener la seguridad hídrica

Carmen Hernández de Vega, Alicia Ayuso Solís381

El abastecimiento de la ciudad de Ávila: retos y soluciones científico-técnicas

José Luis Molina González, Jorge Mongil Manso 399

El Consorcio de Aguas de la Marina Baja: un ejemplo de economía circular en la garantía del abastecimiento urbano ante el reto continuo de las sequías

Jaime Berenguer Ponsoda409

Gestión activa de sistemas de abastecimiento mediante el empleo de sistemas multiagente (MAS) para la sostenibilidad

Carlos Calatayud Asensi, José Vicente Berná Martínez, Vicente Javier Macián Cervera, Lucía Arnau Muñoz439

La gestión municipal del ciclo urbano del agua digitalizado

Rosa Rozas Torrente, M^a José Moya Llamas, Arturo Trapote Jaime451

Microsectorización dinámica redes de distribución de agua	
Arturo Albaladejo Ruiz.....	463
Uso de compuertas en redes de drenaje para reducir inundaciones	
Leonardo Bayas-Jiménez	477
Detección y monitoreo de aguas superficiales en la región semiárida brasileña a partir de datos orbitales de sensores remotos	
Izaias de Souza Silva.....	487

BLOQUE III - EVALUACIÓN SOCIOECONÓMICA Y JURÍDICA

La inseguridad hídrica del informe del Consejo Nacional del Agua sobre el recorte del travase Tajo-Segura	
Miguel Ángel Blanes Climent.....	499
El necesario impulso a las centrales hidroeléctricas reversibles como contribución a la seguridad energética nacional: algunas cuestiones jurídicas	
Estanislao Arana García	511
Políticas públicas para la mitigación del impacto del cambio climático sobre los aprovechamientos energéticos	
Jesús Conde Antequera	529
La legislación contra el cambio climático y la transición a una economía descarbonizada desde una doble perspectiva: ambiental y social	
José Esteve Pardo.....	549
Huella hídrica y financiación sostenible	
Domingo Zarzo Martínez, Mercedes Calzada Garzón, Patricia Terrero Rodríguez.....	559
¿Estamos sobreestimando los recursos de agua regenerada? Una ducha fría con la realidad hidro-económica	
Julio Berbel, Esther Díaz-Cano, Alfonso Expósito	577
Taxonomía de los instrumentos económicos aplicados para la gestión sostenible del agua	
Nazaret M ^a Montilla López, Esther Díaz-Cano y Julio Berbel.....	597
Seguridad hídrica y objetivos del PNIEC desde una perspectiva jurídica	
José Antonio Blanco Moa	613
SIAGES: un innovador sistema integrado de apoyo a la gestión del agua	
Alberto Esteban Barrera García, Álvaro Rodríguez García, Ramón Bella Piñeiro, Jose Pablo Ormaechea, Luis José Ruiz Aznar, Abel Solera Solera et al., Manuel Argamasilla Ruiz, Lupicino García Ortiz.....	631
Crisis energética y equilibrio económico financiero en la contratación pública	
Esteban Arimany Lamoglia	643
Garantía del abastecimiento en el Sureste español: la Mancomunidad de los Canales del Taibilla	
Patricia Fernández Aracil, M ^a Inmaculada López Ortiz, Joaquín Melgarejo Moreno.....	655
La evaluación de impacto ambiental de proyectos hidráulicos ¿lo estamos haciendo bien?	
Carlos Martín Cantarino.....	677

La seguridad energética y el autoconsumo fotovoltaico como herramienta para la seguridad hídrica	
Marcos García-López, Joaquín Melgarejo	695
Seguridad hídrica y equilibrio ecológico en el parque natural «El Hondo»: visión histórico-jurídica	
Francisco José Abellán Contreras	709
Los trasvases en tiempos de seguridad hídrica	
Paul Villegas Vega	723
Vulnerabilidad e incidencia de la pobreza hídrica en Alicante	
Ricardo Abad Coloma	735
Asequibilidad al agua urbana y pobreza hídrica en ciudades del Norte global: el caso de Alicante	
Luis E. Zapana Churata, Rubén A. Villar Navascués, María Hernández Hernández, Antonio M. Rico Amorós	745
Políticas públicas de ayudas para la mejora, modernización e innovación en el regadío de la Región de Murcia	
Ramón Martínez Medina, Encarnación Gil Meseguer, José María Gómez-Gil, José María Gómez Espín	759
O reflexo das <i>fake news</i> frente a crise ambiental: uma reflexão necessária nos dias atuais	
Aline Hoffmann, Liton Lanes Pilau Sobrinho	773
Apontamentos sobre o pagamento por serviços ambientais	
André Luiz Anrain Trentini	783
Constitucionalismo das águas – o “aguar” das constituições	
Luciana Pelisser Gottardi Trentini	795
Uso sustentável da água: uma definição a partir dos conceitos de segurança hídrica, de eficiência e de sustentabilidade	
Ana Luisa Schmidt Ramos, Alexandre Morais da Rosa	805
O regime de responsabilidade penal pela poluição hídrica no Brasil	
Jefferson Zanini, Luiz Antônio Zanini Fornerolli	815
Segurança hídrica e seu tratamento jurídico no o regime de responsabilidade penal pela poluição hídrica no Brasil e na Espanha	
Leandro Katscharowski Aguiar	827
Debatendo os ODS com base na sustentabilidade e no desenvolvimento sustentável.....	
Denise Schmitt Siqueira Garcia, Heloise Siqueira Garcia	837
A falta de efetividade no planejamento da segurança hídrica do Brasil	
Denise Schmitt Siqueira Garcia, Alexandre Waltrick Rates	851
Do constitucionalismo ao constitucionalismo global: por uma constituição mundial em defesa de bens fundamentais	
Vanessa Ramos Casagrande	863
A dessalinização da água como instrumento de segurança hídrica	
Anaxágora Alves Machado Rates	875
A canção dos oceanos	
Paola Fava Saikoski	885

