

# SEGURIDAD HÍDRICA



JOAQUÍN MELGAREJO MORENO  
M<sup>a</sup> 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

<b>Consideraciones ambientales con relación a la aprobación del Plan Hidrológico del Tajo de Tercer Ciclo 2022-2027 y el Traspase Tajo-Segura</b> José Navarro Pedreño.....	19
<b>Planificación Hidrológica: información, participación y evaluación ambiental estratégica</b> Ángel Ruiz de Apodaca Espinosa .....	39
<b>Representación espacio-temporal del riesgo de inundación a partir de las indemnizaciones del seguro de riesgos extraordinarios</b> Francisco Espejo Gil, Urko Elozegi Gurmendi.....	59
<b>La desalación en la estrategia de seguridad hídrica. Implicaciones económicas y ambientales</b> Alberto del Villar García.....	73
<b>La desalación en la provincia de Almería: garantía para el abastecimiento y el regadío</b> Francisco Javier Alcántara Pérez .....	93
<b>Mejorar la resiliencia ante las inundaciones en la Vega Baja (España). Propuesta didáctica en bachillerato</b> Ángela del Carmen Zaragoza, Álvaro-Francisco Morote, María Hernández Hernández.....	105
<b>Resignificando la ciudad como biotopo humano</b> Javier Eduardo Parada Rodríguez, Liliana Romero Guzmán, Jesús Enrique De Hoyos Martínez .....	117
<b>Gestión del agua y saneamiento básico en una reserva de desarrollo sostenible: comunidad de Nossa Senhora do Livramento do Tupé, Brasil</b> Antonio Jorge Barbosa da Silva Maria Claudia da Silva Antunes de Souza .....	133
<b>Proposición de una metodología para estimar la erosión del suelo en viticultura mediante ISUM (Improved Stock Unearthing Method). Un caso en el viñedo leonés</b> Antonio Jódar-Abellán, Marta García-Fernández, Susana García-Pisabarro, Jesús Rodrigo-Comino .....	141
<b>Estimación de la disponibilidad y seguridad hídrica bajo escenarios de cambio climático en una cuenca hidrológica agro-forestal del sureste de España</b> Antonio Jódar-Abellán, Dámaris Núñez-Gómez, Efraín Carrillo-López, Ryan T. Bailey, Pablo Melgarejo .....	151
<b>Determinación del umbral de escorrentía y disponibilidad hídrica de la cuenca hidrográfica del río Jubones, Ecuador</b> Paolo Brazales Cervantes, Seyed Babak Haji Seyed Asadollah, Antonio Jódar-Abellán.....	163
<b>Análisis del umbral de escorrentía de la cuenca del río Obispo, en la provincia del Carchi (Ecuador)</b> Pablo David Viera Ríos, Derdour Abdessamed, Antonio Jódar-Abellán.....	175
<b>El acuífero del Peñón (Alicante): un pequeño acuífero kárstico</b> 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 Abad .....197

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

David Sancho-Vila, Marta García-Mollá .....207

**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 seguro. Adaptación al reglamento (UE) 2020/741: retos y oportunidades**

Sonia M. Hernández López, José Carlos González Martínez .....231

**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 Montoya .....315

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

Francisco Javier Flores Montoya .....325

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

Ignacio Lozano Colmenarejo .....345

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

Ana Sánchez Espadas, Jesús Rodríguez Martí .....363

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

Carmen Hernández de Vega, Alicia Ayuso Solís .....381

**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 Ponsoda .....409

**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 Muñoz .....439

**La gestión municipal del ciclo urbano del agua digitalizado**

Rosa Rozas Torrente, M<sup>a</sup> José Moya Llamas, Arturo Trapote Jaime .....451

