

Impacto de la Biodiversidad de Cultivos en un Clima Cambiante

Miriam Elizabeth Martínez Pérez¹

Ofelia Adriana Hernández Rodríguez²

Damián Aarón Porras Flores³

Resumen

Debido a la agricultura intensiva con actividades de ganadería y producción de monocultivos y a la industria, la producción de gases nocivos como el CO₂ ha aumentado, causando un aumento en las temperaturas globales, con impacto en los ecosistemas. La producción actual de cultivos se encuentra influenciada por variaciones climáticas y es afectada por esquemas de manejo con grandes cantidades de insumos agrícolas y tecnológicos que causan la degradación del suelo y el agua. Como consecuencia, las plantas presentan condiciones de estrés debido a la sequía, el aumento de CO₂ y temperatura, las olas de calor, las inundaciones, los efectos nocivos del aumento de la población de plagas y la falta de horas frías en las zonas templadas. Los resultados de estos impactos negativos son cambios bioquímicos, fisiológicos y morfológicos en los cultivos, implicando adelantos en fenología, diferente composición biomolecular y baja producción en calidad y cantidad de productos. También se presenta una disminución en las poblaciones de insectos beneficiosos necesarios para la mayoría de los cultivos. En conjunto, esto afecta la seguridad alimentaria. Una alternativa para enfrentar la adversidad climática es la diversidad de cultivos que permite aumentar la población de insectos beneficiosos y genera recursos ecosistémicos más integrados respetando los ciclos naturales del agua y preserva la calidad de los suelos. La diversidad de cultivos ofrece una mayor resistencia a la variabilidad climática e incrementa la seguridad alimentaria al producir una mayor variación de los productos agrícolas. Esta es la razón por la cual es necesario identificar las áreas óptimas para el establecimiento de cultivos más adecuados a las condiciones hídricas, edáficas y climáticas. Esto se logra a través de la zonificación agroecológica. Sin embargo, no se han realizado estudios de zonificación para diversas especies. Este ensayo revela la importancia de realizar esta investigación para una biodiversidad de cultivos planificada.

Palabras clave: recursos del ecosistema, biodiversidad de cultivos, zonificación agroecológica.

Introducción

Ante el cambio climático, el calentamiento global, sus efectos negativos y los problemas ambientales causados se ha generado la necesidad de desarrollar una economía ecológica y sustentable basada en una biodiversidad de cultivos. Se requiere así, el conocimiento de la variabilidad climática en una región ya que el clima afecta directamente el desarrollo del cultivo (Sá Júnior *et al.*, 2012). La adversidad climática afecta la producción agrícola y la economía de un país, por lo que se necesitan técnicas de zonificación para identificar, con mayor seguridad, los lugares más apropiados para los cultivos (Falasca *et al.*, 2012).

¹ Facultad de Ciencias Agrotecnológicas. Universidad Autónoma de Chihuahua. mielmartinez@live.com.mx

² Facultad de Ciencias Agrotecnológicas. Universidad Autónoma de Chihuahua. aernande@uach.mx

³ Facultad de Ciencias Agrotecnológicas. Universidad Autónoma de Chihuahua. dporras@uach.mx

Sin embargo, en Chihuahua, México, los productores desconocen si sus áreas son aptas para diferentes cultivos. Usando estos estudios, es posible implementar la biodiversidad de los cultivos. Por otro lado, la expansión de la agricultura ha aumentado sin duda las cosechas de los principales cultivos (Foley *et al.*, 2011), pero también ha ocasionado importantes impactos negativos en los ecosistemas, como la degradación de la calidad y cantidad del agua subterránea debido a su sobreexplotación (Blann *et al.*, 2009; Valles *et al.*, 2017, Salinas *et al.*, 2006). Incluso ha afectado el recurso del suelo impulsando su degradación en las regiones secas (Sivakumar, 2007), amenazando la pérdida de productividad del suelo, la seguridad alimentaria y la disponibilidad de agua (Low, 2013; D 'Odorico *et al.*, 2013). Además, afecta la biodiversidad debido al uso intensivo de agroquímicos y tecnologías que conducen a la pérdida de especies silvestres beneficiosas y la pérdida de valiosos recursos genéticos (Sarandón y Flores, 2014).

La biodiversidad, en contraste, emite protección extendida a los cultivos al hacer frente a la variabilidad climática (Altieri y Koohafkan, 2008), proporciona hábitats a enemigos naturales de plagas (Altieri y Nicholls, 2007), sostiene el suministro de recursos del ecosistema, y mantiene las condiciones necesarias para la vida en la Tierra (Philpott *et al.*, 2009). En este sentido, los trabajos de zonificación agroecológica cubren una gran importancia, ya que contribuyen a la planificación adecuada de la agricultura agrícola, garantizando las potencialidades productivas y los mejores rendimientos de los cultivos (González, 2016).

El objetivo de este trabajo es destacar la importancia de la biodiversidad de los cultivos ya que ofrece más resistencia a la variabilidad climática (Altieri y Koohafkan, 2008) y de acuerdo a la investigación de Munasinghe *et al.* (2012) la frecuencia de temperaturas en la masa global extremadamente altas aumentó diez veces entre principios del siglo XX y 1999-2008. Al mismo tiempo, la frecuencia de nuevos mínimos récord también ha aumentado, lo que sugiere que la variación y no sólo la media puede haber aumentado. Esto debido a la frecuencia en aumento de eventos cálidos extremos y la disminución de la frecuencia de eventos fríos extremos en la segunda mitad del siglo pasado e incluso el mayor aumento en las temperaturas mínimas en comparación con las temperaturas máximas (Munasinghe *et al.*, 2012). Para establecer esta biodiversidad, es necesario realizar una investigación acerca la zonificación agroecológica, identificando con ella las regiones óptimas para los cultivos, ayudando a preservar el equilibrio biológico de las plantaciones. Sin embargo, estos estudios generalmente no se han realizado para la mayoría de las especies. Este ensayo revela la importancia de realizar esta investigación para una biodiversidad de cultivos planificada.

El cambio climático damnifica la sostenibilidad de los ecosistemas

El Cambio climático es atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que modifica la composición de la atmósfera global y que, además, es la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables (Marena, 1999).

La evaluación de la vulnerabilidad al cambio climático se dirige cada vez más a las escalas de paisajes y ecorregiones (Beaumont *et al.*, 2011). Un clima cambiante conduce a modificaciones en la frecuencia, intensidad, extensión espacial, duración y tiempo del clima y extremos climáticos, y puede culminar en extremos sin precedentes (Seneviratne *et al.*, 2012). Un ejemplo son las sequías meteorológicas y las olas de calor, a menudo consideradas como períodos prolongados de escasez de precipitaciones y temperaturas extremadamente altas, respectivamente. Las sequías y las olas de calor causan escasez de agua, pérdida agrícola, mortalidad de bosques y plantas y,

además, contaminación del aire. También ponen en peligro la sostenibilidad de los ecosistemas y los sistemas de producción de alimentos, y favorecen la ocurrencia de incendios forestales (Mazdiyasi, 2015; Miralles *et al.*, 2014; Anderegg *et al.*, 2015). Su aumento previsto en la recurrencia e intensidad plantea serias amenazas para la seguridad alimentaria futura (Miralles *et al.*, 2019).

