



<http://opn.to/a/FLx8Z>

ARTÍCULO ORIGINAL

El recurso hídrico ante el cambio climático, distrito de riego del río Soto La Marina

Water resource in the face of climate change in the irrigation district of the Soto La Marina River

Rocío del Carmen Vargas-Castilleja^{*}, Julio Cesar Rolón-Aguilar¹, Ricardo Tobías-Jaramillo¹, Gerardo Sánchez- Torres Esqueda¹¹

¹ Universidad Autónoma de Tamaulipas, Facultad de Ingeniería Arturo Narro Siller, Tampico, Tamaulipas, México.

¹¹ Ingenieros Sin Fronteras México, A.C.

RESUMEN. El manejo del agua en las zonas cultivables con riego representa la base de las buenas prácticas para el aprovechamiento del recurso agua. Una de las problemáticas en los distritos de riego es la baja productividad del agua, la cual se encuentra en función de las condiciones meteorológicas, de las fenologías de los cultivos, pero también de las malas prácticas en la eficiencia de la conducción. Es imperativo considerar escenarios futuros de precipitación mensual si la oferta de agua disminuyera y los requerimientos para los distritos aumentarían. El objetivo de la investigación fue analizar la situación en la conducción y políticas en el manejo del agua del Distrito de Riego 086 Río Soto La Marina, considerando los escenarios de cambio climático para la precipitación si la temperatura global aumentara 1.5 °C y 2 °C para el Modelo GFDL-CM3, para los escenarios RCP 4.5 y 8.5 W/m². Adicionalmente se aplicó el Método del SCS para estimar la conversión de la lluvia en escurrimiento con y sin cambio climático. La superficie regable del DR es de 35,925 ha con un volumen concesionado de 235.6 Mm³, una lámina de lluvia media de 65 cm y 3 165 usuarios. Se destaca que para el mes de enero el clima base en la serie 1950-2000 del WorldClim es de 35.56 mm y el escenario de cambio a 1.5 °C registra un impacto de -96.45 % de lluvia para el RCP 4.5 W/m². Se resalta que la precipitación acumulada anual tendrá un decremento del 14 % para la zona de estudio. Lo anterior indica la pertinencia de replantear los planes de riego, las técnicas y las concesiones de agua para mitigar los efectos del cambio climático.

Palabras clave: recurso hídrico, cambio climático, Río Soto la Marina.

ABSTRACT. Water management in the arable irrigated areas represents the base of the good practices in the employment of water resources. One of the problems in the irrigation districts is the low productivity of the water, which is in function of the meteorological conditions, of the phenology of the crops, but also of the bad practices in the efficiency of the water conduction. It is imperative to consider future scenarios of monthly precipitation if the water offer diminished and the requirements for the districts increased. The objective of the research was to analyze the situation in the conduction and policies in water handling of the Irrigation District 086 Río Soto La Marina, considering the scenarios of climatic change for the rainfalls if the global temperature increased 1.5 °C and 2 °C for the Model GFDL-CM3, for the scenarios RCP 4.5 and 8.5 W/m². Additionally the Method of the SCS was applied to estimate the conversion of the rain in run-off with and without climatic change. The irrigable surface of the Irrigation District is of 35,925 ha with a licensed volume of 235.6 Mm³, a mean sheet of rain of 65 cm and 3 165 users. It is important to point out that in January the climate base on the series 1950-2000 of the WorldClim is 35.56 mm and the scenario of change to 1.5 °C registers an impact of -96.45 % rainfalls for the RCP 4.5 W/m². It is emphasized that the precipitations yearly accumulated will have a decrement of 14 % for the study area. The above-mentioned indicates the relevancy of restating the irrigation plans, the techniques and the water licenses to mitigate the effects of the climatic change.

Keywords: water resource, climate change, Soto La Marina River.

^{*} Autor para correspondencia: Rocío del Carmen Vargas Castilleja, e-mail: rocvargas@docentes.uat.edu.mx

INTRODUCCIÓN

El agua para la agricultura en México representa casi el 70%, mientras que el 13% del suelo está dedicado a ella, la actividad agrícola representa el 3.6% del PIB en el 2015 y los cultivos que predominan es la caña de azúcar, el sorgo, cítricos, chile verde, trigo, papa, jitomate, entre otros. El agua destinada al riego tiene una eficiencia de tan sólo 46% y la superficie regable representa una tercera parte de la agricultura, produciendo más del 50% de la producción agrícola (González, 2017). Las expectativas de crecimiento de las actividades agrícolas para junio del 2018 con base en el Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) es del 3.3% SAGARPA (2018) en contraparte, para el 2050 la población en México aumentará un 33%, esto es más población, mayor demanda, la cual se verá exacerbada por los efectos del cambio climático y con ello agudizará las condiciones de aridez y desequilibrio espacial y temporal de la lluvia, pues donde menos llueve, más se produce y justamente el riego lo permite. La producción alimenticia se incrementará un 50% al 2030 y 2050, requiriendo más agua, generando mayor presión en el recurso, esto para lograr cubrir las necesidades de la población que va en aumento (Ministry Delegate in charge of Water, 2017).