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

### **BLOQUE III - EVALUACIÓN SOCIOECONÓMICA Y JURÍDICA**

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

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

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

## **BLOQUE IV - TECNOLOGÍAS**

<b>Nuevo sistema de riego con recuperación de agua y nutrientes</b>	
Pablo Melgarejo, Dámaris Núñez-Gómez, Pilar Legua, Vicente Lidón, Agustín Conesa, Antonio Marhuenda, Juan José Martínez-Nicolás.....	933
<b>Dinapsis: transformación digital para la gestión sostenible del agua y la salud ambiental</b>	
María Tuesta San Miguel.....	953
<b>Los contaminantes emergentes en la reforma de la directiva de aguas residuales</b>	
Daniel Prats Rico.....	959
<b>Fertirrigación y nuevas estrategias como garantía de seguridad hídrica en el regadío</b>	
Alejandro Pérez Pastor y Elisa Pagán Rubio.....	985
<b>La desalación y el hidrógeno</b>	
Alejandro Zarzuela López.....	1005
<b>Análisis regional de la reducción de boro en agua marina desalinizada para el riego agrícola en el sureste español</b>	
Alberto Imbernón Mulero, José Francisco Maestre Valero, Saker Ben Abdallah, Victoriano Martínez Álvarez, Belén Gallego Elvira.....	1021
<b>Impacto ambiental de la reducción del boro del agua de mar desalinizada para el riego en parcela</b>	
Saker Ben Abdallah, Belén Gallego-Elvira, Alberto Imbernón-Mulero, Victoriano Martínez-Alvarez, José Francisco Maestre Valero.....	1031
<b>Modelado cinético del consumo de CO<sub>2</sub> para la cepa Spirulina platensis</b>	
Antonio F. Marcilla Gomis, Inmaculada Blasco López.....	1041
<b>Empleo de filtro verde construido con residuos para reducir el contenido en fósforo en aguas de riego</b>	
Teresa Rodríguez Espinosa, María Belén Almendro Candel, Ana Pérez Gimeno, Iliana Papamichael.....	1055
<b>Tecnologías de oxidación avanzada para la degradación del fármaco carbamazepina: la ozonización</b>	
María José Moya-Llamas, Marta Ferre Martínez, Elizabetha Domínguez Chabaliná, Arturo Trapote Jaime, Daniel Prats Rico.....	1067
<b>Aprendizaje basado en proyectos colaborativos globales en formación profesional: banco de ensayos hidráulicos para la digitalización del agua</b>	
Albert Canut Montalvã, Joaquín Martínez López, Maties Roma mayor, Antonio Oliva Sánchez.....	1079

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

# Análisis del umbral de escorrentía de la cuenca del río Obispo, en la provincia del Carchi (Ecuador)

**Pablo David Viera Ríos**

Universidad Central del Ecuador, Ecuador  
[vierapablo@outlook.com](mailto:vierapablo@outlook.com)

**Derdour Abdessamed**

Laboratory for the Sustainable Management of Natural Resources in Arid and Semi-arid Zones, University Center Salhi Ahmed Naama, Argelia  
[derdour@cuniv-naama.dz](mailto:derdour@cuniv-naama.dz)  
<https://orcid.org/0000-0002-1746-1765>

**Antonio Jódar-Abellán**

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

## RESUMEN

El presente proyecto analizó la variación de la escorrentía para tres escenarios de cobertura y usos de suelo en la cuenca del Río Obispo, ubicada en Ecuador, en la zona de los Andes. El primer escenario responde a las condiciones actuales; el segundo, plantea condiciones de deforestación; y, el tercero, condiciones de reforestación. Se realizó la caracterización físico-geográfica de la cuenca, la caracterización climática de la zona de estudio, así como el análisis de la escorrentía basado en el número de curva y el umbral de escorrentía para cada uno de los escenarios planteados. Finalmente se obtuvieron los caudales de crecida mediante un modelo hidrológico teórico, utilizando el software HEC-HMS. En concreto, para las condiciones y datos del modelo se trabajó con los valores obtenidos de la caracterización físico-geográfica de la cuenca, número de curva y umbral de escorrentía; además, se generaron los hietogramas de precipitación en función del análisis de lluvias intensas de la zona de estudio.

## 1. INTRODUCCIÓN Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad, los cambios en la demografía que se presentan a escala mundial, la búsqueda de crecimiento económico que impulsan los países, la globalización que plantea un estatus de vida elevado, la falta o la debilidad de las políticas de ordenamiento territorial y las relacionadas al ambiente (en especial a la gestión del agua y el uso del suelo), han incrementado la presión

sobre los recursos naturales sin considerar que estos no son renovables, no solo por el uso de estos sino por la contaminación que las actividades antrópicas suponen (Abbaspour et al., 2015). La cantidad y calidad del recurso agua, tanto la superficial como la subterránea, presentan problemas de estrés hídrico y no únicamente en las zonas áridas o semiáridas, el recurso hídrico está amenazado en todos los ambientes del planeta (Custodio et al., 2016; Eekhout et al., 2021).

Al mismo tiempo, producto de las actividades del hombre, el cambio climático plantea más dudas respecto a la disponibilidad del agua, lo que supone incertidumbres también en el sector productivo (agricultura, ganadería, energía, industria, etc.). Toda esta problemática se refleja en cuestionamientos sobre las futuras demandas del agua y como satisfacerlas, además, el incremento de eventos extremos, tanto en duración como en frecuencia, que se ven manifestados como inundaciones y sequías que se presentan en gran parte de las regiones del mundo, como resultado de esto tenemos poblaciones más vulnerables, a todos los riesgos asociados a la falta de agua no solo en cantidad sino también en calidad (Melgarejo-Moreno et al., 2019; Custodio et al., 2016; Abbaspour et al., 2015).

