

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-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^a José Moya Llamas, Arturo Trapote Jaume 451

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

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

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
<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
<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 km². La red hídrica de la misma se puede ver en la Figura 1.

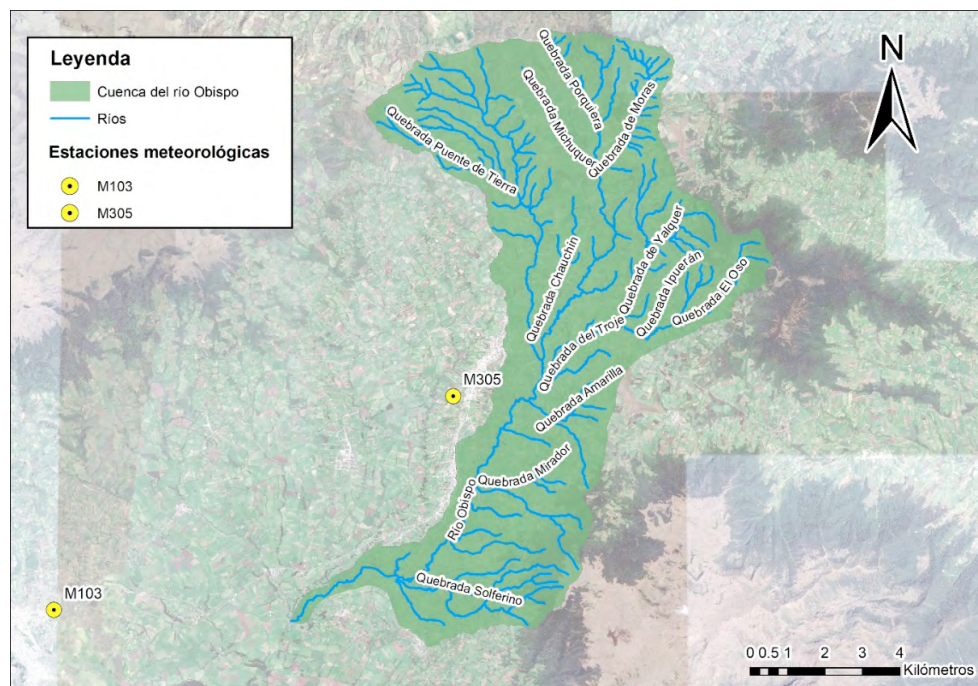


Figura 1. Cuenca del Río Obispo.

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

ÁREA (km ²)	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.

