



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
POSGRADO EN GEOGRAFÍA
FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFÍA**

**DELIMITACIÓN DE ZONAS VULNERABLES PARA EL CULTIVO DE MAÍZ Y FRIJOL DE TEMPORAL
BAJO ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO MEDIANTE LA CUANTIFICACIÓN DE RIESGO
HIDROLÓGICO EN EL ESTADO DE VERACRUZ.**

**TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE
MAESTRO EN GEOGRAFÍA**

**PRESENTA:
RAFAEL ALBERTO GUAJARDO PANES**

**TUTORES
DRA. GUADALUPE REBECA GRANADOS RAMÍREZ
Instituto de Geografía, UNAM
DR. IGNACIO SÁNCHEZ COHEN
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias**

**COMITÉ TUTOR
Dr. Juan Carlos Gómez Rojas
Colegio de Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM
Dr. Víctor Luis Barradas Miranda
Instituto de Ecología, UNAM
Dr. Gabriel Díaz Padilla
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias**

MÉXICO, D.F.

NOVIEMBRE DE 2015



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM-Dirección General de Bibliotecas

Tesis Digitales

Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

HOJA DE DATOS

Datos del alumno

Rafael Alberto Guajardo Panes
Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Filosofía y Letras
Maestría en Geografía

Datos de la Tutora

Dra. Guadalupe Rebeca Granados Ramírez
Investigadora del Instituto de Geografía
Nivel I del Sistema Nacional de Investigadores

Datos de sinodal 1

Dr. Ignacio Sánchez Cohen
Investigador del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias
Nivel II del Sistema Nacional de Investigadores

Datos de sinodal 2

Dr. Juan Carlos Gómez Rojas
Colegio de Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM

Datos de sinodal 3

Dr. Víctor Luis Barradas Miranda
Instituto de Ecología
Nivel II del Sistema Nacional de Investigadores

Datos de sinodal 4

Dr. Gabriel Díaz Padilla
Investigador del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias
Nivel I del Sistema Nacional de Investigadores

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darme la vida, familia, amigos y maestros que tengo, por todo lo que está por venir.

A la Universidad Nacional Autónoma de México y al Posgrado en Geografía, por brindarme la oportunidad de ser alumno de tan destacada institución y por formar parte de sus logros académicos.

Al Consejo de Ciencia y Tecnología, por la beca otorgada.

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, que me brindó la oportunidad de realizar la maestría.

Mi muy especial agradecimiento y reconocimiento a Columba, mi esposa -mi costilla-, que en todo momento me alentó y apoyó. Dudo haber terminado esta tesis a tiempo sin tu valioso apoyo.

A la Dra. Guadalupe Rebeca Granados Ramírez, por su apoyo incondicional, por estar siempre al pendiente de mi desempeño académico, su tiempo, atención, confianza y amistad.

A mi comité tutor: Dr. Víctor Barradas Miranda, Dr. Juan Carlos Gómez Rojas, Dr. Ignacio Sánchez Cohen, Dr. Gabriel Díaz Padilla por su paciencia, tiempo, sugerencias y observaciones a este trabajo, por ser un pilar importante en mi formación académica.

A mi mamá María Eugenia y a mi suegra Doña Carmen, por sus oraciones y sus bendiciones; no pudo haber mejores intermediadores con Dios.

A Claudia, al igual que Rosa y Pascual, siempre estuvieron al tanto de mí.

A mis compañeros, especialmente a Ana, Arturo, Helga, Karla, Luis, Paola, Maviael, Melina y Yilotl, que me brindaron su amistad a lo largo de estos años de convivencia.

A Moisés Fernando, buen amigo... tu capacidad es admirable, sin tu apoyo el manejo de tanta información hubiese sido muy complicado.

Al Dr. Gabriel Díaz Padilla y al M.C. Rosalío López Morgado, además de su amistad, me han compartido sus enseñanzas, sus intereses en investigación, a ampliar mis horizontes en el conocimiento, por sus consejos y apoyo.

ÍNDICE

RESUMEN.....	12
INTRODUCCIÓN.....	13
El clima y la agricultura.....	14
Fenología ante el cambio climático	15
Situación de la información climática en México.....	16
Estudios de potencial productivo.....	17
La importancia de la simulación de procesos agroclimáticos	17
Escenarios de cambio climático considerados.....	18
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	19
HIPÓTESIS	20
OBJETIVO	20
Objetivo general	20
Objetivos particulares	20
MATERIALES Y MÉTODOS	20
Ubicación y descripción del área en estudio.	21
Selección de estaciones con información mínima necesaria.....	21
Congruencia lógica y validación espacial de la información climática	22
Aplicación de pruebas de homogeneidad	22
Generación de datos climáticos faltantes con ClimGen.....	24
Generación de series climatológicas para los escenarios de cambio climático con LarsWG, Generador Estocástico de Tiempo Meteorológico	28
Generación de información con el Sistema para cuantificar riesgo hidrológico en agricultura de temporal en el estado de Veracruz	31
Parametrización del sistema	36
Conformación de base de datos de rendimientos de maíz y frijol	44
Procesamiento cartográfico de la información	44
Identificación de posibles cambios en los rendimientos de maíz y frijol a través de los diferentes escenarios de cambio climático.	45

Identificación de patrones de cambio de rendimientos en zonas de potencial productivo de maíz y frijol en el estado de Veracruz.....	46
RESULTADOS	50
Estaciones incluidas en el área en estudio	50
Estaciones con información mínima necesaria	51
Verificación de congruencia lógica y validación espacial de la información	51
Resultados de las pruebas de homogeneidad	52
Información faltante y series climáticas bajo condiciones de escenario climático.....	53
Conformación de la base de datos e incorporación al SIG	54
Interpolación espacial de la información de rendimientos en los escenarios actual A1B, A2 y B1	56
Caso maíz.....	56
Caso frijol.....	57
Identificación de posibles cambios en los rendimientos de maíz y frijol a través de los diferentes escenarios de cambio climático.	57
Caso maíz.....	58
Caso frijol.....	59
Comportamientos de rendimientos en diferentes escenarios	59
Caso maíz.....	60
Caso frijol.....	64
Tendencias de rendimientos en zonas de potencial productivo	68
Caso maíz, escenario A1B	68
Caso maíz, escenario A2	70
Caso maíz, escenario B1	72
Caso frijol, escenario A1B	74
Caso frijol, escenario A2.....	76
Caso frijol, escenario B1.....	78
DISCUSIÓN.....	80
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	81
LITERATURA CITADA	83
SITIOS WEB CONSULTADOS	90

ANEXOS.....	92
Anexo A. Resultados de las pruebas de homogeneidad aplicadas a la variable <i>Tmin</i> a las estaciones consideradas en el estudio.....	92
Anexo B. Resultados de las pruebas de homogeneidad aplicadas a la variable <i>Tmax</i> a las estaciones consideradas en el estudio.....	99
Anexo C. Resultados de las pruebas de homogeneidad aplicadas a la variable <i>Pp</i> a las estaciones consideradas en el estudio.....	106