El cambio climático en el Ecuador tiene claras evidencias como son: el incremento de la temperatura, incremento en frecuencia e intensidad de los eventos extremos de precipitación, periodos secos más recurrentes y prolongados, todo esto pese a las incertidumbres que se tienen en el análisis de los datos. Tanto la calidad como la cantidad del caudal que se genera en una cuenca de drenaje están afectadas directamente por las características físicas climáticas y de cobertura vegetal de la misma. Para conocer con anticipación la presencia de eventos climáticos extremos (como son las sequías, inundaciones, etc.) es de vital importancia contar con modelos climáticos validados que consideren la variabilidad producto del calentamiento global, ya que de esta manera se pueden plantear estrategias de adaptación a estos eventos, de modo que las personas enfrenten esta nueva realidad de una mejor manera (Eekhout et al., 2021; Neitsch et al., 2011; Pardo et al., 2021).

El cambio en la cobertura del suelo plantea varias interrogantes respecto del comportamiento de la cuenca, sobre todo los relacionados a eventos extremos como lo son los caudales de crecida, siendo estos eventos muy importantes al momento de dimensionar la infraestructura hidráulica y también para una adecuada gestión de riesgos (Custodio et al., 2016). Actualmente, en el país es escasa la información climatológica e hidrológica por lo cual no se cuenta con datos para analizar la situación a nivel de cuencas, sin embargo, con base en la información que se dispone es posible hacer análisis que visibilicen el comportamiento de las cuencas, ya que son estas la base para una adecuada gestión del recurso hídrico (Cáceres et al., 1988). La cuenca del río Obispo, ubicada en la provincia del Carchi, al igual que en gran parte de las cuencas del país tiene una importante cobertura dedicada a la agricultura y ganadería, siendo la ampliación de estas fronteras un desafío en temas de planificación y ordenamiento territorial. No se cuentan con estudios que analicen como incide el cambio de la cobertura del suelo en el comportamiento de la cuenca (García-Garizábal et al., 2017).

El cambio en la cobertura de una cuenca tiene directa relación con la escorrentía, con lo cual los eventos extremos se ven magnificados; es importante que se conozca el impacto que puede tener en la generación de caudales de crecida cuando las condiciones de uso de suelo cambian, siendo así que para diferentes supuestos se pueden hacer asociaciones de diferentes escenarios. Basado en información climatológica de una cuenca se puede, a través de modelos hidrológicos, determinar los caudales de crecida ya que la variable de precipitación sumada a las características propias de la cuenca permite analizar la generación de caudales, asociando estos eventos extremos a diferentes periodos de retorno. Para la cuenca del río Obispo no se cuenta con información relacionada a eventos extremos y el cambio de suelo (Palacios y Serrano, 2011).

## 2. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

El presente proyecto de investigación utilizó la siguiente información como base para el análisis de la cuenca del río Obispo:

- Información cartográfica del Instituto Geográfico Militar (IGM), en escala 1:50.000, misma que está disponible en formato *shape*, en el portal web de dicha institución. Limitante la escala de la información disponible.
- Información climatológica de la zona, la información de la red de estaciones meteorológica del país es manejada por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), se encuentra disponible en los anuarios generados por dicha institución. Limitante la disponibilidad de la información.
- Información del uso y cobertura del suelo, generada por el Ministerio de Ganadería (MAG), la cual está disponible en el portal de esta institución en formato *shape*. Limitante la escala de la información disponible.

Con el objeto de analizar la escorrentía de la cuenca del río Obispo en el presente proyecto se utilizó la siguiente metodología:

- Para la caracterización físico-geográfica de la cuenca se utilizó la información cartográfica para la zona de estudio, con la ayuda de un software de sistemas de información geográfica se definieron los parámetros que caracterizan a la cuenca del río Obispo.
- La caracterización climática se realizó gracias a dos estaciones meteorológicas, las variables que se analizaron fueron la precipitación media y la temperatura. La información de las series comprende un periodo de 30 años, misma que fue obtenida de los anuarios del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI).
- Los datos climatológicos fueron validados con la curva de doble masa, con el objeto de evaluar la homogeneidad de la serie de datos, por otro lado, los datos faltantes fueron rellenados con el método de correlación – regresión, para lo cual se trabajó con una estación vecina.
- El análisis de la información de uso y tipo de suelo, además, de la de cobertura, fue analizada con un software de sistemas de información geográfica, la información en formato *shape* tomada como base es la que se encuentra disponible en el portal oficial del Ministerio de Ganadería (MAG).
- Para el análisis de la cuenca del río Obispo se plantean tres escenarios: el primero plantea las condiciones actuales, el segundo supone condiciones de deforestación (escenario pesimista) y el tercero supone condiciones de reforestación (escenario optimista).
- La determinación del umbral de escorrentía para los tres escenarios se realizó según la información cartográfica manejada por el Instituto Geográfico Militar (IGM), además, se utilizó un software de sistemas de información geográfica para procesar la información y definir las áreas y el umbral de escorrentía individual, con lo cual se determinó el umbral de escorrentía promedio para la cuenca.
- Para la determinación de los caudales de crecida se utilizó el software HEC – HMS, para lo cual previamente se calculó:
  - o Con el estudio de lluvias intensas del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) se definieron las intensidades de precipitación asociados a diferentes periodos de retorno.