Análise da lei de recursos hídricos à luz da responsabilidade do Brasil para com a sustentabilidade e a conscientização ambiental	
Adilor Danieli	895
Investigación sobre el río Amarillo en las dinastías Ming y Qing. Comentario sobre la Ley de protección del río Amarillo	
Yang Yang.....	907
Propuesta metodológica para la recolección del etnoconocimiento en la gestión del riesgo de desastre	
Isaleimi Quiguapumbo Valencia, Antonio Aledo Tur.....	919

BLOQUE IV - TECNOLOGÍAS

Nuevo sistema de riego con recuperación de agua y nutrientes	
Pablo Melgarejo, Dámaris Núñez-Gómez, Pilar Legua, Vicente Lidón, Agustín Conesa, Antonio Marhuenda, Juan José Martínez-Nicolás.....	933
Dinapsis: transformación digital para la gestión sostenible del agua y la salud ambiental	
María Tuesta San Miguel.....	953
Los contaminantes emergentes en la reforma de la directiva de aguas residuales	
Daniel Prats Rico.....	959
Fertirrigación y nuevas estrategias como garantía de seguridad hídrica en el regadío	
Alejandro Pérez Pastor y Elisa Pagán Rubio.....	985
La desalación y el hidrógeno	
Alejandro Zarzuela López.....	1005
Análisis regional de la reducción de boro en agua marina desalinizada para el riego agrícola en el sureste español	
Alberto Imbernón Mulero, José Francisco Maestre Valero, Saker Ben Abdallah, Victoriano Martínez Álvarez, Belén Gallego Elvira.....	1021
Impacto ambiental de la reducción del boro del agua de mar desalinizada para el riego en parcela	
Saker Ben Abdallah, Belén Gallego-Elvira, Alberto Imbernón-Mulero, Victoriano Martínez-Alvarez, José Francisco Maestre Valero.....	1031
Modelado cinético del consumo de CO₂ para la cepa Spirulina platensis	
Antonio F. Marcilla Gomis, Inmaculada Blasco López.....	1041
Empleo de filtro verde construido con residuos para reducir el contenido en fósforo en aguas de riego	
Teresa Rodríguez Espinosa, María Belén Almendro Candel, Ana Pérez Gimeno, Iliana Papamichael.....	1055
Tecnologías de oxidación avanzada para la degradación del fármaco carbamazepina: la ozonización	
María José Moya-Llamas, Marta Ferre Martínez, Elizabetha Domínguez Chabaliná, Arturo Trapote Jaime, Daniel Prats Rico.....	1067
Aprendizaje basado en proyectos colaborativos globales en formación profesional: banco de ensayos hidráulicos para la digitalización del agua	
Albert Canut Montalvà, Joaquín Martínez López, Maties Roma mayor, Antonio Oliva Sánchez.....	1079

Reutilización de agua para riego en la ciudad de Murcia. Proyecto LIFE CONQUER Eva Mena Gil, Simón Nevado Santos, Elena de Vicente Aguilar, Adriana Romero Lestido Benoît Fabien Claude Lefèvre.....	1091
Eliminación de microcontaminantes emergentes en lodos de depuradora mediante procesos de oxidación avanzada: peróxido de hidrógeno y ozono Clara Calvo Barahona, Adrián Rodríguez Montoya, María José Moya-Llamas, Arturo Trapote Jaume, Daniel Prats Rico.....	1103
Vigilancia y protección de las aguas superficiales mediante el proyecto WQeMS y los servicios del Copernicus Pablo Cascales de Paz, Eva Mena Gil, Isabel Hurtado Melgar, Laurent Pouget.....	1115
Tratamiento ecológico para la eutrofización y la anoxia en las masas de agua Ricardo Mateos-Aparicio Baixauli.....	1125
Modelado de descarga submarina de salmuera antes y después de la instalación de un difusor Silvano Porto Pereira, José Luís Sánchez-Lizaso, Paulo César Colonna Rosman. Ángel Loya, Iran Eduardo Lima Neto.....	1137
Las sequías en España en el siglo XXI: su influencia en la disminución y cierre de transferencias de agua del acueducto Tajo-Segura y de la conexión Negratín-Almanzora Encarnación Gil Meseguer, Ramón Martínez Medina, José María Gómez-Gil, José María Gómez Espín.....	1147

Determinación del umbral de escorrentía y disponibilidad hídrica de la cuenca hidrográfica del río Jubones, Ecuador

Paolo Brazales Cervantes

Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental,
Universidad Central, Ecuador
psbrazales@uce.edu.ec

Seyed Babak Haji Seyed Asadollah

Department of Environmental Resources Engineering, State University of New York
College of Environmental Science and Forestry, Syracuse, NY 13210, USA
shajiseyedasadollah@esf.edu
<https://orcid.org/0000-0002-2518-5967>

Antonio Jódar-Abellán

Departamento de Producción Vegetal y Microbiología,
Universidad Miguel Hernández de Elche, España
antonio.jodar@ua.es
<https://orcid.org/0000-0003-3373-8952>

RESUMEN

Dentro de la gestión integrada de los recursos hídricos es importante contar con bases metodológicas que favorezcan el equilibrio medioambiental y del agua, donde se caractericen parámetros bióticos e inertes del área de estudio y se relacione el uso y aprovechamiento humano con los servicios ecosistémicos. En este contexto, se propone una metodología para representar cuantitativa y gráficamente el umbral de escorrentía, el tiempo de concentración, la disponibilidad hídrica y el índice de escasez de la cuenca hidrográfica del Río Jubones, cuyo punto de desagüe se localiza en la provincia de El Oro, cantón Machala. Dicha representación se realiza mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG). En este trabajo, se aplicó la metodología de umbral de escorrentía en la cuenca del Río Jubones (Ecuador), donde se obtuvo un valor de 21 litros por metro cuadrado, lo que origina una escorrentía superficial del 97%, producto de la precipitación del área de influencia. Además, se calculó el tiempo de concentración considerado como el periodo de tiempo que requiere una gota de lluvia que cae en la cabecera hasta llegar a la desembocadura de la cuenca, el cual fue de 28,03 horas, considerando una longitud del cauce principal de 154,89 kilómetros. Así mismo, el cálculo propuesto de disponibilidad hídrica e índice de escasez se planteó para cuatro subcuencas del Río Jubones, utilizando la transposición de caudales y obteniendo un caudal medio disponible de 20,32 m³/s correspondiente a probabi-

lidades de permanencia del 80%; además, se ha determinado un índice de escasez con demanda alta de consumo, dentro de la cuenca de análisis.

