

AGUA, ENERGÍA Y MEDIOAMBIENTE



Joaquín Melgarejo Moreno
M^a Inmaculada López Ortiz
Patricia Fernández Aracil



AGUA, ENERGÍA Y MEDIO AMBIENTE

© los autores, 2022
© de esta edición: Universitat d'Alacant
ISBN: 978-84-1302-184-3

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 - EVALUACIÓN SOCIOECONÓMICA, JURÍDICA Y AMBIENTAL

Integración de la energía solar fotovoltaica en los esquemas de gestión del agua Miguel Ángel Pérez	23
Análisis tendencial del cambio climático registrado en las variables hidrológicas en España Luis Garrote, Álvaro Sordo-Ward, Javier Montalvo y Alberto González	35
Agua, agricultura y efectos económicos en el campo de Cartagena Alberto del Villar García y Marcos García López	55
Energía en el regadío y posibles actuaciones para reducirla Luis Juana y Raúl Sánchez	91
Herramientas y soluciones innovadoras para la gestión del nexo Agua-Energía-Alimentos- Ecosistemas: GoNEXUS Manuel Pulido-Velázquez, Héctor Macián-Sorribes y Sergio Segura	115
Sobreexplotación de acuíferos, subsidencia y su impacto en el riesgo de inundación. El caso paradigmático del Valle del Alto Guadalentín Javier Valdés, María I. Navarro-Hernández, Roberto Tomás, Serena Tessitore, Pablo Ezquerro y Gerardo Herrera	121
Eficiencia Energética y Sostenibilidad en Desalación Domingo Zarzo	139
Optimización energética en bombeo de aguas subterráneas Miguel Fernández-Mejuto y Héctor Fernández Rodríguez	153
Microgeneración y mejora de bombeos en redes de distribución de agua: un compromiso con la Sostenibilidad Camila Andrea García Rodríguez, Modesto Pérez-Sánchez, Francisco-Javier Sánchez-Romero y Petra Amparo López-Jiménez	171
Avances y limitaciones en el desarrollo de un gemelo digital del Mar Menor Javier Senent, Adrián López Ballesteros, Francisco José Segura Méndez, Anders Nielsen, Dennis Trolle, Salvador Peña-Haro y José María Cecilia	187
<i>Smart Metering</i> : las redes inteligentes al servicio del agua César Vázquez y Vicent Joan Martínez Soler	205
Proyecto NAIADES: un ecosistema para la digitalización del ciclo urbano del Agua Ignacio Casals, Manuel Ramiro, Juan Manuel Fernández Montenegro y Leonardo Alfonso	215
Solución al problema del agua y de la energía en España Francisco Javier Flores Montoya	237
Herramienta para la gestión de riesgos incorporando el impacto del cambio climático en infraestructuras críticas hidráulicas Ignacio Escuder y Adrián Morales Torres	271
Experiencias prácticas en la integración de la gestión del agua de lluvia en el paisaje urbano Sara Perales y Miguel Rico-Cortés	277
Cambio global y aguas subterráneas en un contexto de escasez y sequías David Pulido, Leticia Baena, Antonio Juan Collados, África de la Hera, Juan de Dios Gómez, José Luis García- Aróstegui, Francisco J. Alcalá y Juan Grima Olmedo	293

Posibilidades para la optimización y reducción del uso del agua y la energía en el riego de la zona mediterránea. Retos para su implementación Miguel Ángel Jiménez-Bello, Fernando Martínez-Alzamora, Juan Manuel Carricondo, Joan Carles Alonso Campos y Manuel Pulido-Velázquez	315
Instrumentos Innovadores para la Gestión Integrada de las Aguas Subterráneas en un contexto de escasez creciente de recursos hídricos (Proyecto Interreg Sudoeste AQUIFER) José Luis García Aróstegui et al.	335
Nueva dimensión en la gestión patrimonial de redes Raúl González.....	349
Nuevos retos de la reutilización Amador Rancaño Pérez, M ^a del Mar Micó Reche y Aina Soler-Jofra.....	359
Evaluación de la recarga del acuífero Solana. Análisis de escenarios de cambio climático María Alejandra Feinstein, Miguel Fernández Mejuto y José Miguel Andreu Rodes	381
Cálculo de la huella de carbono como herramienta de gestión ambiental. Caso de éxito de la EDARi Helados Alacant Mercedes A. Calzada Garzón, Juan Carlos Bugallo Tena, Elena Campos Pozuelo, Domingo Zarzo Martínez y Enrique Ortiz González	393
Reducción de boro en parcela mediante ósmosis inversa y resinas de intercambio iónico. Aspectos técnicos y económicos José Francisco Maestre Valero, Alberto Imbernón Mulero, Belén Gallego Elvira, Victoriano Martínez Álvarez y Bernardo Martín Górriz	403
Derechos de agua de riego diferenciados por su prioridad a nivel de cuenca José A. Gómez-Limón, Carlos Gutiérrez-Martín y Nazaret M. Montilla-López	413
Algoritmo de sincronización entre la energía consumida en una red de riego y producida por módulos solares fotovoltaicos Francisco José Navarro-González, Miguel Ángel Pardo, Housseem Eddine Chabour y Tarek Alksaif	425
Boro en la red de azarbes de la Vega Baja del Segura y el Baix Vinalopó (Alicante) Jose Navarro Pedreño, Teresa Rodríguez Espinosa, María Belén Almendro Candel, Ana Pérez Gimeno, Ignacio Gómez Lucas e Ignacio Meléndez Pastor	439
Tratamiento ecológico para la eutrofización y la anoxia en balsas de riego Ricardo Mateos Aparicio.....	451
Estimación de la movilización del suelo como efecto de la escorrentía en viñedos mediante ISUM (Improved Stock Unearthing Method) en el Sureste de España Antonio Jódar Abellán, Amparo Melián Navarro y Jesús Rodrigo-Comino.....	459
Estimación de la evapotranspiración real, escorrentía superficial y recarga de acuíferos mediante dos modelos hidrológicos en el Sureste de España Antonio Jódar Abellán, Ryan T. Bailey, Dámaris Núñez-Gómez, Pablo Melgarejo, Derdour Abdessamed y Pilar Legua.....	467
Cálculo de la evaporación de agua en la microcuenca agrícola del río Coñaque, Ecuador José Gerardo Becerra Carrión, Antonio Jódar Abellán y Miguel Ángel Pardo Picazo	479
Aplicación del método de precipitación rápida controlada para estudios del efecto del tratamiento electromagnético en agua de elevada dureza Sergio Martínez Moya, Nuria Boluda Botella, María Dolores Saquete Ferrándiz y Jaime García Quiles	491
Un modelo matemático para la gestión de riesgos Ramón Egea Pérez y Francisco J. Navarro González	499