La problemática del impacto en el agua por las actividades agrícolas en México, radica básicamente en el descontrol en los volúmenes de agua concesionados o asignados para el riego de los cultivos, la ineficiente tecnificación en el riego, la contaminación agraria difusa producto del uso descontrolado de fertilizantes, por lo que en consecuencia el proceso de potabilización requiere mayor atención debido al impacto en los cuerpos de agua, contribuyendo a otras problemáticas tales como el proceso de eutrofización, es decir, generando un sistema de inestabilidad produciendo algas en exceso, hipoxia y descomposición orgánica acelerada. Por otro lado, el mecanismo de los Distritos de Riego (DR) es producir a pesar de la degradación del suelo, y con ello la salud de los ecosistemas se pone en riesgo, incluso coadyuvando a un impacto negativo en la salud pública, considerando que también se utiliza el agua residual para riego.

Otra situación que impera en las actividades agrícolas es la dependencia de las condiciones climáticas para regar los campos, debido a la falta de infraestructura y tecnificación, pero también por el descontrol en los DR, donde los programas no son seguidos a cabalidad con la finalidad de obtener mejores rendimientos y aprovechar el recurso agua. Los principales problemas atribuibles a los distritos de riego en México radican en las pérdidas por conducción que incluyen la evaporación, la filtración, fugas en estructuras, errores operativos, cambios en los programas de distribución y largos recorridos para regar.

Si a lo anterior, añadimos la variabilidad natural del clima y el impacto antrópico, destaca un tema pertinente por considerar en los planes de manejo de los DR, el cambio climático. El cambio climático es una problemática que debe ser evaluada mediante escenarios posibles, para actuar en el proceso de adaptación, modificando o mejorando las prácticas en los DR, cambiando fechas de siembra, variedades y rotación de cultivos, así como nuevos diseños, métodos y sistemas para la conservación del riego. Es imprescindible el camino de la adaptación con la intervención del estado y los organismos de cuenca, consejos de cuenca, co-

misiones y comités de cuenca. Por otro lado, es necesario detener la deforestación para no degradar los suelos, la transparencia en la entrega de apoyos a los Distritos de Desarrollo Rural (DDR) y Centros de Apoyo al Desarrollo Rural (CADER), tales como PROCAMPO Productivo o PROAGRO, así como controlar el uso de semillas modificadas para la resistencia a eventos extremos.

En México, el cambio climático se dirige hacia ambientes cada vez más cálidos y áridos, esto implica definir el comportamiento de las áreas dedicadas a la agricultura para analizar los cambios y tomar decisiones para desarrollar capacidades de adaptación (Iñiguez *et al.*, 2015).

El avance en las investigación que relacionan a la generación de escenarios de cambio climático para los diferentes sectores productivos, están siendo actualizados conforme avanzan los aportes que hace el IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, por sus siglas en inglés), así como los acuerdos internacionales, tales como la COP21 y el Acuerdo de París, en donde se estableció llevar a cabo contribuciones nacionales para limitar el aumento de la temperatura global a 1.5°C y no sobrepasar los 2°C (Vargas *et al.*, 2016). Es necesario partir de nuevas series climatológicas para generar proyecciones futuras del comportamiento del clima Fernández *et al.* (2014), proponen una metodología para realizar el Atlas Climático Digital de México, en donde utilizan climatológicas base tanto del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) como la base de datos internacional WorldClim-Global Climate Data Hijmans *et al.* (2005), y plantean las perspectivas de avance en la información espacio-temporal, donde el monitoreo, la información de calidad y la resolución, son los retos a enfrentar para generar escenarios climáticos futuros más plausibles que contribuyan a desarrollar alternativas de comportamientos del clima y prevenir posibles impactos. En caso similar, se han estudiado diversas climatológicas de referencia como las del CRU (Climatic Research Unit), del SMN y del mismo WorldClim con resoluciones espaciales de 30" x 30" o 962 m. x 926 m., en donde se han generado escenarios de cambio climático con base principalmente en 4 Modelos de Circulación General (MCG) del CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 5); GFDL_CM3, HADGEM2-ES, MPI-ESM_LR y CNRMCM5 (Fernández *et al.*, 2015). En estos estudios se han generado anomalías futuras de clima con base en análisis de calidad de información histórica de 40 o 50 años y considerando la topografía del suelo.

Con base en el estudio de las predicciones futuras del clima, es importante definir la vulnerabilidad del sector agrícola, y esto conlleva a una definición clara de indicadores con una resolución geográfica y temporal regional Neset *et al.* (2018), lo que contribuye a reconocer la sensibilidad de los sistemas.

La relación entre lluvia y agricultura está definida por el clima, la infraestructura existente, el seguimiento de los planes de riego y la participación de los productores. Conocer el comportamiento de la evaporación, las pérdidas por los sistemas de riego, el comportamiento de la recarga de acuíferos y los requerimientos de los cultivos, son algunos de los aspectos importantes para adaptarse a los efectos adversos en la agricultura debido al cambio climático (Acharjee *et al.*, 2017; Lauffenburger *et al.*, 2018; Malek *et al.*, 2018).

