



Identificación de áreas aptas para la agricultura de temporal con maíz y frijol en la Cuenca de Autlán, Jalisco, México

Identification of Suitable areas for rainfed agriculture with maize and beans in the Basin of Autlán, Jalisco, México

*Everardo Andrade-Martínez*¹

*Emma María De Niz-Lara*²

*Miguel Ángel Benítez-Muñoz*³

*José Luis Olguín-López*⁴

*Rubén Darío Guevara-Gutiérrez*⁵

*Demetrio Meza-Rodríguez*⁶

*Victor Manuel Villalvazo-López*⁷

Universidad de Guadalajara, Jalisco, México

- 1 Ingeniero en Recursos Naturales y Agropecuarios. Departamento de Ecología y Conservación de la Biodiversidad. Centro Universitario de la Costa Sur, Av. Independencia Nacional #151, CP.48900. Universidad de Guadalajara, Jalisco México. Correo electrónico: everardo.andrade@alumnos.udg.mx
- 2 Ingeniero en Recursos Naturales y Agropecuarios. Departamento de Ecología y Conservación de la Biodiversidad. Centro Universitario de la Costa Sur, Av. Independencia Nacional #151, CP. 48900. Universidad de Guadalajara, Jalisco México. Correo electrónico: emma.deniz@alumnos.udg.mx
- 3 Ingeniero en Recursos Naturales y Agropecuarios. Departamento de Ecología y Conservación de la Biodiversidad. Centro Universitario de la Costa Sur, Av. Independencia Nacional #151, CP. 48900. Universidad de Guadalajara, Jalisco México. Correo electrónico: mangel.benitez@alumnos.udg.mx
- 4 Profesor Investigador Asociado A. Departamento de Ecología y Conservación de la Biodiversidad. Laboratorio del medio físico, Centro Universitario de la Costa Sur #151, CP. 48900. Universidad de Guadalajara, Jalisco México. Correo electrónico: olguin@cucsur.udg.mx
- 5 Profesor Investigador Titular C. Departamento de Ecología y Conservación de la Biodiversidad. Laboratorio del medio físico, Centro Universitario de la Costa Sur #151, CP. 48900. Universidad de Guadalajara, Jalisco México. Correo electrónico: rguevara@cucsur.udg.mx
- 6 Doctor en Ciencias en Biosistemática. Ecología y Manejo de Recursos Naturales y Agrícolas, Centro Universitario de la Costa Sur # 151, CP 48900. Universidad de Guadalajara, Jalisco México. Correo electrónico, Correo electrónico: demetrio.meza@academicos.udg.mx
- 7 Profesor Investigador Titular B. Departamento de Ecología y Conservación de la Biodiversidad. Laboratorio de Desarrollo Rural, Centro Universitario de la Costa Sur, #151, CP. 48900. Universidad de Guadalajara, Jalisco México. Correo electrónico: vvillalv@cucsur.udg.mx

Resumen

En la actualidad existe escasa investigación sobre la identificación de áreas aptas para implementar la actividad agrícola de temporal utilizando los cultivos de maíz y frijol en la cuenca de Autlán. Para delimitar superficies idóneas en la zona de estudio, se empleó la metodología multicriterio (Proceso Analítico Jerárquico) y los Sistemas de Información Geográfica utilizando como fuente principal la información procedente de las encuestas semi-estructuradas. Los parámetros obtenidos reúnen las condiciones ideales de suelo y clima para el desarrollo del maíz y frijol en superficies con actividad agrícola de temporal; identificando áreas aptas en el 38.08% de la superficie total de la cuenca. Para el 14.23% se sugiere implementar una agricultura efectuando prácticas de conservación de suelo y agua tomando en cuenta la existencia en el incremento de la pendiente del terreno y presencia de suelos poco profundos, estas características pueden aumentar el riesgo de erosión. El área restante debe ser identificada como zona de protección por distribuirse en zonas de montaña.

Palabras clave: análisis multicriterio, priorización, agricultura de temporal.

Abstract

Currently, there is little research on the identification of areas suitable for implementing rainfed agriculture activity using corn and bean crops in the basin of Autlan. To delimit suitable surfaces in the area of study, a multicriteria methodology (Analytical hierarchical Process) and the Geographic Information Systems were implemented, using information from semi-structured surveys as the main source. The parameters obtained meet the ideal conditions of soil and climate to cultivate maize and beans in surfaces with rainfed agriculture activity, identifying suitable areas in the 38.08% of the total surface area of the basin. For the 14.23% it is suggested to implement agriculture with practices of soil and water conservation, taking into account the existing increase in the slope of the terrain and the presence of shallow soils; these characteristics can increase the risk of erosion. The remaining area should be identified as a zone of protection as it is distributed in mountain areas.

Keywords: Multicriteria analysis, prioritization, rainfed agriculture.

Introducción

Históricamente el desarrollo económico y social de una población ha dependido en gran medida de los sistemas productivos (Casillas, 2004). Para Bezerra y Veiga (2000) la aplicación de la actividad agrícola de forma correcta se obtiene una producción adecuada con los recursos naturales disponibles; en cambio Basterrechea (1987), Chávez-González *et al.*, (2015), Gutiérrez-Malaxechebaría *et al.*, (2015) manifiestan que la agricultura no debe ser implementada de forma exhaustiva para que la producción sea constante y sostenida garantizando su accesibilidad para las generaciones venideras.

Basterrechea (1987) sugiere la aplicación de estrategias para identificar zonas aptas e implementar determinado uso de la tierra que sirvan para lograr un determinado objetivo; según Carvajal *et al.*, (2005) y Keenelyside (2012) la aptitud de un territorio se puede lograr utilizando parámetros

que proporcionen los criterios de decisión que serán indispensables para la delimitación de superficies. Pineda-Santos y Suarez-Hernández (2014) manifiestan que estas metodologías empleadas disminuyen los riesgos a los que está sometida la agricultura, su objetivo es otorgar espacios a cultivos atendiendo a sus exigencias edafoclimáticas para garantizar en gran medida el crecimiento, desarrollo y rendimiento de los mismos.

En México el maíz (*Zea mays* L.) y el frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) son la base de la alimentación de muchas familias donde cada año se cultivan a nivel nacional de 7 a 8.5 millones de hectáreas de maíz y 1.2 a 2.1 millones de hectáreas de frijol (CEFP, 2004; CEFP, 2007). De las cuales Miramontes (2011) y SIAP (2011) indican que el 85% son sembradas en condiciones de temporal con rendimiento de 2.11 ton ha⁻¹ en maíz y 0.39 para frijol. Según SIAP (2017) en el año 2016 la superficie sembrada fue de 5.5 millones de hectáreas de maíz y 1.3 millones para el cultivo de frijol; en cuanto a su rendimiento se obtiene un promedio de 2.48 ton ha⁻¹ en cultivo de maíz y 0.57 ton ha⁻¹ en frijol. A nivel estado de Jalisco la superficie sembrada es de 547.2 mil hectáreas para maíz y 6.25 mil hectáreas para frijol con rendimiento de 6.2 ton ha⁻¹ y 0.6 ton ha⁻¹ para maíz y frijol respectivamente.

Por otro lado, una de las problemáticas existentes para la aplicación de la agricultura de temporal es la distribución de las lluvias debido a los eventos irregulares que se presentan durante tres a cuatro meses; en estas condiciones es común que los cultivos presenten estrés hídrico que afecta su tasa fotosintética y con ello su desarrollo y productividad (Chaves *et al.*, 2002; Ghannoum, 2009).

El objetivo del presente trabajo es realizar una y delimitación espacial de zonas con aptitud para la producción de los cultivos de maíz y frijol bajo condiciones de temporal, se toma en cuenta la metodología multicriterio y los Sistemas de Información Geográfica como herramientas para manejar y analizar la información encontrada; ésta se obtendrá mediante la aplicación de encuestas semi-estructuradas dirigidas a personas clave que de alguna manera participan y utilizan la agricultura de temporal como fuente de alimentación e ingresos económicos tal es el caso de ingenieros agrónomos, agricultores y ayuntamiento local.

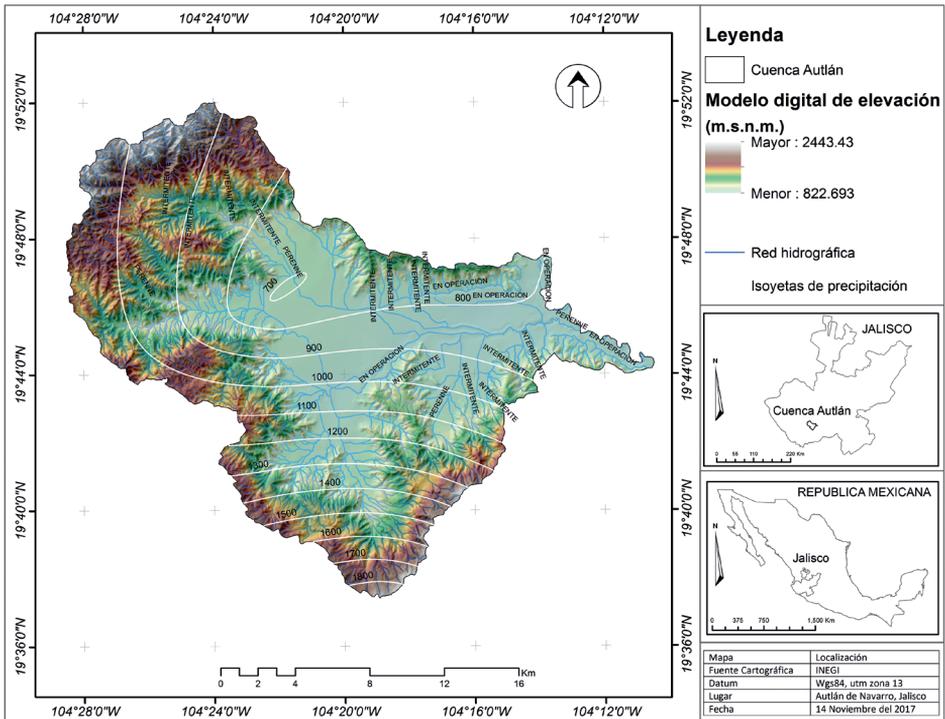
Área de estudio

La cuenca tributaria de Autlán se encuentra localizada entre las coordenadas geográficas 19°36'00" a 19°58'00" Norte y 104°05'00" a 104°36'00" Oeste, forma parte de la cuenca Ayuquila-Armería y de la región costa sur en el estado de Jalisco, presenta una superficie de 38 570.5 ha (Figura 1).