Actuaciones de agroecosistemas frente a las emisiones de gas de efecto invernadero

A pesar de que el dióxido de carbono (CO₂) es el gas de efecto invernadero dominante debido a su concentración relativamente alta en la atmósfera y a la magnitud de CO₂ adicional que se emite a la atmósfera por el cambio en el uso del suelo y la quema de combustibles fósiles, la agricultura además emite CH₄ y N₂O, otros dos gases de efecto invernadero importantes (Saynes *et al.*, 2016; Franzluebbers, 2020) con una potencia de calentamiento 265 y 28 veces, respectivamente, mayor en comparación con el CO₂ (Saynes *et al.*, 2016). Para las emisiones de N₂O los motivos causantes son el uso de plantas leguminosas y la fertilización mineral de con nitrógeno (Snyder *et al.*, 2009). Las emisiones de CH₄ generalmente ocurren en suelos mal aireados, por ejemplo, en sistemas de cultivo de arroz y ganadería inundados (Costa, 2005).

Aunque la agricultura es el sustento de los alimentos de una población mundial en crecimiento, es la cuarta causa de las emisiones de GEI (Saynes *et al.*, 2016). Sin embargo, los agroecosistemas también tienen un alto potencial para la mitigación de GEI cuando se conservan los residuos de los cultivos, se reduce la labranza y se introducen los cultivos de cobertura (Lal, 2003).

Los microorganismos y su función en ecosistemas

Las comunidades microbianas heterotróficas que habitan en el suelo median procesos clave que controlan el ciclo del carbono (C) y el nitrógeno (N) del ecosistema, y potencialmente representan un vínculo mecanicista entre la diversidad de las plantas y la función del ecosistema (Zak *et al.*, 2003). Los procesos microbianos tienen un papel crucial en la variabilidad global de los gases de efecto invernadero biogénicos clave (CH₄, CO, OCS, H₂, N₂O y NO) y es probable que respondan rápidamente al cambio climático (Singh, 2010). Por lo tanto, contribuyen considerablemente a los presupuestos de los gases traza atmosféricos. Por ejemplo, el consumo de gas traza: H₂ oxidación por enzimas abióticas del suelo, oxidación de CO por la monooxigenasa de amonio de bacterias nitrificantes, oxidación de CH₄ por bacterias metanotróficas que utilizan CH₄ para el crecimiento; Hidrólisis de OCS por bacterias que contienen anhidrasa carbónica; Reducción de N₂O a N₂ por desnitrificación de bacterias. Un porcentaje convincente del metano producido es oxidado por bacterias metanotróficas en las interfaces anóxicas-oxídicas (Conrad, 1996).

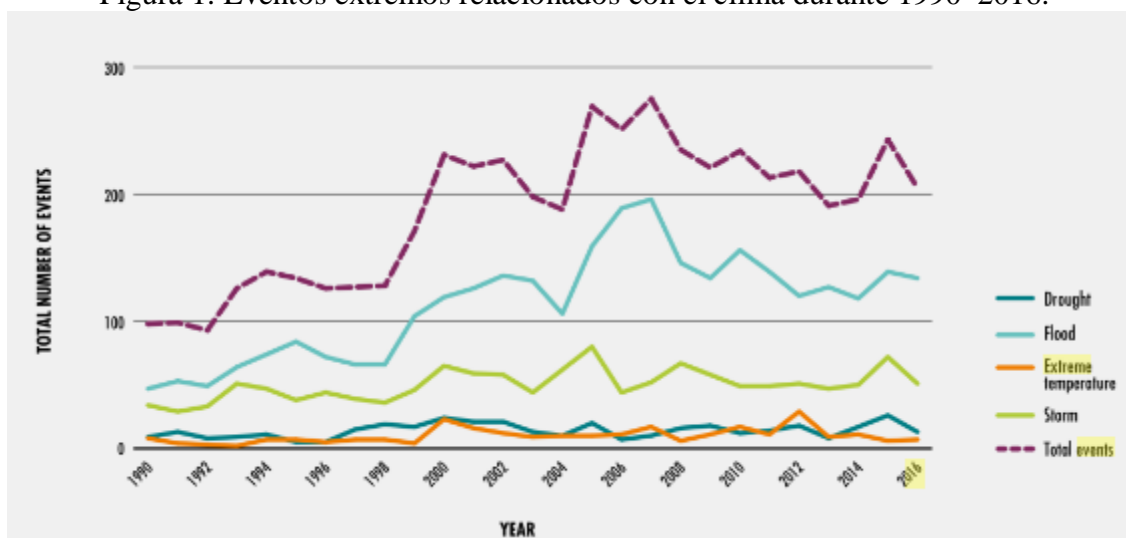
Los taxones microbianos del suelo son imprescindibles en relación con los cambios climáticos globales, ya que juegan un papel clave en el ciclo biogeoquímico, el crecimiento de las plantas y el secuestro de carbono (Dubey *et al.*, 2019).

Impactos negativos del cambio climático en la agricultura mundial, en América, en México y en Chihuahua

La agricultura está fuertemente influenciada por el clima (Gornall *et al.*, 2010). Hay un número creciente de eventos extremos relacionados con el clima ocurridos durante 1990-2016, como sequías, inundaciones, temperaturas extremas (FAO, 2018) como se muestra en la Figura 1.

El cambio climático daña la producción de cultivos mediante causas directas, indirectas y socioeconómicas. Algunos efectos directos son los cambios morfológicos, fisiológicos y fenotípicos. Los indirectos son la fertilidad del suelo, la disponibilidad de riego, el aumento del nivel del mar, las plagas, las inundaciones, la sequía y los socioeconómicos incluyen la demanda de alimentos, la respuesta de los agricultores, los costos de los productos agrícolas, la política, el comercio y la desigualdad. distribución producción, demanda, ventaja comparativa regional (Raza *et al.*, 2019). Estos impactos agronómicos y económicos dependerán principalmente de la magnitud del cambio climático (Bolin *et al.*, 1986) y la capacidad específica del lugar para absorber el efecto del cambio climático (He, 2009). Sin embargo, los principales efectos del cambio climático son un aumento de la temperatura, una modificación en los patrones de lluvia y un aumento en las radiaciones entrantes, en particular los UV-B (Van Leeuwen y Destruct Irvine, 2017), lo cual representa un desafío cada vez mayor para los ecosistemas agrícolas (Fan, 2016).

Figura 1. Eventos extremos relacionados con el clima durante 1990–2016.



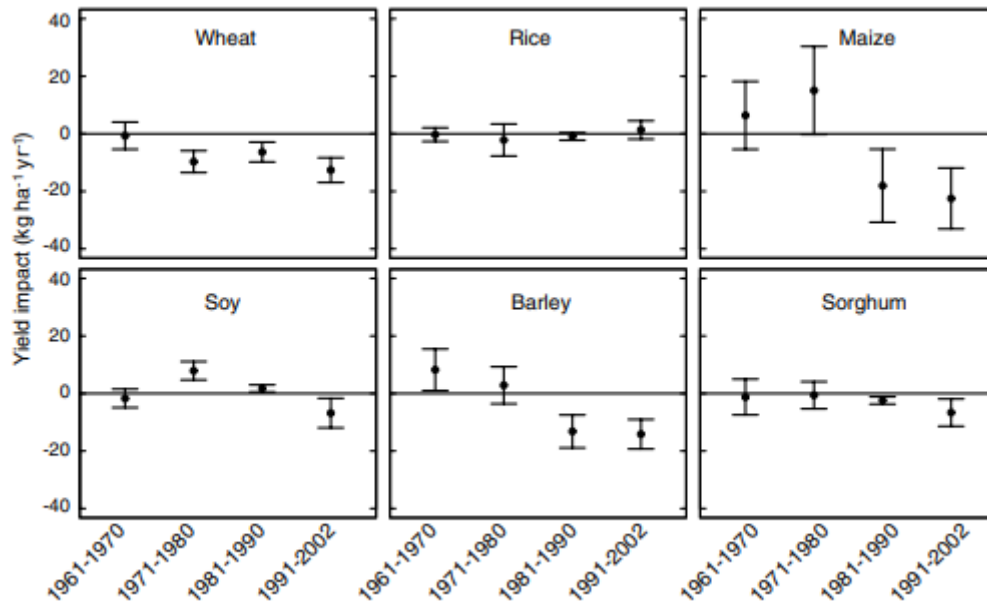
Fuente: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2018) basada en datos de la Base de datos de eventos de emergencia (EM-DAT) <https://books.google.com.mx>.