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura de la base de datos que requiere ClimGen para realizar el cálculo de datos faltantes.	26
Figura 2. Pantalla de inicio y de captura de información general de la estación a procesar en ClimGen..	26
Figura 3. Pantalla de análisis de información y cálculo de parámetros para estimar los datos faltantes...	27
Figura 4. Base de datos con información completa generada por ClimGen.	27
Figura 5. Análisis inicial y parametrización de la información climática observada (Site Analysis).....	29
Figura 6. Comparación de la información climática generada y la observada en las estaciones climatológicas (QTest).....	29
Figura 7. Panel donde se indica a Lars-WG el escenario para la generación de datos climáticos.	30
Figura 8. Panel de presentación del Sistema para cuantificar riesgo hidrológico en agricultura de temporal en el estado de Veracruz.....	32
Figura 9. Dinámica de variables que intervienen en un balance hídrico diario.....	33
Figura 10. Panel de parametrización del Sistema para cuantificar riesgo hidrológico en agricultura de temporal en el estado de Veracruz.	36
Figura 11. Combo de selección de escenario bajo el cual se realizará el cálculo de rendimientos.	36
Figura 12. Combo donde se introduce un número aleatorio para iniciar el proceso de simulación.	36
Figura 13. Combo para indicar la fecha de inicio de siembra del cultivo de interés.	37
Figura 14. Combo de selección de ciclo vegetativo.	38
Figura 15. Combos correspondientes a la selección del estado y municipio a trabajar en la simulación de rendimientos.	38
Figura 16. Combo para seleccionar la estación climatológica que proporciona la información para el cálculo de P_p y E_t	38
Figura 17. Combo para seleccionar el cultivo al cual se hará referencia el cálculo de rendimientos.....	39
Figura 18. Combo de captura de rendimiento máximo de temporal para el cultivo de interés.....	39
Figura 19. Índice de estrés para el cultivo de maíz (<i>Zea mays L.</i>) según Sánchez <i>et al.</i> (2013).	40
Figura 20. Índice de estrés para el cultivo de frijol (<i>Phaseolus vulgaris L.</i>) según Sánchez <i>et al.</i> (2013)..	40
Figura 21. Sección para especificar los coeficientes del cultivo K_c , o bien indicar que tome los considerados por defecto.	41
Figura 22. Opción para indicar problemas de salinidad en la zona de estudio.	41
Figura 23. Apartado para elegir si se requiere considerar la cosecha de agua de lluvia.	41
Figura 24. Opción para la elección de uso de algún tipo de cobertura para el suelo.	42
Figura 25. Opciones de selección de texturas de suelo y profundidad.	42
Figura 26. Gráfico para la denominación de los suelos con la delimitación de texturas fina, media y gruesa.	43

Figura 27. Opciones de selección de porcentaje inicial de humedad y número de años (ciclos agrícolas) a simular.	43
Figura 28. Requerimientos agroecológicos empleados para delimitar el potencial productivo de maíz (<i>Zea mays L.</i>) y frijol (<i>Phaseolus vulgaris L.</i>) en México (Díaz <i>et al.</i> , 2012).	47
Figura 29. Esquema metodológico para elaborar el potencial productivo de maíz (<i>Zea mays L.</i>) y frijol (<i>Phaseolus vulgaris L.</i>) (Díaz <i>et al.</i> , 2012).	47
Figura 30. Delimitación de potencial productivo de maíz (<i>Zea mays L.</i>) en el estado de Veracruz.	48
Figura 31. Delimitación de potencial productivo de frijol (<i>Phaseolus vulgaris L.</i>) en el estado de Veracruz.	49
Figura 32. Distribución espacial de las estaciones operando en el estado de Veracruz y estados vecinos.	50
Figura 33. Distribución del número de estaciones por estado consideradas en procesos para completar datos faltantes, generar datos de escenarios de cambio climático y generara la información de rendimientos.	53
Figura 34. Ejemplo de la base de datos con matrices de transición y estadísticas descriptivas provenientes de las series climáticas bajo los escenarios actual, A1B, A2 y B1.	54
Figura 35. Georreferenciación de las tablas de rendimientos de maíz (<i>Zea mays L.</i>) y frijol (<i>Phaseolus vulgaris L.</i>) en el área de estudio.	55
Figura 36. Rendimiento estimado de maíz (<i>Zea mays L.</i>) en diferentes escenarios climáticos en el estado de Veracruz.	56
Figura 37. Rendimiento estimado de maíz (<i>Zea mays L.</i>) en diferentes escenarios climáticos en el estado de Veracruz.	57
Figura 38. Intervalos de confianza simultáneos de Tuckey al 95% para el cultivo de maíz (<i>Zea mays L.</i>).	59
Figura 39. Tendencias de cambio de los rendimientos de maíz (<i>Zea mays L.</i>) en el escenario climático A1B en relación con el escenario actual en el estado de Veracruz.	61
Figura 40. Tendencias de cambio de los rendimientos de maíz (<i>Zea mays L.</i>) en el escenario climático A2 en relación con el escenario actual en el estado de Veracruz.	62
Figura 41. Tendencias de cambio de los rendimientos de maíz (<i>Zea mays L.</i>) en el escenario climático B1 en relación con el escenario actual en el estado de Veracruz.	63
Figura 42. Tendencias de cambio de los rendimientos de frijol (<i>Phaseolus vulgaris L.</i>) en el escenario climático A1B en relación con el escenario actual en el estado de Veracruz.	65
Figura 43. Tendencias de cambio de los rendimientos de frijol (<i>Phaseolus vulgaris L.</i>) en el escenario climático A2 en relación con el escenario actual en el estado de Veracruz.	66
Figura 44. Tendencias de cambio de los rendimientos de frijol (<i>Phaseolus vulgaris L.</i>) en el escenario climático B1 en relación con el escenario actual en el estado de Veracruz.	67
Figura 45. Tendencia de rendimientos de maíz (<i>Zea mays L.</i>) en áreas de potencial productivo para el escenario A1B periodo 2011-2030 en el estado de Veracruz.	69

Figura 46. Tendencia de rendimientos de maíz (<i>Zea mays L.</i>) en áreas de potencial productivo para el escenario A2 periodo 2011-2030 en el estado de Veracruz.	71
Figura 47. Tendencia de rendimientos de maíz (<i>Zea mays L.</i>) en áreas de potencial productivo para el escenario B1 periodo 2011-2030 en el estado de Veracruz.	73
Figura 48. Tendencia de rendimientos de frijol (<i>Phaseolus vulgaris L.</i>) en áreas de potencial productivo para el escenario A1B periodo 2011-2030 en el estado de Veracruz.	75
Figura 49. Tendencia de rendimientos de frijol (<i>Phaseolus vulgaris L.</i>) en áreas de potencial productivo para el escenario A2 periodo 2011-2030 en el estado de Veracruz.	77
Figura 50. Tendencia de rendimientos de frijol (<i>Phaseolus vulgaris L.</i>) en áreas de potencial productivo para el escenario B1 periodo 2011-2030 en el estado de Veracruz.	79