Karimi *et al.*, 2018), proponen recomendaciones para desarrollar capacidades adaptativas en la agricultura de Irán, un país con un clima y recursos adversos, enfocándose en el análisis de los rendimientos y los requerimientos de agua de los cultivos, así como

en la percepción y respuesta de los agricultores y del gobierno. Stupak (2017), desarrolló una investigación sobre el contraste de las políticas públicas agrícolas ante las condiciones de un clima cambiante en la provincia de Tyumen en Rusia, concluyendo que las regulaciones no están acordes con la prevención de eventos extremos los cuales generan grandes pérdidas a los productores agrícolas, esto manifiesta la problemática en la disyuntiva entre las prácticas agrícolas, la percepción del gobierno y los escenarios futuros del comportamiento del clima, los cuales repercuten en la disposición que habrá del recurso agua y en el aseguramiento de la producción en los cultivos. Así mismo, técnicas de aprovechamiento del suelo mediante la práctica de la agricultura de conservación, permitirán mitigar los efectos del cambio climático.

Wagena y Easton (2018), desarrollaron un modelo en la cuenca del río Susquehanna en EUA considerando el balance hídrico de una cuenca y el comportamiento del suelo (en SWAT-VSA, Soil and Water Assessment Tool-Variable Source Area) bajo escenarios de cambio climático, concluyendo que los sedimentos y escurrimientos en la zona de estudio se verán incrementados, sin embargo, con prácticas de conservación las pérdidas disminuirían.

Objetivo. La presente investigación tuvo por objetivo procesar y analizar escenarios de cambio climático para la precipitación,

si la temperatura global aumentara 1.5 °C y 2 °C para el Modelo GFDL-CM3, bajo los escenarios RCP 4.5 W/m² y RCP 8.5 W/m², así como estimar los escurrimientos base y con impacto de cambio climático en el Distrito de Riego (DR) 086 Río Soto la Marina.

MÉTODOS

Área de Estudio. El Distrito de Riego (DR) 086 Río Soto la Marina es drenado en la margen izquierda del tramo XI nombrado Río Soto la Marina 2 de la Cuenca del Río Soto la Marina (CRSLM) en la Región Hidrológica No. 25 en Tamaulipas, México (Figura 1) y pertenece al Organismo de Cuenca Golfo Norte IX. El DR 086 recibe agua de la presa Vicente Guerrero ubicada al centro de la cuenca, así como de la presa derivadora La Patria es Primero. La precipitación media anual para el periodo 1950-2000 es de 668 mm, cuyas lluvias mayores se presentan entre los meses de mayo a octubre. Se considera pertinente conocer los efectos del calentamiento global en los Distritos de Riego, generando escenarios climáticos futuros en regiones hidrológicas pequeñas dedicadas a la actividad agrícola, debido al impacto que esto pueda producir en la seguridad alimentaria, la economía de la región, el desarrollo social y la gestión misma del recurso agua.