Debido al cambio climático, el déficit hídrico y las temperaturas extremas influyen en la fase reproductiva del crecimiento de las plantas. Por ejemplo, en Canadá durante la fase meiótica, el trigo y el arroz sufrieron una reducción del 35-75% en la formación de granos debido al déficit hídrico (Sheoran *et al.*, 1996).

La investigación ha demostrado que el cambio climático ya ha comenzado a afectar la producción de cultivos a nivel global, con estimaciones de pérdida que varían del 1 al 10%, en

comparación con la situación de ausencia de cambio climático (Lobell y Field, 2007). Lobell y Field (2007) trabajaron con modelos empíricos para estimar los impactos del clima en las tendencias mundiales de rendimiento. Los resultados fueron estadísticamente significativos para varios cultivos, especialmente desde 1980 como se muestra en la Figura 2.

Figura 2. Impactos del clima estimados en las tendencias mundiales de rendimiento por década.



Los valores negativos indican pérdidas de rendimiento. Las barras de error muestran un intervalo de confianza del 95%, y el papel del clima es significativo en los casos en que la barra de error no cruza el impacto de rendimiento = línea 0 (Lobell y Field, 2007).

Por su parte, en Estados Unidos, se ha estimado que el calentamiento desde 1981 ha resultado en pérdidas combinadas anuales de 40 millones de toneladas o US \$ 5 mil millones (Lobell & Field, 2007).

Respecto a México, otro tipo de efecto negativo en la agricultura debido al cambio climático se ha presentado en la producción de café. Gay *et al.* (2006) desarrollaron un modelo econométrico indicando que la temperatura es el factor climático más relevante para la producción de café, ya que la producción responde significativamente a los patrones estacionales de temperatura. Los resultados de las condiciones de cambio climático proyectadas para el año 2020 indican que la producción de café podría no ser económicamente viable para los productores, ya que el modelo indica una reducción del 34% de la producción actual.

En el campo de la viticultura, el cambio climático está influyendo profundamente en el desarrollo de las plantas y la fenología, la composición de la fruta y la maduración de la uva (Van Leeuwen y Destruct Irvine, 2017). Un efecto importante del aumento de las temperaturas es un avance en los ciclos vegetativos y reproductivos de la vid. Las etapas fenológicas posteriores, como la brotación, la floración, el envero, la madurez, se alcanzan antes. Se ha estimado que la

producción agrícola podría reducirse a 25.7% en 2080 debido al cambio climático (Parker *et al.*, 2011).

Por otro lado, el aumento de las temperaturas está disminuyendo el almacenamiento en frío. La temperatura de las áreas agrícolas de México ha aumentado perceptiblemente desde la década de 1990 (Ruiz *et al.*, 2010; Zarazúa-Villaseñor *et al.*, 2011a), este aumento de temperatura trae consigo modificaciones en las variables agroclimáticas (Zarazúa-Villaseñor *et al.*, 2011b) como la acumulación de frío en el período invernal (Santillán-Espinoza *et al.*, 2011). Las áreas de alta acumulación de frío (600-800 y 800-900 HF) tendrán una fuerte reducción a medida que los escenarios avancen, especialmente en áreas de la Sierra de Baja California, Sierra Madre Occidental, sus estados adyacentes como Sonora, Chihuahua, Coahuila, Durango, Zacatecas y Aguascalientes y áreas del eje Neo Volcánico, por lo que es posible que en estas regiones comience una reducción en la idoneidad de la superficie agrícola para árboles frutales templados, como lo indican Medina *et al.* (2011) en la región Manzanera de Chihuahua.

En México se encontró una disminución del frío, del orden de 0,91 horas frío / año⁻¹ en el período 1961-2010. Con esta tendencia de pérdida de 9 horas Frío / década, en un futuro cercano la producción de especies que requieren frío podría volverse marginal o imposible, como lo indican Grageda *et al.* (2016) para nogal. Este cultivo requiere de 400 a 1000 horas frío (≤ 7.2 °C) (Grageda *et al.*, 2013).

Medina García *et al.* (2019) concluyen en su trabajo que el calentamiento global provocará una disminución de la superficie con acumulación de 600 a 800 HF de 11.7, 25.8 y 33% en los escenarios climáticos 2030, 2050 y 2070 respectivamente lo que afectará la falta de frío en el invierno causando un brote irregular e irregular de las plantas, con la consiguiente reducción en la cantidad y calidad de la fruta.

Sobreexplotación y contaminación de acuíferos en el estado de Chihuahua

Los acuíferos en áreas donde se practica la agricultura intensiva en el estado de chihuahua como Cuauhtémoc y Meoqui-Delicias presentan el déficit de volumen medio anual de agua subterránea más pronunciado notablemente más que aquellos que abastecen a la ciudad de Chihuahua; éstos tienen la mayor capacidad de almacenamiento, pero sus extracciones tienden a aumentar con el tiempo de 2007 a 2014 (Gutiérrez *et al.*; 2016). Además, se han degradado en cantidad y calidad en los últimos años, operando con déficits de -142.1% como en el caso del acuífero Jiménez-Camargo (Conagua, 2015).

Una de las causas de esta sobreexplotación es el uso consuntivo de los cultivos, por ejemplo, según Valdés (2001), la nuez pecanera requiere 7.500 litros para producir un kilogramo de nuez, pero se necesitan hasta 10.899 litros de agua para producir un kilogramo de nuez (Torres, 2010). Con respecto a la alfalfa, los resultados de Ríos *et al.* (2011) indicaron que producir un ingreso monetario de \$ 1.00, en el período 2007-2009 exigió 2.088 veces más agua que la nuez, pero el acuífero Ascensión, localizado en la parte noroeste del estado de Chihuahua donde se produce la alfalfa opera con -107% déficit hídrico (CONAGUA, 2015). Por su parte, se requieren 1,600 litros de agua por kg de manzana producida (Parra *et al.*, 2005). Sin embargo, el acuífero Cuauhtémoc presenta un déficit de -197% y es el más sobreexplotado del país (CONAGUA, 2015). Otro cultivo de alta producción en el estado es el chile jalapeño. Assouline *et al.* (2006) detectaron que los valores de rendimiento más altos se obtuvieron con 10.7 kg de chile empleando 1000 litros

de agua. El chile seco y molido se produce y procesa en la región de Buenaventura para exportarlo a los Estados Unidos y Europa. Sin embargo, su acuífero presenta un déficit de -65.1% (CONAGUA, 2015). En el Cuadro 1 se presenta información relevante sobre la limitada disponibilidad de varios acuíferos debido a la sobreexplotación, de los cuales, Ascensión, Cuauhtémoc, Jiménez y Villa Ahumada ya no alcanzan la calidad o la cantidad de agua para la población y el riego agrícola, como se expone más adelante.