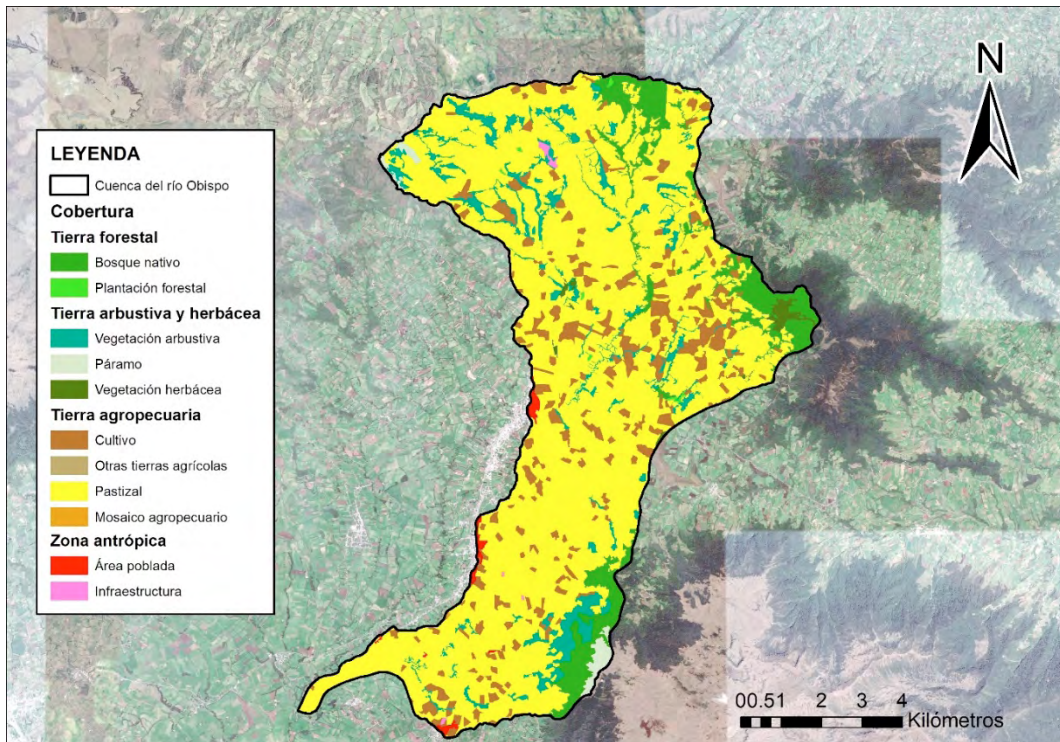


Figura 2. Escenario 0 - condiciones iniciales Fuente: elaboración propia.

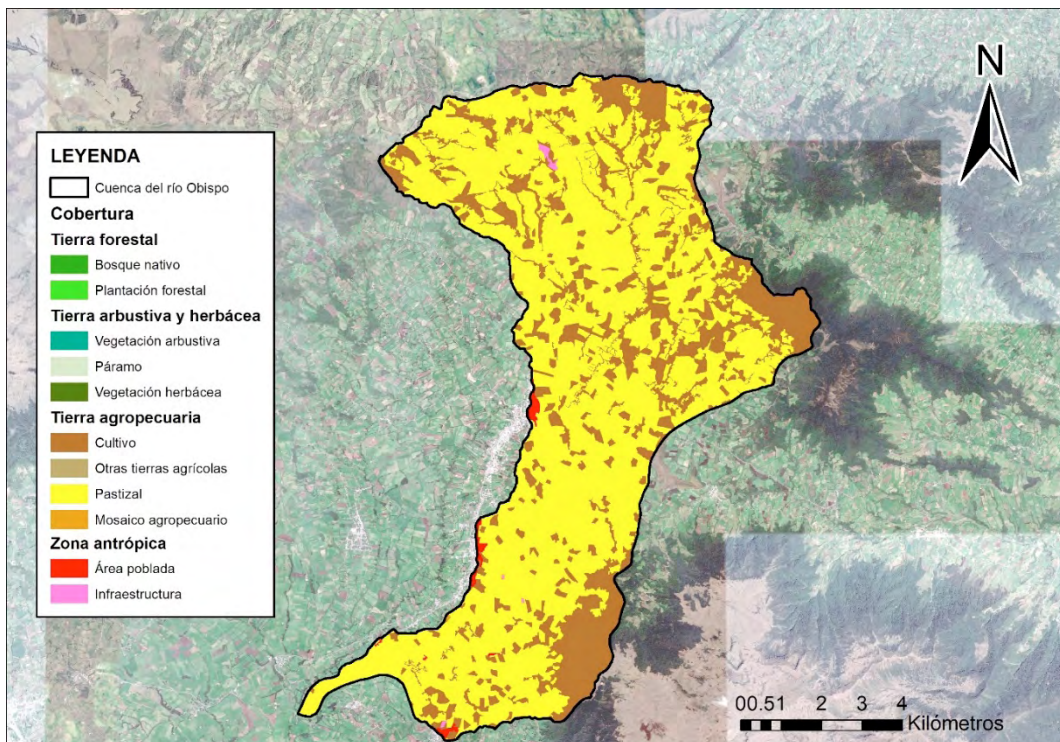


Figura 3. Escenario 1 - condiciones de deforestación. Fuente: elaboración propia.