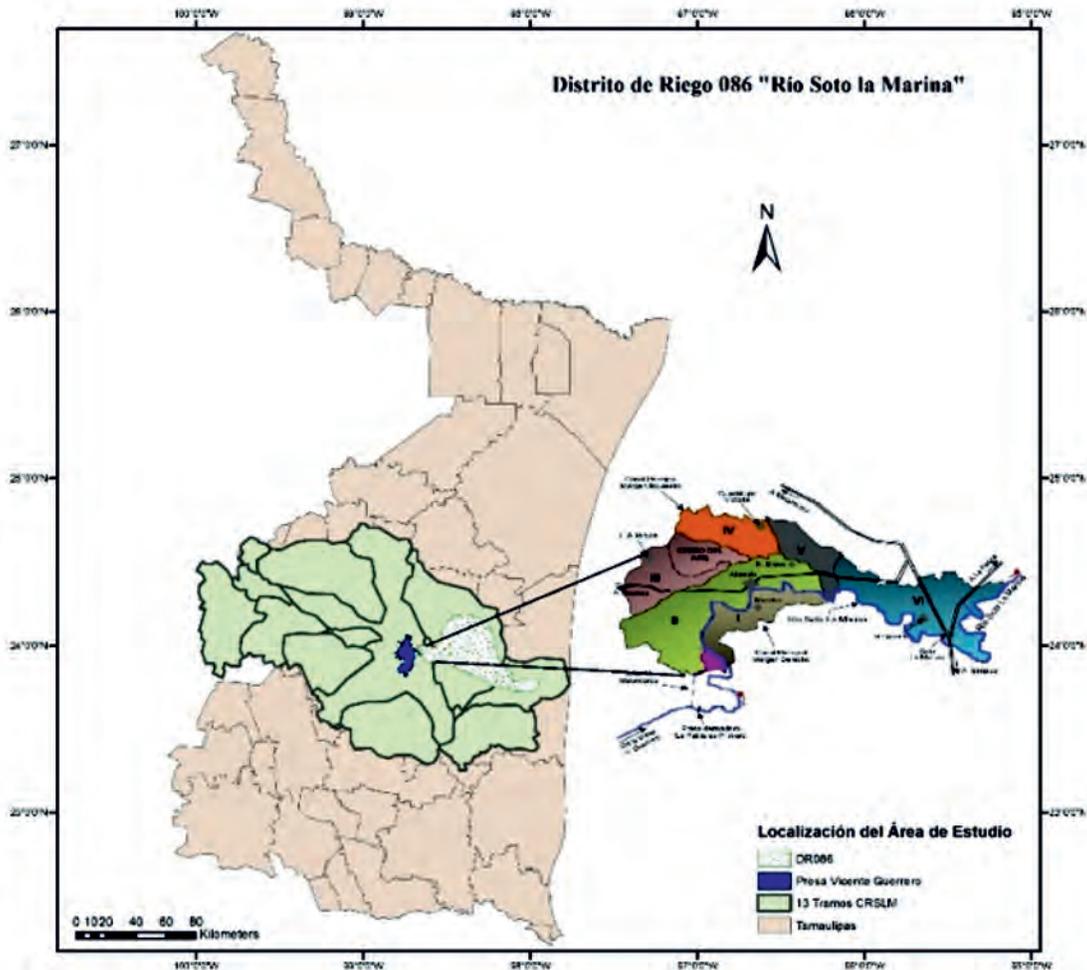


FIGURA 1. Localización del Distrito de Riego 086 "Río Soto la Marina" en la CRSLM. Fuente: Elaboración propia a partir de datos vectoriales de Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI); Diario Oficial de la Federación (DOF, 27may2016); presentación de la Comisión Estatal del Agua de Tamaulipas (Diario Oficial de la Federación DOF, 2016).

La actividad agrícola está en función del 55% en modalidad riego y el 45% temporal. La distribución de la superficie cosechada en el ciclo agrícola 2013-2014 reporta un 52.1% perenne y el 27.1% es en otoño-invierno, lo restante se distribuye en primavera-verano y en segundos cultivos (SEMARNAT, 2015). Las variedades sembradas para el ciclo más reciente 2017-2018 son el maíz grano y sorgo en otoño-invierno, así como pastos y cítricos en ciclo perenne. Adicionalmente, el DR 086 suministra agua para los usos público urbano, la acuicultura y pecuaria.

Metodología. La investigación desarrolló el procesamiento en un SIG para determinar las anomalías de los escenarios de cambio climático, los cuales fueron proporcionadas por el Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM, a través del proyecto apoyado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo y el Fondo Mundial para el Medio Ambiente (Global Environmental Facility, GEF) en colaboración con el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) nombrado “*Estimación de rangos de incertidumbre en las fechas para alcanzar los valores de incremento en la temperatura promedio global 1.0, 1.5 y 2.0°C y las implicaciones para la República Mexicana como producto de la Sexta Comunicación Nacional de México ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*”, en donde se establecieron las fechas o los periodos de años en que se pueden alcanzar los umbrales de 1.0, 1.5 y 2.0 °C de incremento de temperatura global bajo diferentes escenarios de emisiones de GEI con respecto al nivel preindustrial del año 1765. Anteriormente, México no contaba con los umbrales de alcanzarse los incrementos de temperatura discutidos en la Conferencia de las Partes 21 (COP 21) y establecidos en el Acuerdo de París (Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM, 2017).

Con base en lo anterior, se estableció analizar el comportamiento de las precipitaciones al incremento de temperatura global de 1.5 °C (con fecha estimada de alcance en 2041) y 2 °C (con fecha 2051) para los escenarios RCP 4.5 W/m² (estable) y el 8.5 W/m² (alto), para el AOGGCM GFDL-CM3, debido a que este modelo presenta un comportamiento moderado o estable a los incrementos de temperatura global procesados en el proyecto mencionado anteriormente (*Ibid.* p.16). La climatología base utilizada fue WorldClim 1950-2000 Hijmans *et al.* (2005) por ser más apropiada para México y validada científicamente, de ella se obtuvieron los registros normales de precipitación mensual.

Al obtener la precipitación mensual base, las anomalías para los escenarios planteados y finalmente las precipitaciones impactadas, es decir, la precipitación más/menos la anomalía estimada, se procedió a obtener la precipitación efectiva en el área de estudio, es decir, la conversión de la lluvia en escurrimiento directo o precipitación en exceso, tanto para la climatología base como la impactada por cambio climático, esto mediante el Método del SCS Ponce (1989), el cual considera que para una tormenta, la lámina de precipitación en exceso es siempre menor o igual a la precipitación total y dentro del procedimiento de cálculo estima las abstracciones iniciales, la infiltración y el escurrimiento directo. El método toma en cuenta 4 tipos de suelo (del tipo de suelo A muy permeable al D muy impermeable), así como más de 50 condiciones de uso de suelo. Se consideró un coeficiente de escurrimiento para condiciones de tipo II con antecedentes

de humedad normales para la zona de estudio, donde el método establece que oscilan entre 12.7 a 27.9 mm en temporada sin cultivo y 35.6 a 53.3 mm para temporada de cultivo. El uso de suelo o cubierta vegetal que impera en la zona que rodea el DR es básicamente pastizal cultivado, agricultura de riego y temporal, vegetación secundaria arbustiva, zona urbana y asentamientos humanos, así como cuerpos de agua, mientras el tipo de suelo que predomina es el C, cuyos suelos son poco profundos con cantidades de arcilla y coloides, cuya capacidad de infiltración es menor a la media después de alcanzar su saturación. El CN final fue ponderado con base en la porción de área de la cubierta vegetal y el número de escurrimiento que le correspondía según el tipo y condición de uso de suelo. El procedimiento anterior es esencial para conocer la cantidad de agua que se dispone en el presente y en el futuro, considerando los procesos que intervienen debido al tipo de suelo y vegetación que impera en el tramo donde se ubica el DR 086.