Cuadro 1. Acuíferos sobreexplotados en el estado de Chihuahua.

| Clave | Acuífero | Déficit | R | DNCOM |
|-------|-----------------------------|---------|-------|-------|
| 0801 | Ascensión | -107 | 132 | 0 |
| 0803 | Baja Babicora | -13.4 | 90.6 | 0 |
| 0804 | Buenaventura | -65.1 | 66.5 | 0 |
| 0805 | Cuauhtémoc | -197.0 | 115.2 | 0 |
| 0806 | Casas Grandes | -20.4 | 180 | 0 |
| 0807 | El Sauz-Encinillas | -27.9 | 62.4 | 0 |
| 0808 | Janos | -44.4 | 141.9 | 15.7 |
| 0810 | Samalayuca | -6.1 | 16 | 0 |
| 0812 | Palomas-GuadalupeVictoria | -2.8 | 15.6 | 2.3 |
| 0821 | Flores Magón- Villa Ahumada | -110.4 | 137.5 | 0 |
| 0822 | Santa Clara | -12.4 | 59.4 | 35.8 |
| 0828 | Los Moscos | -0.8 | 37.7 | 0 |
| 0830 | Chihuahua-Sacramento | -45.5 | 56.6 | 0 |
| 0831 | Meoqui- Delicias | -172.2 | 211.2 | 0 |
| 0832 | Jiménez-Camargo | -142.1 | 173.3 | 5.5 |
| 0833 | Valle de Juárez | -86.5 | 125.9 | 0 |
| 0845 | Felipe de Jesús | -0.045 | 69.9 | 69.9 |
| 0847 | Los Juncos | -103.6 | 133.6 | 0.1 |
| 0848 | Laguna de Palomas | -40 | 23.3 | 0 |

Fuente: Herrera *et al.* (2016). II Congreso Nacional de Riego y Drenaje COMEII (2016).

Términos según NOM-011-CONAGUA-2015. Unidades en $\text{Mm}^3 \text{ año}^{-1}$ DNCOM: descarga natural comprometida.

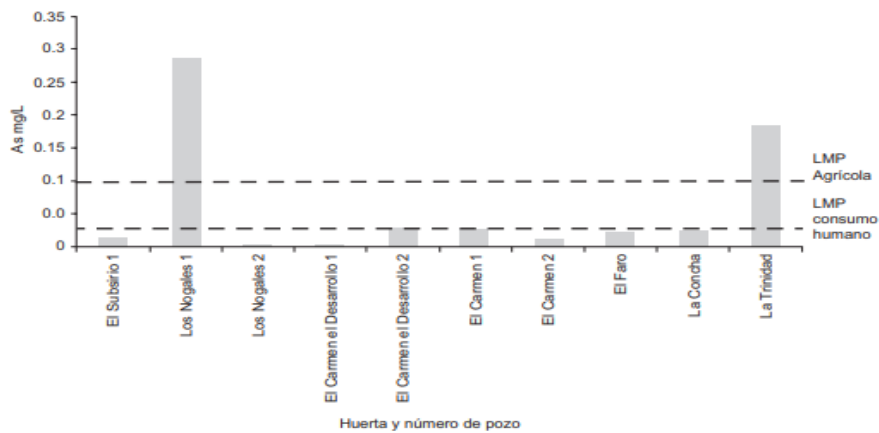
Respecto a la calidad del agua, la contaminación con arsénico se ha evidenciado en fuentes de agua potable en la región sureste del estado de Chihuahua, así como en los acuíferos Meoqui-Delicias (Espino *et al.*, 2009) Jiménez- Camargo, Tabalaopa-Aldama (Reyes *et al.*, 2010) y el Sáuz-Encinillas (Zamarrón, 2013), donde un alto porcentaje de pozos tienen valores superiores a lo indicado en la NOM 127 del Ministerio de Salud, que establece un contenido máximo permitido de arsénico 0.025 mg L^{-1} en más del 50% de sus fuentes de suministro (Olmos-Márquez 2011).

Según el trabajo de Valles *et al.* (2017) la mayoría de los pozos muestreados por la carretera Jiménez-las Pampas, Chihuahua para riego agrícola, se encontraban dentro del LMP de As (0.1 mg / L) (CONAGUA 2013), excepto Los Nogales 1 y La Trinidad como se presenta en la Figura

3. Además, varios pozos excedieron los límites de arsénico para el agua para uso y consumo humano (0.025 mg L⁻¹; SSA 1994). Entre ellos, Los Nogales 1, La Trinidad, Carmen Desarrollo 2 y Carmen 1 como se presenta en la Figura 4.

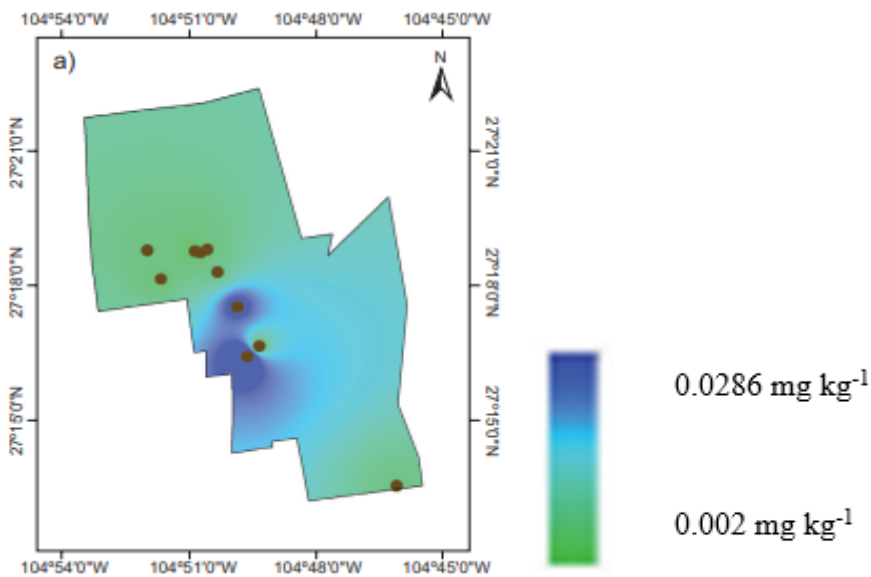
Por otra parte, los acuíferos Cuauhtémoc y Meoqui-Delicias se utilizan principalmente para riego agrícola. Su alta tasa de explotación es preocupante debido a su importancia económica y su rápida reducción. En cuanto a su calidad de agua, los nitratos y el arsénico son los contaminantes detectados en estos acuíferos (Espino *et al.*, 2007; Espino-Valdés *et al.*, 2009; Orozco-Corral y Valverde-Flores, 2012).

Figura 3. Concentración de arsénico (As) en el agua de pozo del área muestreada y límites máximos permisibles (LMP) en México para consumo humano y riego agrícola



Valles *et al.*, (2017).

Figura 4. Distribución de arsénico (As) en el área estudiada



Valles *et al.*, (2017).

La degradación del suelo en el estado de Chihuahua

La degradación del suelo es un proceso que disminuye la capacidad y el potencial para producir bienes y servicios cuantitativa y cualitativamente (García *et al.*, 2012). La producción intensiva en forma de monocultivo causa pérdida de fertilidad en el suelo al absorber las mismas especies siempre los mismos nutrientes. Los largos períodos del mismo cultivo, con una baja contribución anual de carbono y una disminución en el contenido de materia orgánica (Duval *et al.*, 2015), junto con la acumulación de fertilizantes, pesticidas y otros agroquímicos. (Sepúlveda-Varas *et al.*, 2012), han impactado negativamente a los agroecosistemas, causando la degradación del suelo (Bonanomi *et al.*, 2014).

En el estado de Chihuahua, el grado de degradación del suelo en la mayor parte del territorio es moderado, excepto en las áreas límites norte, este y oeste del territorio, que son severas (CONABIO, 2016).

Efecto del cambio climático sobre insectos polinizadores beneficiosos e introducción de plagas y enfermedades.

Alrededor del 35% de los cultivos agrícolas dependen directamente de los polinizadores (Kleint *et al.*, 2007) y el 84% de las especies de plantas cultivadas están involucradas con la actividad de estos insectos (Williams, 1996). Las abejas melíferas (*Apis mellifera*) también son cruciales para mantener la biodiversidad porque polinizan numerosas especies de plantas que requieren un polinizador obligatorio para la fertilización (Michener, 2000).

