

Revista Electrónica Nova Scientia

Pronóstico productivo de la avena forrajera de temporal por efecto del cambio climático en el noroeste de Chihuahua, México

Yield forecast of forage oat due to climate change in the northwest of Chihuahua, Mexico

**Daniel Villazón Bustillos¹, Héctor Rubio Arias¹,
Jesús M. Ochoa Rivero² y Celia de la Mora³**

¹Facultad de Zootecnia y Ecología, Universidad Autónoma de Chihuahua.

²Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
Sitio Experimental La Campana.

³Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
Campo Experimental Centro-Altos de Jalisco.

México

Héctor O. Rubio Arias: rubioa1105@hotmail.com

Resumen

El cambio climático puede afectar la productividad de los cultivos en una región determinada. El objetivo fue identificar la variabilidad en la producción de avena forrajera (*Avena sativa* L.) de temporal utilizando una función estocástica y analizar sus relaciones con la temperatura y precipitación, ante escenarios de cambio climático en la región noroeste de Chihuahua, México. Se obtuvo información estadística de 13 años (2001-2013) en las estaciones meteorológicas de los municipios de Bachíniva y Namiquipa utilizando la información de julio, agosto y septiembre, en cuyo periodo se concentra alrededor del 80% de la precipitación anual. Se tomó información del modelo HadCM3 (Modelo acoplado del Centro Hadley versión 3, 2001) que describe el comportamiento de variables climáticas bajo escenarios de emisión de contaminantes A2 y B2 para los años 2050 y 2080. Los cambios en las variables climáticas en el corto plazo (2050) se esperan con un aumento tanto en la temperatura como en la precipitación, lo que permite en el caso de Bachíniva mejorar la producción de avena de 3.57 t/ha a 8.11 t/ha bajo en escenario de emisión de contaminantes A2. A largo plazo (2080) se espera un incremento permanente en la temperatura y sin importar que tanto mejore la precipitación, esto provocara que en las actuales regiones productoras de avena no se logren desarrollar los cultivos para su cosecha.

Palabras clave: función estocástica; *Avena sativa* L.; producción materia seca

Recepción: 18-04-2017

Aceptación: 10-08-2017

Abstract

Climate change can affect crop productivity in a particular region. The objective was to identify the variability in the production of dryland forage oat (*Avena sativa* L.) using a stochastic function and analyze their relationship with temperature and precipitation as affected by sceneries of climate change in the northwestern region of Chihuahua, Mexico. It was obtained 13 years of statistical information (2001-2013) at meteorological stations in the municipalities of Bachiniva and Namiquipa, using information on July, August and September months, where it is concentrated about 80% of annual precipitation. Information was taken from HADCM3 (2001) model that describes the behavior of climatic variables under pollutant emission scenarios A2 and B2 on the years 2050 and 2080. The changes in climate variables in the short term (2050) was taken and it is expected to increase both in temperature and precipitation, allowing in the case of Bachiniva improve the production of oats from 3.57 t/ha to 8.11 t/ha under pollutant emission scenario A2. In the long term (2080) a permanent increase in temperature is expected, and no matter how much precipitation improve, this will cause in the current oat producing regions fail to develop crops for harvest.

Keywords: stochastic function; *Avena sativa* L.; dry matter production

Introducción

La producción agropecuaria en la zona noroeste del estado de Chihuahua, depende en su mayor parte, de la precipitación; en especial, para los cultivos bajo un régimen de temporal como es el caso de la avena forrajera (*Avena sativa* L.). La avena es originaria de Asia menor y los españoles, en la época de la conquista, la introdujeron a México para fines forrajeros. En el periodo de 1996 a 2012 se sembraron más de un millón de hectáreas colocándose entre los cinco cultivos más importantes de los considerados anuales intensivos (INIFAP, 2012). En la actualidad, en México, la avena forrajera cumple un fundamental objetivo como forraje verde, ensilado, henificado o para producción de grano, el cual es un excelente proveedor de fibra soluble, proteína, ácidos grasos insaturados, vitaminas, minerales y fitoquímicos que reducen la presencia de varios tipos de enfermedades.