- Para las diferentes intensidades de precipitación se determinaron los hietogramas, con las distribuciones de precipitaciones.
- El número de curva promedio para la cuenca del río Obispo, con la información cartográfica de la zona de estudio.

Para los tres escenarios propuestos se determinaron los caudales de crecida, asociados a los diferentes periodos de retorno. Siendo la limitante de los resultados: la escala de la información y la disponibilidad de esta.

### 3. RESULTADOS

En el presente proyecto se analizó la cuenca del río Obispo, la cual se encuentra ubicada al sur del país, en el límite de la frontera con Colombia, en los cantones Tulcán y San Pedro de Huaca.

#### 3.1. Caracterización de la cuenca

La cuenca que se analizó corresponde a la unidad de drenaje del río Obispo, con un área de 86,16 km<sup>2</sup>. La red hídrica de la misma se puede ver en la Figura 1.

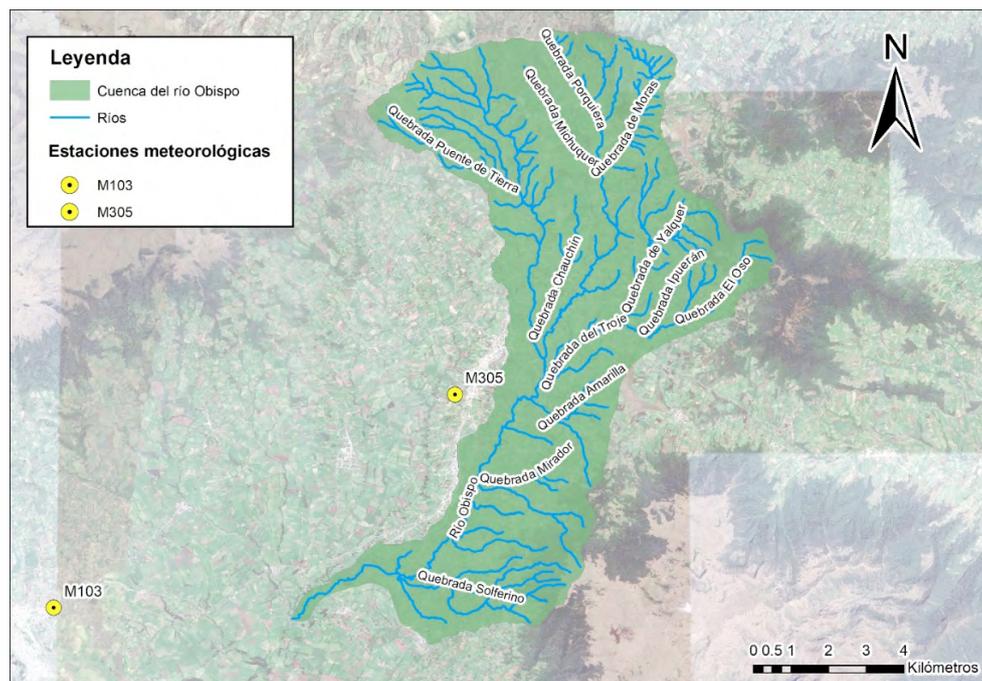


Figura 1. Cuenca del Río Obispo.

Los resultados de la caracterización físico-geográfica de la cuenca se presentan en la Tabla 1.

ÁREA (km <sup>2</sup> )	COTA MÁXIMA (m s. n. m.)	COTA MÍNIMA (m s. n. m.)	LONGITUD AXIAL DE LA CUENCA (km)	LONGITUD TOTAL DE LOS CAUCES (km)	LONGITUD DEL CAUCE PRINCIPAL (km)	PERÍMETRO (km)
86,12	3560	2760	18,17	182,25	24,77	59,53

LONGITUD DE LAS CURVAS DE NIVEL (km)	FACTOR DE COMPACIDAD Kc	FACTOR DE FORMA Kf	DENSIDAD DE DRENAJE Dd	TIEMPO DE CONCENTRACIÓN (min)	PENDIENTE MEDIA DE LA CUENCA Sc (%)	PENDIENTE MEDIA DEL CAUCE Sm (%)
740,21	1,81	0,26	2,12	176,74	17,19	3,23

Tabla 1. Parámetros de la caracterización físico-geográfica de la cuenca del río Obispo.  
Fuente: elaboración propia.

### 3.2. Caracterización climática

Para la caracterización climática se analizaron las dos variables principales (precipitación y temperatura), para el efecto se analizaron los datos de las estaciones M305 y M103 respectivamente, en la Figura 1 se presentan la ubicación de las estaciones, se puede puntualizar lo siguiente:

- Para la zona de la cuenca del río Obispo se presenta un periodo con disminución de la precipitación entre los meses de junio y septiembre, por otro lado, el resto de los meses tiene una mayor presencia de lluvia.
- El periodo con un registro de temperaturas más bajas coincide con el periodo con disminución de la precipitación (periodo de junio a septiembre).