Reducción del contenido en fósforo en aguas de riego mediante filtro verde construido con residuos Teresa Rodríguez Espinosa, Jose Navarro Pedreño, María Belén Almendro Candel, Ignacio Gómez Lucas, Ignacio Meléndez Pastor y Manuel Jordán Vidal	513
Casos de estudio de soluciones basadas en la naturaleza para la adaptación a las inundaciones en zonas agropecuarias María José Marcos Palacios y Esther Sánchez Almodóvar	525
Análisis hidrológico-edáfico para la gestión ambiental de un Sistema Léntico Artificial de alta montaña en Colombia Breiner Dan Bastidas Osejo, Antonio Jódar Abellán y Pablo Melgarejo	539
Evaluación del efecto del cambio climático en dos cultivos de secano en la provincia de Alicante Yailin Fernández González, Javier Valdes-Abellan, Marlon Mederos Corrales y Concepción Pla	551
Perspectiva de las partes interesadas en la gestión de las aguas subterráneas en cuatro cuencas mediterráneas bajo estrés hídrico: prioridades y desafíos Roberta Boni et al.	563
Estudio de los parámetros más relevantes en el periodo de amortización de un bombeo solar en la provincia de Alicante Héctor Fernández Rodríguez y Miguel Ángel Pardo Picazo	585
El impacto de la continuidad de negocio y la gestión del riesgo en el ciclo integral del agua. Caso de Estudio: Aguas Municipalizadas de Alicante, E. M. Andrés Miguel Roca Lloret, Andrés Pina Martínez, Manuel Latorre Gijón y Joaquín Marco Terrés	597
Inundaciones compuestas: modelación computacional en zonas urbanas-costeras Daniela Córdova de Horta	611
Análisis del ciclo de vida de la red de riego de la Universidad de Alicante Daniel Elie Benalcázar Murillo y Miguel Ángel Pardo Picazo	623
Conducción Júcar - Vinalopó: binomio Agua y Energía Estefanía Blasco Casal y Vicente José Richart Díaz	635

BLOQUE II - EVALUACIÓN SOCIOECONÓMICA, JURÍDICA Y AMBIENTAL

Construcción de una <i>Biblioteca de Mensajes</i> para la comunicación del riesgo de inundación Pablo Aznar-Crespo, Guadalupe Ortiz y Antonio Aledo	647
La relación agua, territorio y urbanismo en un nuevo escenario Rosa Arce	659
El binomio agua y energía: claves jurídicas para la transición a un sistema energético autosuficiente y sostenible Asensio Navarro Ortega y Estanislao Arana García	675
Economía circular y regulación de los lodos de EDAR Ángel Ruiz de Apodaca Espinosa	691
Efecto de los caudales ecológicos sobre la disponibilidad de agua en la España peninsular Álvaro Sordo, Paola Bianucci, Beatriz de Lama Pedrosa y Luis Garrote	715
Costes energéticos de la desalación Jaime Lora María, Fernanda López Pérez y Carlos Carbonell Alcaina	727
Uso eficiente del agua en el diseño y control del riego de jardines y zonas verdes: una experiencia formativa práctica Fernando Echarri	745

Los ingenieros en el suministro de agua potable en España (siglo XIX) Juan Manuel Matés-Barco	759
Economía circular en el ciclo del agua Fernando Morcillo Bernaldo de Quirós y Andrés Guerra-Librero Castilla	775
La recarga artificial como técnica resiliente ante el cambio climático. Aplicación a los parques naturales y masas de agua subterránea de la provincia de Alicante (España) José Manuel Murillo Díaz y Alberto Padilla	795
Análisis agronómico, económico y ambiental de distintos escenarios de sustitución de aguas del trasvase Tajo-Segura por agua marina desalinizada Victoriano Martínez, Bernardo Martín, José Francisco Maestre, Belén Gallego y Alberto Imbernón	819
El vencimiento de las concesiones hidroeléctricas y su nueva explotación José Antonio Blanco	841
La extinción y reversión de las concesiones hidroeléctricas (a propósito del Salto Lafortunada Cinqueta) Esteban Arimany	861
Governança da água e adaptação justa Carla Gomes y Luísa Schmidt	881
Proyecto <i>Life Baetulo</i> en Badalona: gestión operativa de crisis ante eventos climáticos Monste Martínez, Ángel Villanueva y Beniamino Russo	895
La degradación ambiental y sus implicaciones socioeconómicas en cultivos leñosos bajo un escenario climático difícil de predecir: el caso del viñedo mediterráneo de la provincia de Valencia..... Jesús Rodrigo-Comino, Andrés Caballero-Calvo, José María Senciales-González, Jesús Fernández-Gálvez y Artemi Cerdà	905
La utilización de paneles solares fotovoltaicos para reducir la factura energética del trasvase Tajo-Segura Marcos García, Borja Montaña Sanz y Joaquín Melgarejo Moreno	925
Perspectivas jurídicas del trinomio Agua-Energía-Cambio Climático Jesús Conde Antequera	941
Generación y eficiencia energética en el ciclo del agua urbana. Retos desde la óptica del Derecho..... Andrés Molina Giménez	959
El papel de la desalación frente a una demografía y demanda crecientes Borja Montaña Sanz, Marcos García-López y Joaquín Melgarejo Moreno	969
Sustentabilidad y gobernanza transnacional como fundamentos para la difusión de nuevas matrices energéticas Paulo Marcio Cruz y Maria Cláudia da Silva Antunes de Souza	989
La eficiencia energética del trasvase Tajo-Segura en comparación con sus posibles alternativas Marcos García-López, Borja Montaña Sanz y Joaquín Melgarejo Moreno	1001
Desarrollo de proyectos hidroeléctricos en Ecuador. Oportunidades frente a los conflictos socioambientales Andrés Martínez-Moscoso e Israel Castro-Enríquez	1011
Enseñar las inundaciones para incrementar la resiliencia socio-territorial. El <i>PATRICOVA</i> como recurso didáctico Álvaro-Francisco Morote	1023
Sostenibilidad y eficiencia hídrica en el «agroecosistema» de la Vega Baja del Segura: estudio histórico-jurídico y ambiental Francisco José Abellán Contreras	1033