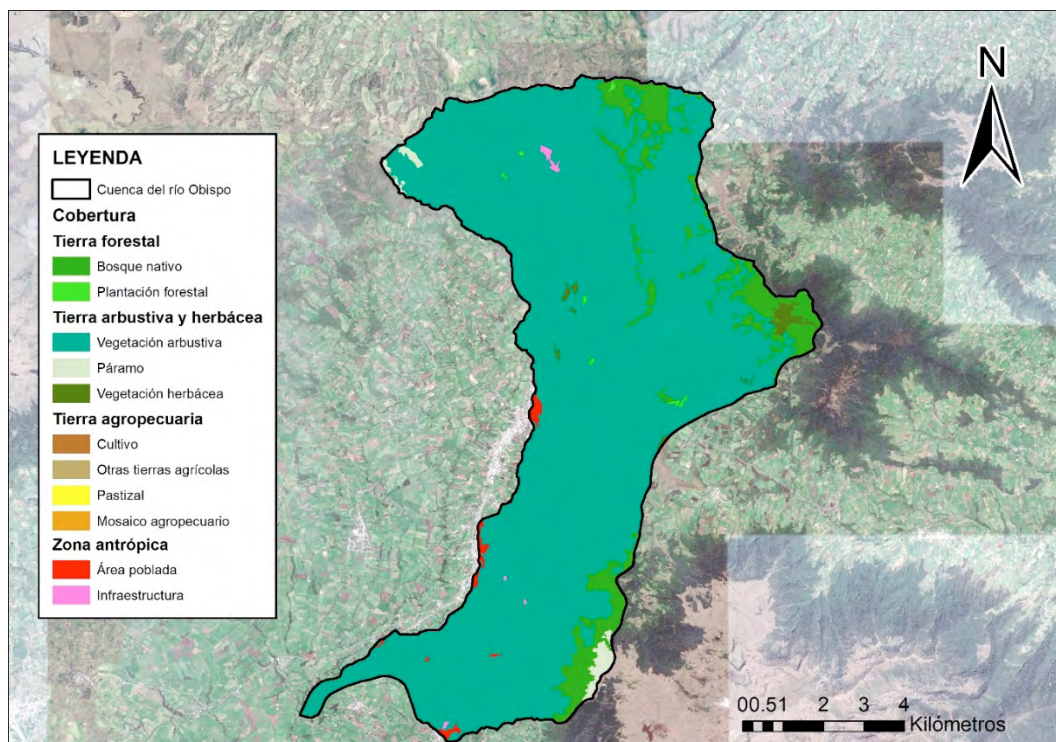


Figura 4. Escenario 2 - condiciones de reforestación. Fuente: elaboración propia.

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°.

	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.

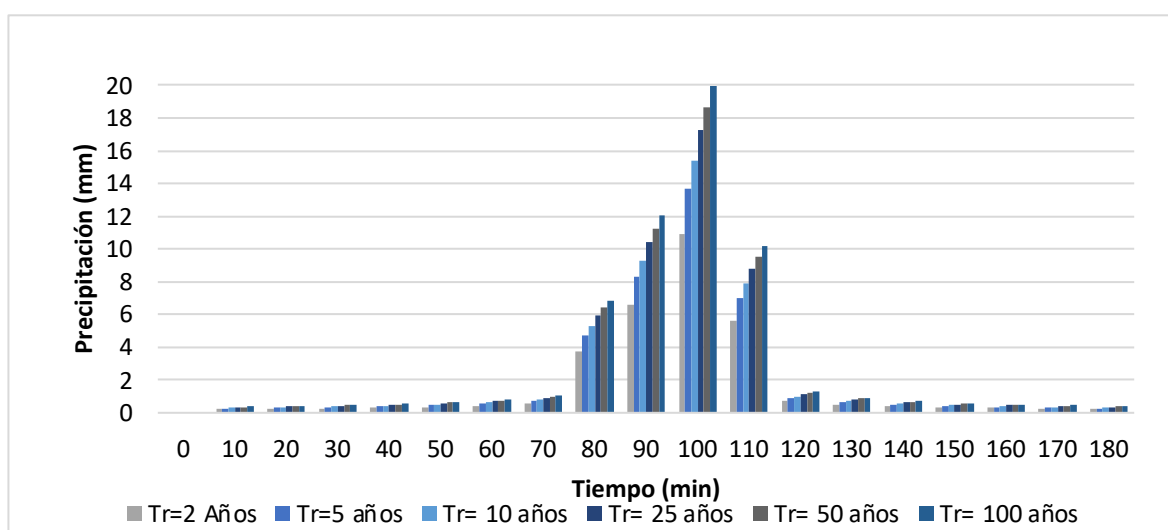


Figura 5. Hietogramas de precipitación asociados a periodo de retorno.
Fuente: elaboración propia.

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 ³ /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>