1. INTRODUCCIÓN Y JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

Para Fragoso (2015) el umbral de escorrentía P_o representa el volumen de agua (en mm) capaz de absorber un suelo antes de producirse la escorrentía superficial. La determinación del valor de P_o supone uno de los primeros pasos en el análisis hidrológico de una cuenca, y depende de múltiples factores que, de algún modo u otro, presentan cierto grado de subjetividad, derivando en la correspondiente incertidumbre en la validez del valor propuesto. Para García (2020), el número de curva cambia con el tiempo y el espacio, debido a la variabilidad temporal y espacial de los factores de los que depende, por lo que es necesario calcularlo cada vez que se realiza un estudio hidrológico; para ello, hoy en día se utilizan Sistemas de Información Geográfica y la información digital con la que dispone el país. La estimación del umbral de escorrentía P_o se realiza a partir de los valores de uso de la tierra (uso del suelo), pendiente del terreno, características hidrológicas y grupo de suelo. Los cauces y vías de escurrimiento exhiben una serie de procesos hidrológicos generados por la escorrentía originada por lluvias intensas convectivas (fundamentalmente en la temporada estival), que ocasionan inundaciones y anegamientos recurrentes. En este sentido, el escurrimiento superficial será una variable para la determinación de la oferta hídrica y su aporte a los cuerpos hídricos.

El cambio climático y el estrés hídrico han provocado una limitación de agua limpia en todo el planeta, lo que conlleva a la pérdida de la biodiversidad y el deterioro parcial o total de fuentes de alimentación, generando pérdidas de seres vivos irreparables (González-Marañón et al., 2021). Las demandas hídricas se encuentran en continuo crecimiento lo que aumenta la presión, en la cantidad y calidad necesarias, sobre los recursos hídricos disponibles a nivel global. En paralelo, la reducción prevista de las aportaciones en régimen natural, consecuencia del cambio global, supone un nuevo nivel de incertidumbre. En este contexto, los modelos hidrológicos son una valiosa herramienta para evaluar el efecto del cambio climático en la hidrología de las cuencas al caracterizar escenarios de cambio climático (León, et al. 2019). Su correcta aplicación resulta esencial en áreas con elevado estrés hídrico, como regiones áridas y semiáridas (Jódar et al., 2019). El cálculo de la disponibilidad de agua superficial permitirá una mejor administración del recurso hídrico, ya que facilitará la toma de decisiones estratégicas para el otorgamiento de nuevas autorizaciones de agua. Además, servirá de sustento legal para fines de administración del recurso, para la autorización de nuevos aprovechamientos de agua planes de desarrollo de nuevas fuentes de abastecimiento, estrategias para resolver conflictos entre usuarios y llevar un monitoreo, catastro y contabilización de agua disponible. Del análisis de los reportes de la disponibilidad del agua en la Demarcación Hidrográfica de Jubones (provincia de El Oro) certificados por la Agencia de Regulación y Control del Agua, se ha evidenciado que la cantidad de agua superficial disponible en el periodo de tiempo comprendido entre el año 2018 y 2021 está disminuyendo, debido a factores climáticos y sociales, por ejemplo: escasez de lluvias y uso informal del agua. El primer paso fue la selección de un área que cuente con información oficial de las diferentes instituciones públicas, en este sentido a continuación se presentan las particularidades del área de estudio seleccionada. La Cuenca Hidrográfica del Río Jubones se ubica políticamente al sur – occidente del territorio ecuatoriano, entre las latitudes 3°4' Sur a 3° 44' Sur y las longitudes 78 ° 57' Oeste a 80° 1' Oeste. El área de estudio de la Cuenca Hidrográfica del Río Jubones en el punto de unión con el Estero Grande corresponde

a 4.200 km². Se presenta en la Figura 1 la ubicación político-administrativa del área de estudio seleccionada.