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Meses en los que se inician las épocas de siembra de maíz y frijol en el ciclo primavera-verano en el estado de Veracruz y estados vecinos.....	37
Tabla 2. Estructura del análisis de varianza para comparar los rendimientos entre los diferentes escenarios climáticos.	45
Tabla 3. Desagregación de estaciones por estado y unidad climática de las estaciones consideradas en el estudio.	51
Tabla 4. Desagregación de estaciones por estado y unidad climática (INEGI, 2014) con información mínima necesaria.	51
Tabla 5. Resumen de resultados de las pruebas de homogeneidad de varianza.	52
Tabla 6. Resumen de resultados de las pruebas de homogeneidad desagregados por estado.....	52
Tabla 7. Conformación de la base de datos de rendimientos de maíz (<i>Zea mays L.</i>) asociadas a las estaciones climatológicas.....	54
Tabla 8. Conformación de la base de datos de rendimientos de frijol (<i>Phaseolus vulgaris L.</i>) asociadas a las estaciones climatológicas.	55
Tabla 9. Estructura de bases de datos empleadas para determinar si existe diferencia significativa entre los rendimientos en los diferentes escenarios climáticos.	57
Tabla 10. Análisis de varianza de los rendimientos de maíz (<i>Zea mays L.</i>) en los diferentes escenarios climáticos.....	58
Tabla 11. Agrupación de rendimientos de maíz (<i>Zea mays L.</i>) en distintos escenarios climáticos con el método de Tuckey al 95% de confianza.	59
Tabla 12. Análisis de varianza del rendimiento de frijol (<i>Phaseolus vulgaris L.</i>) en diferentes escenarios climáticos.....	59
Tabla 13. Desagregación de las variaciones de rendimientos en el escenario A1B para el cultivo de maíz (<i>Zea mays L.</i>) a nivel de Distrito de Desarrollo Rural.	68
Tabla 14. Desagregación de las variaciones de rendimientos en el escenario A2 para el cultivo de maíz (<i>Zea mays L.</i>) a nivel de Distrito de Desarrollo Rural.	70
Tabla 15. Desagregación de las variaciones de rendimientos en el escenario B1 para el cultivo de maíz (<i>Zea mays L.</i>) a nivel de Distrito de Desarrollo Rural.	72
Tabla 16. Desagregación de las variaciones de rendimientos en el escenario A1B para el cultivo de frijol (<i>Phaseolus vulgaris L.</i>) a nivel de Distrito de Desarrollo Rural.	74
Tabla 17. Desagregación de las variaciones de rendimientos en el escenario A2 para el cultivo de frijol (<i>Phaseolus vulgaris L.</i>) a nivel de Distrito de Desarrollo Rural.	76
Tabla 18. Desagregación de las variaciones de rendimientos en el escenario B1 para el cultivo de frijol (<i>Phaseolus vulgaris L.</i>) a nivel de Distrito de Desarrollo Rural.	78

RESUMEN

El cambio climático es un fenómeno que puede modificar la producción y la distribución de las especies vegetales en una región. Si no se realizan planes de mitigación y/o adaptación, la seguridad alimentaria de México podría verse en riesgo. Contrarrestar este efecto implica planear acciones dirigidas a zonas agrícolas donde se encuentran las condiciones idóneas para producir productos esenciales en la seguridad alimentaria de México. El presente trabajo de investigación, se enfocó a identificar la posible variación de rendimientos en zonas de potencial productivo de temporal para maíz (*Zea mays L.*) y frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) en el estado de Veracruz bajo condiciones de cambio climático en el futuro cercano (2011-2030). Se empleó información de precipitación y temperatura registrada en 260 estaciones climatológicas del Servicio Meteorológico Nacional, ubicadas tanto dentro de los límites del estado de Veracruz, como dentro de un perímetro de 20 km en relación a su límite político estatal. Se comprobó su congruencia lógica, se efectuó validación espacial y se aplicaron pruebas de Homogeneidad Normal Estándar (*SNHT*), Pettitt y Buishand para verificar homogeneidad de series climáticas. Las estaciones se clasificaron en útiles, dudosas y sospechosas, siendo las dos primeras consideradas para calcular los datos faltantes con el programa ClimGen y generar series climáticas para los escenarios de cambio climático A1B, A2, B1, así como para el escenario base con el programa Lars-WG empleando el modelo de circulación general HadCM3 para el periodo 2011-2030. Para cada estación, se calcularon matrices de transición mensuales, se incorporaron al Sistema para cuantificar riesgo hidrológico en agricultura de temporal y se calcularon rendimientos, que fueron georreferenciados a las estaciones climatológicas de origen. Se efectuó la interpolación espacial con el modelo inverso de la distancia para obtener la distribución espacial de rendimientos en el estado de Veracruz. Con algebra de mapas se clasificaron zonas donde pueden aumentar, disminuir o no presentar cambios de rendimientos de maíz y frijol en los diferentes escenarios de cambio climático en relación con el escenario climático base. Con geoprocésamiento cartográfico se identificaron zonas de potencial productivo vulnerables desglosados por Distrito de Desarrollo Rural y por municipio. Finalmente, con análisis de varianza, se constató la existencia de diferencias significativas entre los rendimientos de maíz en los escenarios A1B y A2 en relación con el escenario climático actual; en tanto el caso de frijol, muestra que no existe evidencia estadística para afirmar que los rendimientos bajo condiciones climáticas actuales se verán afectados bajo condiciones de cambio climático en el estado de Veracruz.

Palabras clave: Maíz, frijol, cambio climático, rendimiento agrícola, potencial productivo, riesgo hidroagrícola.

INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas más importantes que enfrenta actualmente el medio ambiente, sin lugar a duda, es el cambio climático, afortunadamente existe mayor sensibilidad a la amenaza que esto representa, en especial por los impactos que genera en la población, la economía, cadenas productivas y la producción agrícola; cabe señalar que esta última, una de sus principales limitaciones son los factores climáticos ya que responde a las condiciones de frecuencia e intensidad de eventos climáticos extremos además de otros desafíos que enfrenta ante el cambio climático, lo que plantea la necesidad de reevaluar la capacidad de adaptación de los sistemas agrícolas (Wreford *et al.*, 2010). Aunque existe un gran número de estudios que indican que los efectos del cambio climático tendrán diferentes efectos en diferentes regiones del planeta, se afirma que estos tendrán consecuencias generalmente negativas y la gravedad de las afectaciones estará en función de medidas de mitigación y adaptación.