En las últimas dos décadas, el promedio de precipitación anual para la región noroeste de Chihuahua fue de 485 mm, finalizando en el año 2011 con una severa sequía (Rafael *et al.*, 2012) donde se tuvo una precipitación promedio de 275 mm (CNA, 2014). Además, el aumento en la emisión de los gases de efecto invernadero, como el dióxido de carbono (CO₂) por actividades antropogénicas, han provocado un efecto negativo en los ecosistemas terrestres; por ejemplo, algunos estudios en diversos ecosistemas, han reportado un incremento en la temperatura promedio, y en consecuencia, se ha intensificado la evapotranspiración de los cultivos reduciendo su productividad (Stanhill y Cohen, 2001; Wild *et al.*, 2008). El incremento en las temperaturas y cambios en los patrones de precipitación y sus potenciales efectos son una consecuencia de lo que se conoce como cambio climático (Birthal *et al.*, 2014). La agencia de estudios para el impacto climático en el ártico (ACIA-Arctic Climate Impact Assessment) y el panel sobre cambio climático (IPCC-Intergovernmental Panel on Climate Change) concluyeron que las variables de temperatura y precipitación cambiarán especialmente en altas latitudes durante el presente siglo (ACIA, 2004; IPCC, 2014).

El cambio climático representa un peligro latente en los sistemas ecológicos (Parmesan y Yohe, 2003; Malyshev *et al.*, 2015), en la agricultura (Parry y Ruttan, 1991; Birthal *et al.*, 2014), en la salud humana (McMichael *et al.*, 2006; Vardoulakis *et al.*, 2014) e incluso en la economía de las comunidades (Mendelsohn *et al.*, 2006; Wiebelt *et al.*, 2015). Para el caso particular de la agricultura, los patrones de producción pueden variar debido a que los cultivos reaccionan en forma diferente ante los cambios del clima (Field *et al.*, 2012). Aunado a todo lo anterior, el

incremento poblacional, en especial en algunas áreas, hacen más crítico los potenciales efectos del cambio climático (Higashino y Stefan, 2014). En particular, para la región del noroeste del estado de Chihuahua, donde el área ocupada con este cultivo se estima en alrededor de 300,000 ha. Por tanto, el fenómeno meteorológico de cambio climático y sus efectos representan un claro e imprescindible tema de investigación y análisis. En específico, la avena forrajera que se produce bajo condiciones de temporal, en la región noroeste del estado de Chihuahua no ha recibido atención por parte de los especialistas, ya que es considerada como la tercera opción de siembra, después del maíz y del frijol. De hecho, a nivel nacional también es sembrada cuando otros cultivos como el maíz, frijol, trigo o cebada no son considerados rentables (Villaseñor *et al.*, 2009). El objetivo de este estudio fue estudiar la variabilidad en la producción de avena de temporal mediante una función estocástica y analizar su relación con las variables de temperatura y precipitación en la región noroeste del estado de Chihuahua, México. Los resultados de este estudio ayudarán a mitigar, adaptar y pronosticar las consecuencias en la producción agrícola bajo condiciones de temporal debido a las variaciones en estas variables climatológicas.

Método

El cultivo de avena forrajera fue seleccionado debido a que, en un análisis previo, presentó una alta correlación con las variables climatológicas de temperatura y precipitación (SAGARPA, 2014). Se recabó información estadística de 13 años (2001-2013) en la región noroeste del estado de Chihuahua la cual fue obtenida de las estaciones en los municipios de Bachíniva y Namiquipa (CNA, 2014) que son productores de avena forrajera. Para el caso de Bachíniva se utilizaron únicamente 10 años mientras que para Namiquipa fueron 13 años. El poblado de Bachíniva geográficamente se ubica entre los paralelos $28^{\circ} 37'$ y $29^{\circ} 05'$ N y los meridianos $107^{\circ} 06'$ y $107^{\circ} 28'$ O, a una altura promedio de 2,020 msnm, el cual presenta un clima templado semi-húmedo extremo (García, 1988). La temperatura máxima es de 36° C en verano y la mínima es de -14° C en invierno con una precipitación media anual de 470 mm (INEGI, 2010a). El poblado de Namiquipa se ubica entre los paralelos $28^{\circ} 45'$ y $29^{\circ} 35'$ N y los meridianos $106^{\circ} 28'$ y $107^{\circ} 39'$ O, a una altura promedio de 1,836 msnm. En esta región se presenta un clima semi-seco templado (García, 1988), la temperatura máxima es de 38° C en verano y la mínima es de -14° C que se presenta en invierno y la precipitación media anual es de 500 mm (INEGI, 2010b). La región de estudio se muestra en la Figura 1.

El exceso de ceros en una base de datos puede llevar a obtener relaciones ilegítimas, dificultando la obtención de un modelo estadístico válido (Ridout *et al.*, 1998). Por esta razón, y debido a la gran cantidad de meses sin registro de lluvia en la región de estudio, para el análisis se utilizó únicamente la información de los meses de julio, agosto y septiembre, en cuyo periodo se concentra más del 80% de la precipitación anual (CNA, 2014). La siembra de avena de temporal se efectúa en los meses de junio y julio, y tiene un periodo de alrededor de 110 días.