Finalmente, se llevó a cabo un diagnóstico basado en una encuesta elaborada con expertos para conocer la percepción que tienen los operadores del DR con relación a los efectos del cambio climático, este primer sondeo pone en evidencia la realidad observada. La metodología descrita anteriormente permitió estimar escenarios futuros de precipitación, calcular escurrimientos base e impactados con los escenarios de cambio climático para el tramo que drena el DR 086.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se presentan los resultados del comportamiento de los escenarios que se plantean en el presente estudio. En la Tabla 1 se observa el resumen del comportamiento de las precipitaciones con cambio climático, es decir, las anomalías futuras representadas como el aumento o reducción de la lluvia en porcentaje, donde se deja ver que, para ambos escenarios, los meses de enero, abril, y octubre registran reducciones promedio del 80% de lluvia, por otro lado, dado la distancia entre los umbrales relativamente corta (de 2041 a 2051) se observan decrementos muy similares, sin embargo, se destaca el umbral a 2 °C, donde pareciera haber una ligera recuperación, lo cual pudiera deberse a las acciones de mitigación que se emprendan a nivel global. Para febrero, existe una marcada disminución para el umbral de 2 °C, aunque se observa lo contrario para el escenario RCP 4.5 W/m², donde se muestra una reducción del 9.6% con un aumento de 1.5 °C, mientras que a 2 °C se eleva a 84%, manteniendo reducciones importantes para el RCP 8.5 W/m². Caso contrario, en septiembre se tendrán aumentos en las precipitaciones del orden del 30%, marzo también presenta aumentos interesantes al 25% para ambos escenarios.

En la Figura 2 se muestra el comportamiento de la lluvia mensual considerando la climatología base para ambos umbrales de incremento de temperatura bajo el escenario RCP 4.5 W/m², resaltando la pronunciada reducción para el mes de enero, destacando que, para toda el área de análisis, el decremento de precipitación anual es de 14.1% a 1.5 °C y del 12% de lluvia a 2 °C. Esto manifiesta la importancia de considerar los escenarios mensuales, pues los porcentajes anuales generalizan el comportamiento.

TABLA 1. Comportamiento de la precipitación con cambio climático para el DR 086.

RCP	Umbral	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
4.5	1.5 °C	-96.5	-9.6	18.4	-92.3	-27.4	5.6	-6.5	-5.9	28.3	-97.7	-0.2	44.2
	2.0 °C	-72.9	-84.2	45.7	-87.5	-21.3	9.7	-5.8	-9.9	32.7	-93.2	0.1	44.8
8.5	1.5 °C	-94.3	-72.3	17.0	-81.5	-21.4	4.8	-9.7	-20.3	30.2	-75.9	-3.1	20.2
	2.0 °C	-46.3	-97.1	16.3	-81.2	-29.0	0.4	-10.2	-21.9	25.0	-81.7	31.5	44.5

Nota: Todos los datos del comportamiento de la precipitación de cambio climático se encuentran en por ciento.

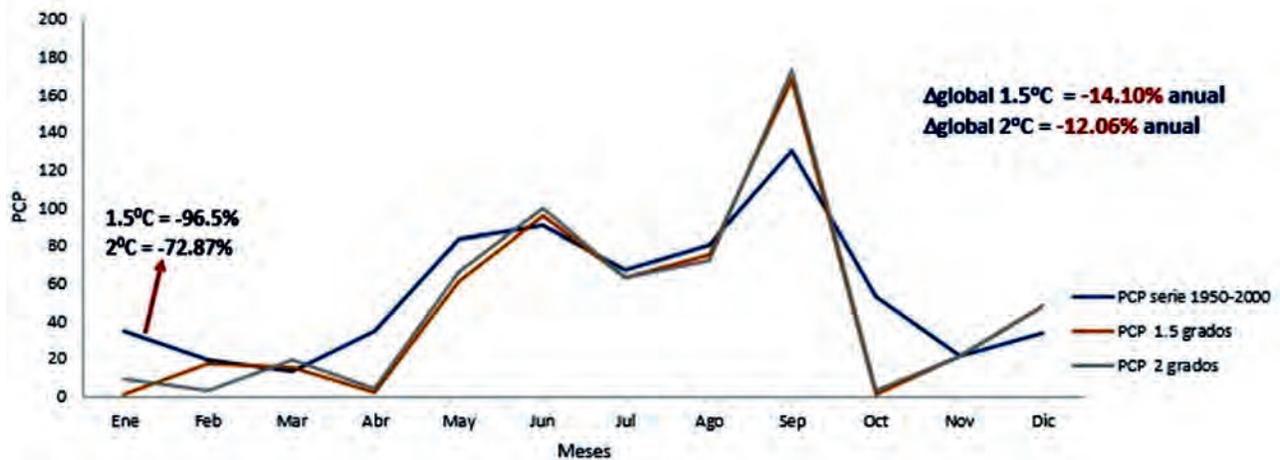


FIGURA 2. Comportamiento de la precipitación base e impactada por el escenario RCP 4.5 W/m² a 1.5 °C y 2 °C de incremento de temperatura global.