### 3.3. Definición de los escenarios

Para el análisis de la cuenca del río Obispo se plantean tres escenarios, el detalle de estos es el siguiente:

- Escenario 0: corresponde al escenario inicial que representa la situación actual de la cuenca. En la Figura 2 se presenta el mapa con la cobertura del escenario.
- Escenario 1: responde al primer escenario supuesto, se suponen condiciones de deforestación para lo cual se asume un cambio en la cobertura de suelo, los bosques, paramo y vegetación arbustiva, los cuales son remplazados por zonas de cultivo. En la Figura 3 se presenta el mapa con la cobertura del escenario.
- Escenario 2: segundo escenario supuesto, condiciones supuestas de reforestación para lo cual se asume un cambio en las zonas de cultivo y pastizales por vegetación arbustiva. En la Figura 4 se presenta el mapa con la cobertura del escenario.

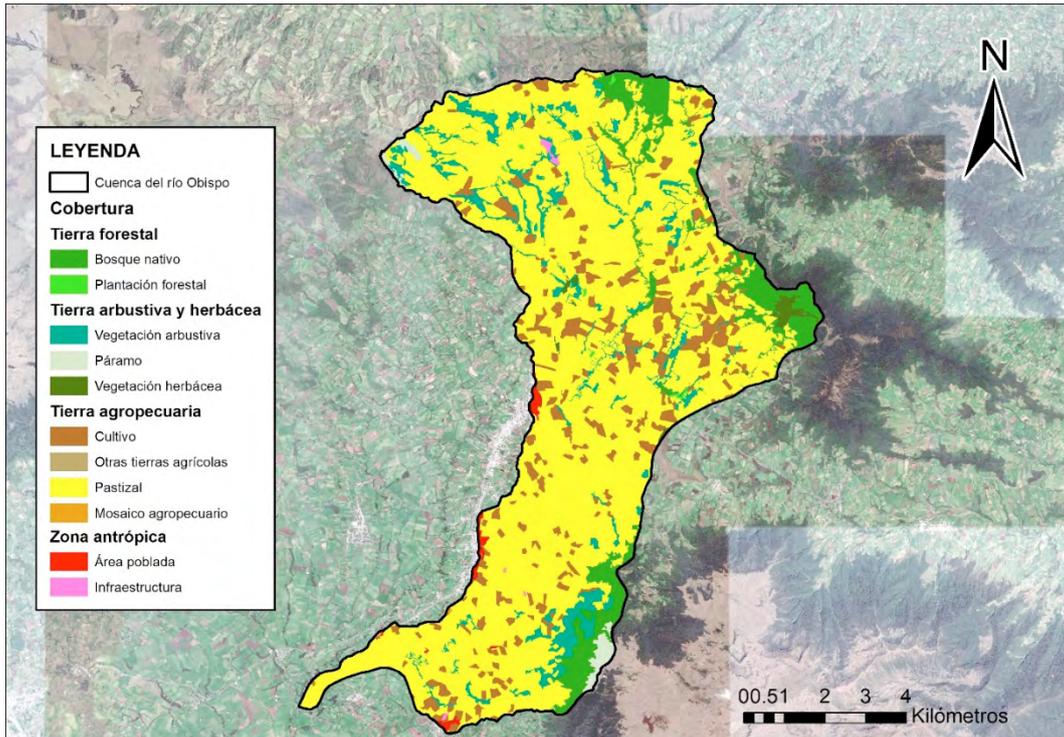


Figura 2. Escenario 0 - condiciones iniciales Fuente: elaboración propia.