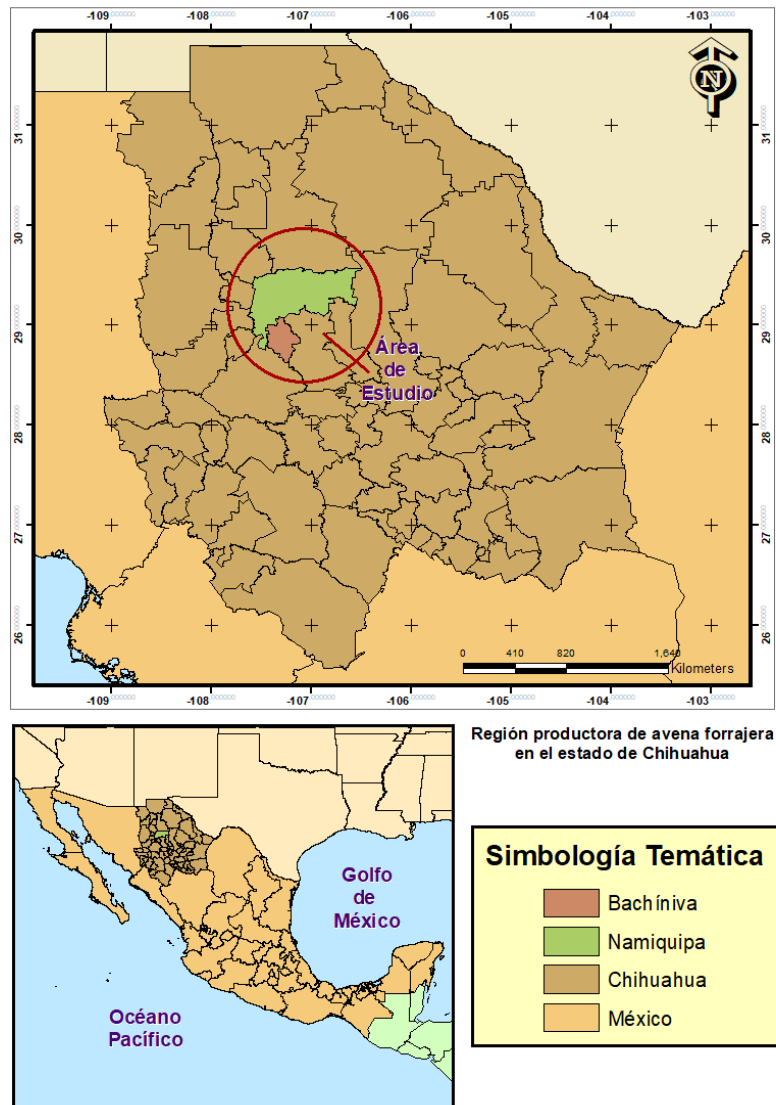


Figura 1. Región noroeste del estado de Chihuahua productora de avena forrajera de temporal.

Modelo probabilístico de la producción

En el presente trabajo se modeló, mediante una función probabilística, la producción agrícola, siguiendo los planteamientos de Harvey (1976) y de Just y Pope (1978). Al considerar el hecho

de que bajo ciertas circunstancias existe el riesgo de obtener una producción agrícola menor por hectárea, existen dos conceptos de interés; la función de producción media $f(x_{it}, \beta)$ y la función de riesgo $h(x_{it}, \alpha)$. Debido a que la información de interés esta solamente relacionada con la función de producción, no se consideró la función de riesgo. Sin embargo, al existir suficiente evidencia que se puede atribuir al riesgo en la producción, entonces la función de varianza cobra particular interés. Existen dos estimadores que proveen consistencia en los parámetros de producción y en la función de varianza; los mínimos cuadrados generalizados (MCG) y la de máxima verosimilitud (MV). El MCG es utilizado en estudios empíricos de riesgos de producción (Wan *et al.*, 1992; Hurd, 1994; Traxler *et al.*, 1995). Sin embargo, los estimadores de MV son de mayor eficiencia para el cálculo de las funciones paramétricas de la varianza que las de MCG (Harvey, 1976). El modelo se especifica mediante:

$$y_{it} = f(x_{it}, \beta) + h(x_{it}, \alpha) \varepsilon_{it} \quad (1)$$

Donde y_{it} representa la producción agrícola para el estado i en el tiempo t , x_{it} es una variable de estado climática i en el tiempo t , mientras que β y α son los correspondientes parámetros de los vectores y ε_{it} es una variable con distribución aleatoria con media cero y varianza:

$$V(y_{it}) = \sigma_{\varepsilon_{it}}^2 = h(x_{it}, \alpha) \quad (2)$$

Donde $V(y_{it})$ representa la varianza que se presenta en la producción en un periodo de tiempo. La idea básica en las anteriores especificaciones es que los efectos de las entradas deben enlazarse *a priori* en la variabilidad de la señal de salida. El primer argumento en la ecuación (1) especifica los efectos de las entradas en la media de la salida y el segundo argumento expresa los efectos de las entradas en términos de la varianza. Por lo tanto, las funciones:

$$E(y) = f(x_{it}) \quad (3)$$

$$V(y) = h(x_{it}) \quad (4)$$

Son funciones independientes. Las funciones de Just y Pope (1978) no imponen una restricción en las entradas de los efectos de riesgo y, por lo tanto, en el incremento o decremento

de sus efectos en la salida. El parámetro α indica si una variable de clima incrementa la varianza de la producción agrícola. Una función de entrada se dice que incrementa el riesgo, si a su vez aumenta la varianza de la producción agrícola bajo incertidumbre. El modelo de producción propuesto en función de las variables climáticas de la temperatura y la precipitación fue el siguiente:

$$PA_{it} = \beta_1 T_{it} + \beta_2 P_{it} + \beta_3 T_{it}^2 + \beta_4 P_{it}^2 + \beta_5 T_{it} P_{it} + \varepsilon_{it} \quad (5)$$

PAit=Producción agrícola; ε_{it} representa a la varianza del error.

Los impactos futuros del cambio climático en la media de producción de avena y en su variabilidad fueron estimados usando los escenarios climáticos obtenidos mediante los reportes desarrollados por el Panel Intergubernamental en Cambio Climático (PICC), el cual forma un cuerpo líder a nivel internacional para la evaluación del cambio climático. Este fue establecido por el Programa Medioambiental de las Naciones Unidas (UNEP-United Nations for Environment Programme) y la organización mundial en meteorología (WMO-World Meteorological Organization). En particular, en el centro Hadley donde se llevan a cabo estudios sobre el cambio climático con sede en el Reino Unido, se desarrolló un modelo de comportamiento de variables climáticas identificado como HadCM3 (Hadley Centre Coupled Model, versión 3) en donde se cuenta con los escenarios de emisión de contaminantes A2 y B2 para los años de 2050 y 2080. En el escenario A2 se considera a un mundo heterogéneo, donde se simulan índices de crecimiento poblacional en un constante crecimiento, con desarrollo económico que se presenta solo en pocas regiones y, donde además, no se tiene acceso a desarrollos tecnológicos. Por su parte, el escenario B2 presenta soluciones locales para los problemas medio ambientales; sin embargo, persisten los problemas socio-económicos junto con un crecimiento poblacional menor al A2 y un desarrollo económico y tecnológico de cambios lentos. Ambos escenarios presentan un panorama pesimista del futuro, con un mayor énfasis para el A2. En específico, las variables de precipitación y temperatura en ambos escenarios fueron utilizadas para modelar estocásticamente el rendimiento de avena de temporal. Se implementó un análisis estadístico de correlación para ambas bases de datos utilizando el programa estadístico SAS (2004). Las variables a considerar fueron la primera y segunda potencia de la temperatura y la precipitación, así como su interacción. La validación de los modelos se realizó mediante un

análisis de ANOVA (Tabla 1 y Tabla 2) y el cálculo de las ganancias β_i (ecuación 5) de los modelos de regresión se obtuvieron mediante el procedimiento para modelados no lineales (proc nlin) en SAS (Tabla 3 y Tabla 4). En la Tabla 5 y Tabla 6 se muestran los pronósticos de precipitación bajo los escenarios A2 y B2 y, finalmente, se calculó la producción de avena (Tabla 7) y la estimación de su varianza (Tabla 8) en los años 2050 y 2080 para cada escenario de cambio climático.

Resultados

En las Tablas 1 y 2, se observan los resultados significativos del análisis estadístico, para las comunidades de Bachíniva y Namiquipa. Respecto a los resultados del análisis de correlación, para el modelo de la producción en Bachíniva se obtuvo una r^2 de 0.97*, mientras que para el modelo de la producción en Namiquipa, se obtuvo una r^2 de 0.76*. Para el caso particular de Bachiniva, se observó que los parámetros de precipitación, temperatura y su interacción resultaron significativos estadísticamente, no así el efecto cuadrático. Respecto a Namiquipa, sólo el parámetro de temperatura fue estadísticamente significativo. Al considerar a la temperatura un factor característico del cambio climático, el análisis de varianza muestra una marcada influencia en la reducción de avena por los potenciales incrementos de esta variable climática.