Estimación de los sobrecostos producidos por las alternativas para paliar el déficit mediante el bombeo de agua desalinizada en la Demarcación del Segura José Alberto Redondo Orts, Joaquín Melgarejo Moreno y Patricia Fernández Aracil	1045
Nuevos métodos en marketing social para conseguir comportamientos proambientales Carla Rodríguez-Sánchez.....	1057
Aceitação social da reutilização de água para adaptação às alterações climáticas no sul europeu: uma análise de instrumentos políticos de Portugal e Espanha Marcella Conceição y Carla Gomes.....	1067
El derecho humano al agua. Alcances sobre la normativa internacional y peruana Flor Gianina Paucar Aedo.....	1079
Over-fertilising, water pollution and Climate Change: overview of the European and German regulatory framework Mariana Moreno Kuhnke y Josefina Lyda.....	1087
Eficiencia del riego por aspersión en la máquina de pivote central de la finca «El Marqués», Cuba Yoangel Jesu Miranda Agüero	1101
Evaluación de la calidad del riego para el cultivo de la patata en la cooperativa «Amistad Cubano-Búlgara», Cuba Heriberto Vargas Rodríguez, Caridad Sánchez Veranes y Fabienne Torres Menéndez	1111
Buenas prácticas medioambientales a implementar en la Unidad Empresarial de Servicios Técnicos (UEBIST) «Talleres y Desmonte Artemisa», Cuba Fabienne Torres Menéndez, Heriberto Vargas Rodríguez y Zulema Lombillo Laferte.....	1119
Educação ambiental e legislação ambiental: uma reflexão necessária na inserção dentro do ambiente escolar no ensino público Aline Hoffmann y Liton Lanes Pilau Sobrinho	1129
A regulação como mecanismo de proteção dos valores da livre iniciativa e da livre concorrência André Emiliano Uba.....	1137
El uso del instrumento de licencia por admisión y compromiso como medio para la necesaria desburocratización de la generación eléctrica en Brasil Alexandre Waltrick Rates	1149
Evaluación de la gestión y eficiencia de la actividad de riego en la UBPC Granja Arroyo, La Habana (Cuba) Daniel Acosta Rivero, Caridad Sánchez Veranes y María del Carmen Falcón Acosta.....	1157
Valoración económica de la producción agraria española en zonas inundables Adela Bellver Baca, Jesús Garrido Manrique, Margarita Navarro Pabsdorf y Eduardo Cuenca García.....	1169
Smart cities e a dignidade da pessoa humana no transtorno do espectro autista: experiências que vêm do sul do Brasil Liton Lanes Pilau Sobrinho, Vanessa Ramos Casagrande, Franco Scortegagna y Elys Marina Hack	1183
Legal issues of Chinese water rights system Yang Yang	1193
Inconstitucionalidad de la ley y del reglamento de recursos hídricos en Ecuador Luis Alfonso Castillo Vaca	1201
Regulamentação jurídica das águas subterrâneas no Brasil Denise Schmitt Siqueira Garcia y Heloise Siqueira Garcia	1213
Economía circular en el uso del agua en la Región de Murcia y en la Demarcación Hidrográfica del Segura José María Gómez Espín, José María Gómez Gil, Encarnación Gil Meseguer.....	1223

La desalinización como seguro hídrico en el Sureste Ibérico	
Encarnación Gil Meseguer, José María Gómez Gil, Ramón Martínez Medina, José María Gómez Espín	1233
Energía fotovoltaica y conducción Júcar-Vinalopó	
Vicente José Richart Díaz	1241

Evaluación del efecto del cambio climático en dos cultivos de secano en la provincia de Alicante

Yailin Fernández González

Máster Gestión Sostenible y Tecnologías del Agua, Universidad de Alicante, España
yailinfg@hotmail.es
<http://orcid.org/0000-0001-7263-7412>

Javier Valdes-Abellan

Dpto. Ing. Civil, Universidad de Alicante, España
javier.valdes@ua.es
<https://orcid.org/0000-0003-3570-4983>

Marlon Mederos Corrales

Doctorando de Agua y Desarrollo Sostenible, Universidad de Alicante, España
<https://orcid.org/0000-0003-2824-7569>
marlonmederos@gmail.com

Concepción Pla

Dpto. Ing. Civil, Universidad de Alicante, España
<https://orcid.org/0000-0002-4269-2426>
c.pla@ua.es

RESUMEN

Diversos factores como el aumento de la temperatura o la disminución de las precipitaciones han provocado un decrecimiento significativo en el agua disponible en el suelo. Esta situación se agrava en la provincia de Alicante donde las escasas lluvias y los altos valores de evapotranspiración, afectan considerablemente al sector agrícola. Según el Informe del Sector Agrario Valenciano 2020, en esta zona mediterránea se cultivan en secano cerca de 22 823 ha de aceituna de almazara y 88 ha de viñedo uva de mesa. En el presente trabajo se analiza el posible impacto de un grupo de escenarios climáticos sobre estos cultivos, que son de los más importantes de la mencionada provincia. Se simulan cuatro escenarios con base en el percentil 50 de las proyecciones de las Rutas Representativas de Concentraciones (RCP) del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) y un quinto escenario que caracteriza al clima actual. Todas son concebidas para un periodo de 100 años y modeladas en Hydrus. De esta forma, se obtiene una estimación del porcentaje de satisfacción para cada cultivo y las futuras afectaciones económicas que podrían tener si no se formulan estrategias que frenen la alarmante situación.

1. INTRODUCCIÓN

Las llamadas olas de calor producto del aumento de la temperatura unidas a la disminución notable de las precipitaciones han causado una reducción del agua disponible en el suelo. Según Delgado (2021), es más frecuente la elevación de los valores de la evapotranspiración, así como la escasez de las lluvias. Uno de los campos más afectados por esta preocupante situación a causa del cambio climático es el sector agrícola en la zona del Mediterráneo. Se ha visto sensiblemente afectada por lo anteriormente descrito, la provincia más meridional de la Comunidad Valenciana, Alicante, con unos 5.816 km² de extensión (Melgarejo Moreno y Fernández Mejuto, 2020). Esta provincia se encuentra bajo un déficit estructural debido, entre otras causas, a las escasas precipitaciones al sureste de la región. El clima que predomina es el mediterráneo con variados inviernos y veranos calurosos. En la mayor parte del territorio alicantino, cada año las precipitaciones medias no superan los 350 mm, según el Libro Blanco del Agua en España 2000 y los informes del Sector Agrario Valenciano 2020. A esto se le deben sumar las afectaciones provocadas por el fenómeno meteorológico de depresión aislada en niveles altos o baja segregada. Lo cual provoca que las fuertes lluvias en cortos periodos de tiempo hagan circular el agua a gran velocidad, generando una alta escorrentía y baja infiltración.

La provincia de Alicante cuenta con una producción agrícola destacada, tanto en regadío como en secano. Los principales cultivos leñosos del último quinquenio son el olivar aceituna de almazara y viñedo uva de mesa, según la Encuesta sobre Superficies y Rendimientos, publicados por el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación del Gobierno de España (Ministerio de Agricultura, 2020). Con respecto al olivar España ocupa el décimo lugar atendiendo al área de plantación, reportando una superficie de 22.823 ha y un rendimiento de 1,35 t/ha, convirtiéndola en el primer productor mundial y exportador más importante de aceite de oliva. Por otro lado, el viñedo abarca cerca de 88 ha, reportando un rendimiento de 7,5 t/ha. En ambos cultivos se ha apreciado un incremento de la superficie cultivada respecto a años anteriores.

El temor a que se vea afectada la producción y rentabilidad de la siembra debido a las desfavorables condiciones del cambio climático, genera la necesidad de llevar a cabo una estimación del impacto en la agricultura de estas nuevas condiciones medioambientales. Se hace imprescindible formular estrategias, campañas y planes que aseguren el rendimiento de estos cultivos de secano. Según Delgado (2021), se deben crear, además, variedades de plantaciones que se adapten al nuevo clima o de ser necesario, realizar cambios de fecha de las cosechas.

La presente investigación propone un acercamiento al impacto económico que provoca la disminución de la pluviometría y el aumento de las temperaturas en dos de los principales cultivos de secano en la provincia de Alicante. Específicamente centrada en el análisis del olivar aceituna de almazara y del viñedo uva de mesa, se realiza la modelación hidrodinámica en el software Hydrus 1D. Se emplea una serie temporal real y cuatro sintéticas para estimar la variabilidad de los eventos y se cuantifican para conocer su impacto económico en el sector agrario atendiendo a los distintos escenarios.