La dependencia que tiene México con la agricultura resulta ser un impulsor en la generación de conocimiento para fomentar su progreso pues es fundamental para la vida y desarrollo del país. La importancia de su estudio radica en la necesidad de asegurar el suministro necesario para satisfacer su alimentación.

Los factores naturales son determinantes en la ubicación las tierras de labor, por mencionar algunas se encuentran el relieve, las condiciones climáticas, los suelos. Estos van conformando tierras aptas para la agricultura y su distribución en el país es muy poco homogéneo (Coll y Godinez, 2003).

México cuenta con un territorio nacional de 196.4 millones de hectáreas de las cuales 32.6 millones de hectáreas (17%) son tierras destinadas al cultivo. Los bosques y selvas cubren 31.9 millones de hectáreas (INEGI, 2014); esto demuestra la dependencia que existe entre la agricultura y el bienestar social del país (Sánchez *et al.*, 2008).

Algunos escenarios muestran que con el cambio climático disminuya la retención de humedad en el suelo la productividad y se incremente el riesgo de fracaso de cosechas. Ante esta situación, se presentarán movimientos migratorios de las zonas rurales a las zonas urbanas y por consiguiente podrá haber presión social, desempleo, marginación, hacinamiento y diseminación de enfermedades infecciosas (Sánchez *et al.*, 2011) y si se agrega el factor de la pobreza persistente en la mayoría de las zonas agrícolas, exponiendo la soberanía alimentaria a serias amenazas (Ruiz, 2012).

A nivel nacional, en investigaciones realizadas para medir las posibles consecuencias del cambio climático en México es posible encontrar una variedad de estudios que abordan el problema desde distintas perspectivas y sobre diversos sectores prioritarios para el país (FAO-SAGARPA, 2012). Más de la mitad del territorio del país (entre el 50% y el 57%) cambiará sus condiciones de temperatura y precipitación, de manera que el clima actual podría ser clasificado en otro subtipo y los habitantes de los ecosistemas,

incluida la población humana, deberán cambiar para adaptarse a las nuevas condiciones (Villers y Trejo, 1997).

Los estudios actuales de Vulnerabilidad Agrícola (VA) relacionados con la agricultura, parten necesariamente de considerar que esta actividad es extremadamente vulnerable en los países en desarrollo, ya que se encuentra doblemente expuesta (O'Brien y Leinchenko, 2000): es vulnerable a los fuertes cambios socioeconómicos que se dan dentro del proceso de globalización económica, y es además altamente sensible a las variaciones climáticas, como se observó durante los grandes eventos climáticos que acontecieron en la década de los noventa, particularmente durante el fuerte evento de El Niño de 1997-1998 (Delgadillo *et al.*, 2004).

El clima y la agricultura

La producción agrícola está determinada por factores del medio físico como el relieve, el suelo y el clima, este último es un factor determinante ya que es el causante de impactos por sus variaciones y ocurrencia de eventos extremos.

Los diversos componentes del sistema climático cuentan con la característica de interactuar entre ellos, un ejemplo de ello es como la precipitación y la temperatura tienen efecto en la humedad del suelo condicionando el rendimiento de los cultivos, especialmente cuando se desarrolla la agricultura bajo condiciones de temporal. Sin embargo no siempre las condiciones climáticas se presentan favorables para la producción agrícola en México, pues continuamente se ve amenazada por la ocurrencia de eventos extremos (heladas, inundaciones y sequías). De acuerdo al Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2014), se sembraron 15.7 millones de hectáreas bajo condiciones de riego y temporal, en el año agrícola. 11.5 millones de hectáreas (73%) fueron cultivadas bajo condiciones de temporal y , de éstas el 87% corresponden al ciclo primavera-verano, es decir, entre los meses de mayo y octubre; esto demuestra la dependencia que existe de la agricultura mexicana con la época de lluvias, pues en este ciclo es cuando se registra el 80% de la precipitación anual, por lo que se considera a este ciclo el adecuado para el establecimiento y desarrollo de la mayoría de los cultivos (Díaz, 2009; Conde *et al.*, 1999).

En la agricultura de temporal, la precipitación es una de varias variables que condicionan a la humedad del suelo en forma directa, ésta completa el mecanismo de reacción a través de la evapotranspiración (Dirmeyer *et al.*, 2009). Mientras que la temperatura tiene gran influencia en las reacciones químicas involucradas en el desarrollo de cualquier cultivo y la mayoría de las especies vegetales pueden subsistir en temperaturas que oscilan entre los 0 y los 32°C, aunque cada una de ellas tienen sus requerimientos bien definidos para su crecimiento y desarrollo, los cuales pueden definirse como sus umbrales térmicos. Estos umbrales térmicos incluyen las temperaturas mínimas, máximas y óptimas para el desarrollo, es decir, cada cultivo en cada etapa fenológica tiene sus propios requerimientos de temperatura y

precipitación, en donde la temperatura óptima para la germinación de una semilla es frecuentemente más baja que la temperatura óptima para el desarrollo vegetativo (Ortiz, 1984).

Una forma de analizar este mecanismo, es evaluar las necesidades hídricas que tienen los cultivos a partir del balance hídrico tomando en cuenta la distribución, variabilidad y cambios de la precipitación, el efecto de la temperatura que se refleja a través de la evapotranspiración y las características físicas del suelo (Pántano *et al.*, 2014). De no aplicar estos mecanismos de manejo de agua basada en pronósticos o escenarios de clima, pueden presentarse desastres que colocan en riesgo la seguridad, económica, social y alimentaria del país.

Para este tipo de evaluaciones se debe tener presente que la precipitación, respecto a las demás variables meteorológicas, cuenta con un comportamiento muy diferente en espacio y tiempo, un ejemplo de ello es el sur del país, donde se pueden llegar a registrar precipitaciones superiores a los 1500 mm anuales, así como las zonas montañosas del centro y sur del país, las cuales se encuentran expuestas a los vientos alisios, a los vientos del norte y a ciclones tropicales. En contraste, puede mencionarse que existen regiones al norte del país donde escasamente se registran 300 mm al año, lo cual se atribuye principalmente a la ubicación de la faja subtropical de alta presión, así como a la orientación general de la sierras que limitan y aíslan a la zona de los mares (García, 2003).

Fenología ante el cambio climático

La mayoría de las actividades a lo largo del ciclo biológico de las plantas y animales están afectados por la temperatura y/o precipitación. Una de las respuestas al cambio climático mejor documentadas han sido los cambios fenológicos. En la mayoría de las especies de plantas estudiadas y en muchas localidades, se ha observado un adelanto de una a tres semanas en la apertura de las hojas de los árboles durante las últimas décadas. Por otro lado, se ha podido observar un retraso en la caída de la hoja. Esto conlleva una ampliación del periodo activo de las plantas, con sus repercusiones en los ciclos de ciertos nutrientes, en la cantidad de CO₂ atmosférico o en el agua utilizada (Sanz, 2002).