El cambio climático modifica la fenología de las plantas, especialmente el período de floración. El clima influye en el desarrollo de las flores y en la producción de néctar y polen, directamente vinculados con la actividad y desarrollo de las colonias de abejas (Winston, 1987). Un efecto importante del cambio climático en las abejas melíferas proviene de los cambios en la distribución de las especies de flores (Thuiller *et al.*, 2005). Esto puede definir nuevos rangos de distribución de estos insectos y dar lugar a nuevas relaciones competitivas entre especies y razas, así como entre sus parásitos y patógenos. Mientras tanto, los apicultores moverán sus colmenas a nuevas áreas de alimentación e importarán razas extranjeras para probar su valor en el equilibrio de los nuevos entornos (Le Conte y Navajas; 2008).

Además, el calentamiento climático afecta los ciclos de vida de los insectos debido al control de la temperatura de los procesos involucrados. Patterson *et al.* (1999) proporcionaron una extensa lista de umbrales climáticos y respuestas para el desarrollo fenológico de insectos plaga. Exceder los umbrales críticos tiene implicaciones, por ejemplo, para la mortalidad o la fecundidad, y el aumento de la temperatura acumulada (en grados-días) aumenta potencialmente el número de generaciones (Porter *et al.*, 1991). Se cree que el principal efecto del calentamiento climático en la zona templada es un cambio en la supervivencia invernal, mientras en las latitudes del norte, los cambios en la fenología en términos de crecimiento y reproducción pueden ser de gran importancia (Bale *et al.*, 2002).

Los cambios en el clima también pueden afectar el rango geográfico en las poblaciones de insectos. Por ejemplo, puede conducir a un cambio hacia el norte en la distribución potencial del barrenador europeo del maíz (*Ostrinia nubilalis* Hübner) de hasta 1,200 km, o entre 165 y 500 km por cada aumento de temperatura de 1° C, con una generación adicional encontrada en todas las regiones donde actualmente ocurre (Porter *et al.*, 1991). Patterson *et al.* (1999) revisaron otros

ejemplos para la expansión de los rangos de insectos. Mientras tanto las plagas migratorias pueden responder más rápidamente al cambio climático que las plantas y podrían colonizar cultivos ya presentes en lugares distantes como lo sugiere Cannon (1998).

Por otro lado, la sequía puede conducir a cambios en las plantas hospederas, haciéndolas más atractivas para las plagas de insectos, mientras que la precipitación excesiva asociada puede tener efectos negativos directos sobre los insectos que viven en el suelo (Watt y Leather, 1986), o efectos indirectos a través de cambios en los insectos, patógenos, depredadores y parásitos (Raulston *et al.*, 1992).

Una mayor precipitación de verano podría dar como resultado una mayor cobertura de vegetación, lo que llevaría a una mayor abundancia de Auchenorrhyncha, un homóptero componente importante de la fauna de insectos de los pastizales, mientras que el aumento de la sequía de verano disminuiría la cubierta de vegetación sin ningún efecto relacionado en el insecto (Masters *et al.*, 1998).

La diversificación y protección de cultivos frente a la adversidad climática

Chihuahua ocupa el primer lugar nacional en producción y valor económico de cultivos como alfalfa, algodón, avena, cebolla, chile, manzana, nueces, pistachos y trigo. Sin embargo, el modelo agrícola dominante es una de las principales amenazas contra la biodiversidad debido al uso intensivo de agroquímicos y tecnologías que conducen a la pérdida de especies silvestres beneficiosas y la pérdida de valiosos recursos genéticos (Sarandón y Flores, 2014).

La agricultura convencional está destruyendo la diversidad de polinizadores, siendo esto fundamental para aumentar la productividad de muchos cultivos (Garibaldi *et al.*, 2017). Por el contrario, algunas plagas han aumentado su incidencia y niveles de daño debido a prácticas culturales que aumentan su capacidad de reproducción y distribución, como el monocultivo y la reducción de la variabilidad genética (García-Hernández *et al.*, 2003).

Por otro lado, Altieri y Nicholls (2007) declararon que los sistemas agrícolas más diversificados generalmente contienen ciertos recursos específicos para enemigos naturales, derivados de la diversidad vegetal. Por lo tanto, al reemplazar o agregar diversidad a los sistemas existentes, es posible ejercer cambios en la diversidad del hábitat que favorecen la abundancia y efectividad de los enemigos naturales.

Esta relación entre la biodiversidad y la protección de cultivos se ha extendido para hacer frente a la variabilidad climática (Altieri y Koochafkan, 2008). Se ha demostrado que la resistencia a los desastres climáticos está estrechamente relacionada con la biodiversidad presente en los sistemas de producción (Philpott *et al.*, 2009). La biodiversidad sostiene el suministro de recursos del ecosistema que mantienen las condiciones necesarias para la vida en la Tierra (Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica, 2008).

En el contexto internacional, para 2030 debe haber sistemas de producción sostenibles, con prácticas agrícolas que aumenten la producción y la productividad, económicamente viables, ecológicamente adecuadas y cultural y socialmente aceptables; pero al mismo tiempo conservan los ecosistemas (ONU, 2015).

La zonificación agroecológica identifica regiones óptimas para los cultivos

Las condiciones climáticas regionales son un factor esencial para la selección de especies para cultivos. El conocimiento de la variabilidad climática de una región es importante porque el clima afecta directamente el desarrollo del cultivo (Sá Júnior *et al.*, 2012). La adversidad climática afecta la producción y la economía agrícola de un país, por lo que se necesitan técnicas de zonificación para identificar con mayor seguridad los lugares más apropiados para los cultivos (Falasca *et al.*, 2012). La zonificación consiste en aptitudes de riesgo agrícolas, climáticas e incluso climáticas. La delimitación agroclimática es la combinación de información meteorológica con los requisitos del cultivo para identificar regiones adecuadas, inadecuadas o marginalmente adecuadas para estos (Wrege *et al.*, 2015). Sin embargo, cada estudio tiene sus particularidades determinadas, entre otros aspectos, por la disponibilidad de información ambiental (Díaz, 2011).

Conclusiones

Una alternativa confiable para enfrentar la adversidad de un clima cambiante es la diversificación de cultivos, lo que permitirá aumentar la población de insectos beneficiosos, generar recursos ecosistémicos más integrados respetando los ciclos naturales del agua y preservando la calidad de los suelos para ofrecer una mayor resistencia a la variabilidad climática y aumentar la seguridad alimentaria al producir una mayor variación de los productos agrícolas. Esta es la razón por la cual es necesario identificar las áreas óptimas o no adecuadas para el establecimiento de cultivos más apropiados para las condiciones hídricas, edáficas y climáticas locales lo que puede lograrse a través de la zonificación agroecológica.