2. Metodología

2.1. Escenarios de cambio climático considerados

Son considerados cuatro escenarios sintéticos, cuatro basados en el percentil 50 incluidos en el quinto informe de evaluación del IPCC, denominados: RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 y RCP8.5. Estas variantes encuentran su denominación en la Trayectoria de Concentración Representativas, con 4 niveles que oscilan entre 2,6 y 8,5 W/m². Los resultados de cada escenario indican que, para el año 2100 la concentración de CO² superará a la actual (IPCC, 2013) y tendrá una marcada influencia en el aumento de las temperaturas y en la disminución de las precipitaciones. El quinto escenario, denominado RCP0.0, es una serie histórica que caracteriza al clima actual y permite la comparación con las proyecciones futuras.

El IPCC incluye en el informe antes mencionado un Atlas en el que se divide en 70 regiones al planeta Tierra, detallando el pronóstico del cambio climático. Se muestran variaciones para cada escenario en la precipitación y la temperatura. Un conjunto de modelos climáticos globales, desarrollado por diferentes grupos de investigación a nivel mundial, fueron unidos para realizar la estimación (IPCC, 2013; Valdés-Abellán, 2020). En la Figura 1 y Tabla 1 se ilustran los efectos proyectados para la Región Mediterránea en cuanto a las variaciones de las temperaturas y precipitaciones.

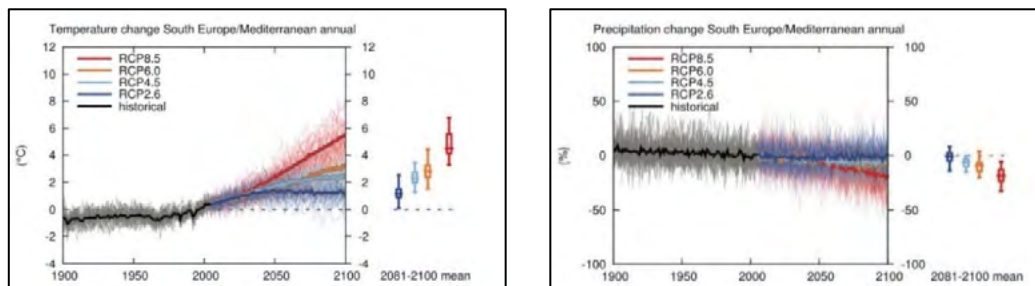


Figura 1. Aumento de la temperatura (°C) y la variación porcentual de precipitaciones para la región del sur de Europa para el período 2081-2100. Fuente: Informe del IPCC (2013) para el percentil 50 de los modelos climáticos incluidos en el Proyecto CMIP5.

	Temperature (°C)				Precipitation (%)	
	Dec-Jan-Feb	Mar-Apr-May	Jun-Jul-Aug	Sep-Oct-Nov	Oct-Mar	Apr-Sep
RCP2.6	1.1012	1.1376	1.4127	1.2451	0.0000	-1.5900
RCP4.5	1.9861	2.1428	2.7677	2.3909	-3.6600	-10.8800
RCP6.0	2.3470	2.4244	3.5376	2.9796	-5.0500	-14.7100
RCP8.5	3.8114	4.2282	5.9549	4.6755	-12.2200	-24.0300

Tabla 1. Aumento de la temperatura (°C) y la variación porcentual de precipitaciones para la región del sur de Europa para el período 2081-2100. Fuente: Informe del IPCC (2013) para el percentil 50 de los modelos climáticos incluidos en el Proyecto CMIP5.

La estación meteorológica 8025- Ciudad Jardín (38 ° 22'18.8" N, 0 ° 29'39.8" W) tiene la serie temporal más larga de la provincia de Alicante, por tanto, los datos meteorológicos que conforma las series sintéticas se obtuvieron de esta (Valdés-Abellán, 2020). El método de cadena de Markov de dos estados y otros métodos estadísticos han sido empleados para ejecutar la modelación y calibración de los modelos. Los resultados obtenidos corresponden a un tiempo de 100 años y al comportamiento de las variables precipitación, temperatura máxima y mínima (Valdés-Abellán, 2020).

2.2. Simulación numérica del flujo de agua en el suelo

Se ha empleado el software MATLAB © para facilitar el orden y procesamiento estadístico de los datos. Por otro lado, mediante el programa Hydrus-1D se puede analizar el movimiento en una dimensión de agua en medios porosos con diferente grado de saturación. Hydrus-1D maneja dominios de flujo delimitados por límites irregulares. Suelos no uniformes con un grado arbitrario de anisotropía local pueden componer la región de flujo. Este programa puede manejar, por un lado, un límite a través del cual el agua sale de la parte saturada del dominio de flujo y, además, condiciones de límite de drenaje libre (Šimunek, 2013). La ecuación gobernante que resuelve Hydrus-1D es la ecuación de Richards para el flujo de agua saturada - insaturada. La ecuación de flujo incorpora un término de sumidero para tener en cuenta la absorción de agua por las raíces de las plantas (Šimunek, 2013), como se muestra a continuación:

$$\frac{\delta\theta}{\delta t} = \frac{\delta}{\delta x_i} \left[K \left(K^A_{ij} \frac{\delta h}{\delta x_j} + K^A_{ij} \right) \right] - S$$

donde θ es el contenido volumétrico de agua (L^3L^{-3}), h es el potencial de succión (L), S es el término sumidero para la evapotranspiración (T^{-1}), x_i ($i=1,2$) y x_j son las coordenadas espaciales (L), t es el tiempo (T), K^A_{ij} son componentes de un tensor adimensional de anisotropía KA y K es la función de la conductividad hidráulica insaturada (LT^{-1}).

Se cuenta con los datos de precipitación, temperatura máxima, media, mínima, rocío, radiación solar extraterrestre para 30° latitud Norte y velocidad del viento. La metodología propuesta por la FAO es empleada para el cálculo de la transpiración y la evaporación potencial de los cultivos, como se muestra en la siguiente figura:

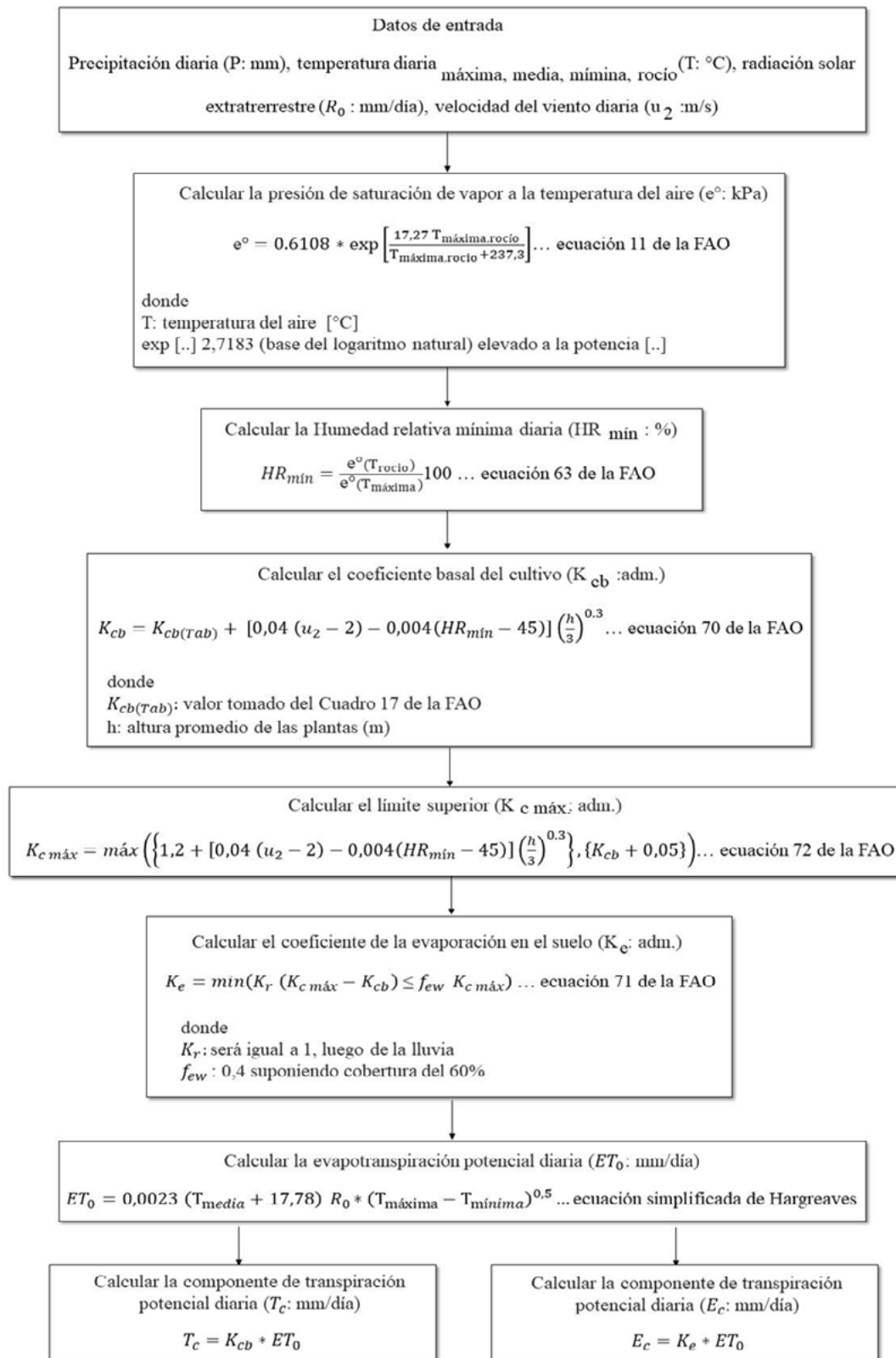


Figura 2. Procedimiento para el cálculo de la transpiración y evaporación potencial.

La definición de los principales procesos que se deben considerar para conocer el flujo y la absorción del agua a través de las raíces de cada cultivo, deben ser definidos, como punto de partida, si se pretende elaborar el modelo de simulación de flujo de agua en una zona no saturada. El perfil del suelo tiene una profundidad total de 200 cm y tres capas dispuestas de manera horizontal. El modelo para la obtención de las propiedades del suelo se extrajo de un trabajo de campo en una parcela experimental representa-

tiva de 9 x 5 m² de Alicante. El modelo utilizado en el presente trabajo se corresponde con un perfil real típico de la provincia de Alicante. Este modelo fue calibrado y validado en estudios previos utilizando datos de campo (Valdés-Abellán, 2017). La temperatura, altura de presión y el contenido de agua fueron monitoreadas con sensores a profundidades de 1 cm y 20-60 cm y 20-120 cm, respectivamente.

Con el Hydrus 1D es simulado el flujo de agua, mediante la ecuación de Richards y las propiedades del suelo son definidas mediante Genuchten-Mualem. Las constantes de equilibrio de las fases minerales y del suelo son consideradas para el transporte de calor; por otro lado, el perfil se calculó según (Wissmeier, 2009).

Las propiedades físicas e hidráulicas del perfil del suelo seleccionado se muestran en la siguiente tabla:

Capa	1	2	3
Profundidad	0-5,0 cm	6,0-39 cm	40-200 cm
Textura	Marga arcillosa	Franco arenoso	Marga
Porosidad (%)	47	41	44
θ_s (cm ³ cm ⁻³)	0,48	0,39	0,41
θ_r (cm ³ cm ⁻³)	0,04	0,15	0,15
α (cm ⁻¹)	5,11 *10 ⁻³	2,47 *10 ⁻²	1,66 *10 ⁻²
N (-)	1,90	1,48	1,42
Ks (cm día ⁻¹)	5,9	50	60,9

Tabla 2. Propiedades físicas e hidráulicas del suelo previamente validadas y calibradas. Fuente: Valdés-Abellán (2017).

El modelo analítico seleccionado para simular el flujo de agua en zona no saturada es el de van Genuchten-Mualem, que es un modelo de porosidad simple en el que no se considera la histéresis. Por otro lado, el modelo para realizar la simulación de la absorción del agua a través de las raíces es el de Feddes. Para este modelo, la condición de frontera como límite superior es la atmosférica donde se insertan variables como: precipitación, radiación solar, temperatura máxima y mínima. Con esta condición se asegura que se acumule el agua en la superficie, provocando que la altura de la lámina de agua aumente con la precipitación y disminuya con la infiltración y la evaporación. Por otro lado, se establece con un valor de 20 cm la altura máxima del agua antes de iniciar el proceso de simulación. Los datos introducidos corresponden a un registro total de 36.500 días. De esta forma, se asume como condición de límite inferior el drenaje libre debido a que el nivel freático está muy por debajo del dominio.

2.3 Salidas del modelo

Del modelo MATLAB se obtienen valores medios en los 5 escenarios durante el periodo de 100 años, para las variables: precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima con el objetivo de comparar y conocer los porcentajes de reducción respecto al escenario actual. Se espera que dichas variables tengan un descenso significativo en los escenarios futuros respecto al actual. Con los datos de entrada facilitados al Hydrus 1D, se adquiere como resultado de salida la componente real de evaporación y transpiración en función del estado de humedad del suelo de los cultivos analizados. Posteriormente se calcula la evapotranspiración real y el porcentaje de satisfacción en los 5 escenarios durante el periodo de 100 años.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis de las variables precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima

Como resultado de la representación de los valores medios mensuales de precipitación de cada uno de los escenarios estudiados para una serie sintética de duración de 100 años, se evidencia un ligero aumento de las precipitaciones a inicios de año y un comportamiento decreciente en los meses de abril a julio, como se muestra en la Figura 3. Se aprecia cómo a partir del mes de agosto la tendencia es creciente hasta alcanzar los valores ° en los meses de septiembre y octubre. En los meses de invierno tiende a la media anual. Por ende, el rango de precipitación mensual de los escenarios se encuentra entre 2,0 mm y 50 mm, valores que son escasos según los requerimientos mensuales del olivar aceituna de almazara y de la viña uva de mesa.