En la zona de estudio se encuentran valores de altitud de 840 a 2 440 metros, su clima es semicálido y semihúmedo se distribuyen sobre relieve montañoso con pendientes abruptas, estas superficies se encuentran ubicadas en las zonas altas; en la parte baja de la cuenca los climas dominantes son de clasificación semiárida que se distribuyen sobre las áreas planas (IEEG, 2017).

La geología dominante corresponde a toba intermedia con un 43.9% de origen explosivo (volcánico) suelta o consolidada y se ubican principalmente en zonas de montaña; los suelos aluviales corresponden al 33.8% de la superficie total y se encuentra ubicada principalmente sobre zonas de valle (INEGI, 2004).

Figura 1. Ubicación espacial de la zona de estudio



Fuente: Elaboración propia a partir cartografía digital de INEGI (2004).

Caracterización física e hidrográfica de la cuenca de Autlán

Se encuentra delimitada por dos sistemas montañosos ubicados al norte y occidente, está considerada según la clasificación de Sánchez (1987) como oval oblonga a rectangular oblonga, está clasificada según su tamaño como intermedia a pequeña (Campos, 1987). Su pendiente media es de 22.01% con altura media de 1206.8 msnm, presenta 40 km de hidrología perene y 955 km de escurrimiento intermitente característico de un drenaje dendrítico. Según INEGI (2004) existen seis clases de suelo de los cuales destacan los tipo regosoles con el 44% del área total, feozem con 32.8% y los tipos litosoles ubicados sobre 21.3% del área. Los primeros tipos de suelo se localizan principalmente sobre zonas de montaña, los segundos se ubican sobre zonas con pendiente suave localizados en zonas de valle principalmente. Sobre este último se realiza la mayor actividad agrícola de riego e industrial ocasionando el desplazamiento de la actividad agrícola de temporal en superficies con limitantes de pendiente, suelo y clima. En cuanto al clima, existe una precipitación media de 928 mm y temperatura media anual de 23° C (ERICIII, 2016); su clasificación climática (lang P/T) corresponde a zonas áridas que impactan sobre el 54.5% del área total, para el resto de la superficie se presenta clima semiárida.

Marco conceptual

Los recursos que requieren aplicación de proyectos de manejo integral con base a cuencas aunado a las restricciones económicas de los países en vías de desarrollo obligan a concentrar los mayores esfuerzos sobre la solución de problemas productivos; para esto los encargados de tomar las decisiones deben de disponer de algunos elementos de juicio que permitan mediante encuestas o talleres jerarquizar los criterios o parámetros obtenidos para llevar a cabo la delimitación de zonas prioritarias para el uso agrícola (Iroumé y Gayoso 1990). Kendall (1984), menciona que una jerarquización corresponde a un ordenamiento de unidades correspondientes a una cualidad que todas ellas poseen en un grado variable; Iroume y Gayoso (1990) sostienen que estas cualidades están relacionadas al objetivo de manejo dentro de las cuencas. Para Irumé y Gayoso (1988), indican que una de las problemáticas para llevar a cabo el proceso de aptitud territorial mediante la jerarquización es la información no disponible o la falta de una variabilidad de parámetros para que una cualidad en la cuenca sea debidamente representada; y para

Albrecht (1989) es la falta de consenso entre los diferentes grupos u organismos relacionados con los procesos en la toma de decisiones. Una última dificultad corresponde la selección del modelo para combinar los parámetros y calcular el valor del índice de aptitud territorial, los modelos más comunes son la suma y el producto ponderado Larson (1979). Algunos otros métodos que han sido utilizados para la jerarquización basada en la construcción de índices para un análisis de cuencas es la establecida por la FAO (1974) aplicada para áreas torrenciales, para el análisis de cuencas en Venezuela (Dirección de manejo de cuencas, 1977; ODEPLAN, 1981), para zonas áridas en Chile (CONAF, 1983), y para grandes cuencas en Costa Rica (Olaya, 1985). En la actualidad no existen suficientes antecedentes que permitan diferenciar y/o comparar metodologías de priorización aplicadas a la actividad agrícola de temporal utilizando los cultivos de maíz y frijol; lo anterior, sin importar que en México se considera a la agricultura como una actividad relevante para la economía y donde un 22% de la población que reside en el campo aun desarrolla la actividad agrícola (De los Santos-Ramos *et al.*, 2017). Con base a lo anterior se establece la importancia en la aplicación del estudio de análisis multicriterio en el desarrollo de las zonas prioritarias de maíz y frijol de temporal en la cuenca de Autlán.

Marco metodológico

a) *Recopilación de la información*

La cuenca fue delimitada mediante el uso de cartografía digital elaborada con los Sistemas de Información Geográfica utilizando el Software Arcpam versión 10.2 y consistió en delimitar la superficie de la cuenca con base a los puntos de mayor nivel topográfico (parteaguas) teniendo en cuenta la red de drenaje y el relieve. La información climática fue considerada solamente durante el periodo de 5 meses entre Junio y Octubre, tiempo en el cual se realiza la actividad agrícola de temporal para los cultivos de maíz y frijol. Esta información fue obtenida mediante la base de datos ERICIII del Instituto de Tecnología de Agua (IMTA, 2016) y de CLICOM del Sistema Meteorológico Nacional (SMN), se utilizaron 20 estaciones meteorológicas con periodo mínimo de 25 años de registro. La cartografía digital de suelo, curvas de nivel, hidrología, cuerpos de agua y uso de suelo y vegetación se manejó a una escala 1 a 50 000 (INEGI, 2004).

b) *Proceso metodológico*

Etapa 1: Se utilizó la encuesta semi-estructurada (Geilfus, 2009) aplicada a 50 personas clave que practican y gestionan la agricultura convencional como delegados municipales, agricultores, e ingenieros; sirvió como instrumento principal para obtener una lista de parámetros físicos y climáticos que puedan ser manejados y procesados por (SIG), esta herramientas que según Carver (1991) ayudan a los usuarios a mejorar el proceso en la toma de decisiones. Para Malczewski (1996) y Janssen y Rietved (1990) resultan útiles para resolver situaciones de conflicto de individuos y de grupos. Los parámetros fueron de utilidad primordial para la identificación de las zonas prioritarias para la agricultura de temporal en cultivos de maíz y frijol.

Etapa 2: Se utilizó el Proceso Analítico Jerárquico (PAJ) de Saaty (1980), como herramienta para jerarquizar y ponderar los parámetros físicos y climáticos obtenidos. El PAJ utiliza tres principios básicos; descomposición, juicios comparativos y síntesis de prioridades; esto involucra dos etapas (Cuadro 1), definir la jerarquía y realizar las comparaciones pareadas de los parámetros.

Cuadro 1. Valoración de preferencia entre parámetros (Malczewski, 1999).

Escala	Preferencia	Explicación
1	Igualmente preferida	Los dos criterios contribuyen igual al objetivo.
2	Preferencia igual a moderada	La experiencia y el juicio favorecen un poco a un criterio frente al otro.
3	Moderadamente preferida	La experiencia y el juicio favorecen moderadamente a un criterio frente al otro.
4	Preferencia de moderada a fuerte	La experiencia y el juicio favorecen de manera moderada a fuerte a un criterio frente al otro.
5	Fuerte preferencia	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente a un criterio frente al otro.
6	Preferencia de fuerte a muy fuerte	La experiencia y el juicio favorecen de manera fuerte a muy fuerte a un criterio frente al otro.
7	Muy fuertemente preferida	La experiencia y el juicio favorecen de manera muy fuerte a un criterio frente al otro.
8	Preferencia de muy fuerte a extrema	La experiencia y el juicio favorecen de manera muy fuerte a extrema a un criterio frente al otro.
9	Extremadamente preferida	La experiencia y el juicio favorecen de manera extrema a un criterio frente al otro.

Fuente: Malczewski, 1999.

Para la obtención de la ponderación (pesos) para cada uno de los parámetros se utilizó el índice y proporción de consistencia empleando la siguiente expresión:

$$IC = \frac{\lambda - n}{n - 1}; PC = \frac{IC}{IA}$$

Siendo IC = índice de consistencia, λ = promedio del vector de consistencia, n = número de parámetros (PAJ). PC = proporción de consistencia, IA = índice de azar que corresponde a 1.49; si se obtiene un valor de $PC < 0.10$ indica un nivel razonable de consistencia en las comparaciones pareadas; si el valor de $P \geq 0.10$ indica inconsistencia en los juicios.