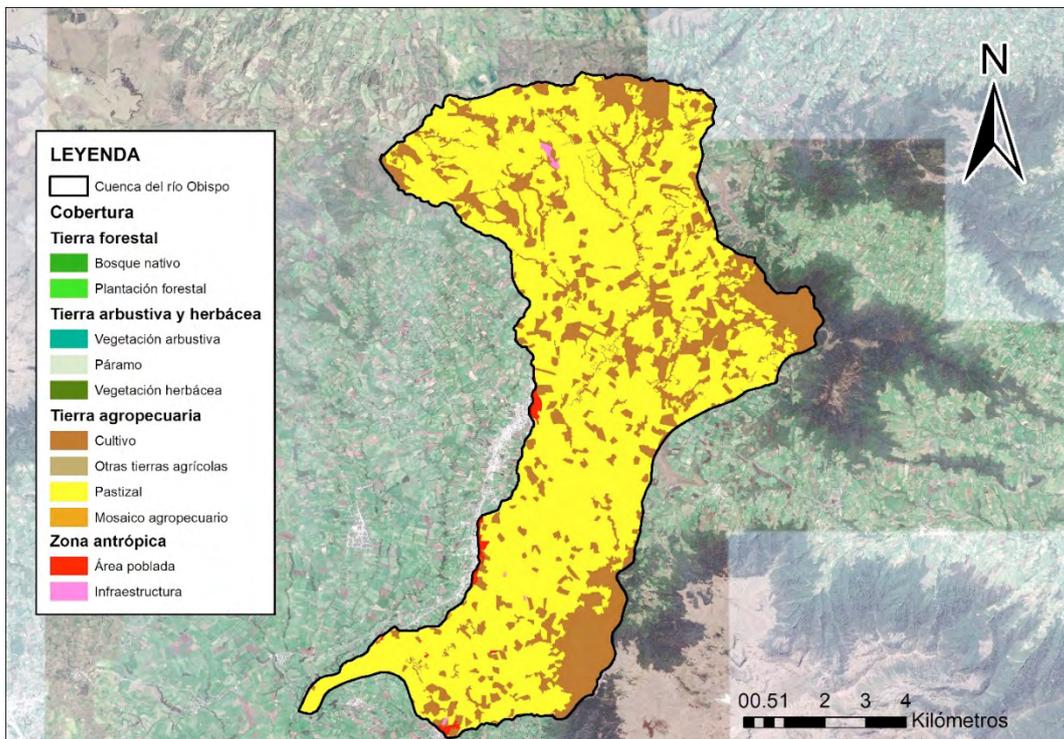


Figura 3. Escenario 1 - condiciones de deforestación. Fuente: elaboración propia.

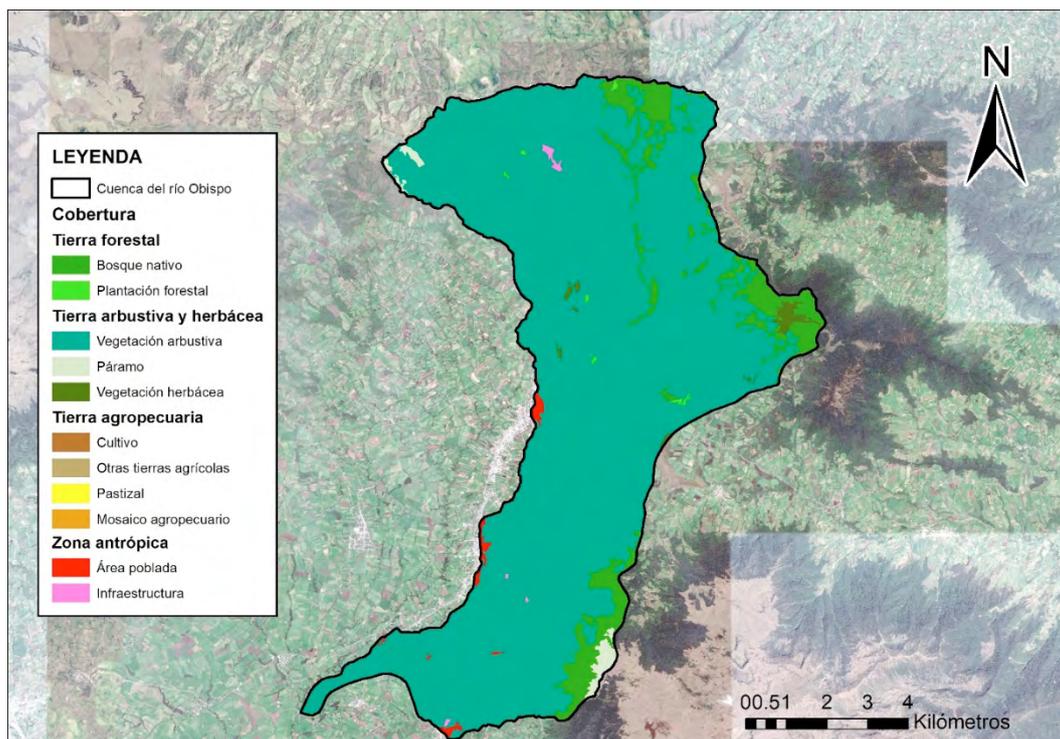


Figura 4. Escenario 2 - condiciones de reforestación. Fuente: elaboración propia.

### 3.4. Umbral de escorrentía

Los resultados del umbral de escorrentía se presentan en la Tabla 2, siendo evidente el incremento de los valores del parámetro cuando la cobertura corresponde al escenario con condiciones supuestas de reforestación en comparación con los dos escenarios. El Escenario 1 con condiciones de deforestación, tiene el menor valor de  $P_0$ , lo cual responde a las condiciones más desfavorables.

	UMBRAL DE ESCORRENTÍA $P_0$ (mm)
Escenario 0	28,05
Escenario 1	24,19
Escenario 2	45,96

Tabla 2. Valores de umbral de escorrentía para los diferentes escenarios. Fuente: elaboración propia.

### 3.5. Número de curva

Con la metodología similar a la del umbral de escorrentía se determinó el número de curva (NC), en la Tabla 3 se presentan los valores. El mayor número de curva para el escenario deforestado tiene el mayor valor, por otro lado, para el escenario reforestado se presenta el menor valor. Sin embargo, se debe tener en cuenta que el método utilizado discrimina pendientes mayores y menores al  $3^\circ$ .