La media de la precipitación por escenario se entiende que no supera los 330 mm en el escenario actual y decrece de manera escalonada hasta el escenario RCP8.5 donde alcanza 268 mm. En la Figura 4 se aprecia que el escenario RCP2.6 no muestra un gran cambio en la disminución de las precipitaciones, solo un 0,7%, sin embargo, los escenarios RCP4.5, RCP6.0 y RCP8.5 alcanzan valores representativos 7%, 10% y 18% respectivamente, lo que podría repercutir significativamente en la productividad de los cultivos en análisis ya que se encuentran por debajo de su necesidad hídricas anual.

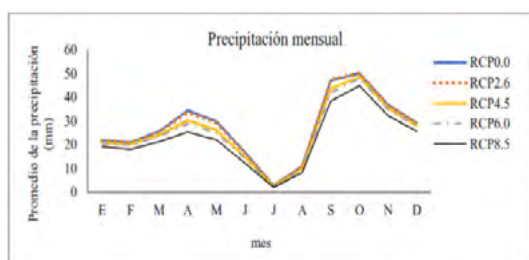


Figura 3. Valores medios mensuales de precipitación para cada escenario.

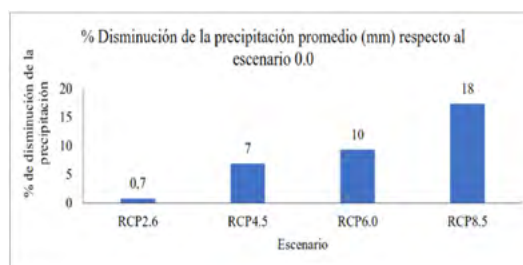


Figura 4. Porcentaje de disminución de cada escenario, respecto al escenario 0.0.

Con respecto a las temperaturas máximas y mínimas mensuales de los cinco escenarios, durante todo el año estas sobrepasan los 20 °C, clima que no es el idóneo para el desarrollo de la vid. Se observa en la Figura 5, cómo durante los meses de julio y agosto son prácticamente constantes, observándose un pico de 35 °C en el caso del escenario RCP0.0 y uno de 40 °C en el escenario RCP8.5, por lo que es posible que el cultivo del olivar se vea afectado. En los meses de septiembre a diciembre, el comportamiento es decreciente y las temperaturas varían entre los 25 °C y 40 °C, pero son meses menos representativos para los cultivos. En cuanto al gráfico de las temperaturas mínimas, hay que destacar que, ni en el escenario más crítico la media se encuentra por debajo de 0 °C, situación que es favorable para ambos cultivos. Aunque, en los meses de marzo a junio es necesario mantener un control de las plantaciones ya que las temperaturas oscilan entre los 3 °C y 10 °C y se encuentran fuera del rango de las óptimas. En ambos gráficos se observa una intensificación de las diferencias entre las temperaturas de verano e invierno.

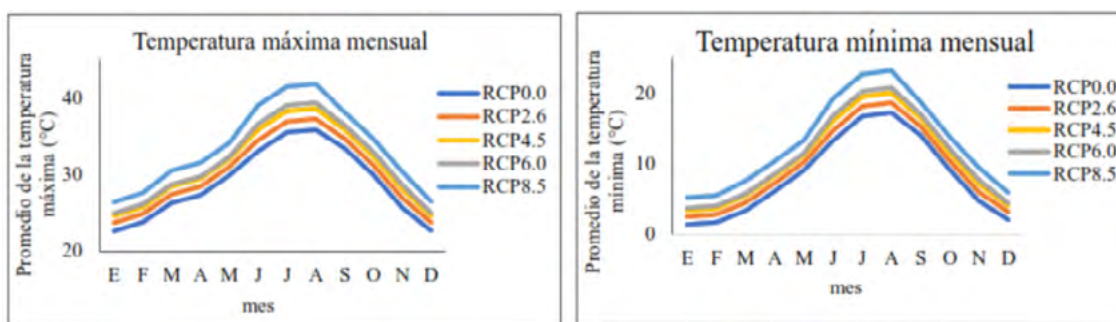


Figura 5. Media de las temperaturas máximas y mínimas mensuales de los cinco escenarios.

Al analizar la media de las temperaturas máximas y mínimas para cada escenario, en ambos casos las variables tienden a aumentar. Los valores medios de la temperatura máxima se encuentran en el rango de 28 °C y 33 °C; mientras que, los mínimos están entre 8 °C y 13 °C. Como se muestra en la Figura 6, al comparar el porcentaje de cambio de los escenarios respecto al escenario RCP0.0, se observa en la media de las temperaturas mínimas variaciones de 4%, 8%, 10% y 16% en los escenarios RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 y RCP8.5 respectivamente. Sin embargo, la variación de la media de la temperatura máxima es más pronunciada. El escenario RCP2.6 alcanza un 20% y en el RCP8.5 la diferencia es del 44%, casi la mitad de las temperaturas actuales, lo que demuestra un calentamiento.

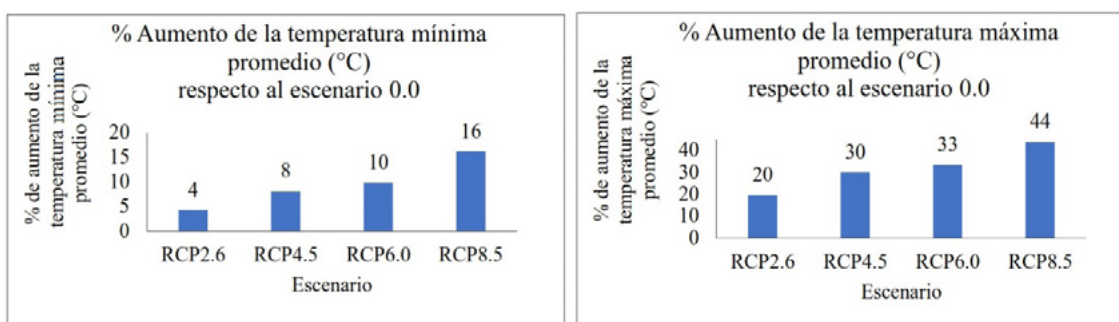


Figura 6. Porcentaje de cambio de los escenarios respecto al escenario RCP0.0.

3.2. Evapotranspiración de los cultivos

Debido a la disminución de las lluvias y al aumento esperado de las temperaturas, la demanda de agua de los cultivos será mayor de manera significativa en el área de estudio, como se puede observar en la Figura 7. Este aumento representado por la evapotranspiración potencial (ET_0), no quedará satisfecho totalmente en las posibles variaciones del clima ya que se espera una disminución del contenido medio de agua del suelo (Kardol, 2011); además, la ET_0 tiene un comportamiento creciente en los escenarios de mayor cambio climático como consecuencia del aumento en la temperatura. Seguidamente, el valor real de la evapotranspiración anual del cultivo (ET_c) es de 232 mm en el escenario RCP0.0, y disminuye a 227, 208, 201 y 175 mm en los escenarios RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0, RCP8.5 respectivamente para el olivar aceituna de almazara. En la viña uva de mesa el comportamiento es similar, alcanza valores de 232, 227, 209, 202 y 175 mm en cada escenario.