Tabla 1. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo para la producción de avena forrajera en el municipio de Bachíniva.

| F.V. (Fuente de Variación) | Grados de Libertad | Suma de Cuadrados | Cuadrado Medio | Valor de F | Pr>F |
|----------------------------|--------------------|-------------------|----------------|------------|---------|
| Modelo | 5 | 154.30 | 30.86 | 26.68 | 0.0036* |
| Error | 4 | 4.62 | 1.15 | | |
| Total | 9 | 158.93 | | | |

r^2 de 0.97*.

Tabla 2. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo para la producción de avena forrajera en el municipio de Namiquipa.

| F.V. (Fuente de Variación) | Grados de Libertad | Suma de Cuadrados | Cuadrado Medio | Valor de F | Pr>F |
|----------------------------|--------------------|-------------------|----------------|------------|---------|
| Modelo | 5 | 209.94 | 41.99 | 4.33 | 0.0409* |
| Error | 7 | 67.91 | 9.70 | | |
| Total | 12 | 277.84 | | | |

r^2 de 0.76*.

En las Tablas 3 y 4 se presentan los resultados del cálculo de los coeficientes β_i (Ecuación 5) para el modelo de producción en cada comunidad. En ambas tablas, se puede observar que, tanto la precipitación como la temperatura, son significativos en la variabilidad de la producción de avena; sin embargo, la temperatura tiene un factor de mayor peso. Esto se explica debido a que la temperatura tiene un mayor valor absoluto respecto a los demás coeficientes.

La simulación del comportamiento de las variables climáticas mediante el modelo HADCM3 se planteó utilizando los escenarios A2 y B2. En las Tablas 5 y 6 se puede observar que el escenario B2 presenta un panorama menos pesimista que el que se aporta en A2. Al realizar un análisis de los resultados, se observa un incremento mayor en la temperatura en el escenario A2 con respecto al B2. Por su parte, la precipitación presenta un incremento mayor en el escenario B2 que el obtenido en el escenario A2.

Tabla 3. Coeficientes β_i estimados para el cálculo del modelo de la producción de avena forrajera en Bachíniva.

| Parámetros | Estimador | Error estándar | Límites de Confianza | |
|---------------|-----------|----------------|----------------------|-------|
| Temperatura | 32.66 | 17.72 | -16.55 | 81.88 |
| T*T | -2.09 | 1.24 | -5.56 | 1.37 |
| Precipitación | -1.03 | 0.66 | -2.87 | 0.80 |
| P*P | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P*T | 0.07 | 0.05 | -0.07 | 0.21 |

Tabla 4. Coeficientes β_i estimados para el cálculo del modelo de la producción de avena forrajera en Namiquipa.

| Parámetros | Estimador | Error estándar | Límites de Confianza | |
|---------------|-----------|----------------|----------------------|-------|
| Temperatura | -16.95 | 12.74 | -46.33 | 12.42 |
| T*T | 0.84 | 0.64 | -0.63 | 2.32 |
| Precipitación | 1.31 | 0.68 | -0.26 | 2.88 |
| P*P | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| P*T | -0.06 | 0.03 | -0.13 | 0.01 |

Para el pronóstico de la producción en los años de 2050 y 2080 se utilizó el modelo estocástico de la producción agrícola, siguiendo los planteamientos de Harvey (1976) y de Just y Pope (1978). Los resultados del estudio de pronóstico de la producción de avena para los años

2050 y 2080 bajo los escenarios climáticos A2 y B2 se presentan en las Tabla 7, mientras que el pronóstico de la varianza para el cultivo de la avena se presenta en la Tabla 8.

Tabla 5. Pronósticos de la precipitación en mm dentro de los escenarios A2 y B2 obtenidos en el modelo de simulación HadCM3.

| Municipio | Escenario | |
|----------------|-----------|--------|
| | A2 | B2 |
| Bachíniva 2050 | 379.36 | 446.15 |
| Bachíniva 2080 | 398.12 | 419.34 |
| Namiquipa 2050 | 327.46 | 385.11 |
| Namiquipa 2080 | 343.65 | 361.97 |

Tabla 6. Pronósticos de la temperatura en grados centígrados (° C) dentro de los escenarios A2 y B2 obtenidos en el modelo de simulación HadCM3.

| Municipio | Escenario | |
|----------------|-----------|-------|
| | A2 | B2 |
| Bachíniva 2050 | 16.81 | 16.52 |
| Bachíniva 2080 | 21.24 | 17.90 |
| Namiquipa 2050 | 19.77 | 20.01 |
| Namiquipa 2080 | 24.99 | 21.68 |