Etapa 3: Las coberturas espaciales de edafología, textura del suelo, usos de suelo y vegetación de la cuenca de Autlán fueron manejadas en formato raster, el modelo digital de elevación (MDE) se generó a partir de las curvas de nivel, hidrología y cuerpos de agua que al ser manejados y procesados mediante el SIG se obtuvieron las coberturas espaciales de Altitud (en metros) y pendiente del terreno; esta última, fue incorporada al proceso de obtención del riesgo de erosión bajo la metodología RUSLE3D (Mitasova *et al.*, 1996, Mitas y Mitasova 1998) que incorpora la siguiente expresión:

$$E = R \times K \times LS \times C \times P$$

Siendo E = pérdida promedio anual en ($\text{ton ha}^{-1} \text{ año}$), R = factor erodabilidad del suelo [$(\text{ton ha}^{-1}) (\text{ha h/Mj mm})$], LS = factor de la inclinación y forma de la pendiente (adimensional), C = factor de cubierta vegetal (adimensional) y P se refiere al factor de prácticas del suelo (adimensional).

Para el factor R se utilizó la ecuación de regresión (región siete de la República Mexicana) propuesta por Cortés (1991) en Rivera-Toral *et al.*, (2012), los valores de precipitación fueron interpolados mediante Kriging (Universal 1) que según Nozica *et al.*, (1997) es el método de interpolación espacial más usado, éste minimiza la varianza del error en la predicción y se apoya en la geoestadística para modelar datos espaciotemporales con la finalidad de estimar la dependencia geográfica que existe entre los valores a interpolar. Para el factor K y C se utilizó el cuadro de valores propuestos

por la FAO-UNEP-UNESCO (1980) y Montes *et al.*, (2011) respectivamente, para la estimación del factor LS se empleó la expresión utilizada por Dumas (2012).

$$LS = (\text{Flujo acumulado} \times \text{Tamaño de celda} \div 22.13)^{0.4} \times \sin(\text{Pendiente} \div 0.0896)^{1.3}$$

Siendo que el flujo acumulado proviene del modelo digital de elevación (MDE), el tamaño de celda corresponde a los valores 20 m x 20 m aplicados al modelo, la pendiente originada del MDE con valores en radianes.

Etapas 4: Las coberturas digitales en formato raster contribuyeron a la obtención de la distribución espacial de aptitud física y climática para los cultivos de maíz y frijol respectivamente; estas coberturas fueron normalizadas con valores cercanos a 0 correspondientes a sectores de área con baja aptitud para el desarrollo de los cultivos propuestos y valores cercanos a 1 para zonas con una muy alta aptitud; la expresión es la siguiente:

$$X_{ij} = \frac{X_{\text{máx}} - X_{ij}}{X_{\text{máx}} - X_{\text{mín}}}$$

Siendo:

X_{ij} = cobertura normalizada con valores de 0 a 1

$X_{\text{mín}}$ es el valor mínimo para el j-ésimo atributo

$X_{\text{máx}} - X_{\text{mín}}$ es el rango del criterio dado.

Las coberturas normalizadas fueron multiplicadas por los pesos asignados a cada parámetro, y finalmente con la suma de estas últimas se obtuvo la distribución espacial de aptitud por cultivo.

Modelo de priorización de los cultivos

Al cruzar las 2 coberturas digitales de aptitud del territorio se obtiene el mapa final de distribución espacial de priorización, en este se presentan las características ideales (físicas-climáticas) para desarrollar la actividad agrícola para los cultivos de maíz y frijol de temporal.

Resultados y discusión

La cuenca presenta un pendiente promedio de 31.8% influenciada por una precipitación media (periodo de lluvias) de 1 008.9 mm y temperatura media de 22.9° C. Estos factores climáticos impactan sobre suelos Regosoles, Litosoles y Feozem con el 64% de la superficie total; presenta superficies cubiertas de bosque con aproximadamente el 58.7%; actividad agrícola, pastizales y zonas urbanas con el 41.3%. Para Acosta-Gallegos *et al.*, (2004) los suelos francos proporcionan las mejores condiciones para el desarrollo de los cultivos especialmente frijol debido a su buena desagregación y buen drenaje, contrariamente la mayor parte de los suelos Feozem que se forman en el valle Autlán presentan una marcada acumulación de materia orgánica limitando las buenas condiciones de drenaje (Porta-Casanellas *et al.*, 1999).

1) Jerarquización y ponderación de parámetros

Se obtuvieron diez parámetros (Cuadro 2) mediante la aplicación de las encuestas dirigidas y aplicadas a actores clave; de los cuales se establece la importancia pertinente para el desarrollo del cultivo del maíz y frijol de temporal. Cabe mencionar que la metodología del PAJ considera una consistencia en el manejo de la información en la aplicación de las encuestas, obteniéndose una proporción de consistencia < 0.1 .

Cuadro 2. Parámetros obtenidos y sus criterios de decisión (rangos)

Parámetro	Frijol (Junio–Octubre)						
	1	2	3	4	5	6	7
Pendiente	0–2	2-5	5-10	10-15	15-20	20–50	>50
Suelo	Feozem	Regosol	Cambisol	Fluvisol	Litosol		
Zonas funcionales	Valles	Ladera	Montaña				
Erosión	0–5	5-10	10-50	50-200	► 200		
Textura	Media	Gruesa	Fina				
Temperatura	17-24	15–17, 24-27	< 15				
Precipitación	500-800						
Uso de suelo	A. Riego	Pastizal	Selvas	Bosques			
Altitud	500-1000						
Índice de Lang	Semiárido	Húmedo	Híperhúmedo				
Continuación Maíz (Junio–Octubre)							
Pendiente	0–8	8-16	16-30	>30			
Suelo	Feozem, Cambisol, Fluvisol, Luvisol, Regosol				Litosol		
Temperatura	18-21	16–18, 21-23	< 16, >23				
Precipitación	500-800						
Altitud	0-1600						

Fuente: Pendiente (Heras, 1976), Tipo de suelo (Lépiz - Ildefonso *et al.*, 2015; Bonilla, 2009), Zonas funcionales (Garrido *et al.*, 2010), Erosión (Rodríguez y Gaspari, 2015), Textura (Lépiz - Ildefonso *et al.*, 2015; Deras, 2014), Temperatura (Cabrera y Reyes, 2008; Bonilla, 2009), Precipitación (Deras, 2014), Altitud (Benacchio, 1982; Bonilla, 2009).

Se obtuvieron los diferentes rangos por parámetro que determinan el grado de aptitud de territorio en la zona de estudio (Cuadro 2), el rango 1 corresponde a aquellas superficies delimitadas en función a las condiciones de suelo y clima esenciales para la práctica de la agricultura de temporal considerando al maíz y frijol. En el cuadro 3 se obtuvo el orden de importancia (jerarquización) y valores de peso para los parámetros expuestos por los actores clave. Éstos manifiestan que los parámetros que presentan mayor influencia para el desarrollo de los cultivos son la temperatura y precipitación.

Cuadro 3. Jerarquización y ponderación de criterios

Jerarquización maíz	Peso	Jerarquización frijol	Peso
Temperatura	0.2931	Precipitación	0.2880
Precipitación	0.1690	Uso de suelo	0.2224
Textura	0.1587	Altitud	0.1265
Altitud	0.1104	Tipo de suelo	0.1007
Uso de suelo	0.0860	Textura	0.0754
Tipo de suelo	0.0685	Zonas funcionales	0.0614
Erosión	0.0449	Índice de Lang	0.0456
Índice de Lang	0.0318	Erosión	0.0389
Pendiente	0.0216	Temperatura	0.0242
Zonas funcionales	0.0161	Pendiente	0.0168
SUMA	1	SUMA	1

Fuente: Elaboración propia.

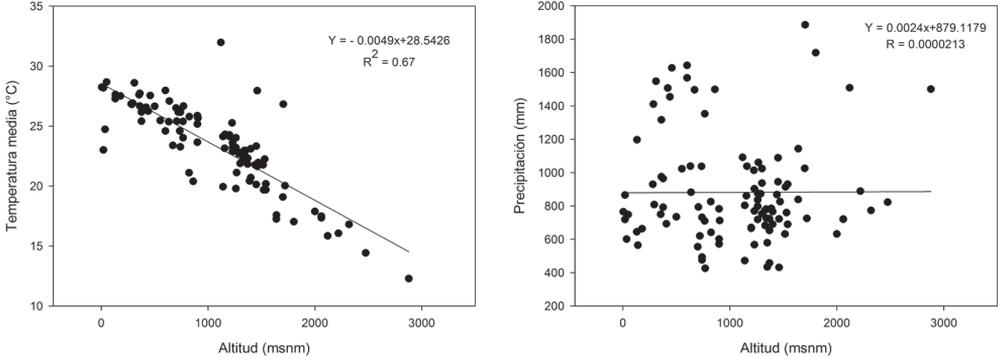
2) Cartografía digital

Se obtuvieron coberturas en formato raster de la edafología clasificando a los suelos Feozem como los más importantes para el desarrollo de los cultivos, estos alcanzan una superficie de 12 666 ha ubicadas principalmente en zonas de valle y pie de cerro, para la textura del suelo la clase media es considerada la más importante y su distribución se presenta en 28 039.9 ha. Las zonas funcionales están distribuidas principalmente en la zonas planas < 5% de pendiente y la superficie es de 9 506.8 ha.