Bibliografía

- Altieri, M. y Koohafkan, P., (2008) *Enduring Farms: Climate Change, Smallholders and Traditional Farming Communities*, Third World Network. Penang, Malaysia. Obtenido de http://www.fao.org/docs/eims/upload/288618/Enduring_Farms.pdf. Consultado el 4 de abril de 2020.
- Altieri, M. A. y Nicholls, C. I., (2007) *Biodiversidad y manejo de plagas en agroecosistemas*. Icaria Editorial S.A. Barcelona, pp. 248.
- Anderegg, W.R.L., Schwalm, C., Biondi, F. y Camarero, J.J., (2015) Pervasive drought legacies in forest ecosystems and their implications for carbon cycle models, *Science* 349, pp. 528–532.
- Assouline, S, Möller, M., Cohen, S., Ben-Hur, M., Grava, A, Narkis K, Silber, A., (2006) Soil-plant system response to pulsed drip irrigation and salinity: bell pepper case study, *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 70, pp. 1556-1568.
- Bale, J.S., Masters, G.J., Hodkinson, I.D., Awmack, C., Bezemer, T.M., Brown, V.K., Butterfield, J., Buse, A., Coulson, J.C., Farrar, J., Good, J.E., Harrington, R., Hartley, S., Jones, T.H., Lindroth, R.L., Press, M.C., Symrnioudis, I., Watt, A.D., Whittaker, J.B., (2002) Herbivory in global climate change research: direct effects of rising temperature on insect herbivores, *Global Change Biol.* 8, pp. 1–16

- Blann, K.L., Anderson, J.L., Sands, G.R., Vondracek, B., (2009) Effects of Agricultural Drainage on Aquatic Ecosystems: A Review, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 39, pp. 909-1001.
- Beaumont L. J. Pitman, A. Perkins, S. Zimmermann, NE. Yocozz, NG. Thuiller, W., (2011) Impacts of climate change on the world's most exceptional ecoregions, *Proceedings of the National Academy of Sciences* 108, pp. 2306-2311.
- Bonanomi, G.; D'Ascoli, R., Scotti, R., Gaglione, S.A, Caceres, M.G., Sultana, S., Scelza, M.A. Rao, R., Zoina, A., (2014) Soil quality recovery and crop yield enhancement by combined application of compost and wood to vegetables grown under plastic tunnels, *Agriculture, Ecosystems & Environment* 192(0), pp. 1-7.
- Cannon, R.J.C., (1998) The implications of predicted climate change for insect pests in the UK, with emphasis on non-indigenous species, *Global Change Biol.* 4, pp. 785–796.
- CONABIO. Compendio estadístico del sector agroalimentario de Chihuahua, 2016.
- CONAGUA, (2015) Determinación de la disponibilidad de agua en el Acuífero 0805 Cuauhtémoc, Estado de Chihuahua, México: CONAGUA. 2007, 35 pp. http://www.conagua.gob.mx/Conagua07/Aguasubterranea/pdf/DR_0807.pdf.
- Conrad, R. (1996) Soil microorganisms as controllers of atmospheric trace gases (H₂, CO, CH₄, OCS, N₂O, and NO), *Microbiol Rev.* 1996 Dec; 60(4), pp.609-40
- Costa, F.S., (2005) Estoques de carbono orgânico e efluxos de dióxido de carbono e metano de solos em preparo convencional e plantio direto no subtropical brasileiro, Tese Dou., Universidad Federal do Rio grande do Sul, Porto Alegre, BRA
- Díaz, R.G.P. (2011) Zonificación groecológica del cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) en el Centro-Norte de la Sierra Ecuatoriana, SANGOLOQUÍ 1:11
- D' Odorico, P., Battachan, A., Davis, K.F., Ravi, S., Runyan, C.W., (2013) Global desertification: Drivers and feedbacks, *Adv. Water Res.* 2013, 51, pp. 326–344.
- Dubey, A., Malla, M.A., Khan, F., Chowdhary K., Yadav, S., Kumar, A., Sharma, S. Pramod, K. K., Latif, M. K., (2019) Soil microbiome: a Key player for conservation of soil health under changing climate, *Biodivers Conserv* 28, PP. 2405-2429 Obtenido de <https://sci-hub.tw/10.1007/s10531-019-01760-5>. Consultado el 7 de Mayp de 2020.
- Duval, M.E., Capurro, J.E., Galantini, J.A., Andriani, J.M., (2015) Utilización de cultivos de cobertura en monocultivo de soja: efectos sobre el balance hídrico y orgánico, *Ciencia del Suelo* 33(2), pp. 247-261.
- Espino, M.S., Rubio, H.O., Navarro, C.J., (2007) Nitrate pollution in the Delicias-Meoqui aquifer of Chihuahua, Mexico. *WIT Transactions on Biomedicine and Health, Environmental Health Risk IV*, 11 pp 189-196.
- Espino, M. S., Barrera, Y., & Herrera, E., (2009) Presencia de arsénico en la sección norte del acuífero Meoqui-Delicias del estado de Chihuahua, México, *Tecnociencia*, Vol. II(1).
- Falasca, S. L., Ulberich, A. C., and Ulberich, E., (2012) Developing an agroclimatic zoning model to determine potential production areas for castor bean (*Ricinus communis* L.), *Industrial Crops and Products*, 40, pp.185-191.

- Fan, J., Wu, L., Zhang, F., Xiang, Y., Zheng, J., (2016) Climate change effects on reference crop evapotranspiration across different climatic zones of China during 1956–2015, *Journal of Hydrology*, obtenido de <https://sci-hub.tw/https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.09.060>, consultado el 3 de abril de 2020.
- FAO, (2018) Base de datos de eventos de emergencia (EM-DAT) Obtenido de <https://books.google.com.mx/>.
- Foley, J.A., Ramankutty N., Brauman, K.A., Cassidy, E.S., Gerber, J.S., Johnston, M., Mueller, N.D., O’Connell, C., Ray, D.K., West, P.C., Balzer, C., Bennett, E.M., Carpenter, S.R., Hill J., Monfreda, C., Polasky, S., Rockstrom, J., Sheehan, J., Siebert, S., Tilman, D. y Zaks, D.P.M., (2011) Solutions for a cultivated planet, *Nature* 478:337-342.
- Franzluebbers, A. J., (2020) Cattle grazing effects on the environment: Greenhouse gas emissions and carbon footprint. *Management Strategies for Sustainable Cattle Production in Southern Pastures*, 11–34. doi:10.1016/b978-0-12-814474-9.00002-5.
- García-Hernández, J.L., Loya, J.G., Troyo-Diéguez, E., Murillo-Amador, B., (2003) Actividad de insectos entomófagos en algodónero con cultivos promotores intercalados. pp. 450-455. In: J. Romero Nápoles, E. G. Estrada y A. Equihua Martínez (Eds) *Entomología Mexicana Vol. 2*, Edit. Sociedad Mexicana de Entomología.
- García, O., Gastón, C. J. G., Juan P. J. I. y Balderas, P. M. A., (2012) Procesos de cambio en el uso de suelo de una microcuenca en el altiplano mexicano. El caso del río San José en el Estado de México, *Papeles de Geografía* 55(56), pp 63-73.
- Garibaldi, L.A., Aguiar, S., Aizen, M. A., Morales, C. L., Sáez, A., (2017) *Ecología Austral*. Vol. 27 (3)
- Gay, C., Estrada, F., Conde, C. Eakin H., (2006) Potential Impacts of Climate Change on Agriculture: A Case of Study of Coffee Production in Veracruz, Mexico. *Climatic Change* 79, pp. 259–288 doi: <https://doi.org/10.1007/s10584-006-9066-x>
- Grageda, G. J., Ruiz, C. J. A., García, R. G. E., Núñez, M. J. H., Valenzuela, L. J., Ruiz, Á. O. y Jiménez, L. A. (2016) Efecto del cambio climático en la acumulación de horas frío en la región nogalera de Hermosillo, Sonora, *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 13(Pub. Esp.) pp. 2487-2495.
- Grageda, G. J., Núñez Moreno, J. H., Maldonado Navarro, L. A., Martínez Díaz, G. y Vieira de Figueiredo, F., (2013) XIV Simposio internacional de nogal pecanero. Hermosillo Sonora. Obtenido de http://www.zohrabsamani.com/research_material/files/Inifabmemoria-2013.pdf#page=57. Consultado el 31 de Julio de 2020.
- González, G. H. A. y Hernández, S. J. R., (2016) “Zoniicación agroecológica del *Coffea arabica* en el municipio Atoyac de Álvarez, Guerrero, México”, *Investigaciones Geográficas, Boletín*, núm. 90, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 105-118, dx.doi.org/10.14350/rig.49329.
- Gornall, J., Betts, R., Burke, E., Clark, R., Camp, J., Willett K., and Wiltshire, A., (2010) Implications of climate change for agricultural productivity in the early twenty-first century. Obtenido de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2935125/>. Consultado en junio 10, 2020.