Para el poblado de Bachíniva (Tabla 7) se esperaría observar una mejoría en la producción de la avena para el año 2050, presentando un mayor rendimiento en el escenario B2 en comparación con respecto al A2. Sin embargo, es importante especificar que la estimación en la varianza de la producción en Bachíniva presenta un mayor riesgo en el escenario B2 que el obtenido para el A2. Por su parte, el futuro pronóstico de la producción en Bachíniva para el 2080 es pesimista para el escenario A2 y un poco menor para el B2, donde se espera un pobre rendimiento por hectárea. Al analizar al poblado de Namiquipa (Tabla 7), se espera que tanto para el año 2050 como el 2080, la producción de avena será baja, probablemente porque en la actualidad la temperatura media durante la temporada de lluvia en la región ya es alta.

Tabla 7. Pronóstico de la producción en ton/ha de avena forrajera para los años 2050 y 2080 bajo los escenarios climáticos A2 y B2.

| Municipio | Escenario | |
|----------------|-----------|--------|
| | A2 | B2 |
| Bachíniva 2050 | 8.11 | 17.31 |
| Bachíniva 2080 | 7.38 | 1.19 |
| Namiquipa 2050 | -4.34 | -13.90 |
| Namiquipa 2080 | -5.04 | -15.79 |

Tabla 8. Pronóstico de la varianza en la producción de avena forrajera para los años 2050 y 2080 bajo los escenarios climáticos A2 y B2.

| Municipio | Escenario | |
|----------------|-----------|-------|
| | A2 | B2 |
| Bachíniva 2050 | 0.00 | 17.90 |
| Bachíniva 2080 | 0.00 | 1.03 |
| Namiquipa 2050 | 1.04 | 0.00 |
| Namiquipa 2080 | 94.84 | 0.05 |

Discusión y Conclusiones

Al considerar los cambios en las variables climáticas en el corto plazo (2050) y como efecto del cambio climático, se espera un aumento tanto en la temperatura como en la precipitación, lo que permite, como en el caso de Bachíniva mejorar el rendimiento de avena. Es importante especificar que la temperatura es considerada como uno de los mayores factores que afectan la productividad de los cultivos (Challinor *et al.*, 2005). Por ejemplo, Medina-García *et al.* (2011) mencionaron que el aumento de la temperatura en la región noreste del estado de Chihuahua será la responsable de la disminución de la productividad de manzana y en consecuencia de la producción. Los investigadores Kovats *et al.* (1999) explicaron que el aumento en la temperatura que se presentó en 2003 fue responsable de la muerte de miles de ciudadanos Europeos. Los resultados de este estudio coinciden con los reportados previamente por los investigadores Wolf *et al.* (2015) quienes también pronosticaron aumentos en los rendimientos de los cultivos que se producen en el norte y centro de Europa por efectos del cambio climático así como por el incremento de los niveles de CO₂. No obstante, estos cambios pueden no ser significativos en algunos años, debido a los cambios en los patrones de precipitación, o bien, por la presencia de

sequías atípicas, las cuales son eventos meteorológicos comunes y de grandes implicaciones que agravan el suministro y la calidad del recurso agua (Seager, 2009) agravándose sus efectos en zonas áridas y semiáridas. Por ejemplo, Higashino y Stefan (2014) reportaron un decremento de 60 mm en la precipitación promedio anual en Japón, pero al mismo tiempo encontraron un incremento en la intensidad, explicando estos cambios por efectos del cambio climático.

Los incrementos de temperatura en el corto plazo, pueden ser beneficiosos para la producción de avena; sin embargo, el factor cuadrático de la temperatura en el modelo, es negativo, lo que indica que los incrementos de este parámetro climático en el largo plazo (2080) presentarán efectos negativos en las cosechas. De hecho, el indicador de varianza presenta un incremento en el riesgo de la producción de avena, debido a que en el corto plazo (2050) las variaciones en la temperatura pueden comprometer los resultados finales de las cosechas.