Para la altitud en metros se establece que las mejores condiciones para el desarrollo de los cultivos se encuentran principalmente en zonas de valle y pie de cerro con una superficie de 15 579.8 ha. Para los parámetros climáticos y su relación con el gradiente altitudinal (Figura 2) como variable independiente se obtuvo una correlación negativa (regresión lineal) donde sugiere que la temperatura disminuye a medida que aumenta la altitud. Para la precipitación como variable dependiente se presenta una baja correlación, esta situación manifiesta una muy baja relación con la altitud. Para Gil-Guirado y López-Bermúdez (2011), indican que las variables climáticas y sus diferentes relaciones pueden modificar el clima ocasionando disminución de la precipitación, esta carencia propicia un bajo rendimiento de los cultivos así como un aumento en la demanda de agua para la agricultura en condiciones de temporal. En el caso del frijol se ha

demostrado que las condiciones favorables en el clima y suelo aunado a la eficiencia del trabajo tecnificado el rendimiento del cultivo puede ser hasta de 2 ton ha⁻¹ (Lépiz-Ildefonso *et al.*, 2015).

Figura 2. Dispersión de puntos para las variables independientes



Fuente: Elaboración propia.

Para el cultivo del maíz Tinoco-Rueda *et al.*, (2011) indican que en Jalisco las condiciones climáticas han modificado la variabilidad en el régimen de la precipitación ocasionando desertificación en zonas con agricultura de temporal aunado a la vulnerabilidad del maíz ante el aumento de la temperatura (Abraha y Savage, 2006; Walker y Schulze, 2008; Meza y Silva, 2009 y McDonald *et al.*, 2009).

3) *Aptitud del suelo y clima para los cultivos de maíz y frijol*

Se obtuvieron 5 categorías de aptitud territorial las cuales representan la delimitación de las zonas con las condiciones de suelo y clima para desarrollo del cultivo de maíz y frijol de temporal (Cuadro 4).

Cuadro 4. Delimitación superficial con aptitud de suelo y clima

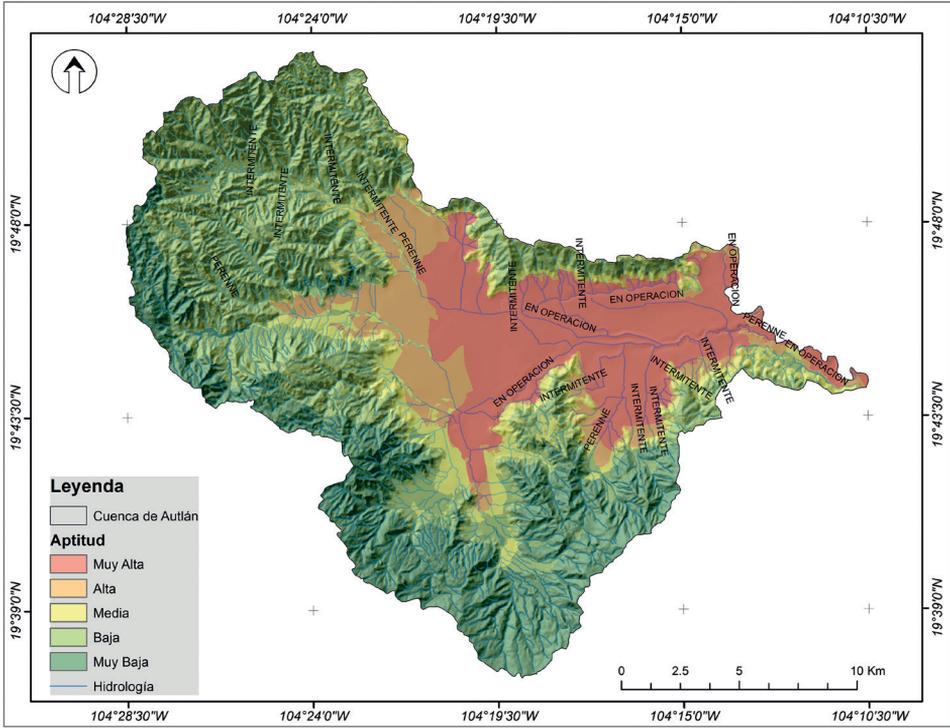
Clasificación	MAÍZ		FRIJOL	
	Hectáreas	Porcentaje	Hectáreas	Porcentaje
Muy Baja	2055.4	5.3	4975.8	12.9
Baja	9458.5	24.5	18515.8	48.0
Media	19599.6	50.8	5142.1	13.3
Alta	5188.6	13.5	2983.9	7.7
Muy Alta	2265.4	5.9	6949.8	18.0
TOTAL	38567.4	100	38567.4	100

Fuente: Elaboración propia.

Se establece que solamente existe aproximadamente una quinta parte de superficie dentro de la cuenca con las condiciones físico-climáticas para establecer la agricultura de temporal utilizando cultivo de maíz y aproximadamente una cuarta parte del territorio con las condiciones para el desarrollo del frijol. Para éste último cultivo las zonas muy aptas (Figura 3) se encuentran principalmente en superficie de valle y algunas zonas de pie de cerro, sus suelos están clasificados como Feozem que presentan una profundidad variable, en superficie planas presentan rendimientos altos para agricultura de temporal; también se localizan en zonas de pie de monte pero se encuentran afectados por rocas (INEGI, 2004).

Everardo Andrade-Martínez, Emma María De Niz-Lara, Miguel Ángel Benítez-Muñoz, José Luis Olguín-López, Rubén Darío Guevara-Gutiérrez, Demetrio Meza-Rodríguez, Víctor Manuel Villavazo-López. Identificación de áreas aptas para la agricultura de temporal con maíz y frijol en la Cuenca de Autlán, Jalisco, México

Figura 3. Ubicación óptima para la agricultura de temporal



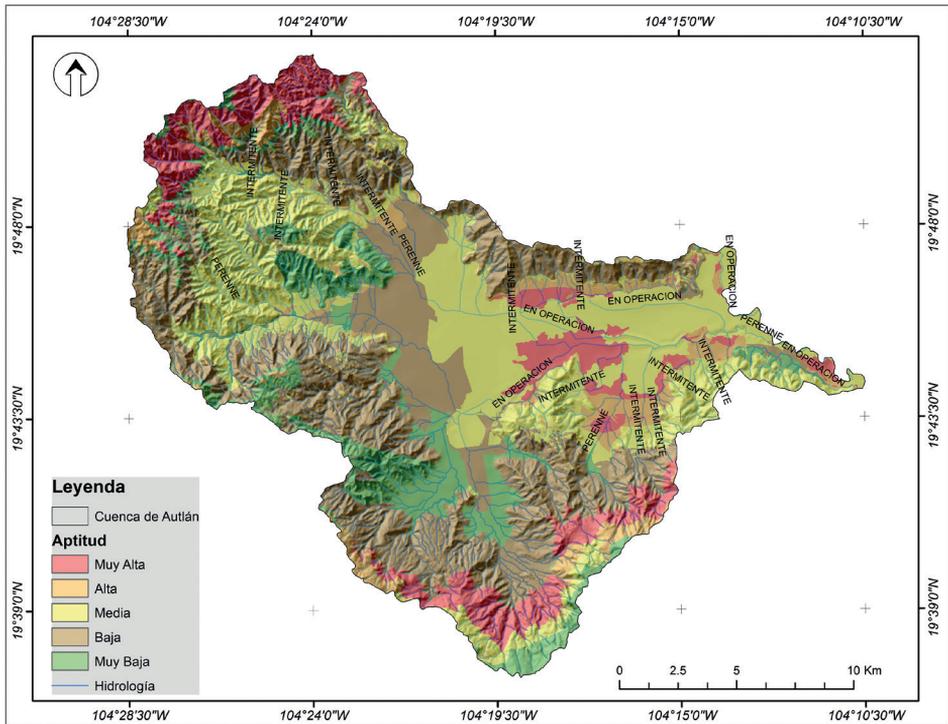
Fuente: Elaboración propia.

Los suelos profundos en las zonas de valle dentro de la cuenca según Hudson (1982), puede proporcionar un medio adecuado para el desarrollo de las raíces, retener el agua disponible y suministrar nutrientes existentes. Este mismo autor, menciona que los suelos Regosoles se distribuyen en superficies aptas para la agricultura de temporal pero con limitantes de relieve con pendientes abruptas y presencia de roca, son someros, con fertilidad variable y su productividad está condicionada a la profundidad y pedregosidad.

La superficie apta es de 10 880.12 ha aproximadamente 28.2% de la superficie total de la cuenca; la aptitud media se encuentra principalmente en zonas de pie de cerro, son superficies conformadas principalmente de suelo Regosol sus características físicas corresponden a suelos sueltos con estructura poco consolidada, estas características influyen la pérdida de suelo bajo ausencia de vegetación (INEGI, 2004).

Para el cultivo de maíz las superficies aptas ocupan el 19% (7 362 ha) presentan una variabilidad marcada (Figura 4) principalmente pequeñas áreas ubicadas en zonas de valle y parte alta de la cuenca. En el valle las zonas aptas se encuentran caracterizadas por suelos profundos (Feozem, Regosol) y en la parte norte de la cuenca las zonas aptas con área de 620 ha se encuentran sobre pendientes fuertes con valores de 28 a 37.5%, suelo poco profundos con presencia de roca superficial (Litosol, Cambisol) que limita el ingreso de tecnologías (INEGI, 2004).