	NÚMERO DE CURVA NC
Escenario 0	76,4
Escenario 1	79,9
Escenario 2	65,02

Tabla 3. Valores de número de curva para los diferentes escenarios de la cuenca del río Obispo.  
Fuente: elaboración propia.

### 3.6. Hietogramas

En la Figura 5 se presentan los hietogramas de precipitación que se generaron para la cuenca del río Obispo y que se utilizaron para obtener los caudales de crecida.

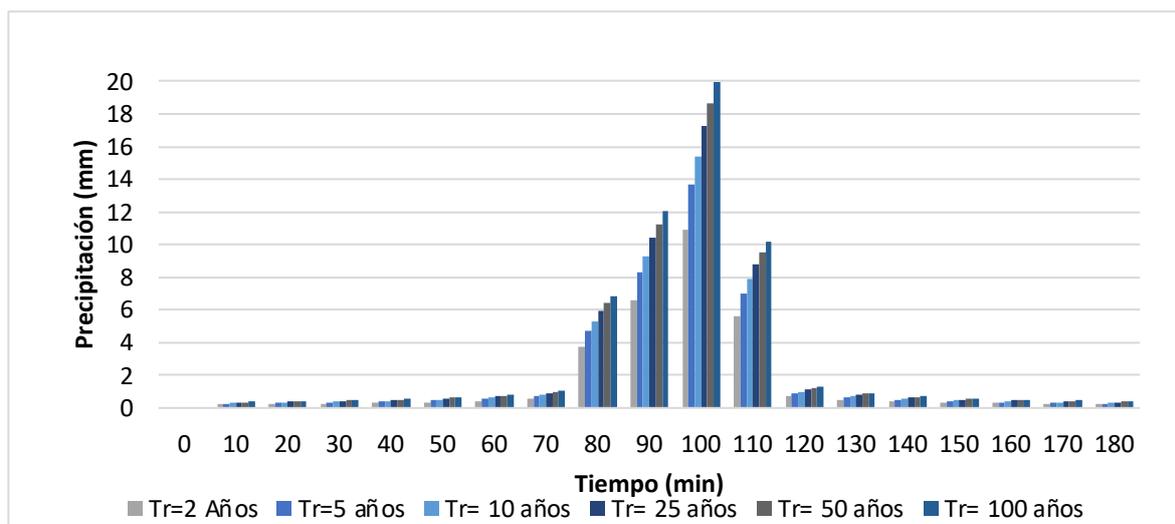


Figura 5. Hietogramas de precipitación asociados a periodo de retorno.  
Fuente: elaboración propia.

### 3.7. Caudales de crecida

En la Tabla 4 se presentan a manera de resumen los valores de caudales pico de cada hidrograma de crecida asociado a los periodos de retorno analizados en el presente proyecto, estos valores se obtuvieron para cada uno de los escenarios.

PERIODO DE RETORNO (AÑOS)	CAUDAL MÁXIMO PICO (m <sup>3</sup> /s)		
	ESCENARIO 0	ESCENARIO 1	ESCENARIO 2
2	9,9	13,6	9,0
5	19,6	28,6	11,3
10	28,5	40,6	12,7
25	40,6	56,2	14,9
50	50,5	68,4	17,8
100	60,9	81,1	21,6

Tabla 4. Valores de caudales pico de crecida asociados a periodos de retorno para los diferentes escenarios.  
Fuente: elaboración propia.

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El presente estudio analizó la variación de la escorrentía para tres escenarios de cobertura y usos de suelo en la cuenca del Río Obispo, ubicada en Ecuador, en la zona de los Andes. Dicha cuenca presenta un período menos lluvioso marcado entre los meses de junio y septiembre, en los cuales su temperatura muestra valores más bajos. La precipitación media de la cuenca es de 91 mm y la temperatura media es de 12°C. Así mismo, la cuenca del río Obispo presenta una cobertura de pastizales y cultivo en su mayoría, lo que evidencia que la cuenca ha perdido cobertura natural, es decir, las actividades antrópicas han modificado la cuenca, por lo cual, actualmente se tiene una cuenca con un alto nivel de degradación en la que se ha perdido casi completamente las condiciones originales de la misma. La escala de la información utilizada responde a información disponible en el país, por lo cual para un mayor detalle y análisis se debería considerar escalas menores.

El valor del número de curva obtenido para el escenario deforestado (Escenario 1) tiene el mayor valor, mientras que, el escenario reforestado (Escenario 0) se presenta el menor valor, lo que indica que en el primer caso (Escenario 1) tenemos mayores condiciones de impermeabilidad respecto a los otros escenarios (Escenario 0 y 2, siendo este último el que tiene mayores condiciones de permeabilidad). Sin embargo, se debe tener en cuenta que el método utilizado discrimina pendientes mayores y menores a 3°, en este caso al tratarse de una cuenca del callejón interandino la cuenca presenta pendientes marcadamente mayores, por lo cual, estos resultados implican una aproximación basada en los datos que se tienen en la bibliografía existente. De este modo, el valor del umbral de escorrentía es mayor para el Escenario 2 (escenario reforestado), por otro lado, el Escenario 1 (escenario deforestado) tiene el menor valor, este último requiere una menor cantidad de precipitación para generar escorrentía, por lo cual, el Escenario 2 presenta mejores condiciones para enfrentar un evento de precipitación, ya que requiere una lámina mayor de agua para generar escorrentía.