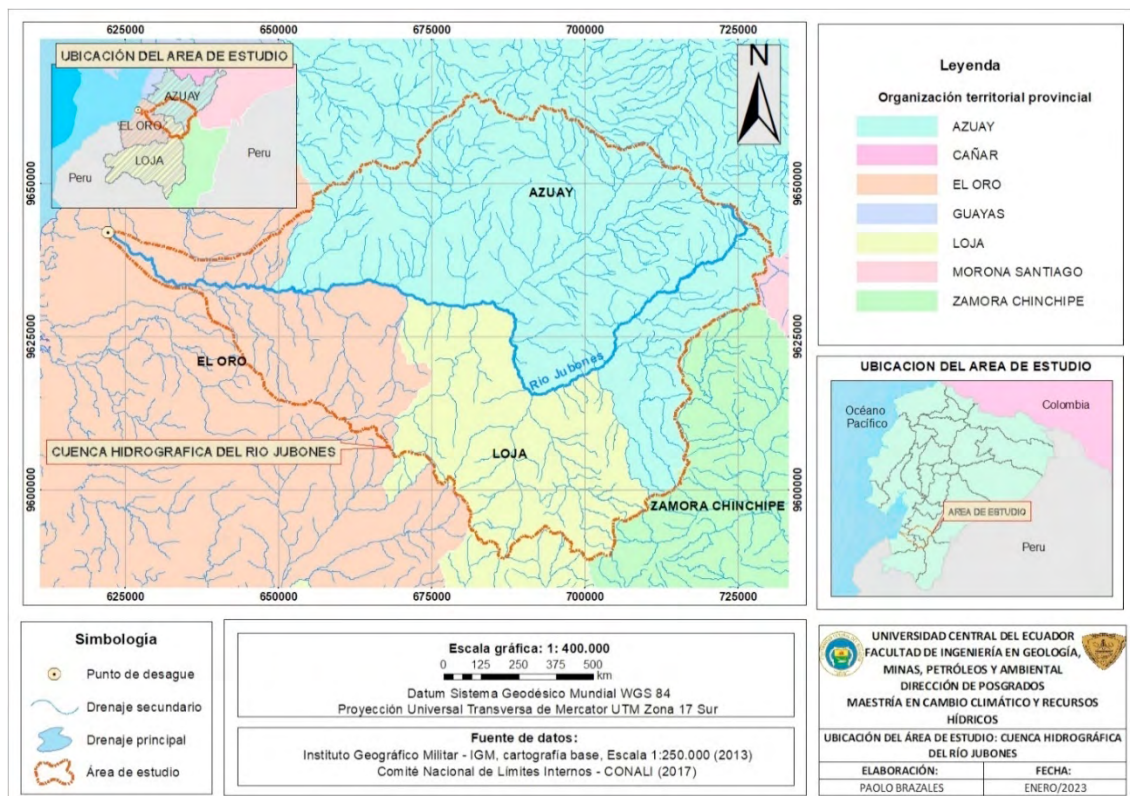


Figura 1. Ubicación Político-Administrativa del área de estudio.
Fuente: Instituto Geográfico Militar (2013) & Comité Nacional de Límites Internos (2017).

2. METODOLOGÍA

2.1. Umbral de escorrentía

La metodología para el cálculo del umbral de escorrentía plantea la determinación de un modelo digital de elevación del terreno, para delimitar el área de estudio, y establecer reclasificaciones de las pendientes del suelo, usos del suelo, permeabilidades del terreno, con la finalidad de definir el umbral de escorrentía para cada uno de los polígonos generados y para la totalidad de la cuenca del Río Jubones. El *shape* contiene la información de permeabilidad, usos de suelo y pendiente, con lo cual se extrajo la Tabla 1 y se procedió a colocar el valor del umbral de escurrimiento de cada polígono de dicha capa (P_0), según la información de la Norma 5.2-IC “Drenaje Superficial de la Instrucción de Carreteras”, realizada por el Ministerio de Fomento de España (2015), con lo cual se procede realizar el cálculo del umbral de escurrimiento de la cuenca hidrográfica analizada, aplicándose la ecuación (1).

$$P_0(Cuenca) = \frac{\sum P_0(Poligono) \times \text{Área}_{(Poligono)}}{\text{Área Total}_{(Cuenca)}} \quad (1)$$

Donde $P0_{(Cuenca)}$ es el umbral de escorrentía de la cuenca hidrográfica (mm) o (l/m^2); $P0_{(Poligono)}$ es el umbral de escorrentía de cada polígono de la cuenca hidrográfica (mm) o (l/m^2). Con dichos resultados se procedió a realizar la representación gráfica del Umbral de Ecurrimiento de cada polígono que forma la Cuenca Hidrográfica, cuyos resultados se presentan en la Figura 2 y en la Tabla 1.

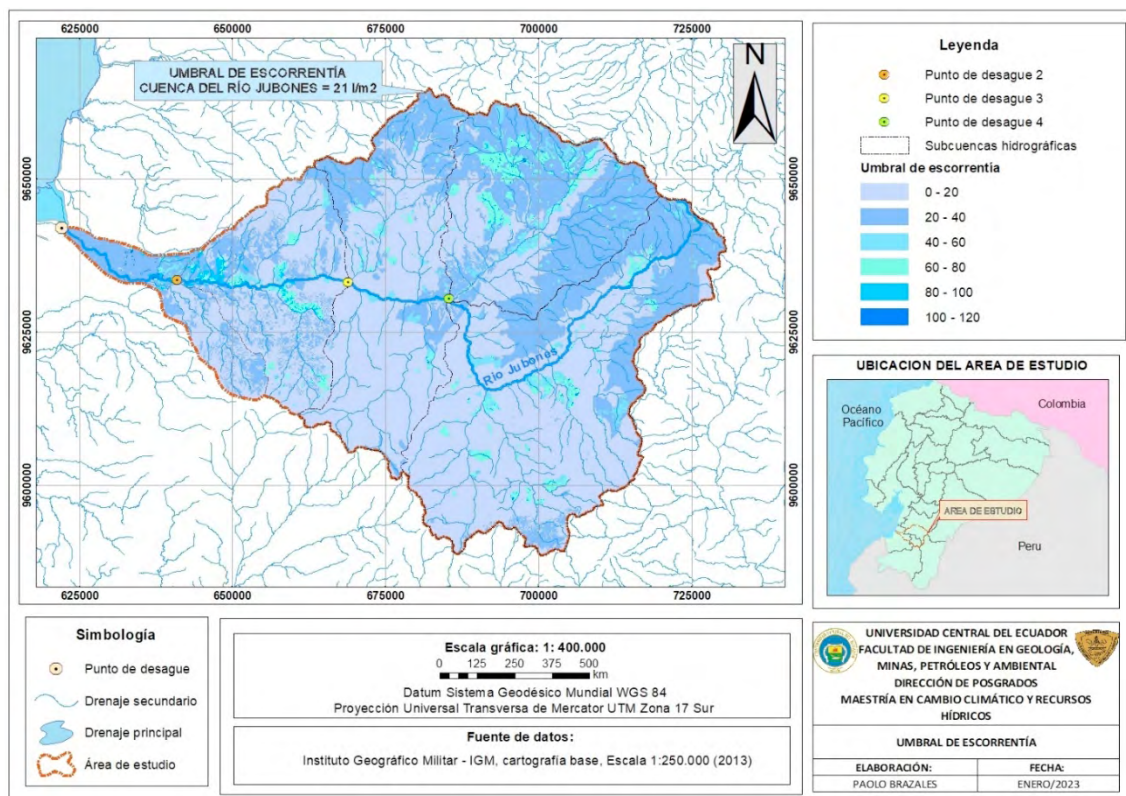


Figura 2. Umbral de Ecurrimiento en la Cuenca Hidrográfica del Área de Estudio (Instituto Geográfico Militar, 2013).