Por su parte, el clima en Namiquipa presenta ya problemas y dificultades en el establecimiento y productividad de avena. El coeficiente negativo en la temperatura está indicando una reducción en la productividad de avena como respuesta a los incrementos de este parámetro climático. A largo plazo (2080) se espera un incremento u oscilaciones en la temperatura y, sin importar que tanto mejore la precipitación, este efecto provocará que en algunas regiones no logren establecerse y desarrollarse los cultivos. Sin duda, esta realidad provocará una baja en la producción del Estado ya que a la fecha es el principal productor de avena en México con un volumen de 57,228 t (SIAP, 2014). Por ejemplo, el estudio de Sosa-Rodríguez (2015) proyectó que para el periodo 2020-2100 la temperatura media anual en México aumentará en un rango de 0.5 a 4.8°C. Aunque para Bachíniva se pronostique, en el corto plazo, una aceptable producción de avena, es recomendable que para el caso particular de Namiquipa se inicie con investigaciones en la búsqueda de cultivos alternos que permitan continuar con el actual desarrollo agropecuario de la región. De cualquier modo, se considera que los efectos de cambio climático representan un riesgo potencial para las regiones productoras de avena forrajera en la región noroeste del estado de Chihuahua. Aunque la proyección a largo plazo es desfavorable para el cultivo de la avena en la región estudiada, es importante mencionar que los investigadores Hejnak *et al.* (2009) mencionaron que los cereales, en general, presentan una serie de mecanismos de adaptación para manejar condiciones de sequía y salinidad. Estos mismos investigadores presentaron dos alternativas para conservar la producción de cereales. La primera alternativa que recomiendan es adaptar el crecimiento de los cereales a las condiciones de

cambio, mientras que la segunda es buscar nuevas variedades que sean más resistentes a los cambios ambientales. Otra opción importante sería la utilización de variedades silvestres de los cereales en su región de origen.

Agradecimientos

Los autores deseamos manifestar un agradecimiento a UNIFRUT de Chihuahua y a los municipios de Bachiniva y Namiquipa por su colaboración en este estudio

Referencias

- ACIA, 2004. Arctic Climate Impact Assessment. Impacts of a warming arctic assessment. Author; Susan Joy Hassol. Cambridge University Press.
- Birthal, P.S., Digvijay, N., Shiv, K., Shaily, A., Suresh, Md K. 2014. How sensitive Is Indian Agriculture to Climate Change? Indian Journal of Agricultural Economics. Indian Society of Agricultural Economics. 2014. Retrieved August 11, 2015 from HighBeam Research: <http://www.highbeam.com/doc/1P3-3650930591.html>.
- Challinor, A., Wheeler, T., Craufurd, P., Slingo, J. 2005. Simulation of the impact of high temperature stress on annual crop yield. Agricultural and Forest Meteorology 135:180-189
- CNA, 2014. Comisión Nacional de Agua. 2014. Red de estaciones climatológicas <http://smn.conagua.gob.mx/tulls/RESOURCES/estadística.pdf>.
- Field, C.B., Barros, V., Stocker, T.F., Dahe, Q. 2012. Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation. Sepcial report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press 306-307 p.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Offset Larios S.A. México D.F. p. 46-52.
- Harvey, A. C. 1976. Estimating regression models with multiplicative heteroscedasticity. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 44(3): 461-465.
- Hejnak, V., Skalicky, M., Hnilicka, F., Novak, J. 2009. Responses of cereal plants to environmental and climate changes-A review. En: Climate Change, Intercropping, Pest Control, and Beneficial Microorganisms. Sustainable Agriculture Review 2. Editor E. Lichtfouse. DOI: 10.1007/978-90-481-2716-0.

- Higashino, M., Stefan, H.G. 2014. Hydro-climatic change in Japan (1906-2005): Impacts of global warming and urbanization. *Air, Soil and Water Research* 2014:7 19-34. doi.10.4137/ASWR.S13632.
- Hurd, B. H. 1994. Yield response and production risk: An analysis of integrated pest management in cotton. *Journal of Agricultural and Resource Economics*: 19(2): 313-326.
- INEGI, 2010a. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Bachíniva, Chihuahua. Clave geoestadística 08006. Disponible en: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geograficos/08/08006.pdf>. Consultado 15 de noviembre de 2014.
- INEGI, 2010b. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Namiquipa, Chihuahua. Clave geoestadística 08048. Disponible en: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geograficos/08/08048.pdf>. Consultado 15 de noviembre de 2014.
- INIFAP, 2012. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. La avena en México. Folleto Técnico No. 22. Texcoco, México.
- IPCC, 2014. Climate Change; Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II, and III to the Fifth Assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Editors; R.K. Pachauri and L.A. Meyer. Geneva, Switzerland, 151 p.
- Just, R. E., Pope, R. D. 1978. Stochastic specification of production functions and economic implications. *Journal of Econometrics*. 7(1):67-86.
- Kovats, R.S., Haines, A., Stanwell-Smith, R., Martens, P., Menne, B., Bertollini, R. 1999. Climate change and human health in Europe. *BMJ* 318. doi.<http://dx.doi.org/10.1136/bmj.318.7199.1682>
- Malyshev, S., Shevliakova, E., Stouffer, R., Pacala, S. 2015. Contrasting Local versus Regional Effects of Land-Use-Change-Induced Heterogeneity on Historical Climate: Analysis with the GFDL Earth System Model." *Journal of Climate*. American Meteorological Society. 2015. Retrieved August 11, 2015 from HighBeam Research: <http://www.highbeam.com/doc/1P3-3739561411.html>
- McMichael, A. J., Woodruff, R. E., Hales, S. 2006. Climate change and human health: present and future risks. *The Lancet*, 367(9513):859-869.