El Escenario 1, que plantea condiciones más desfavorables, en las cuales se supone que las zonas de bosque nativo y páramo se convierten en zonas de cultivo (siendo estas áreas menores al 10% del total de la cuenca en las condiciones actuales, Escenario 0), genera caudales de crecida mayores a las condiciones actuales. Para el caso de un periodo de retorno de 100 años hay un incremento de un tercio del caudal pico respecto al escenario inicial. Por su parte, el escenario 2 que plantea condiciones de reforestación, en las cual el área de cultivo y pastizal se convierte en vegetación arbustiva, siendo casi la totalidad de la cobertura de la cuenca bosque nativo y vegetación arbustiva, los caudales de crecida generados son menores a los de las condiciones actuales. Para el caso más extremo analizado, para el periodo de retorno de 100 años, el pico de crecida es un tercio del generado en las condiciones actuales.

Los resultados de la modelación hidrológica ponen en evidencia, la degradación de una cuenca influye de manera directamente proporcional en la generación de eventos de caudales de crecida. Además, cuantifica la magnitud del cambio en los caudales de crecida siendo estos bastante significativos para los dos escenarios supuestos respecto de las condiciones actuales, esto pese a que el escenario desfavorable no dista mucho de las condiciones actuales de la cuenca. Sin embargo, el no contar con información hidrológica del río Obispo, limita a no poder realizar la calibración del modelo, por lo cual, si bien los resultados obtenidos nos dan un panorama general de los escenarios, estos tienen una incertidumbre al no poder contrastarse con datos reales. Resulta evidente, en virtud de lo enunciado, que la disponibilidad de información climatológica

e hidrológica en el país plantea numerosas limitantes al momento de analizar una cuenca, por lo cual es importante que se pueda repotenciar la red de estaciones que maneja el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI).

## REFERENCIAS

- Abbaspour, K. C., Rouholahnejad, E., Vaghefi, S., Srinivasan, R., Yang, H., and Klove, B. (2015). A continental-scale hydrology and water quality model for Europe: calibration and uncertainty of a high-resolution large-scale SWAT model. *Journal of Hydrology*, 524, 733-752. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.03.027>.
- Cáceres, L., Mejía, R. y Ontaneda, G. (1988). Evidencias del cambio climático en el Ecuador. *Bulletin de l'Institut français d'études andines*, 27 (3), 547-556. <https://www.redalyc.org/pdf/126/12627319.pdf>
- Custodio, E., Andreu-Rodes, J. M., Aragón, R., Estrela, T., Ferrer, J., García-Aróstegui, J. L., Manzano, M., Rodríguez-Hernández, L., Sahuquillo, and A. Del Villar, A. (2016). Groundwater intensive use and mining in south-eastern peninsular Spain: Hydrogeological, economic and social aspects. *Science of the Total Environment*, 559 (1), 302-316. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.02.107>.
- Eekhout, J., Millares, A., Martínez, A., García, R., Pérez, P., Conesa, C., and de Vente, J. (2021). A process-based soil erosion model ensemble to assess model uncertainty in climate change impact assessments. *Land Degradation & Development*, 32, 2409-2422.
- García-Garizábal, I., Romero, P., Jiménez, S. y Jordá, L. (2017). Evolución climática en la costa de Ecuador por efecto del cambio climático. *Revista DYNA*, 84 (203). <https://doi.org/10.15446/dyna.v84n203.59600>
- Melgarejo-Moreno, J., López-Ortiz, M. I., and Fernández-Aracil, P. (2019). Water distribution management in South-East Spain: A guaranteed system in a context of scarce resources. *Science of the Total Environment*, 648, 1384-1393. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.263>
- Neitsch, S. L., Arnold, J. G., Kiniry, J. R., and Williams, J. R. (2011). Soil and Water Assessment Tool. Theoretical Documentation. Version 2009. Texas A&M University System. *Texas Water Resources Institute Technical Report*, 406.
- <http://swat.tamu.edu/documentation/>
- Palacios, E. y Serrano, S. (2011). Validación de los Modelos de Cambio Climático hidrostáticos y no hidrostáticos sobre la climatología del Ecuador en las variables de precipitación y temperaturas extremas. *La Granja*, 13(1), 21-30. <https://www.redalyc.org/pdf/4760/476047397004.pdf>.
- Pardo, M. A., Pérez-Montes, A., and Moya-Llamas, M. J. (2021). Using reclaimed water in dual pressurized water distribution networks. *Cost analysis. Journal of Water Process Engineering*, 40, 101766. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101766>