RANGOS DE UMBRAL DE ESCORRENTÍA	ÁREA (km²)
0 - 20	2446,37
20 - 40	1402,46
40 - 60	39,54
60 - 80	276,23
80 - 100	24,74
100 - 120	10,26

Tabla 1. Rangos de umbral de escorrentía

Reemplazando en la ecuación (1) se tiene:

$$P0_{(Cuenca)} = \frac{87990,27}{4200}$$

$$P0_{(Cuenca)} = 21,00 \text{ l/m}^2$$

El umbral de escorrentía de la cuenca del Río Jubones es 21 l/m^2 .

2.2. Disponibilidad hídrica

La metodología para el cálculo de disponibilidad hídrica inicia con un criterio de selección de una estación patrón que cuente con datos hidrológicos históricos, con ello se determina el área de drenaje tanto de la cuenca de la estación patrón, como de la cuenca del punto de desagüe; además de calcular la precipitación media a través de la metodología de isoyetas de las cuencas de análisis. Con ello se realiza la transposición de caudales y se restan los caudales ecológicos y de afectación por calidad de agua con los caudales disponibles, se elabora la curva de duración general y se obtiene la probabilidad de permanencia del caudal a un 80%. Se determina la demanda hídrica y se obtiene el índice de escasez, mediante la división del caudal disponible sobre la demanda hídrica. Como indican Sabas y Paredes (2009), el método aplicado para el desarrollo de estos estudios es la de transposición de caudales, que requiere la generación de los polígonos de Thiessen (factor precipitación) e información cartográfica (límites municipales, subcuencas, red hídrica, curvas a nivel, etc.) para establecer las áreas de escurrimiento o captación mediante el uso del software ArcView 8.3 (factor área). Por lo tanto, para transferir de manera confiable la escorrentía desde un punto particular a diferentes puntos en el área de captación, los coeficientes de área y la precipitación se usan según sea necesario en el contexto de la ecuación (2):

$$Q_i = \frac{A_i}{A_T} * \frac{P_i}{P_T} * Q_T \quad (2)$$

Donde Q_i son los caudales a ser determinados en el punto de desagüe (m^3/s), Q_T los caudales de la cuenca de la estación patrón (m^3/s), A_i es el área de la cuenca hidrográfica del punto de desagüe (km^2), A_T es el área de la cuenca hidrográfica de la estación patrón (km^2), P_i es la precipitación media de la cuenca hidrográfica del punto de desagüe (mm), P_T es la precipitación media de la cuenca hidrográfica de la estación patrón (mm). Una vez que se cuenta con los caudales disponibles medios mensuales en el punto de desagüe, se genera la curva de duración general, donde en el eje de las x se ubica la probabilidad de permanencia; y en eje de las y se ordenan de manera descendente los caudales disponibles, como se indica en la Figura 3.

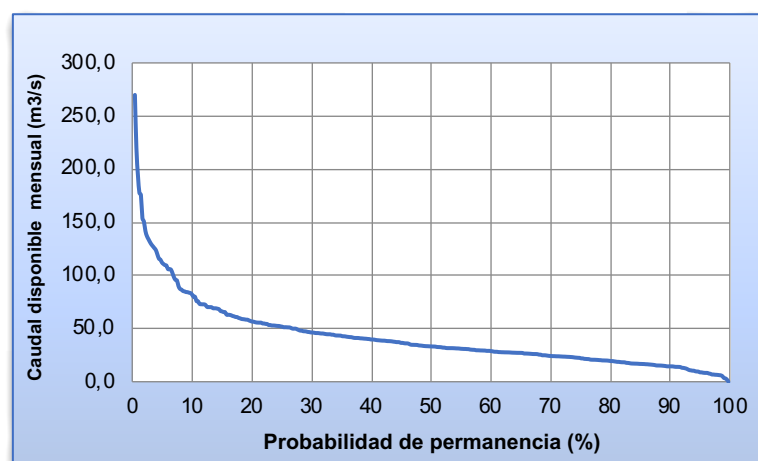


Figura 3. Curva de duración general.

Además, en la Tabla 2 se presentan los caudales disponibles, para las probabilidades de permanencia indicadas.

%	1	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	95	99
Q disp. (m ³ /s)	195,23	112,84	82,78	57,32	47,05	40,49	33,95	29,52	24,98	20,32	15,17	9,57	4,24

Tabla 2. Probabilidad de permanencia.

En las Tablas 3 y 4 se presenta el resumen de las autorizaciones de uso consuntivo y no consuntivo dentro de la Cuenca del Río Jubones.

TIPO DE APROVECHAMIENTO	NRO. AUTORIZACIONES	CAUDAL (l/s)
Abrevadero	2448	157,34
Consumo humano	2943	3994,88
Envasado de agua	4	2,42
Industrial	69	101,71
Riego	5016	34936,63
TOTAL	10480	39192,98

Tabla 3. Banco Nacional de Autorizaciones de agua de uso consuntivo.

TIPO DE APROVECHAMIENTO	NRO. AUTORIZACIONES	CAUDAL (l/s)
Acuicultura	97	394,40
Hidroelectricidad	3	66840
Minería	20	66,67
Termal	1	1,00
Turístico	3	300,41
TOTAL	124	67602,48

Tabla 4. Banco Nacional de Autorizaciones de agua de uso no consuntivo.