Figura 4. Ubicación óptima para el cultivo de maíz



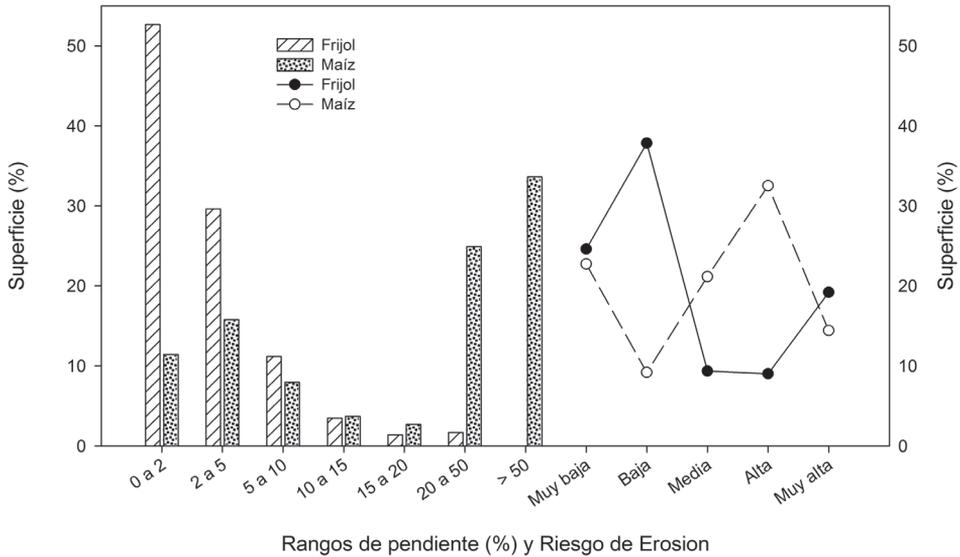
Fuente: Elaboración propia.

Se determina que las características físicas de las zonas aptas en la parte alta de la cuenca limitan la presencia de la actividad agrícola para producir maíz no obstante las condiciones climáticas son las ideales para su desarrollo. Estas últimas zonas independientemente de su aptitud climática

se establece que no cumplen con las condiciones para implementar la agricultura de temporal sustentado en Soltero-Ruíz *et al.*, (2016) donde mencionan que la crisis alimentaria y la desertificación de los suelos se deriva de la mala selección de sitios de cultivo.

En la figura 5 se establece que menos del 50% de la superficie con alta y muy alta aptitud para cultivar frijol se encuentran ubicadas principalmente sobre las pendientes más planas; concluyendo que en estas características físicas superficiales se puede implementar la agricultura intensiva. El resto de la superficie con alta y muy alta aptitud se ubica en pendientes fuertes con terrenos susceptibles a un alto y muy alto riesgo de pérdida de suelo provocado por el proceso erosivo (Figura 4 y 5); este tipo de comportamiento se presenta debido posiblemente influencia de la precipitación y temperatura sobre el resto de los parámetros. Lo anterior se basa en la jerarquización asignada sobre estos dos parámetros por actores clave (Cuadro 3) que fueron encuestadas; posiblemente su conocimiento manifiesta la importancia de la precipitación y temperatura sobre el desarrollo de los cultivos de temporal. Entonces para reducir este sesgo Jordan (2008); Stuart y Emerson (2009) manifiestan que los actores clave encuestados requieren de estudios sobre la capacidad del territorio para la siembra de cultivos con el objeto de conjuntar y homogenizar criterios de decisión.

Figura 5. Distribución de la aptitud bajo condiciones de pendiente y riesgo de erosión



Fuente: Elaboración propia.

Aunado a lo anterior se determina que la producción de maíz para su buen desarrollo y rendimiento mediante la agricultura de temporal presenta mayores limitaciones físicas en comparación con el cultivo de frijol dentro de la cuenca de Autlán.

4) *Priorización agrícola de temporal para los cultivos de maíz y frijol*

En la cuenca del Autlán los cultivos considerados presentan un periodo de desarrollo de junio a octubre por lo cual las condiciones físico-climáticas fueron condicionados a este período de tiempo; al respecto Williams y Balling (1996) mencionan que las estaciones de crecimiento y las superficies potenciales para los cultivos de temporal en regiones tropicales y subtropicales se verán reducidos debido a los cambios climáticos como el aumento de la temperatura, distribución deficiente y disminución de la precipitación que provoca una baja en el nivel de humedad del suelo. Por tal motivo (Ruíz, 1988; Alcalá, 1994) en Ruíz-Corral *et al.*, (2000), coinciden en la aplicación de estrategias de investigación para prevenir los efectos de las variaciones climáticas sobre la estación de crecimiento

de los cultivos, lo contrario puede provocar la disminución en superficie potencial y productividad agrícola. Estos autores manifiestan que la caracterización en los periodos de desarrollo induce grandes probabilidades de éxito para la agricultura de temporal. Por lo tanto se obtienen siete prioridades (Cuadro 5) para implementar la actividad agrícola de temporal utilizando los cultivos de maíz y/o frijol en la cuenca.

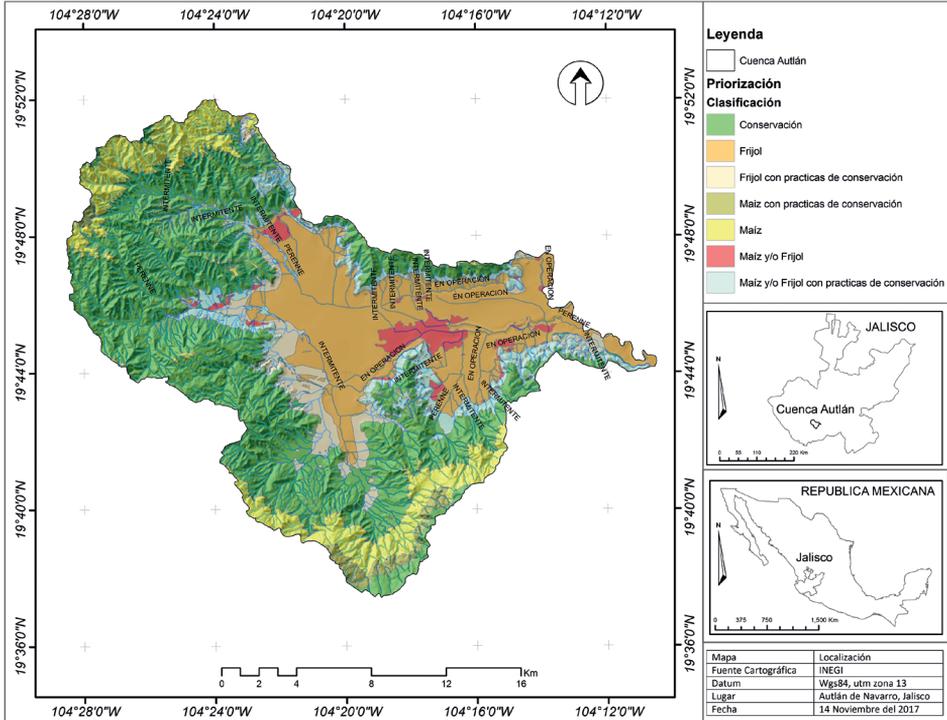
Cuadro 5. Propuesta de priorización en la cuenca de Autlán

Clasificación	Hectáreas	Porcentaje
Conservación	18389.44	47.68
Frijol	8852.68	22.95
Frijol con prácticas de conservación	2138.88	5.55
Maíz	4755	12.33
Maíz con prácticas de conservación	611.04	1.58
Maíz y/o Frijol	1081.04	2.80
Maíz y/o Frijol con prácticas de conservación	2768.36	7.18
TOTAL	38567.44	100

Fuente: Elaboración propia.

Se fundamenta en este estudio que menos de la mitad del total de la superficie de la cuenca presenta condiciones con las características físico-climáticas propicias para implementar la actividad agrícola de temporal (Figura 6); condiciones que según Pineda-Santos y Suárez-Hernández (2014) pueden disminuir los riesgos a los que está sometida la agricultura principalmente de temporal también atendiendo las exigencias edafoclimáticas para garantizar en gran medida el crecimiento, desarrollo y rendimiento de los cultivos. Sin embargo, en algunas zonas en la cuenca principalmente en áreas ubicadas a pie de cerro, la agricultura debe conjuntar prácticas de conservación de suelo y agua debido al aumento de los riesgos que limitan el desarrollo como la pendiente y la erosión. En este sentido, Roose (1993) citado en Andrade y Rodríguez (2002) manifiesta que el mantenimiento de la productividad del terreno para lograr una producción agrícola sostenida requiere de prácticas de conservación que no generen gastos adicionales para los agricultores.

Figura 6. Priorización para actividad agrícola de temporal



Fuente: Elaboración propia.

Las zonas clasificadas como de conservación son aquellas superficies que no deben incluir la actividad agrícola de temporal para los cultivos del maíz y frijol debido a que las limitaciones del terreno y del clima ejercerán un impacto en el desarrollo, rendimiento y producción del cultivo. Esta consideración es reforzada por Olguín-López y Pineda-López (2010) donde manifiestan que estas zonas están influenciadas por bosque y selvas densas y proponen que estas áreas sean decretadas como áreas de protección.