- Medina-García, G., Ruiz-Corral, J.A., Ramírez-Legarreta, M. Díaz, G. 2011. Efecto del cambio climático en la acumulación de frío en la región manzanera de Chihuahua. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2:195-207
- Mendelsohn, R., Dinar, A., Williams, L. 2006. The distributional impact of climate change on rich and poor countries. *Environment and Development Economics*, 11(02):159-178.
- Parmesan, C., Yohe, G. 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*, 421(6918):37-42.
- Parry, M. L., Ruttan, V. W. 1991. Climate change and world agriculture. *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*, 33(6):25-29.
- Rafael, S. R., Carlos, D. C. J., Andres, R., Javier, O. S. V. 2012. Monitoreo de la sequía 2011-2012, en la RH10-OCPN. Congreso nacional de hidráulica Acapulco Guerrero, México. 22:1-8.
- Ridout M, Demetrio, C.G.B., Hinde, J. 1998 Models for count data with many zeros. *Proc. XIX Inter. Biometric Conf.* 9: 179–192. Capetown, Southafrica.
- SAGARPA, 2014. Secretaría de Agricultura, Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación. Folleto informativo, México, D.F.
- SAS, 2004. Programa computacional implementado para desarrollar análisis estadísticos avanzados. SAS Institute. Cary, North Carolina, United States of America.
- Seager, R.M.T. 2009. Mexican drought: an observational modeling and tree ring study of variability and climate change. *Atmósfera* 22(1):1-31.
- SIAP, 2014. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2014. Atlas Agroalimentario. 1era Edición. México, DF. 193 p.
- Sosa-Rodríguez, F.S. (2015). Política del cambio climático en México: avances, obstáculos y retos. *Revista Realidad, Datos y Espacio. Revista Internacional de Estadística y Geografía*, 6(2):4-23.
- Stanhill, G, Cohen, S. 2001. Global dimming: A review of the evidence for widespread and significant reduction in global radiation with discussion of its probable causes and possible agricultural consequences. *Agric. For. Meteorol.* 107: 255–278.
- Traxler, G., Falck-Zepeda, J., Ortiz-Monasterio, R., Sayre, K. 1995. Production risk and the evolution of varietal technology. *American Journal of Agricultural Economics*: 1-7.

- Vardoulakis, S., Dear, K., Hajat, S., Heaviside, C., Eggen, B., McMichael, A. 2014 Comparative Assessment of the Effects of Climate Change on Heat- and Cold-Related Mortality in the United Kingdom and Australia." *Environmental Health Perspectives*. National Institute of Environmental Health Sciences. 2014. Retrieved August 11, 2015 from HighBeam Research: <http://www.highbeam.com/doc/1G1-398253365.html>
- Villaseñor, M.H., Espitia, R.E., Huerta, E.J., Osorio, A.L., López, H.J. 2009. Turquesa, Nueva Variedad de Avena para la Producción de Grano y Forraje en México. *Agricultura Técnica en México* 35 (4) 487-492
- Wan, G. H., Griffiths, W. E., Anderson, J. R. 1992. Using panel data to estimate risk effects in seemingly unrelated production functions. *Empirical Economics*, 17(1):35-49.
- Wiebelt, M., Al-Riffai, P., Breisinger, C., Robertson, R. 2015. Who Bears the Costs of Climate Change? Evidence from Tunisia." *The Journal of Developing Areas*. Journal of Developing Areas College of Business, Tennessee State University. 2015. Retrieved August 11, 2015 from HighBeam Research: <http://www.highbeam.com/doc/1P3-3486135281.html>
- Wild, M., Grieser, J., Schär, C. 2008 Combined surface solar brightening and increasing greenhouse effect support recent intensification of the global land-based hydrological cycle. *Geophys. Res.* 35:1-5.
- Wolf, J., Kanellopoulos, A., Kros, J., Webber, H., Zhao, G., Brits, W., Jan Reinds, G., Ewert, F., de Vries, W. 2015. Combined analysis of climate, technological and price changes on future arable farming systems in Europe. 2015. *Agricultural Systems* 140:56-73.