En la Figura 3 se observa la variación para el RCP 8.5 W/m², aquí se presenta una reducción anual en la precipitación del orden del 15% para ambos umbrales, y menos drásticas las reducciones para los meses de estiaje. Esto reafirma lo que el IPCC, organismos internacionales y las investigaciones puntuales en diferentes regiones del mundo han manifestado, las regiones áridas serán más áridas, y para el área de estudio, los meses secos serán aún más secos y los lluviosos más intensos, especialmente para el mes de septiembre.

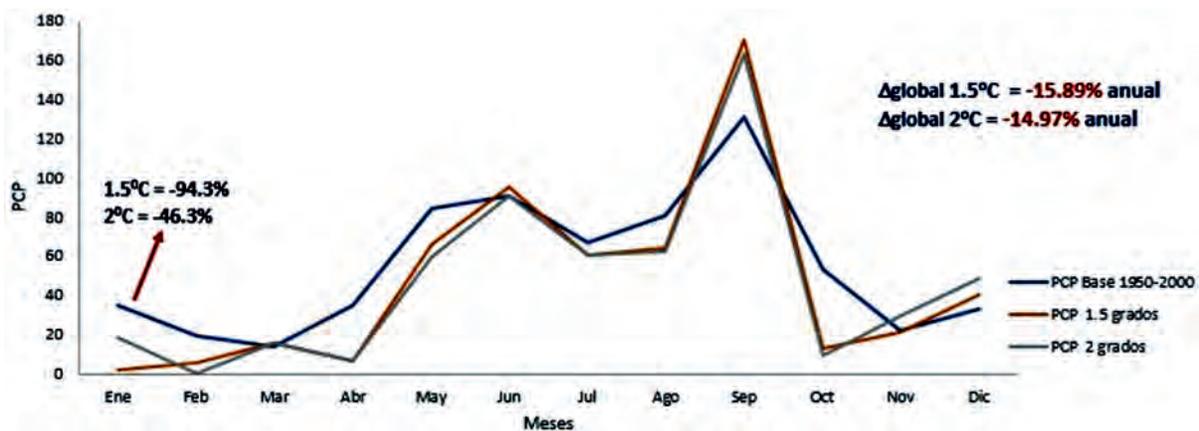


FIGURA 3. Comportamiento de la precipitación base e impactada por el escenario RCP 8.5 W/m² a 1.5°C y 2°C de incremento de temperatura global.

En Tabla 2 se muestra el resumen de los escurrimientos directos aplicando el Método del SCS mensualmente y considerando un número de escurrimiento o CN ponderado de 77.3, siguiendo el proceso descrito anteriormente. Se observa que el volumen de escurrimiento anual base o virgen en el periodo 1950-2000 para el área del DR 086 es de 758.30 Mm³, siendo febrero y marzo los meses donde el escurrimiento es prácticamente nulo y la tendencia es una disminución acentuada de escurrimiento en los meses de estiaje aplicando los escenarios de cambio climático. Si las precipitaciones tienden a disminuir, también disminuirá el escurrimiento directo, considerando los

cambios que sucedan tanto en la vegetación como en el suelo, pues el comportamiento de los parámetros tales como, el número de escurrimiento, el potencial de retención máxima y la abstracción inicial, están relacionados por la condición del suelo.

En la Tabla 3 se observan las reducciones, resultado de los registros de la Tabla 2, resaltando los meses en que el volumen de escurrimiento se verá seriamente alterado, tal es el caso del mes de enero, febrero, abril y octubre. Para septiembre hay un aumento promedio del volumen para los escenarios de cambio climático planteados del 47% y para diciembre casi se triplican los escurrimientos.

TABLA 2. Esgurrimientos directos medios mensuales sin y con cambio climático.

Escenarios	Períodos	Volúmenes de escurrimiento directo mensual (Mm ³)												
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Base	50-2000	15.3	1.02	0.000	15.162	114.232	131.266	74.288	104.978	241.012	45.765	2.340	12.892	758.30
	1.5 °C	0.000	0.390	0.088	0.000	60.603	144.521	64.693	93.475	351.472	0.000	2.313	35.782	753.34
4.5	2.0 °C	0.000	0.000	1.142	0.000	71.761	154.461	65.709	85.991	368.922	0.000	2.354	36.141	786.48
	1.5 °C	0.000	0.000	0.066	0.000	71.439	142.535	65.709	85.991	368.922	0.000	2.354	36.141	724.53
8.5	2.0 °C	0.767	0.000	0.056	0.000	57.677	132.187	59.263	64.248	338.327	0.000	8.131	35.941	696.60

TABLA 3. Porcentaje de reducción en los escurrimientos medios mensuales debido a los efectos del cambio climático.