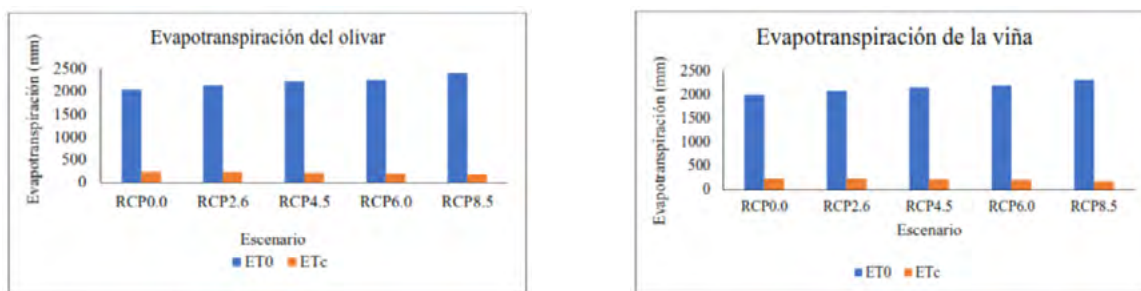


Figura 7. Evapotranspiración potencial y real del olivar aceituna de almazara y de la viña uva de mesa.

3.3. Porcentaje de satisfacción, producción y rendimiento económico del olivar aceituna de almazara

En la Figura 8 se observa el porcentaje de satisfacción para el cultivo olivar para aceituna de almazara. Los 5 meses con mayor satisfacción en orden descendiente son diciembre, enero, noviembre, octubre y febrero. En función de la importancia de los periodos fenológicos en los que el cultivo tolera déficit hídrico y el efecto que ocasiona según el aporte mensual (Benito, 2020) es necesario destacar que, en dichos meses puede que el cultivo no sufra alteraciones en su crecimiento ni en el número de flores, por lo que se garantiza un gran porcentaje de producción y no ocurren lastres magnificados en la cosecha. Sin embargo, en los meses de mayo, junio y julio, por el bajo porcentaje de satisfacción reportado, hay una alta probabilidad de que aumente el fenómeno de la vejería alternancia de cosecha y disminuya la floración, cuajado, formación del fruto y contenido de aceite. El mes de agosto es el segundo con menor porcentaje de satisfacción, pero no es de destacar ya que su efecto sobre la planta no debe ser negativo debido a la insensibilidad al estrés hídrico que muestra el olivar durante este tiempo.

En la Figura 9 se observa cómo en los escenarios más agresivos, RCP6.0 y RCP8.5, el porcentaje de diferencia de la demanda de agua satisfecha, respecto al escenario RCP0.0 es el 26% y el 42%. Quiere decir que, en estos casos la precipitación no es efectiva para cargar el perfil del suelo, los niveles de temperatura y alta demanda del cultivo influyen en el aumento del estrés hídrico. En el caso de la producción agrícola se debe recurrir al aporte de agua mediante el riego, como variante para conseguir la cosecha deseada. Hay que destacar que, entre el escenario RCP4.5 Y RCP6.0 existe sólo una diferencia del 5%. Si el olivar para tener un buen rendimiento en parte de la temporada invierno-primavera requiere un 100% de la ETc de aporte de agua y en los escenarios RCP4.5, RCP6.0 y RCP8.5 sólo podrá recibir menos de la mitad, la cosecha se verá severamente afectada.



Figura 8. Porcentaje de satisfacción medio del olivar aceituna de almazara.



Figura 9. Porcentaje de disminución de la satisfacción respecto al escenario RCP0.0 del olivar aceituna de almazara.

A partir de la producción final, del rendimiento del cultivo y del precio medio del producto en la campaña 2020/2021 (Ministerio de Agricultura, 2020) se determina en cada escenario la producción y el valor económico total de su venta. En la Figura 10 se observa que, la producción de olivar aceitunas de almazara en el escenario actual (RCP0.0) es de 30 mil toneladas con una venta de 69 millones de euros. Las pérdidas estimadas de producción en la provincia de Alicante, en caso de encontrarnos en uno de los escenarios de cambio climático serían del 7%, 21%, 26% y 42% en el RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 y RCP8.5 respectivamente. Considerando que España es el principal país productor y exportador de aceite de oliva del mundo las pérdidas en las ventas por las bajas cosechas estarían entre 397 millones/€ en el escenario RCP2.6 y 2.393 millones/€ en el RCP8.5.

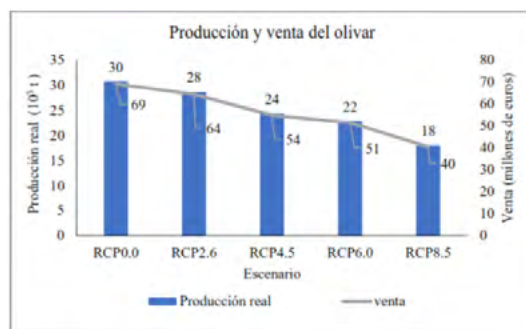


Figura 10. Producción en toneladas de la cosecha olivar aceituna de almazara y venta en millones de euros según el precio del mercado actual.

3.4. Porcentaje de satisfacción, producción y rendimiento económico de la viña uva de mesa

En la Figura 11 se observa el porcentaje de satisfacción para el cultivo viña uva de mesa. Los 5 meses con mayor satisfacción en orden descendente son: enero, febrero, noviembre, diciembre y marzo. En estos meses la escasez de agua no afecta de manera severa al cultivo ya que se encuentra en la fase de reposo, aunque sí se debe llevar a cabo una vigilancia para evitar el exceso de agua que provoque marchitez y hongos. El trimestre junio, julio, agosto presenta un menor porcentaje de satisfacción, sobre todo el mes de julio, donde son casi nulos. En este periodo es cuando ocurre la mayor demanda de agua por lo que la viña uva de mesa podría presentar un escaso desarrollo en el área foliar, disminución de la calidad y el desarrollo de las bayas. En los meses de septiembre y octubre la satisfacción es mayor que durante el verano, pero no suficiente para evitar, en las plantaciones con menor reserva de agua, la caída prematura de las hojas y un adelanto en el agotamiento de los tallos.

En la Figura 12 se observa cómo, en los escenarios más agresivos (RCP6.0 y RCP8.5), el porcentaje de diferencia de la demanda de agua satisfecha, respecto al escenario RCP0.0 es del 27% y del 43%. Si la viña en verano y otoño requiere entre un 42-45% de la ETc de aporte de agua, en los escenarios RCP4.5 y RCP6.0 recibirá la mitad de lo que necesita. Por esta razón el rendimiento estará muy por debajo del óptimo. Se considera oportuno mencionar que, en el escenario más crítico la satisfacción será prácticamente nula.



Figura 11. Porcentaje de satisfacción medio de la viña uva de mesa.