El índice de escasez obtenido se encuentra en la categoría de demanda alta. En la Figura 4 se presenta el caudal disponible al 80% y la demanda hídrica de la cuenca hidrográfica del Río Jubones (1) y de las 4 subcuencas generadas (2, 3, 4 y 5).

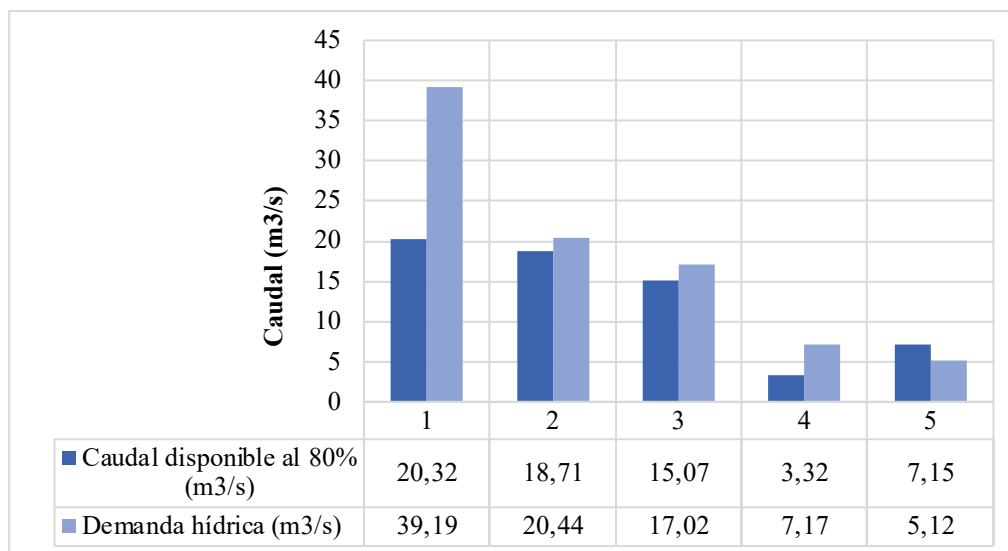


Figura 4. Caudal disponible y demanda hídrica.

2.3. Índice de escasez

Realizadas las mediciones, cálculos y análisis con respecto a la oferta hídrica y a la demanda, se calcula el índice de escasez a partir de la ecuación (3) de una manera porcentual:

$$Ie = \frac{Dh}{Oh} * 100 \quad (3)$$

Donde Ie es índice de escasez (%), Dh es demanda hídrica (m³/s), Oh es oferta hídrica (m³/s), 100 para expresarlo en porcentaje. En la Tabla 5 se presenta la caracterización de las cuencas hidrográficas analizadas, donde se expone los caudales disponibles al 80%, la demanda hídrica de uso consuntivo, el índice de escasez y la categoría de la demanda.

SUBCUENCAS HIDROGRÁFICAS	ÁREA (km ²)	CAUDAL DISPONIBLE AL 80% (m ³ /s)	DEMANDA HÍDRICA (m ³ /s)	ÍNDICE DE ESCASEZ	CATEGORÍA DEMANDA
1	4200	20,32	39,19	192,86	Demanda alta
2	3950	18,71	20,44	109,25	Demanda alta
3	3334,40	15,07	17,02	112,94	Demanda alta
4	829,40	3,32	7,17	215,96	Demanda alta
5	1525,60	7,15	5,12	71,61	Demanda alta

Tabla 5. Resumen de índices de escasez para las subcuencas hidrográficas que conforman la Cuenca del Río Jubones.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como primer paso, se analizó el Modelo Digital de Elevación del Terreno en formato *raster* con un tamaño de pixel de 30 metros por 30 metros, en el cual se generó el mapa y el histograma y donde se obtuvo una altitud mínima de 5,84 metros sobre el nivel del mar (m s. n. m.), una cota máxima de 4121,15 m s. n. m. y una desviación estándar de 911,81 m s. n. m., dentro de un área

de estudio de 4200 km². A continuación, se obtuvo la dirección del flujo en cada celda raster y se generaron 4 subcuencas, se reclasificaron las pendientes del terreno en dos categorías (menor a 3% y mayor o igual al 3%), y se evidencia que 4048 km² de la superficie total de la Cuenca del Río Jubones tiene una pendiente mayor o igual al 3%, un pequeño porcentaje del área tiene una pendiente menor a 3 % la cual se encuentra cerca al nivel 0 (m s. n. m.) que corresponde a la cuenca baja, llegando a la desembocadura al Océano Pacífico.

El procesamiento de la información de cobertura vegetal y usos de suelo fue reclasificado usando la normativa española anteriormente citada, y se ha obtenido que un 53% corresponde a vegetación esclerófila conformada por páramo, vegetación arbustiva y herbácea; los cuales se encuentra situados en las provincias de la sierra de Azuay y Loja, el 30% de la cuenca del Río Jubones son pastizales supraforestales, los cuales se localizan en las provincias Azuay, Loja y la provincia costera de El Oro, donde ya se ve un cambio de la cobertura vegetal. Existen 286 km² de bosque mixto y 190 km² de mosaico de cultivos mixtos en secano y regadío. Los afloramientos rocosos y los pastizales con árbol adhesionado suman una superficie de 164 km². La estructura urbana, las zonas industriales y comerciales ocupan una superficie de 26 km², y los cursos de agua 11 km².