Por otro lado, existe escasa investigación acerca de la actividad agrícola de temporal utilizando el maíz y frijol en la zona de estudio, algunas contribuciones que priorizan una distribución potencial de los cultivos de temporal están referidos en Tinoco-Rueda *et al.*, (2011) donde presenta una distribución potencial del maíz utilizando factores climáticos, tipos de suelo y pendiente, en este trabajo demuestra una disminución de la aptitud

en las condiciones físicas y climáticas para el desarrollo y producción el cultivo; además mencionan que las zonas centro y norte de Jalisco que son vulnerables a las condiciones climáticas deben estar sujetas a protección y conservación para evitar la degradación de los terrenos.

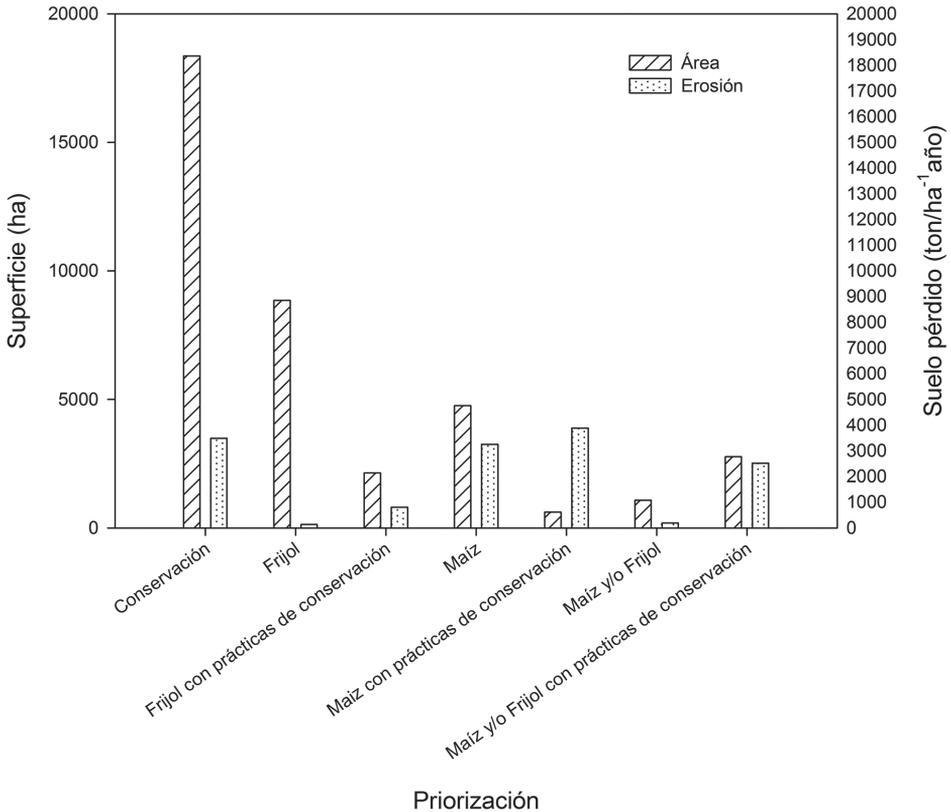
Ruíz-Corral *et al.*, (2000) determinan el efecto de las variaciones climáticas sobre superficies potenciales a nivel Jalisco para producir maíz de temporal y manifiestan que existe una disminución de la misma considerando un periodo de tiempo de 1947 a 1996; además de la poca o nula existencia de zonas potenciales para la región Costa Sur el estado de Jalisco.

Considerando lo anterior y comparando los resultados obtenidos en este estudio se establece que para el cultivo del maíz las zonas potenciales para producir el cultivo en condiciones de temporal son escasas debido a que solo 2 317.6 ha de 7 362.08 ha se encuentran en zonas de valle y el resto presenta limitantes de profundidad del suelo, pendiente y riesgo de pérdida de suelo por erosión, esto sugiere la aplicación de prácticas de conservación de suelo y agua. El comportamiento anterior en el maíz es diferente para el cultivo de frijol donde la superficie potencial total para producir frijol es de 10 880.12 ha de las cuales solo 2970.04 ha encuentran limitantes de suelo, pendiente y riesgo de pérdida de suelo.

De manera particular en la figura 7 se observa la influencia del riesgo de erosión sobre la propuesta priorización para la agricultura de temporal bajo los cultivos establecidos; presentándose la mayor pérdida de suelo en zonas con prioridad para producir maíz donde convienen prácticas de conservación de suelo y agua para reducir el proceso erosivo, esta superficies alcanzan una lámina de suelo perdido de 6.36 cm.

Para superficies con aptitud para cultivar maíz y frijol (Figura 7) se presenta una lámina de suelo perdido de 0.91 cm por lo tanto se estima que existe una alta confiabilidad de éxito en la aplicación de la agricultura de temporal aunado a la conservación del suelo y el agua, lo anterior aumenta el aprovechamiento al máximo de las condiciones de suelo y clima presentes en la zona. Finalmente se observa que algunas zonas aptas para producir maíz presenta pérdidas de suelo arriba de las 3 200 ton ha⁻¹ año con una lámina de 0.68 cm lo cual genera una baja viabilidad en la aplicación de la agricultura de temporal.

Figura 7. Pérdida de suelo por clasificación de priorización



Fuente: Elaboración propia.

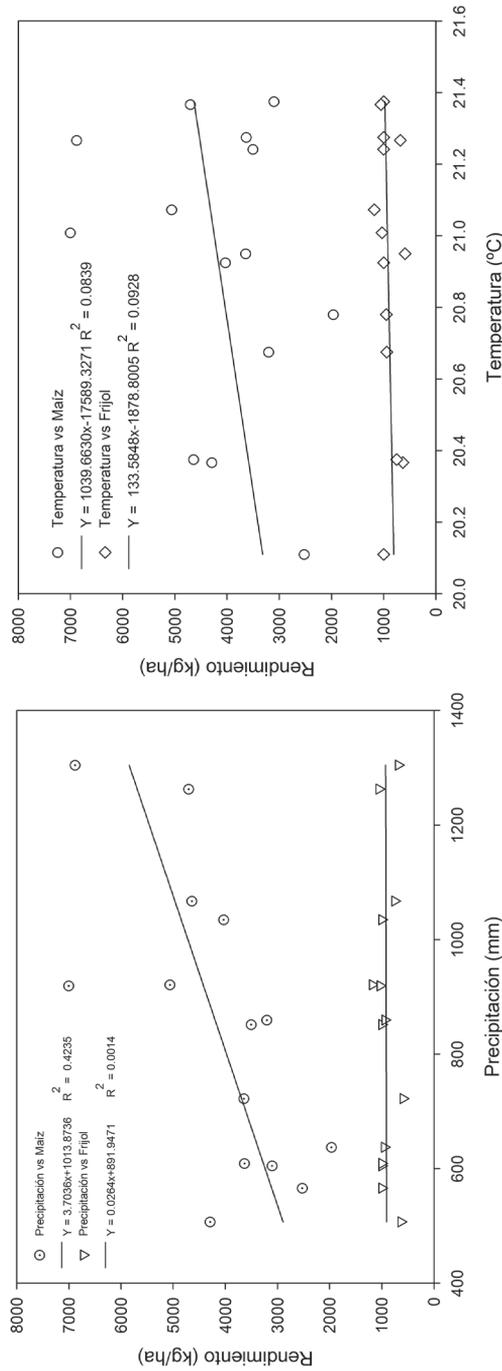
Las zonas agrícolas prioritarias para producir frijol aplicando prácticas de conservación de suelo y agua se observa valores de riesgo de erosión de suelo inferior a las 900 ton ha⁻¹ año donde su lámina superficial de suelo perdido es de 0.38 cm. En cambio, las zonas agrícolas prioritarias para cultivar frijol ubicadas mayormente en superficies planas y suelos profundos el riesgo de erosión de suelo ocasionará una lámina de 0.02 cm, en otras áreas prioritarias (frijol y/o maíz) una lámina de suelo perdido de 0.18 cm.

Con base a lo anterior, se considera que la aplicación de la metodología para obtener la distribución espacial de la priorización bajo los cultivos de maíz y frijol presenta las características físicas y climáticas

para permitir la conservación así como el aprovechamiento de los recursos naturales; en este sentido Alcañiz (2008) menciona que la utilización correcta de los diferentes usos territoriales y bajo la aplicación de una aptitud de suelo y clima apropiada, proporciona elementos para que la gestión y manejo del suelo y para que la agricultura de temporal se practique evitando la desertificación y sobre explotación de los recursos naturales presentes en las cuenca.

Finalmente al relacionar (regresión lineal) la precipitación y temperatura como parámetros de mayor peso encontrados bajo el análisis del PAJ y el rendimiento por cultivo (SIAP, 2017) en la zona de estudio se presenta una tendencia positiva (Figura 8) determinando que existe un aumento del rendimiento a medida que aumenta la precipitación, esto significa que existe una probabilidad cercana al 50% que el rendimiento del maíz en la zona de estudio dependa de la cantidad de las lluvias presentes; para el cultivo de frijol se observa una baja correlación sobre la precipitación y por lo tanto no refleja relación con el rendimiento del cultivo; lo anterior sugiere que la producción está condicionada en mayor medida a las condiciones físicas del suelo. En cuanto a la temperatura se determina que el rendimiento de los dos cultivos no refleja una relación muy marcada, esto supone que la producción de los cultivos depende de la conjunción de los diferentes factores físico-climáticos.

Figura 8. Análisis de regresión simple



Fuente: Elaboración propia.