- Gutiérrez, M., Reyes-Gómez, V. M., Alarcón-Herrera, M. T. y Núñez-López, D., (2016) Acuíferos en Chihuahua: estudios sobre sustentabilidad, *TECNOCIENCIA Chihuahua* 10(2), pp. 58-63.
- Hellin, J., Bellon, M.R., Hearne, S.J, (2014) Maize landraces and adaptation to climate change in Mexico. *J. Crop Improv.* 28 pp. 484–501. doi: 10.1080/15427528.2014.921800.
- Herrera, Eduardo F., Bojórquez, M., Navarro, C. J., y Navarro, H. I. (2016) “El flujo de agua subterránea en los acuíferos 0830 y 0835 del estado de Chihuahua (México), importancia del análisis geoestadístico e hidrogeoquímico”. Memorias en extenso del II Congreso Nacional de riego y drenaje COMEII, Chapingo, Edo. de México (8 al 10 de septiembre de 2016). Artículo: COMEII-16034. Obtenido de <http://comeii.com/comeii2016/congreso2016/php/ponencias/extenso/COMEII-16034.pdf>. Consultado el 7 de septiembre de 2020.
- Klein, A.M., Vaissiere, B.E., Cane, J.H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S.A., Kremen, C y Tschardtke, T. (2007) Importance of pollinators in changing landscapes for world crops, *Proc. roy. Soc. Lond., B, biol. Sci.*, 274 (1608) pp. 303-313.
- Lal, R., (2003) Ofsetting global CO2 emissions by restoration of degraded soils and intensification of world agriculture and forestry, *Land Degrad. Develop.* 14 pp. 309-322.
- Le Conte, Y. y Navajas M., (2008) Climate change: Impact on honey bee populations and diseases. *Revue scientifique et technique (International Office of Epizootics)* 27(2), pp. 485-97, 499-510.
- Lobell, D. B. y Field C. B., (2007) Global scale climate–crop yield relationships and the impacts of recent warming, *Environ. Res. Lett.* 2, 1–7. Obtenido de <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/2/1/014002/pd>. Consultado el 11 de junio de 2020.
- Low, P.S., (2013) Economic and Social Impacts of Desertification, Land Degradation and Drought. White Paper I. UNCCD 2nd Scientific Conference; Prepared with the Contributions of an International Group of Scientists Available online: <http://2sc.unccd.int>. Consultado el 30 de agosto de 2019.
- Marena. (1999) Guía para comprender el Cambio Climático en Nicaragua. Programa Ambiental Nicaragua-Finlandia. Proyecto de Apoyo a la Implementaron de la Convención Marco de Cambio Climático y del Protocolo de Montreal. Managua, Nicaragua, noviembre 1999.
- Masters, G.J., Brown, V.K., Clarke, I.P., Whittaker, J.B., Hollier, J.A., (1998) Direct and indirect effects of climate change on insect herbivores: *Auchenorrhyncha* (Homoptera), *Ecol. Entomol.* 23, pp. 45–52
- Mazdiyasi, O. y AghaKouchak A., (2015) Substantial increase in concurrent droughts and heatwaves in the United States, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 112 pp. 11484–11489. 4.
- Medina, G. G., Ruiz, C. J. A., Ramírez, L. M. R. y Díaz, P. G., (2011) Efecto del cambio climático en la acumulación de frío en la región manzanera de Chihuahua, *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 2(Pub. Esp.), pp. 195-207.
- Medina-García, G., Grageda-Grageda J., Ruiz-Corral, J. A., Casas-Flores, J. I., Rodríguez-Moreno, V. M. C. de la Mora-Orozco, (2019) Disminución de las horas frío como efecto

- del cambio climático en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* volumen 10 (6) 14 de agosto - 27 de septiembre, 2019. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7108546>. Consultado el 31 de Julio de 2020.
- Michener, C., (2000) *The bees of the world*. Johns Hopkins University Press, Baltimore.
- Miralles, D.G., Teuling, A.J. Van Heerwaarden, C.C. y Vila J. Guerau de Arellano, 2014. Mega-heatwave temperatures due to combined soil desiccation and atmospheric heat accumulation, *Nat. Geosci.* 7, pp. 345–349.
- Miralles, D. G., Gentine, P., Seneviratne S. I. and Teuling, A. J., (2019) Land–atmospheric feedbacks during droughts and heatwaves: state of the science and current challenges, *Ann N Y Acad Sci.* 2019 Jan; 1436(1), pp. 19–35. doi: 10.1111/nyas.13912.
- Munasinghe, L., Tackseung, J. , Rind, D. H., (2012) Climate change: a new metric to measure changes in the frequency of extreme temperatures using record data, *Clim. Chang.* Springer 113(3), pp. 1001–1024. Obtenido de <https://sci-hub.tw/10.1007/s10584-011-0370-8>. Consultado el 10 de junio de 2020.
- Olmos-Márquez, M. (2011) *Remoción de arsénico del agua por fitorremediación con Eleocharis macrostachya en humedales construidos de flujo subsuperficial*. Tesis de Doctorado. Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S.C. (CIMAV). Chihuahua, Chihuahua, México, 99 pp.
- ONU., (2015) *Open Working Group proposal for Sustainable Development Goals*. United Nations Organization. Full report of the of the General Assembly on is issued as document A/68/970, available at <http://undocs.org/A/68/970>
- Orozco-Corral, A.L. y Valverde Flores M.I., (2012) *Impacto ambiental del monitoreo de la humedad del suelo mediante sondas de capacitancia sobre la contaminación de acuíferos por nitratos*. Unión Agrícola Regional de Fruticultores del Estado de Chihuahua, Simposio internacional sobre el manzano y frutales de clima templado. Obtenido de <http://www.unifrut.com.mx/archivos/simposiums/symposium/2012/7c.pdf>. Consultado el 9 de mayo de 2020.
- Parker, A., García de Cortazar, A. I., van Leeuwen C. and Chuine I., (2011) General Phenological model to characterize the timing of flowering and veraison of *Vitis vinifera* L. *Aust. J. Grape Wine Res.*, 17, 206-216. Obtenido de <https://sci-hub.tw/10.1111/j.1755-0238.2011.00140.x>. Consultado el 10 de junio del 2020.
- Parra Q. R. A., Orozco, J. A., González M., Amado, J. P. y Ortiz P., (2005) Rendimiento y tamaño del fruto del manzano sometido a estrés hídrico planificado en Chihuahua, México, *Agríc. Téc. Méx.* 31, pp. 11-20.
- Patterson, D.T., Westbrook, J.K., Joyce, R.J.V., Lingren, P.D., Rogasik, J., (1999) Weeds, insects, and diseases. *Climatic Change* 43, pp. 711–727.
- Philpott, S.M., Lin, B.B., Brines S.J., (2009) A multiscale assessment of hurricane impacts on agricultural landscapes based on land use and topographic features. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 128(1–2), pp. 12–20.