Para determinar la permeabilidad del suelo, se ha establecido criterios de análisis de textura de suelo, para definir el umbral de escorrentía. De tal manera, que se tiene que el mayor porcentaje de grupo de suelo corresponde al grupo C y D, donde la textura de estos suelos varía entre suelo franco y suelo arcilloso. En el área de estudio se encontró mayor superficie de permeabilidad muy baja que representa el 54,7 % de la cuenca y zonas con permeabilidad alta con el 10,5 % del grupo de suelo A. En función de la pendiente del terreno, cobertura de suelo y características hidrogeológicas, se ha reclasificado en 9 tipos acorde a la normativa española, se han definido los umbrales de escorrentía acorde a las características hidrogeológicas del grupo de suelo, y se ha obtenido que el 58 % del área de la cuenca de estudio presenta umbrales de escorrentía en el rango de 0 a 20 l/m² situados en la cuenca media, y el 33% se encuentra en el rango de 20 a 40 l/m², cuales se localizan en la cabecera y en la cuenca baja. Producto de este análisis, se generó una representación gráfica, en la que se pueden visualizar los valores encontrados de umbral de escorrentía (Po), del cual se obtuvo un umbral de escorrentía promedio para la cuenca del Río Jubones de 21 l/m². Respecto al cálculo de disponibilidad hídrica se identificó 4 subcuencas, la metodología se basó en la transposición de caudales en función del área de drenaje y la precipitación media de la estación patrón seleccionada y las cuencas de estudio.

Dentro del área de estudio se cuenta con 5 estaciones hidrológicas limnimétricas, de las cuales se seleccionó la estación H0530 Jubones en Ushcurrumi en función del criterio de cercanía al punto de desagüe y de contar con similares características morfométricas. La información meteorológica validada por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), presenta isolíneas medias anuales que conectan puntos de igual precipitación dentro de una serie historia de 1981 – 2010, mismas que se han utilizado para el cálculo de la precipitación media de las cuencas, dado que este método considera un mayor número de estaciones el mismo presenta mayor exactitud. Para calcular los valores de la precipitación media anual, se realizó el recorte de las isoyetas, dentro de la cuenca de la estación hidrológica H530, donde se obtuvieron 7 áreas parciales, partiendo desde un rango de precipitación de 0 a 500 mm con un área parcial de 889, 3 km², llegando a un rango de 1750 a 2000 mm con un área parcial de 7,13 km². En este sentido, se ha calculado la precipitación media de la cuenca de la estación hidrológica H530 con un valor de 707,5 mm; el mismo procedimiento se realizó con la cuenca del Río Jubones y con las 4 subcuencas generadas, obteniendo los siguientes valores: cuenca

del Río Jubones: 739,2 mm, subcuenca 1: 724,03; subcuenca 2: 690,24; subcuenca 3: 611,60 y subcuenca 4: 716,13 mm.

La serie de caudales medios de la estación hidrológica seleccionada, dentro de un período de datos históricos de 33 años, partiendo desde el año 1980 a 2014 (los años 1983 y 2012 no se toman en cuenta, ya que no se tiene el registro completo de todo el año) da como valor máximo de caudal medio multianual en el mes de abril con 78,63 m³/s de igual manera con el mínimo *minimorum* en el mes de diciembre con 6,93 m³/s, y con el máximo *maximorum* en el mes de abril con 197,71 m³/s el cual fue reportado en el mes de marzo de 1984. Respecto al hidrograma generado se puede evidenciar que existe una tendencia al incremento de los caudales a partir del mes de enero hasta el mes de marzo, donde la curva de caudales empieza a disminuir hasta el mes de octubre y nuevamente aumenta su magnitud a partir del mes de noviembre. El método de transposición de caudales genera una relación entre el área, caudales y las precipitaciones medias de las cuencas, tanto de la estación patrón y de la cuenca del punto de desagüe y subcuencas generadas. El área de la cuenca del punto de desagüe excede en un 16% al área de la cuenca de la estación hidrológica H530. Respecto a la precipitación media la cuenca del punto de desagüe, ésta excede con un 5% a la de la cuenca de la estación hidrológica H530, de tal manera que el factor de correlación de transposición maximiza a los caudales en un 21%.

Se ha definido que el caudal ecológico regirá sobre el criterio de la Autoridad Única del Agua, es decir, el correspondiente al 10% del caudal medio mensual multianual. De igual manera, se consideró la afectación a la oferta hídrica por objeto de las variables asociadas a la calidad del agua; siendo que la calidad de agua del Río Jubones está en un rango de calidad mala a media, tiene Índice de Calidad del Agua (ICA) entre 50 y 80, por tanto, el porcentaje de afectación al caudal disponible es del 10%. El caudal medio disponible multianual corresponde a 47,03 m³/s, donde la curva de duración general de caudales indica que este caudal corresponde al 30% de permanencia, esto a medida que los caudales aumentan, menor es la probabilidad de que sean excedidos. Sobre la demanda hídrica en la Cuenca del Río Jubones, se integran las actividades que son de uso consuntivo, las cuales alcanzan una demanda de 39,19 m³/s, donde la principal actividad es el riego con un caudal de 34,94 m³/s con 5016 autorizaciones de agua, seguidos por el uso de agua para consumo humano con 4 m³/s, y en menor proporción con 0,26 m³/s las actividades destinadas al abrevadero de animales, envasado de agua y aprovechamiento industrial.

Dentro del área de estudio existen 3 autorizaciones para aprovechamiento hidroeléctrico con un caudal otorgado de 66,84 m³/s, correspondiente al uso no consuntivo, es decir, que el flujo de agua es devuelto a su cauce natural, por tanto, esto no incide dentro del cálculo de demanda hídrica. El caudal disponible al 80% corresponde al 20,32 m³/s, teniendo una demanda hídrica de 39,19 m³/s el índice de escasez corresponde al 192,86 % obteniendo una categoría de demanda alta. Analizando los resultados de los índices de escasez, se observa que las condiciones críticas tienen que ver con las autorizaciones otorgadas (demanda) a lo largo del cauce del Río Jubones, con una demanda total de 39,19 m³/s correspondiente a un 40% de excedencia. Los índices de escasez en las subcuencas 1, 2, 3 y 4 son de categoría alta, dado que el indicador supera el 100%, a diferencia de la subcuenca 5 donde la demanda de agua es inferior a la oferta hídrica.

4. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos, son visualizados a nivel de mapas para cada variable analizada y finalmente se los integra en un solo mapa de umbral de escorrentía, donde se indican los rangos de umbral de escorrentía. Un parámetro importante dentro del análisis hidrológico de una cuenca es la estimación del umbral de escorrentía (P_o) a partir de los valores de uso de la tierra (uso del suelo), pendiente del terreno, características hidrológicas y grupo de suelo, centrándose en la caracterización del grupo de suelo, proponiendo la asignación del grupo hidrológico del suelo según un análisis lito-geomorfológico y edafológico. La metodología usada para caracterizar a las pendientes del terreno de mayor o igual a 3% y menor al 3%, usos de suelo y permeabilidades se realizó atendiendo a la Norma 5.2-IC “Drenaje Superficial de la Instrucción de Carreteras”, realizada por el Ministerio de Fomento de España (2015), obteniendo un 96% de pendiente del terreno mayor o igual a 3%, y permeabilidades en el rango muy bajo a medio con un porcentaje de superficie del terreno del 89%. Los resultados nos permiten concluir que es una cuenca con un bajo valor de escurrimiento, es decir, que se necesitaría 21 mm de precipitación en la zona para que se inicie la generación de escurrimiento; considerando que, según los datos bibliográficos de sector, se presentan ocho tipos de clima, esto genera una variación respecto al régimen de precipitación y durante los meses con mayor cantidad de lluvia se podría generar una crecida de los cuerpos hídricos.

En el presente trabajo se ha realizado un análisis de las distintas fuentes de datos disponibles para determinar los parámetros que intervienen en el cálculo de umbral de escorrentía. Este umbral depende de la permeabilidad, el uso del suelo y la pendiente. Después de realizar el análisis, se ha obtenido el valor de umbral de escorrentía de 21 mm, ponderado para las cuatro subcuencas de estudio, y el mismo representa la parte de precipitación que provocará escorrentía, es decir, la lluvia neta. Para el análisis de disponibilidad hídrica, de manera preliminar se analizaron 5 estaciones hidrológicas para el cálculo de los caudales disponibles, de la cual se eligió a la estación H0530 por encontrarse más cerca al punto de desagüe y por tener similares características morfométricas. La cuenca hidrográfica del río Jubones resultó una precipitación media anual de 739,2 mm y para la cuenca de la estación hidrológica H0530 una precipitación media de 707,5 mm. La demanda hídrica de la cuenca del Río Jubones se determinó en función de las autorizaciones vigentes constantes en el Banco Nacional de Autorizaciones, donde se tiene para uso consuntivo una demanda total de 39,19 m³/s y para uso no consuntivo una demanda total de 67,60, considerando que los mayores caudales son para generación de hidroelectricidad. Los índices de escasez informan que las subcuencas hidrográficas 1 a 4, tienen una alta necesidad de recursos hídricos, ya que esta relación es superior al 100%, lo cual indica que la demanda supera la oferta disponible y deberán redefinirse las autorizaciones otorgadas. La situación anterior, requiere la intervención de la Autoridad Única del Agua, para revisar la reasignación de recursos con una nueva propuesta que incluía la modificación de las autorizaciones existentes. Aunque este índice puede parecer muy exigente al generar alarmas a partir del momento en que la demanda alcanza el 20% de la oferta neta, como orientador de la gestión actual, es importante que estos indicadores enciendan alarmas cuando todavía hay tiempo suficiente para tomar decisiones acertadas.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Central del Ecuador y a la Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental de dicha universidad por permitirme titularme de Magister en Cambio Climático y Recursos Hídricos y a la organización del V Congreso Nacional del Agua: “Seguridad Hídrica”.

A mi tutor de Trabajo de Fin de Máster, Dr. Antonio Jódar por la invitación al congreso, principal colaborador de esta investigación; su dirección, conocimiento, enseñanza y guía permitió el desarrollo de este trabajo. Sin duda, su impulso investigador me motivó a culminar con éxito este trabajo.

REFERENCIAS

- Comité Nacional de Límites Internos. (2017). *Límites Internos del Ecuador*. <https://www.gob.ec/conali>
- Frago, L. (2015). Análisis de la variabilidad en la estimación del umbral. En: *Actas de las IV jornadas de Ingeniería del Agua, 1*.
- García, K. (2020). Número de curva. *Estimación sistematizada y aplicaciones*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, INAMHI (2016). *Información meteorológica*. https://www.inamhi.gob.ec/docum_institucion/Publicaciones/atlasglaciares.pdf
- Instituto Geográfico Militar. (2014). *Archivos de Información Geográfica*. Modelo Digital del Terreno SRTM. <https://sni.gob.ec/coberturas>
- Jodar-Abellan, A., Valdes-Abellan, J., Pla, C., & Gomariz-Castillo, F. (2019). Impact of land use changes on flash flood prediction using a sub-daily SWAT model in five Mediterranean ungauged watersheds (SE Spain). *Science of the Total Environment*, 657, 1578-1591.
- León Ochoa, R. F., Portuguez Murtua, D. M., & Chávarri Velarde, E. A. (2019). Modelación de la disponibilidad hídrica del río Piura-Perú, considerando la incidencia del cambio climático. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 21(3), 182-193.
- González-Marañón, A., Palacios-Mulgado, I., & Domínguez-González, A. (2021). Evaluación espaciotemporal de la calidad de las aguas en la Cuenca Hidrográfica Guaos-Gascón. *Revista Cubana de Química*, 33(1), 70-92.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. (2015). *Levantamiento de Cartografía Temática Escala 1:25.000*. http://metadatos.sigtierras.gob.ec/pdf/Metodologia_Geomorfologia_16122015.pdf
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico del Gobierno de España (2020). *Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático 2021-2030*. https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/pna-cc-2021-2030_tcm30-512163.pdf
- Sabas Ramírez, C. A., & Paredes Cuervo, D. (2009). Estudio de oferta y demanda hídrica en la cuenca del río barbas. *Scientia et Technica*, 2(42), 405-410.