Al aplicar posteriormente el análisis de correlación de Pearson se determina que existe una correlación positiva y con valores inferiores comparados con P para el cultivo de maíz y la precipitación por lo que se deduce que las variables tienden a aumentar juntos, el comportamiento es opuesto al utilizar la temperatura como variable independiente. Para el cultivo de frijol y su relación con los parámetros climáticos se observa una obtención de valores superiores a los calculados de P por lo tanto se determina que no hay relación significativa entre las variables.

Cuadro 6. Análisis de correlación de Pearson

Datos	Precipitación	Temperatura
Cultivos de temporal	Maíz-Frijol	Maíz-Frijol
Coefficiente de correlación	0.651-0.0379	0.290-0.305
Valor de P ($P > 0.050$)	0.0117-0.898	0.315-0.290
Numero de valores	14	14

Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones

Los resultados obtenidos demuestran que se debe de tomar en cuenta el conocimiento de los actores hacia las características físicas ideales para la aplicación ideal de la actividad agrícola de temporal aunado a una buena base datos que garanticen una alta confiabilidad de los datos obtenidos. La aptitud territorial de la cuenca es muy importante debido a la gran actividad agrícola de temporal que se genera y que al realizarse presenta problemáticas de suelo y clima dependiendo del lugar en donde se practique este tipo de agricultura. Entonces se considera que la problemática existente en las zonas de aptitud alta y muy alta prioridad territorial para cultivar maíz en la cuenca de Autlán donde los suelos son planos y profundos es la ocupación de las superficies prioritarias para otros cultivos como la caña de azúcar y cultivos hortícolas; en este sentido la aplicación de la agricultura de temporal es poco viable debido a la competencia desigual en cuanto a la producción y rendimiento sobre con cultivos.

La clasificación obtenida que determina la priorización agrícola de temporal utilizando los cultivos de maíz y frijol presenta las condiciones ideales para su desarrollo y propicia la conservación de los recursos agua-suelo-planta dentro de la cuenca; lo anterior, favorece una actividad que

garantiza el sustento alimentario para la población. Finalmente se determina que la metodología multicriterio y los usos del SIG para el manejo de la cartografía espacial, resultan muy importantes en la obtención de información concerniente a la toma de decisiones que beneficien en menor o mayor medida al aumento de la calidad de vida de la población; siempre y cuando los datos base justifiquen su aplicación.

Referencias

- Abraha, M. G. and M. J. Savage. (2006). Potential impacts of climate change on the grain yield of maize for the midlands of KwaZuluNatal, South Africa. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 115, pp. 150-160
- Acosta-Gallegos, J. A., López-Bautista, M., Tapia-Naranjo, C. A., García-Nieto, H., Ventura-Ramos, E. (2004). *Guía para producir frijol de temporal en Querétaro*. Querétaro, México. INIFAP.
- Alcañiz, J. M. (2008). Erosión: Evaluación de riesgo erosivo y prácticas de protección de suelos. En Andrés, P. y Rodríguez, R. (Eds): *Evaluación y prevención de riesgos ambientales en Centroamérica*. Girona, España. Documenta universitaria, 22 pp.
- Albrecht, S. L. (1989). "An identification and evaluation of strategies for assessing social implications of alternative actions on public lands", En: L. D. JAMES (ed.) *Proceedings of a Workshop on Index Construction for Use in High Mountain Watershed Management*, Logan, Utah. pp. 111-124.
- Andrade B., O. C., Rodríguez P., O. S., (2002). Evaluación de la eficiencia de las barreras vivas como sistema de conservación de suelos en ladera. *Bioagro*, 14, 13, pp. 123-133.
- Basterrechea, M. (1987). Lineamientos para una metodología preliminar de priorización de cuencas en Guatemala. En Seminario Taller, Priorización de cuencas. Informe Técnico 120. Ed: *Memorias. Priorización de cuenca, métodos y técnicas*. Turrialba, Costa Rica, pp. 194-203.
- Benacchio, S. S. (1982). *Algunas exigencias agroecológicas en 58 especies de cultivo con potencial de producción en el Trópico Americano*. Maracay, Venezuela. Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias.
- Bezerra, L. y Veiga E. (2000). *Agricultura Sustentável*. Ministério do Meio Ambiente, Brasília

- Bonilla, N. M. (2009). *Manual de recomendaciones técnicas del cultivo de maíz. Instituto Nacional de Innovación y transferencia en tecnología Agropecuaria*. San José, Costa Rica. INTA.
- Campos-Aranda, D. F. (1987) Procesos del ciclo hidrológico. San Luis Potosí, México. Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Carvajal, L. F., Jiménez, J. F., Vélez, M. V., Rendón, G., Caballero, H., Zuluaga, J. (2005). Priorización de puntos críticos y de microcuencas con análisis multiobjetivo en la red hídrica de la cuenca de la Quebrada Santa Elena. *Gestión y Ambiente*, 8, 2, pp. 103–116.
- Carver, S. J., (1991). Integrating multi-criteria evaluation with geographical information systems. *Int. J. Geogr. Inform. Systems*, 5, pp. 321-339.
- Casillas J. A. (2004). La visión de SAGARPA para el desarrollo integral de microcuencas hidrográfica. En: Cotler, H. (Ed). *El Manejo Integral de Cuencas en México: Estudios y reflexiones para orientar la política ambiental*. México. INE-SEMARNAT, pp. 211-221.
- CONAF. (1983). Identificación y formulación de proyectos de manejo de cuencas para la I Región. Ministerio de Agricultura, Santiago, Chile. 55 pp.
- Cortés, T. H. (1991). Caracterización de la erosividad de la lluvia en México utilizando métodos multivariados. Colegio de Postgraduados, Montecillos, MEX.
- Chaves M. M., Pereira JS, Maroco J, Rodriguez M. L., Ricardo C. P., Osorio M. L., Carvalho I., Faria T., Pinheiro C. (2002). ¿How plants cope with water stress in the field? Photosynthesis and growth. *Ann Botany*, 89, pp. 907-916.
- De los Santos-Ramos, M., Romero-Rosales, T., Bobadilla-Soto, E. E. (2017). Dinámica de la producción de maíz y frijol en México de 1980 a 2014. *Agronom. Mesoam*, 28, 2, pp. 439-453.
- Dirección de manejo de cuencas. (1977). Identificación de microcuencas prioritarias a través de la aplicación de 34 criterios (parámetros). Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables. Venezuela, Caracas. 16 pp.
- FAO. (1974). Fortalecimiento del Programa Forestal Nacional, Chile. Pautas para la ordenación de cuencas, la corrección de torrentes y la lucha contra la erosión, basado en la labor de L.S. Botero. FO: SF/CHI 26, Informe Técnico 6, Roma. 81 pp.

- FAO-UNEP-UNESCO (1980). Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos. Roma. 86 pp.
- Chávez-González, H., González-Guillén, M. J., Hernández de la Rosa, P. (2015). Metodologías para identificar áreas prioritarias para conservación de ecosistemas naturales. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 6, 25, pp. 8–23.
- Garrido, A., Pérez D., J. L., Enríquez G., C. (2010). Delimitación de las zonas funcionales de las cuencas hidrográficas de México. En Cotler, H. (Ed.): *Las cuencas hidrográficas de México: diagnóstico y priorización*. México. INE. pp. 14-17.
- Geilfus, F. (2009). *80 herramientas para el desarrollo participativo, diagnóstico, planificación, monitoreo y evaluación*. San José, Costa Rica. IICA.
- Gil-Guirado, S., López-Bermúdez, F. (2011). Tendencia de las precipitaciones y temperaturas en una pequeña cuenca fluvial del sureste peninsular semiárido. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 56, pp. 349-371.
- Ghannoum O. (2009). C4 photosynthesis and water stress. *Ann Botany* 103(4) pp. 635-644.
- Gutiérrez–Malaxechebarría Á. M., Zambrano–Rodríguez Y., Ospina–Hoyos L. (2015). Propuesta metodológica de priorización de áreas para conservación de cuencas. Validación en río Caquinal, Fómeque. *Revista de Investigación Agraria y ambiental*, 6, 1, pp. 199 – 214.
- Heras, R. R. (1976). *Hidrología y recursos hidráulicos*. Madrid, España. Dirección General de Obras Hidráulicas, Centro de Estudios Hidrográficos
- Hudson N. (1982). *Conservación del suelo*. Barcelona, España. REVERTÉ
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). (2016). Extractor Rápido de Información Climatológica (ERIC III). Jiutepec, Morelos. México.
- Iroumé A., A., Gayoso A., J. (1990). Jerarquización y asignación de prioridades a cuencas hidrográficas de zonas áridas y semiáridas de Chile. *Bosque*, 11, 1, pp. 35-43.
- Iroumé A., A., Gayoso A., J. (1988). Metodología para determinar prioridades de manejo en cuencas hidrográficas, Investigación y Desarrollo de Áreas Silvestres en Zonas áridas y semiáridas. Documento de trabajo 16, pp.c81