Alvarado *et al.* (2002) menciona que el efecto del cambio climático sobre la vegetación se expresa de diferentes maneras, por ejemplo, se sabe que las plantas han respondido de dos formas principales, migrando y/o adaptándose (Etterson y Shaw, 2001); sin embargo, en la actualidad los altos niveles de fragmentación del hábitat podrían afectar las migraciones en el futuro (Schwartz *et al.*, 2001). Se sabe que históricamente el incremento de la concentración de CO₂ en la atmósfera ha permitido a los árboles desarrollarse en zonas donde la vegetación estaba restringida a plantas de mucho menor tamaño (Farquhar, 1997). Por otra parte (Peteet, 2000) señala que, con base en la evidencia paleontológica, la respuesta de la vegetación a cambios rápidos del clima se expresa mejor en los ecotonos, donde la sensibilidad al cambio climático es mayor.

Existen muy pocas regiones en el planeta donde las condiciones ambientales sean continuamente favorables para todas las funciones de las plantas, lo que sí es frecuente es que a lo largo del año se produzcan cambios estacionales en el clima y por lo mismo en la disponibilidad de recursos, lo que obliga a las plantas a crear mecanismos de cambio estacional en morfología y fisiología para poder sobrevivir (Vázquez, 1999) y el estudio de estos mecanismos está fuertemente ligado a la fenología (Alvarado *et al.*, 2002) que es “una lectura del pulso de la vida”.

Los cambios en el medio ambiente, tienen gran influencia en plantas e influyen de forma única en el desarrollo de cada una de las especies, esto ocasiona que se desarrollen de forma diferente en su crecimiento, es decir, cada especie sigue un camino diferente en su crecimiento, y esto es interpretado como mecanismos de adaptación de las plantas para adaptarse a un medio ambiente.

Si bien hay plantas donde el fotoperiodo es determinante, para otras es la disponibilidad de agua la que desencadena un determinado evento fenológico, la temperatura es el principal elemento climático que modula la fenología de las plantas (Menzel, 2000). En países de Europa es donde se encuentra más adelantado el estudio del efecto del cambio climático sobre la fenología de las plantas y la mayoría de dichos estudios revelan que los eventos fenológicos de primavera son particularmente sensibles a la temperatura (Alvarado *et al.*, 2002). En América se han realizado menos estudios sobre la fenología y el cambio climático, sin embargo, gran parte de ellos se han realizado en países como los Estados Unidos y Canadá. En lo que respecta a México, los estudios científicos formales de la fenología de las plantas tiene discretos comienzos, estos se han realizado en las últimas dos décadas cubriendo pequeños periodos de observación y dado el inminente cambio que se presenta en el clima, urge conocer el escenario fenológico actual para identificar las diferencias que se presentan en el futuro.

Probablemente, la pregunta que surge de lo antes mencionado es: ¿Cuál sería el aporte de la investigación de la fenología ante las perturbaciones del cambio climático?, (Alvarado *et al.*, 2002) afirma que este tipo de investigación sería útil en la predicción de las etapas de producción en cultivos y en la medición de la respuesta de las plantas a cambios de la temperatura. También aportan conocimiento en los efectos antropogénicos empleando métodos estadísticos y usando las propias plantas como indicadores biológicos pues muestran mayor sensibilidad a las condiciones ambientales llegando, inclusive a predecir y anticipar algunos eventos climáticos. En resumen, las observaciones fenológicas son una valiosa fuente de información para investigar las relaciones entre el cambio climático y el desarrollo vegetal.

Situación de la información climática en México

En México, el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) es el organismo responsable de recopilar, almacenar y analizar la información climática registrada a través de las más de 5,000 estaciones meteorológicas instaladas en diferentes puntos del país y que pertenecen a la red de monitoreo meteorológico de la

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Con esta información es posible evaluar eficazmente las disponibilidades o limitantes climáticas regionales, mediante la cuantificación del comportamiento de elementos del clima como la precipitación pluvial, la temperatura, la humedad ambiental, la evaporación, la radiación solar, el viento, entre otros (Villalpando *et al.*, 1994). Por lo anterior, se requiere de información climática representativa, confiable de máxima calidad y representatividad para apoyar áreas de investigación, planeación, desarrollo agrícola, pecuario y forestal que cubran las expectativas de aplicación y constituir la como una herramienta de apoyo en la toma de decisiones para cualquier campo de conocimiento preferentemente normalizada a cualquier periodo de interés (Díaz, 2009; Díaz y Sánchez, 2007).

Estudios de potencial productivo

La producción de los cultivos donde sus requerimientos agroecológicos son plenamente cubiertos, aseguran mejores rendimientos y esto a su vez, mayores ganancias y un deterioro ambiental mínimo. Para determinar si las condiciones edafoclimáticas de un cultivo se cumplen en un área específica, es necesario realizar un estudio de potencial productivo en el que se deberán desarrollar dos procesos básicos (Díaz *et al.*, 2012): Definir claramente y precisar los requerimientos agroecológicos de los cultivos y contrastar éstos con las condiciones que oferta el medio ambiente del área de interés. El desarrollo de estos estudios, permiten realizar la planeación de actividades de reconversión considerando funciones ecológicas, económicas y sociales.

Estos estudios tiene su origen en la zonificación agroecológica emprendida por el FAO en 1976, el objetivo fue contar con una aproximación de la producción potencial de los recursos terrestres del mundo y con ellos, proveer una base de datos cuya función fuera la planeación del futuro desarrollo agrícola mediante el estudio de la producción agrícola en condiciones de secano (temporal), con dos niveles de inversión para cultivos en África, Asia y América Latina. A partir de 1980, en el Centro de Edafología del Colegio de Posgraduados, se realizó una adaptación de la metodología a las condiciones de México (Tijerina y Ortiz, 1990). Por su parte, el INIFAP, ha sido uno de los organismos en México, este organismo ha continuado realizando este tipo de estudios y a su vez a incluido cada vez más variables que coadyuven a definir áreas de potencial productivo de una gran variedad de cultivos en distintos niveles de detalle. Esto ha permitido incrementar el acervo cartográfico de potencial productivo para distintos cultivos de interés comercial y de interés para la seguridad alimentaria, colocando al INIFAP a la vanguardia en este tipo de estudios.

La importancia de la simulación de procesos agroclimáticos

El clima es el factor natural más difícil de modelar dado a sus múltiples relaciones con otras variables que lo definen como las interacciones entre el océano, la atmósfera, el suelo y las cubiertas de hielo, los

balances de energía y la intensidad de los rayos solares, así como la gran variación en espacio y tiempo en el que interactúa (Prager y Earle, 2001).