Figura 12. Porcentaje de disminución de la satisfacción respecto al escenario RCP0.0 de la viña uva de mesa.

Teniendo en cuenta los datos actualizados de producción final, del rendimiento del cultivo y del precio medio del producto de la campaña 2020/2021 (Ministerio de Agricultura, 2020), se determina en cada escenario la producción y el valor económico total de su venta. En la Figura 13 se observa que, la producción de la viña uva de mesa en la provincia de Alicante, en el escenario actual (RCP0.0) es de 660 toneladas y genera una venta de 330 mil euros. Las pérdidas estimadas de producción en caso de encontrarnos en uno de los escenarios de cambio climático serían del 6%, 21%, 27% y 43% en el RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 y RCP8.5 respectivamente. A escala de país las pérdidas en las ventas por las bajas cosechas estarían entre 292 mil/€ en el escenario RCP2.6 y 2,11 millones/€ en el RCP8.5.

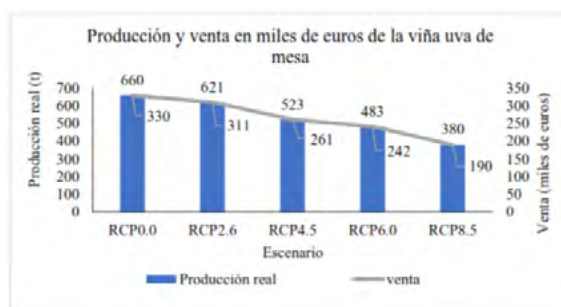


Figura 13. Producción en toneladas de la cosecha viña uva de mesa y miles de euros según el precio del mercado actual.

4. CONCLUSIONES

Las precipitaciones medias anuales tendrán un descenso entre el 0,7% y 18%. Sin embargo, en el caso de las temperaturas mínimas medias anuales, estas aumentarán entre un 4% y 16%; mientras que, el aumento de las temperaturas máximas medias anuales será mucho más pronunciado, entre 20% y 44%.

Las grandes diferencias entre la ET_0 y ET_c de cada cultivo demuestran una vez más cómo el aumento de las temperaturas debido al cambio climático potencia la demanda de agua de la planta y disminuyen su disponibilidad por las escasas precipitaciones. La ET_0 del olivar aceituna de almazara aumenta su valor entre un 5% y 15% respecto al escenario RCP0.0. La ET_c muestra un comportamiento decreciente variando entre 232 mm y 175 mm en los distintos escenarios. En el caso la viña uva de mesa, la ET_0 aumenta su valor entre un 4% y 14% respecto al escenario RCP0.0 y la ET_c disminuye a medida que empeora el clima, variando de 232 mm a 175 mm.

En el olivar de aceituna de almazara durante los meses de mayo, junio y julio, hay una alta probabilidad de que aumente la alternancia y disminuya la floración, y contenido de aceite debido al bajo porcentaje de satisfacción. El porcentaje de disminución de la satisfacción respecto al escenario RCP0.0 es del 7%, 21%, 26%, 42% en los casos de RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 Y RCP8.5 respectivamente. En la viña uva de mesa los meses de junio, julio y agosto se presentan los menores porcentajes de satisfacción, sobre todo el mes de julio, por lo que el cultivo podría presentar un escaso desarrollo en el área foliar, disminución de la calidad y el desarrollo de las bayas. Los meses septiembre y octubre la satisfacción es mayor que durante el verano, pero no suficiente para la caída prematura de las hojas y además un adelanto en el agostamiento de los tallos. El porcentaje de disminución de la satisfacción respecto al escenario RCP0.0 fue del 6%, 21%, 27%, 43% en los casos de RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 Y RCP8.5 respectivamente.

Tanto la producción como la venta de ambos cultivos en la provincia de Alicante se verá mermada debido a la influencia del cambio climático. En el olivar aceituna de almazara, de 30 mil toneladas producidas en el escenario actual se pasa a 28, 24, 22 y 18 toneladas en los respectivos escenarios RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 y RCP8.5. Las ventas bajan de 69 millones de euros a 64, 54, 51, 40 millones de euros según cada variante. Esto representa una pérdida para España entre 397 y 2 393 millones de euros.

En el cultivo viña uva de mesa se producen 660 en el escenario RCP0.0 toneladas, sin embargo, en el resto de los escenarios desciende a 621, 523, 483, 380 toneladas. Las ventas en el escenario actual al-

canzan los 330 miles de euros y 311, 261, 242, 190 miles de euros en los escenarios RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 Y RCP8.5. Debido a esto España dejaría obtener 292 miles de euros y 2,1 millones de euros.

La información precedente demuestra el gran interés de tipo económico, social y gastronómico que tienen los cultivos analizados por lo que es necesario tomar medidas contra el cambio climático o mecanismos que agrarios que garanticen las cosechas en el crítico periodo alertado que se aproxima. La falta de agua para uso agrario repercute negativamente en la economía de la provincia.

REFERENCIAS

- Benito, J. T., Cecilia, M. H., & Ruiz, J. P. (2020). Evolución del coeficiente de cultivo y necesidades hídricas de un olivar super intensivo en riego a demanda. Consejería de agricultura, desarrollo rural, población y territorio.
- Delgado, B. (2021). El futuro que les espera a los agricultores: olas de calor, sequías y eventos extremos por culpa del cambio climático. <https://agroinformacion.com/el-futuro-que-les-espera-a-los-agricultores-olas-decalor-sequias-y-eventos-extremos-por-culpa-del-cambio-climatico/?cn-reloaded=1>.
- IPCC. (2013). Climate change 2013: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
- Kardol, P., Reynolds, W. N., J.Norby, R., & T.Classena, A. (2011). Climate change effects on soil microarthropod abundance and community structure. *Appl. Soil Ecol*, 47, 37-44.
- Melgarejo Moreno, J., & Fernández Mejuto, M. (2020). El agua en la provincia de Alicante. Diputación provincial de Alicante.
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. (2020). Encuesta sobre superficies y rendimientos de cultivos. Resultados nacionales y autonómicos. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- Šimunek, J., Šejna, M., Saito, H., Sakai, M. & Genuchten, M. T. V. (2013). The Hydrus-1D Software Package for Simulating the One-Dimensional Movement of Water, Heat, and Multiple Solutes in Variably-Saturated Media in: Riverside. D. O. E. S. U. O. C.
- Valdés-Abellán, J., Jiménez-Martínez, J., Candela, L., Jacques, D., Kohfahl, C., & Tamoh, K. (2017). Reactive transport modelling to infer changes in soil hydraulic properties induced by non-conventional water irrigation. *Journal of Hydrology*, 549, 114-124.
- Valdés-Abellán, J., Pardo, M.A., Jodar-Abellán, A., Pla, C., & Fernández Mejuto, M. (2020). Climate change impact on karstic aquifer hydrodynamics in southern europe semi-arid region using the KAGIS model. *Science of The Total Environment*, 723.
- Wissmeier, L., & Barry, D. A. (2009). Effect of mineral reactions on the hydraulic properties of unsaturated soils: model development and application. *Adv. Water Resour*, 32(8), 1241-1254.