Escenarios	Períodos	Reducción en los escurrimientos directos mensuales (%)												
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
4.5	1.5 °C	-100	-62	9	-100	-47	10	-13	-11	46	-100	-1	178	-1
	2.0 °C	-100	-100	114	-100	-37	18	-12	-18	53	-100	1	180	4
8.5	1.5 °C	-100	-100	7	-100	-37	9	-19	-36	49	-100	-17	73	-4
	2.0 °C	-95	-100	6	-100	-50	1	-20	-39	-40	-100	248	179	-8

En marzo no se registra escurrimiento base, esto es porque la precipitación en ese mes es menor que la abstracción inicial, y por ello el escurrimiento superficial es igual a cero. Sin embargo, se observa una ligera tendencia de existir escurrimiento en el futuro. La cuantificación de los volúmenes de agua disponible para el futuro es un primer paso para prevenir, sin embargo, esto implica hacer una conversión de las prácticas actuales considerando estos escenarios.

Ahora bien, los expertos en la operación del DR manifiestan experimentar efectos del cambio climático en el área, tales como temperaturas más elevadas, recurrentes periodos de estiaje, variabilidad en las lluvias en intensidad y ocurrencia. Por otro lado, 25 años atrás había mayor producción, pues las lluvias eran más uniformes, logrando tener incluso hasta 5 años consecutivos de producción estable, permitiendo el seguimiento del programa para llevar a cabo los riegos, mientras que hoy en día resulta complicado lograr esa estabilidad. Se afirma que los periodos largos de sequía impactan con mayor frecuencia al DR, por lo que la demanda de agua es mayor que el suministro en esa época del año.

Adicionalmente, manifiestan que las mejores prácticas de adaptación para mitigar los efectos del cambio climático es la prevención, mediante los programas de aplicación de riego de auxilio, así como la difusión, capacitación y supervisión técnicas a los usuarios, debido a que no existen mecanismos de mitigación.

CONCLUSIONES

- Con base en los resultados, se observa una marca reducción en las lluvias para los meses de estiaje, lo que agudiza el problema de la disponibilidad del recurso agua. A consecuencia de esto, los escurrimientos mensuales se verán disminuidos en un 100%, es decir, prácticamente no habrá flujo de agua para drenar el DR, mientras que para los meses como septiembre y diciembre habrá incremento en la cantidad de agua disponible. Con esto se hace énfasis en la consideración de escenarios futuros para prevenir el suministro de agua, y con ello sustentar las prácticas agrícolas bajo el criterio de tener cada vez menos cantidad del recurso para regar la tierra.
- Se recomienda la vinculación entre las autoridades, productores y usuarios del agua, en donde se incluya en las agendas de trabajo y planeación, así como en los programas de riego, el tema de los escenarios de cambio climático, para comenzar a trabajar en el proceso de prevención y acciones que coadyuven a reducir la vulnerabilidad del sector agrícola en las zonas áridas a causa de carencia del recurso o exceso de este, en donde de igual manera se generan pérdidas en los cultivos. Es claro, que el problema de la disponibilidad del agua no es único, pues las pérdidas por conducción agudizan la situación del suministro de riego, lo cual trae mermas en la producción parcelaria. Se propone focalizarse en el mantenimiento de la infraestructura actual, por ejemplo, en canales, medidores de agua, incluso en la recuperación de suelos, antes de dar paso a la introducción de tecnologías para el riego.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACHARJEE, T.K.; LUDWIG, F.; VAN HALSEMA, G.; HELLEGERS, P.; SUPIT, I.: "Future changes in water requirements of Boro rice in the face of climate change in North-West Bangladesh", *Agricultural water management*, 194: 172-183, 2017, ISSN: 0378-3774, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2017.09.008>.
- CENTRO DE CIENCIAS DE LA ATMÓSFERA, UNAM: *Estimación de rangos de incertidumbre en las fechas para alcanzar los valores de incremento en la temperatura promedio global 1.0, 1.5 y 2.0°C y las implicaciones para la República Mexicana como producto de la Sexta Comunicación Nacional de México ante la Ciudad de México*, Inst. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, México, D.F., 2017.
- DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN (DOF): *Acuerdo por el que se dan a conocer los límites de las 757 cuencas hidrológicas que comprenden las 37 regiones hidrológicas en que se encuentra dividido los Estados Unidos Mexicanos, [en línea]*, Inst. Diario Oficial