En la actualidad, el modelaje climático resulta ser una herramienta imprescindible para entender el clima actual y su variabilidad. Su implementación a través de un sistema de simulación coadyuva a obtener conclusiones relativas al comportamiento de un sistema cuya relación de causa-efecto resulta ser similar a la del sistema real (Sánchez, 2005). Organizaciones como la FAO y WMO han impulsado el desarrollo de modelos agroclimáticos para la estimación de los impactos del clima en los cultivos.

La simulación de procesos agroclimáticos emplea un modelo para imitar, o describir paso a paso, el comportamiento de un sistema, la simulación comprende una serie de operaciones aritméticas y lógicas que, en conjunto, representan la estructura o estado y el comportamiento o cambio de estado del sistema de interés (Edward *et al.*, 2001).

Existen dos líneas de trabajo para examinar las respuestas de los cultivos a las variaciones climáticas basadas en la medición de aptitud de un cultivo y la estimación de productividad potencial.

El primero hace uso de índices agroclimáticos, utilizados para caracterizar el crecimiento de un cultivo sobre la base de variables dadas, esto permite determinar la potencialidad de una región para un cultivo.

La estimación de productividad, modela la interacción cultivo-clima, emplea metodologías empírico-estadísticas o modelos de simulación de procesos. Las metodologías empírico-estadísticas establecen relaciones estadísticas entre una muestra de datos de producción del cultivo y una muestra de datos climáticos, las cuales se emplean para predecir rendimientos con base en las observaciones climáticas. Por otra parte, los modelos de simulación de procesos describen el crecimiento del cultivo a lo largo de sus diferentes etapas, mediante un conjunto de ecuaciones que relacionan el desarrollo de la planta, el suelo y los factores climáticos. Las ventajas que ofrecen estos modelos es que intentan describir los procesos de crecimiento vegetal y se consideran adecuados para estimar las respuestas de los cultivos a los cambios en el clima (Conde *et al.*, 1997). Entre las desventajas se encuentran que estos modelos fueron diseñados para la toma de decisiones a nivel de unidades de producción, como granjas, lo que los hace difícilmente generalizables a nivel regional y precisan de datos climáticos, edáficos y de los cultivos que no siempre están disponibles en países como México.

Escenarios de cambio climático considerados

En la elaboración de escenarios de cambio climático se necesita emplear escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero, así como emplear distintos modelos de clima. Para el caso particular del presente trabajo se consideró emplear los escenarios A2, B1 y A1B dado que representan un rango de

incertidumbre en base al cambio tecnológico, la variación de la población, el desarrollo económico, entre otros y dan una mejor perspectiva de los posibles comportamientos del clima en el futuro.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La historia de la alimentación en México se relaciona directamente con la agricultura. El maíz, la calabaza, el chile y el jitomate, fueron los primeros alimentos del mexicano ya que crecían en forma silvestre y su resistencia a condiciones variables (SEP, 1996).

Uno de los problemas más graves que enfrenta actualmente la agricultura en México, son los efectos que sufren las cosechas por la ocurrencia de eventos meteorológicos adversos como sequías, tan solo en 2012 la peor registrada en siete décadas, generó pérdidas por 9 mil millones de pesos en cultivos de maíz y 6 mil millones de pesos en frijol (Reuters, 2012). En cuanto a heladas, en 2011, en el norte del país fueron afectadas al menos un millón de hectáreas, principalmente en cultivos como maíz, frijol, trigo, sorgo, papa, hortalizas y cítricos, lo que generó pérdidas por más de 45 mil millones de pesos (El Financiero, 2011). Esto ha traído como consecuencia la modificación de la capacidad productiva y la pérdida de empleos.

México establece, en la Ley de Desarrollo Rural Sustentable publicada en el Diarrio Oficial de la Federación (2001), que tanto el maíz como el frijol son productos básicos y estratégicos para la seguridad alimentaria. De acuerdo a la información presentada por el (SIAP, 2013), para el caso de frijol, en 2011 se sembraron 1'161,015 ha bajo condiciones de temporal durante el ciclo PV, sobresaliendo los estados de Zacatecas y Durango con una participación nacional del 41 y 17%, respectivamente, a su vez, estos estados reportaron superficies siniestradas en el 58% y 40% de sus superficies sembradas. En lo que compete a maíz grano, en el mismo año se registró una superficie de 5'578,638 ha en la modalidad de temporal-ciclo PV en el país, en los que estados como Jalisco y Oaxaca tuvieron una participación del 10 y 9%, respectivamente y con 15 y 6% de superficie siniestrada. No se tiene claro lo que originó la siniestralidad de los cultivos en los estados, sin embargo se asume que fue debido a la presencia de sequías en el norte y a la presencia de lluvias excesivas en la zona del sureste del país.

Anteriormente, los productores podían prever un temporal favorable, no obstante, dada la variabilidad climática que prevalece en la actualidad ya no se atreven. Esta investigación va dirigida a establecer las bases necesarias para que los tomadores de decisiones institucionales y sociedad en general cuenten con elementos científicos y confiables para desarrollar acciones frente a escenarios de cambio climático, principalmente cuando se trate de disminuir la vulnerabilidad ante fenómenos climatológicos adversos en áreas de potencial productivo de maíz (*Zea mays L.*) y frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) bajo condiciones de temporal. Se tomó la decisión de trabajar con el estado de Veracruz debido a que cuenta con características climáticas, edáficas y topográficas representativas del resto del país, lo que puede considerarse como una representación del resto del país.

HIPÓTESIS

La producción de maíz (*Zea mays L.*) y frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) bajo condiciones de temporal ciclo primavera-verano (PV) en zonas de potencial productivo, se verá afectada por la variación del balance de agua en el suelo en diferentes escenarios de cambio climático en el estado de Veracruz.

OBJETIVO

Objetivo general

Identificar los patrones de cambio en los rendimientos de maíz (*Zea mays L.*) y frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) en zonas potenciales del estado de Veracruz bajo condiciones de temporal ciclo PV, considerando tres escenarios de cambio climático para el futuro cercano (2011-2030).

Objetivos particulares

- Proponer un esquema de validación de información climática.
- Generar información faltante de las estaciones climatológicas consideradas en este estudio.
- Generar series climatológicas para escenarios de cambio climático de futuro inmediato (2011-2030).
- Cuantificar el riesgo hidrológico para el maíz (*Zea mays L.*) y frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) en el estado de Veracruz tomando como base la información existente en la red de estaciones climatológicas.

MATERIALES Y MÉTODOS

La fiabilidad de la información climática, así como su precisión resulta de gran importancia para el desarrollo de estudios relacionados con el cambio climático, esta debe ser validada para que los resultados sean confiables. Por lo anterior, se aplicaron procesos de verificación para poder identificar las estaciones que cumplieron los requisitos de suficiencia, integridad, coherencia y homogeneidad.