- Janssen, R. and P. Rietved. (1990). Multicriteria analysis and GIS: an application to agriculture land use in The Netherlands. In: H. Scholten and J. Stilwell. (eds.). *Geographical Information Systems for Urban and Regional Planning*. Kluwer, Dordrecht, the Netherlands. pp. 129-138.
- Jordan, R. N. (2008). Agroecology in action-extending alternative agriculture through social networks. *Crop Sci*, 48, 4, pp. 1642-1643.
- Keenleyside, K., Dudley, N., Cairns, S., Hall, C., & Stolton, S. (2012). Ecological restoration for protected areas: principles, guidelines and best practices. *IUCN*, 18, pp. 119 pp.
- Kendall, M. G. (1948). Rank correlation methods. *C. Griffin and Company, London*, 473 pp.
- Larson, D. (1979). "General approaches and methodology for construction of indices for natural resources planning and management". En: L. D. James (ed.) *Proceedings of a Workshop on Index Construction for Use in High Mountain Watershed Management*. Logan, Utah. pp. 171-194.
- Lépiz-Ildelfonso, R., Sánchez-Preciado, R., López-Alcocer, E., López-Alcocer, J de J., Chavarín-Espinoza, I. E., Meza-Vázquez, K. E. (2015). *El cultivo de frijol en Jalisco, Tecnología para altos rendimientos*. Zapopan, Jalisco. CUCBA.
- Malczewski, J. (1996). A GIS-based approach to multiple criteria group decision-making. *International J. Geogr. Inform. Syst.* 10. pp. 955-971.
- Malczewski, J. (1999). Spatial Multicriteria Decision Analysis. En: Thill, J.C. (ed.), *Spatial Multicriteria Decision Making and Analysis, a Geographic Information Sciences Approach*. Ashgate Publishing Ltd. Gower House, pp. 11-48.
- McDonald, A., S. Riha, DiTommaso, A., and DeGaetano A. (2009). Climate change and the geography of weed damage: Analysis of U.S. maize systems suggests the potential for significant range transformations. *Agric. Ecosyst. Environ*, 130, pp. 131-140.
- Meza, F. J. and Silva D. (2009). Dynamic adaptation of maize and wheat production to climate change. *Clim. Change*, 94, pp. 143-156.
- Miramontes P. C. U. (2011). Situación actual y perspectivas del maíz en México. 1996 - 2012. Sistema de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). SAGARPA. México, D. F. [15-05-2017]. Disponible en http://w4.siap.gob.mx/sispro/SP_AG/Maiz/PortalesFijos/Situacion/maiz96-12.pdf

- Mitas, L., and Mitasova, H. (1998). Distributed soil erosion simulation for effective erosion prevention. *Water resources research*, 34, 3, pp. 505-501.
- Mitasova, H., Brown, W.M., Johnston, D. & Mitas, L. (1996). GIS Tools for Erosion/Deposition Modeling and Multidimensional Visualization. PART II: Unit Stream Power-Based Erosion/Deposition Modeling and Enhanced Dynamic Visualization. *Report for USA CERL. University of Illinois, Urbana-Champaign, IL*, pp. 38.
- Montes, L. L. A. M., Uribe, A. M.E & García, C. E. (2011). Mapa nacional de erosión nacional. *Tecnología y Ciencia del Agua*, 2, 1, pp. 5-17.
- ODEPLAN. (1981). Estudio de las cuencas de los ríos Mataquito y Maule. P. Universidad Católica (Sede del Maule), SERPLAC VII Región, Talca, 197 pp.
- Olaya, A. (1985). Metodología para determinar prioridades de manejo integral de cuencas hidrográficas y su aplicación en Costa Rica. Tesis Magister Scientiae, Universidad de Costa Rica. CATIE, Turrialba, 196 pp.
- Olguín-López, J. L. y Pineda-López, R. (2010). Importancia de la priorización hidrológica en la toma de decisiones de manejo en la subcuenca del río Ayuquila, Jalisco, México. *Ciencia@uaq*, 3, 2, pp. 42-51.
- Pérez, E. y D. Geissert. (2006). Zonificación agroecológica de sistemas agroforestales: el caso café (*Coffea arabica* L.) Palma Camedor (*Chamadorea elegans* Mart). Caracas, Venezuela, *INCI*, 31, 8, 8 pp.
- Pineda-Santos, L. D., Suarez-Hernández, J. E. (2014). Elaboración de un SIG orientado a la zonificación agroecológica de los cultivos. *Ingeniería agrícola*, 4, 3, pp. 28-32.
- Porta-Casanellas, J., López-Acevedo, R. M., Roquero-Laburu, C. (1999) *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. Barcelona. Mundi-prensa.
- Rivera-Toral, F., Pérez-Nieto, S., Ibáñez-Castillo, L. A., Hernández-Saucedo, F. R. (2012). Aplicabilidad del modelo swat para la estimación de la erosión hídrica en las cuencas de México. *Agrociencia*, 46, 2, pp. 101-105.
- Rodríguez, A., y Gaspari, F. (2015). Estimación de la admisibilidad de pérdidas de suelo por erosión hídrica en la cuenca del arroyo Napaleofú, provincia de Buenos Aires-Argentina. *Revista Geográfica Venezolana*, 56, 1, pp. 105-119.

- Rosse, E. (1990). *Guía de Bulbos*. Ediciones Grijalbo. Barcelona.
- Ruiz-Corral, J. A., Ramírez-Díaz, J. L., Flores-Mendoza F. J., Sánchez-González, J. J. (2000). Cambio climático y efectos sobre las áreas potenciales para maíz en Jalisco, México. *Fitotecnica mexicana*, 23, 2, pp. 183-193.
- Saaty, T. L. (1980). *The analytic hierarchy process. Planning, priority setting, resource allocation*. Mc Graw Hill. Pittsburgh, PA, USA.
- Sánchez V. (1987). *Conceptos Elementales de Hidrología Forestal Agua, Suelo y Vegetación, la cuenca hidrográfica*. Universidad Autónoma de Chapingo, México, División de Ciencias Forestales.
- Soltero-Ruiz, E. D., Cruz-Bello, G. M., González-Hernández, A., Moreno-Sánchez, F. (2016). Determinación de la aptitud del terreno para maíz mediante el análisis espacial multicriterio en el estado de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(2)401-412
- Stuart, D. and Emerson, B. (2009). Agricultural systems: agroecology and rural innovation for development. *J. Environ. Qual*, 38, 373-374.
- Tinoco-Rueda, J. A., Gómez-Díaz, J. D. Monterroso-Rivas, A. I. (2011). Efectos del cambio climático en la distribución potencial del maíz en el estado de Jalisco, México. *Terra Latinoamericana*, 29(2), 161-168.
- Walker, N. J. and Schulze, R. E. (2008). Climate change impacts on agroecosystem sustainability across three climate regions in the maize belt of South Africa. *Agric. Ecosyst. Environ*, 124, 114-124.
- Williams, M. A. y R. C. Balling Jr. (1996). *Interaction of Desertification and Climate*. WMO-UNEP. Great Britain. Ed. Arnold. London.

Referencias digitales

- Alcalá G., J. (1994). Evaluación de un procedimiento para el cálculo de la estación de crecimiento. Jalisco. Biblioteca digital wdg. biblio. [Consulta: 30-04-2017]. Disponible en <http://hdl.handle.net/123456789/22738>
- Cabrera, C. A., y Reyes Castillo, C. H. (2008). *Guía Técnica para el manejo de variedades de frijol*. La Libertad, El Salvador. Ministerio de agricultura y ganadería. [Consultado: 15-01-2017]. Visto en <http://www.centa.gov.sv/docs/guias/granos%20basicos/Guia%20Tecnica%20Frijol.pdf>

- CEFP/054. (2004). *Centro de Estudios de las Finanzas Públicas*. LX Legislatura Febrero de 2004. [24-11-2017]. Disponible en <http://www.cefp.gob.mx/intr/edocumentos/pdf/cefp/cefp0542004.pdf>.
- CEFP/004. (2007). *Centro de Estudios de las Finanzas Públicas*. LX Legislatura Febrero de 2007. [24-11-2017]. Disponible en <http://www.cefp.gob.mx/intr/edocumentos/pdf/cefp/cefp0042007.pdf>
- Deras, H. (2014). *Guía técnica El cultivo del maíz*. El Salvador. IICA. [Consulta: 25-01-2017]. Consultado en <http://repiica.iica.int/docs/b3469e/b3469e.pdf>
- Dumas, S. A. (2012). *Riesgo de erosión hídrica en la cuenca hidrográfica del río mundo*. Universidad Complutense de Madrid, Madrid. [Consulta: 08-04-2017]. Disponible en http://eprints.ucm.es/17468/1/TFM_AfricaDumas.pdf
- INEGI. (2004). Información cartográfica escala 1:50000. México. Instituto Nacional de Estadística y Geografía Disponible [Consulta: 28-05-2017]. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/geo/temas/topografia/>
- IIEG. (2017). Autlán de Navarro; Diagnostico del municipio. Autlán, Jalisco. Instituto de Información Estadística y Geografía. [Consulta: 15-11-2017]. Visto en <http://ieeg.gob.mx/contenido/Municipios/Autlan-deNavarro.pdf>
- Nozica, G., Herique, M., y Porcel, R. (1997). *Sistemas de Información Geográfica. Una herramienta para el diagnóstico en la planificación familiar*. San Juan, Argentina. [Consulta: 11-11-2017]. Disponible en: <http://cumincades.scix.net/data/works/att/0e19.content.pdf>
- Ruiz C., J. A. (1988). Determinación de la estación de crecimiento y precocidad requerida para el maíz en el Sur de Zacatecas. [Consulta: 22-05-2017]. Disponible en <http://www.redalyc.org/pdf/610/61023202.pdf>
- SIAP. (2017). Anuario estadístico de la producción agrícola. Jalisco, México. [Consulta: 01-07-2017]. Disponible en http://infosiap.siap.gob.mx/agricola_siap_gb/ientidad/index.jsp