- REVISTA INGENIERÍA AGRÍCOLA, ISSN-2306-1545, E-ISSN-2227-8761, Vol. 9, No. 1 (enero-febrero-marzo, pp. 23-29), 2019 de la Federación, México, D.F., 2016, *Disponible en: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5439123, [Consulta: 27 de mayo de 2016].*
- FERNÁNDEZ EGUIARTE, A.; ROMERO CENTENO, R.; ZAVALA HIDALGO, J.: “Metodologías empleadas en el Atlas Climático Digital de México para la generación de mapas de alta resolución”, *GeoActa*, 39(1): 165-179, 2014, ISSN: 1852-7744.
- FERNÁNDEZ EGUIARTE, A.; ZAVALA, J.; ROMERO, R.; CONDE, C.; TREJO, R.: *Actualización de los escenarios de cambio climático para estudios de impactos, vulnerabilidad y adaptación en México y Centroamérica*, Inst. Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, SEMARNAT, Instituto de Geografía, UNAM, México, D.F., 2015.
- GONZÁLEZ, G.: “Agua y Agricultura”, En: *Foro Gestión Integral del Agua en México en Valle de Bravo, México. Valle de Bravo, México: Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental A.C*, Valle de Bravo, México, 2017.
- HIJMANS, R.J.; CAMERON, S.E.; PARRA, J.L.; JONES, P.G.; JARVIS, A.: “Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas”, *International Journal of Climatology*, 25(15): 1965-1978, 2005, ISSN: 1097-0088, DOI: 10.1002/joc.1276.
- ÍÑIGUEZ, M.; OJEDA-BUSTAMANTE, W.; DÍAZ-DELGADO, C.: “La infraestructura hidroagrícola ante escenarios del cambio climático”, *Tecnología y Ciencias del Agua*, 6(5): 89-101, 2015, ISSN: 2007-2422.
- KARIMI, V.; KARAMI, E.; KESHAVARZ, M.: “Climate change and agriculture: Impacts and adaptive responses in Iran”, *Journal of Integrative Agriculture*, 17(1): 1-15, 2018, ISSN: 2095-3119, DOI: 10.1016/S2095-3119(17)61794-.
- LAUFFENBURGER, Z.H.; GURDAK, J.J.; HOBZA, C.; WOODWARD, D.; WOLF, C.: “Irrigated agriculture and future climate change effects on groundwater recharge, northern High Plains aquifer, USA”, *Agricultural Water Management*, 204: 69-80, 2018, ISSN: 0378-3774, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.03.022>.
- MALEK, K.; ADAM, J.C.; STÖCKLE, C.O.; PETERS, R.T.: “Climate change reduces water availability for agriculture by decreasing non-irrigation losses”, *Journal of Hydrology*, 561: 444-460, 2018, ISSN: 0022-1694, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.11.046>.
- MINISTRY DELEGATE IN CHARGE OF WATER: *Water and Climate*, Ed. Blue Book. Kingdom of Morocco: World Water Council., Morocco, 2017.
- NESET, T.-S.; WIRÉHN, L.; OPACH, T.; GLAAS, E.; LINNÉR, B.-O.: “Evaluation of indicators for agricultural vulnerability to climate change: The case of Swedish agriculture”, *Ecological Indicators*, 2018, ISSN: 1470-160X, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.05.042>.
- PONCE, V. M.: *Engineering hydrology: Principles and practices, [en línea]*, Ed. Prentice Hall Englewood Cliffs, NJ, vol. 640, 1989, *Disponible en: <http://ponce.sdsu.edu/enhydro/index.html>, [Consulta: 27 de mayo de 2016].*
- SAGARPA: *Expectativas de producción. Agropecuaria y Pesquera*, Inst. Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera, SAGARPA, México, D.F., 2018.
- SEMARNAT: *Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Riego*, Inst. Comisión Nacional de Agua, México, D.F., 2015.
- STUPAK, N.: “Adaptation of Russian agriculture to climatic variability: The role of federal and provincial policies”, *Environmental Science & Policy*, 68: 10-19, 2017, ISSN: 1462-9011, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsci.2016.10.003>.
- VARGAS, R.; ROLÓN, J.; PICHARDO, R.: *Implicaciones de los Acuerdos de la COP21 en los recursos hídricos en México. En J. Clemente, C. Gay, & F. Quintana, 21 Visiones de la COP21. El acuerdo de París: Retos y Áreas de Oportunidad para su Implementación en México*, Inst. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F., 248-258 p., 2016.
- WAGENA, M.B.; EASTON, Z.M.: “Agricultural conservation practices can help mitigate the impact of climate change”, *Science of The Total Environment*, 635: 132-143, 2018, ISSN: 0048-9697, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.110>.

Rocío del Carmen Vargas Castilleja, prof. e inv., Universidad Autónoma de Tamaulipas, Facultad de Ingeniería Arturo Narro Siller, Ave. Universidad y Blvd. Adolfo López Mateos, Centro Universitario Tampico-Madero, C.P. 89109 Tampico, Tamaulipas, Tamaulipas, México, Tel. +52 (833) 2412050, e-mail: rocvargas@docentes.uat.edu.mx

Julio Cesar Rolón Aguilar, e-mail: jrolon@docentes.uat.edu.mx

Ricardo Tobías Jaramillo, e-mail: rtobias@docentes.uat.edu.mx

Gerardo Sánchez Torres Esqueda, e-mail: gerardo.sanchez@isf-mexico.org

Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

Este artículo se encuentra bajo licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0).

La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.