Como primer paso se seleccionaron las estaciones que contenían información mínima necesaria. Posteriormente se revisó que cada uno de los registros climáticos fuera congruentes; también se aplicó un criterio de validación espacial que consistió en comparar cada registro de una estación “soporte” con los

registros de estaciones vecinas; finalmente, se aplicaron pruebas de homogeneidad. Esto permitió contar con información climática sólida de aquellas estaciones que contenían información suficiente y confiable.

El proceso antes mencionado se describe detalladamente en los siguientes apartados.

Ubicación y descripción del área en estudio.

A partir del marco geoestadístico estatal (INEGI, 2014), se eligió el área de estudio, la cual comprende el estado de Veracruz. A partir de este se generó un área de influencia de 20 km en relación con el límite político del estado para poder seleccionar las estaciones que se encontraban dentro de dicha área y así poder contar con estaciones de apoyo las cuales se ubican en estados colindantes como Tamaulipas, San Luis Potosí, Hidalgo, Puebla, Oaxaca, Chiapas y Tabasco.

Selección de estaciones con información mínima necesaria

Las estaciones seleccionadas pertenecen al Servicio Meteorológico Nacional (SMN) que es el organismo encargado de proporcionar información sobre el estado del tiempo a escala nacional y local en nuestro país. La información se extrajo a través de la aplicación desarrollada para Google Earth (CONAGUA, 2014) dicha aplicación despliega un total de 5,420 estaciones climatológicas de las cuales 3,200 se encuentran en operación y 2,220 estaciones suspendidas (CNA-SMN, 2010).

La información se extrajo en formato "kmz" y se exportó a formato "shape" para facilitar su manejo en un Sistema de Información Geográfica (SIG) e identificar en que unidad climática (INEGI, 2014) incidieron, esto fue considerado para realizar la validación espacial.

La información empleada en el presente estudio fueron registros diarios de temperatura máxima (T_{max}), temperatura mínima (T_{min}), y precipitación (Pp), comprendiendo todos los registros de cada una de las estaciones desde que inició operaciones hasta su última fecha de registro.

Para que las estaciones fueran consideradas en el análisis, deberían cumplir los siguientes requisitos mínimos:

1. Contengan al menos 25 años de información;
2. No más del 20% de información faltante en su registro histórico; y
3. Que no hayan dejado de operar antes del año 2000.

Congruencia lógica y validación espacial de la información climática

Para este apartado fue necesario desarrollar rutinas en Visual Basic almacenadas en macros de Excel ya que se trataban de proceso iterativos.

Una actividad de importancia en la validación de datos climáticos es detectar registros atípicos o fuera de tipo; en este trabajo se inició con la verificación de congruencia lógica bajo los siguientes criterios:

1. Precipitaciones (Pp) mayores o iguales a 0;
2. Temperaturas máximas ($Tmax$) mayores a temperaturas mínimas ($Tmin$);
3. Temperaturas mínimas ($Tmin$) menores a temperaturas máximas ($Tmax$); y
4. Verificar que los registros se registren en fechas congruentes, (años bisiestos).

Posteriormente, se realizó un proceso de validación espacial empleando lo establecido por la norma UNE 500540:2004 (UNE, 2004) y que describe (Estévez y Gavilán, 2008) como un nivel de validación opcional tomando en cuenta la información registrada en estaciones vecinas. La validación espacial consiste en comparar los registros diarios de $Tmax$, $Tmin$ y Pp de cinco estaciones vecinas con los respectivos intervalos de confianza calculados a una estación de referencia, esto siempre que la estación de referencia coincidiera con el estrato climático de la estación vecina, dichos intervalos se basan en la fórmula:

$$\bar{x} \pm z_{\alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (1)$$

Dónde: \bar{x} y s es el promedio y la desviación estándar de las variables $Tmax$, $Tmin$ o Pp , respectivamente, n es el número de datos en la serie de datos climáticos y $z_{\alpha/2}$ es el valor estadístico $2.58 \approx 3.00$ de la curva normal de frecuencias asociado a un nivel de confianza del 99% o significancia del 1% ($\alpha = 0.01$) (Steel y Torrie, 1985).

Aquellos registros que no cumplieron los criterios descritos en los dos apartados anteriores, se remplazaron con el valor -99 con lo cual se identifica como dato faltante en procesos posteriores.

Aplicación de pruebas de homogeneidad

Contar con datos meteorológicos de largo plazo homogéneos es actualmente de interés para la comunidad científica (Cristina y Soares, 2006). Para lograr este cometido es necesario aplicar pruebas estadísticas que permitan identificar aquellas estaciones que cumplen con el supuesto de homogeneidad en variables de $Tmax$, $Tmin$ y Pp .

Las pruebas empleadas fueron Homogeneidad Normal Estándar (SNHT), Pettitt y Buishand, estas se describen brevemente a continuación junto con sus estadísticos de prueba tal como lo plantea Hainie y Mohd (2013).

1) Homogeneidad normal estándar (SNHT), por sus siglas en inglés, desarrollada por Alexandersson (1986) y que modificó con Moberg (1997); describen que un valor $T(d)$ compara el promedio de los primeros d años registrados con los últimos $(n-d)$, este valor se obtiene con la expresión $T_d = d\bar{z}_1^2 + (n-d)\bar{z}_2^2$ para $d = 1, 2, \dots, n$, donde: $\bar{z}_1 = 1/d \sum_{i=1}^d (y_i - \bar{y})/s$ y $\bar{z}_2 = 1/(n-d) \sum_{i=d+1}^n (y_i - \bar{y})/s$. Un valor alto de T en un año d indica una variación “brusca”. El estadístico T_0 se define como $T_0 = \max_{1 \leq d \leq n} T(d)$.

2) Pettitt, es una prueba no paramétrica que se fundamenta en rangos y hace caso omiso de la normalidad de la serie, se basa en el orden de rangos de los valores y_i . El estadístico que se emplea se define como $X_d = 2 \sum_{i=1}^d r_i - d(n+1)$ para $d = 1, 2, \dots, n$, donde la variación es detectada cuando el valor del año m cumple $X_m = \max_{1 \leq d \leq n} |X_d|$ (Pettitt, 1979).

3) Buishand, tiene su origen en la estadística bayesiana y puede ser empleada en variables con cualquier tipo de distribución y propone identificar un cambio en la media de la serie de datos. El estadístico se define como $S_0^* = 0$ y $S_d^* = \sum_{i=1}^d (y_i - \bar{y})$, para todo $d = 1, 2, \dots, n$. La prueba se define como $Q = \max_{0 \leq d \leq n} |S_d^*/s|$. Otro estadístico de prueba que puede emplearse es el rango que calcula la diferencia entre el valor mínimo y máximo de las sumas parciales ajustadas. La fórmula es $R = (\max_{0 \leq d \leq n} S_d^* - \min_{0 \leq d \leq n} S_d^*)/s$; es importante agregar que Buishand propone valores críticos Q/\sqrt{n} y R/\sqrt{n} para las pruebas de homogeneidad (Buishand, 1982).