- Porter, J.H., Parry, M.L., Carter, T.R., (1991) The potential effects of climatic change on agricultural insect pests. *Agric. Forest Meteorol.* 57, pp 221–240.
- Raulston, J.R., Pair, S.D., Loera, J., Cabanillas, H.E., (1992) Prepupal and pupal parasitism of *Helicoverpa zea* and *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) by *Steinernema* sp. In corn fields in the lower Rio Grande Valley, *J. Econ. Entomol.* 85, pp. 1666–1670.
- Raza, Ali, Razzaq, Ali, Saher Mehmood, S., Zou, X., Zhang X., Ya, L., y Xu, J., (2019) Impact of Climate Change on Crops Adaptation and Strategies to Tackle Its Outcome: A Review, *Plants Basel* v.8(2), pp. 34
- Ruiz, C. J. A.; Medina, G. G., Manríquez, O. J. D. y Ramírez, D. J. L., (2010) Evaluación de la vulnerabilidad y propuestas de medidas de adaptación a nivel regional de algunos cultivos básicos y frutales ante escenarios de cambio climático, Informe Final de Proyecto INIFAPINE. Guadalajara, Jal., pp. 108
- Sá Junior, A., Carvalho, L. G., Silva, F. F. y Alves, M. C. (2012) Application of the Köppen classification for climatic zoning in the state of Minas Gerais, Brazil. *Theoretical and Applied Climatology*, 108, pp. 1-7.
- Salinas Zavala, C.A., Lluch S. E. Cota, e Fogel, I., (2006) Historia del desarrollo del cultivo invernal de trigo en cinco distritos de riego en el desierto de Sonora, México, *Interciencia*. Venezuela 31(4), pp. 254–261.
- Santillán Espinoza, L. E.; Blanco, M. F.; Magallanes, Q. R.; García, H. J. L.; Cerano, P. J., (2011) Tendencias de temperaturas extremas en Zacatecas, México *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 2(2), pp 207-219
- Sarandón, S. J. y Flores, C. C., (2014) La biodiversidad en los agroecosistemas en 36 Agroecología: bases teóricas para el diseño y manejo de agroecosistemas sustentables. Sarandón, S. J. & C. C. Flores (Coordinadores) Editorial de la Universidad Nacional de La Plata. La Plata, pp. 131-158.
- Saynes Santillán, V., Etchevers Barra, J. D., Paz Pellat F. y Alvarado Cárdenas, L. O., (2016) Emisiones de gases de efecto invernadero en sistemas agrícolas de México, *Terra Latinoamericana* 34 pp 83-96.
- Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica, (2008) *La Biodiversidad y la Agricultura: Salvaguardando la biodiversidad y asegurando alimentación para el mundo*. Montreal, 56 páginas.
- Seneviratne, S.I., Nicholls, N., Eastering, D., Goodess, C, Shinjiro K., James K., Yali, L., (2012) *Changes in Climate Extremes and their Impacts on the Natural Physical Environment in Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*. Cambridge University Press, pp. 109–230. Doi: <https://doi.org/10.7916/d8-6nbt-s431>
- Sepúlveda-Varas, A., González, E., Inostroza C., (2012) Remediación de la contaminación por nitratos en el suelo: antecedentes generales y pertinencia en zona sur de Chile. *Gestión Ambiental* 21: 13-32.
- Sheoran I.S., Saini H.S. (1996) Drought-induced male sterility in rice: Changes in carbohydrate levels and enzyme activities associated with the inhibition of starch accumulation in

- pollen. *Sex. Plant Reprod.* 1996; 9, pp. 161–169. Obtenido de <https://sci-hub.tw/10.1007/BF02221396>. Consultado el 3 de marzo de 2020. doi: 10.1007/BF02221396.
- Singh, B., Bardgett, R., Smith, P., Reay D., (2010) Microorganisms and climate change: terrestrial feedbacks and mitigation options. *Nat Rev Microbiol* **8**, 779–790 (2010). Obtenido de <https://sci-hub.tw/https://doi.org/10.1038/nrmicro2439>. Consultado el 3 de junio de 2020.
- Sivakumar, M.V.K., (2007) Interactions between climate and desertification, *Agricultural and Forest Meteorology* 142, pp. 143–155. Obtenido de <https://sci-hub.tw/10.1016/j.agrformet.2006.03.025>. Consultado el 23 de junio de 2020.
- Snyder, C. S., Bruulsema, T. W., Jensen, T. L. y Fixen P. E., (2009) Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects, *Agric. Ecosyst. Environ.* 133, pp. 247-266.
- Thuiller W., Lavorel S., Araujo M.B., Sykes M.T. y Prentice I.C., (2005) Climate change threats to plant diversity in Europe, *Proc. natl Acad. Sci. USA*, 102 (23), pp. 8245-8250.
- Torres, M. A., (2010) Productividad física y monetaria del metro cúbico de agua de riego por bombeo en el cultivo de nogal pecanero (*Carya illinoensis*) en el Ejido y La Pequeña Propiedad en La Comarca Lagunera, México de 1990 a 2006. Tesis profesional. Departamento de Suelos. U. A. Chapingo, Chapingo, Estado De México, México.
- Valdés, G.B. (2001) El nogal pecanero en Sonora, México. SAGARPA, INIFAP. Libro técnico No. 3 P. 93-112, ISSN: 1405-597X
- Valles-Aragón, M. C., Ojeda-Barrios, D. L., Guerrero-Prieto, V. M., Prieto Amparan, J. A., Sánchez-Chávez, E., (2017) Calidad del agua para riego en una zona nogalera del estado de chihuahua, *Rev. Int. Contam. Ambient.* Vol 33(1) México feb. 2017. Obtenido de <file:///C:/Users/Usuario/Downloads/52222-150893-1-PB.pdf>. Consultado el 7 de Julio de 2020.
- Van Leeuwen, C., y Destrac-Irvine, A., (2017) Modified grape composition under climate change conditions requires adaptations in the vineyard. *OENO One*, 51(2), pp. 147-154. <https://doi.org/10.20870/oenone.2017.51.2.1647>. Obtenido de <https://oenone.eu/article/view/1647>. Consultado el 6 de junio de 2020.
- Watt, A.D., y Leather, S.R., (1986) The pine beauty in Scottish lodgepole pine plantations. In: Berryman, A.A. (Ed.), *Dynamics of Forest Insect Populations: Patterns, Causes, Implications*. Plenum Press, New York, pp. 243–266.
- Williams, I.H., (1996) Aspects of bee diversity and crop pollination in the European Union. In *The conservation of bees*. Linnean Society Symposium Series No. 18 (Matheson, A., Buchmann, S.L., O’Toole, C., Westrich P. y Williams, I.H. eds). Academic Press, London, pp. 63-80.
- Winston, M.L., (1987) *The biology of the honey bee*. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts.
- Wrege, M. S., Coutinho, E. F., Pantano, A. P. y Jorge, R. O., (2015) Potencial distribution of olive in Brazil and worldwide, *Revista Brasileira de Fruticultura*, 37, pp. 656-666.

- Zak, D. R., Holmes, W. E., White, D. C., Peacock, A. D. y Tilman, D., (2003) Plant diversity, soil microbial communities, and ecosystem function: ¿are there any links? *Ecology*, 84(8), pp. 2042–2050. doi:10.1890/02-0433
- Zamarrón, S. L. (2013) Análisis hidrogeoquímico de los acuíferos Chihuahua-Sacramento y El Sauz-Encinillas, Chihuahua, México. Tesis Maestría, Facultad de Ingeniería, UACH. *Ciencias de la tierra* 5 Año 5, Núm. 15, marzo - mayo 2018.
- Zarazúa, V. P.; Ruiz, C. J. A.; González, E. D. R.; Flores, L. E. H. y Ron, P. J. (2011a) Cambio climático y agroclimático para el ciclo otoño-invierno en la región Ciénega de Chapala. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 2(Pub. Esp.), pp. 295-308. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v2nspe2/v2spe2a10.pdf>. Consultado el 10 de mayo de 2020
- Zarazúa, V. P.; Ruiz, C. J. A.; González, E. D. R.; Flores, L. H. E. y Ron, P. J. (2011b) Impactos del cambio climático sobre la agroclimatología del maíz en Ciénega de Chapala, Jalisco. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 2(Pub. Esp.), pp. 351-363. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v2nspe2/v2spe2a14.pdf>. Consultado el 9 de mayo de 2020