El juego de hipótesis planteadas en las tres pruebas son las siguientes:

$$H_o : \text{Los datos son homogéneos.}$$

vs.

$$H_a : \text{Hay una fecha en la que hay un cambio en los datos.}$$

y el nivel de significancia planteado es $\alpha = 0.05$, en decir, la probabilidad de rechazar la H_o cuando esta es verdadera (error de tipo I) es del 5% (Ramirez y López, 1993).

Las pruebas se realizaron a cada estación mediante la versión de prueba del programa XLSTAT (Addinsoft, 2014) del cual se obtuvieron los valores p (p -value) correspondientes y los años en los que se presentó un cambio en los datos cuando la H_0 fue rechazada; después, se realizó un concentrado de resultados, que permitió realizar la clasificación de estaciones en tres clases (Schonwiese y Rapp, 1997; Wijngaard *et al.*, 2003):

Clase 1: Cuando en una estación la prueba de hipótesis nula se rechaza a lo más una sola vez, la información se puede considerar como *Útil*.

Clase 2: Cuando en una estación la prueba de hipótesis nula se rechaza a lo más dos veces, la información se puede considerar como *Dudosa*.

Clase 3: Cuando en una estación la prueba de hipótesis nula se rechaza tres veces, la información se considera como *Sospechosa*.

Una vez que las estaciones fueron clasificadas, se seleccionaron aquellas de la Clase 1 y 2, puesto que estas contaban con la información más confiable. Dado que la información de las estaciones contenía información faltante, se realizó el cálculo de esta con el programa ClimGen (Stöckle y Nelson 2014).

Generación de datos climáticos faltantes con ClimGen

El uso continuo de modelos que se involucran con el uso de variables de precipitación y temperatura requiere del empleo de registros meteorológicos largos y continuos de una zona de interés (McKague *et al.*, 2003). Los generadores de tiempo estocástico son modelos informáticos empleados para simular series temporales de tiempo sintético basado en las características estadísticas de series de tiempo observado en una zona de interés (Chen y Brissette, 2014). Los generadores climáticos son empleados para una gran variedad de aplicaciones entre los que se encuentran los estudios de simulación de modelos de cultivos basados en variables climáticas (Ndlovu, 1996) y simulación de la evaluación del riesgo agrícola y la gestión ambiental (Tingem *et al.*, 2007).

En el caso del presente trabajo, se empleó el software ClimGen (Stöckle y Nelson, 2014) el cual genera información de variables como precipitación pluvial, temperatura, radiación solar, por mencionar algunas. El programa es de acceso libre y requiere de información climática diaria para calcular los parámetros que habrá de emplear para el proceso de generación. Este programa ha sido empleado para completar información en series de tiempo para la conformación de normales climatológicas del estado de Veracruz (Díaz *et al.*, 2006) y para estudiar la variación espacio temporal de la precipitación pluvial (Díaz *et al.*, 2011).

Para generar datos de precipitación se basa en dos supuestos (Carbajal *et al.*, 2010). El primero, es que la condición de precipitación pluvial de un día (i) se encuentra relacionado con la condición de precipitación

del día anterior ($i-1$), también conocido como modelo de cadena de Markov, donde se define a la $P(W/W)$ como la probabilidad de que llueva en un día i dado que el día anterior ($i-1$) llovió y $P(W/D)$ es la probabilidad de que un día i llovió dado que el día anterior ($i-1$) no llovió, entonces se define que la $P(D/W) = 1 - P(W/W)$ es la probabilidad de un día i no llovió dado que el día anterior ($i-1$) llovió y la $P(D/D) = 1 - P(W/D)$ es la probabilidad de que un día no llueva dado que el día anterior ($i-1$) no llovió.

El segundo supuesto, es que la cantidad de lluvia en los días lluviosos se define por la distribución Weibull $F(P) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{P}{\beta}\right)^\alpha\right]$ donde $F(P)$ es la probabilidad acumulada de la cantidad de precipitación menor o igual que P , y tanto como α y β son los parámetros de la distribución que se calculan tomando la información mensual de la serie climática. Al realizar la transformación inversa de la distribución Weibull se obtiene $P = \beta[-\ln(r)]^{1/\alpha}$ de donde se obtiene la cantidad de precipitación en base a un número aleatorio (r) que oscila entre 0 y 1.

En lo referente a los datos de $Tmax$ y $Tmin$, no son tan complicados para modelar como la Pp (McKague *et al.*, 2005). ClimGen reduce la serie de tiempo de cada variable climática a una serie con elementos residuales calculados mediante la eliminación de la media calculada periódica y la desviación estándar (Richardson, 1981 y Bristow y Campbell, 1984).

ClimGen requiere de al menos 25 años de información de precipitación y 10 años de temperatura mínima y máxima para realizar el cálculo de información faltante. Este software requiere que las bases de datos tengan características bien definidas para que puedan ser procesadas tales como:

- La serie climática de una estación deberá ser separada por año y cada año deberá guardarse en un archivo en formato de texto (txt) por separado;
- Cada archivo deberá contener la información en día juliano, junto con la información de Pp , $Tmax$ y $Tmin$ por lo que cada archivo contendrá 365 o 366 líneas;
- Los datos faltantes deberán identificarse con el código 999;
- Los días deberán ser registrados en números enteros; y
- Los valores de Pp , $Tmax$ y $Tmin$ podrán contener decimales.

Por lo anterior, fue necesario desarrollar rutinas de programación en Visual Basic para cumplir los requisitos antes descritos. Una muestra de cómo quedó estructurada la base de datos se muestra en la Figura 1. La primera columna indica el día juliano, la segunda contiene los registros de precipitación, la tercera y cuarta columna denotan los registros de temperatura máxima y temperatura mínima, respectivamente.

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda
150	0		35.5	23.5
151	0		35.5	24
152	18.1		34.5	25
153	.2		32	23
154	.7		31.5	23.5
155	0		35	24
156	-9999		35.5	25
157	0		34	23.5
158	0		35	24.5
159	0		34	23.5
160	1.2		33	25
161	-9999		31.5	22
162	20.8		28	23
163	0		26	21.5
164	0		30.5	21
165	0		33	-9999
166	0		32.5	18.5
167	0		31.5	-9999
168	0		34	20
169	0		33	22
170	0		33	24
171	0		34	24
172	0		35	24
173	0		34	22
174	0		34	20.5
175	0		34	21
176	.8		30	22
177	0		29	22
178	0		37	23
179	0		34	21.5
180	0		33.5	21
181	0		33	21.5
182	0		35	20.5

Figura 1. Estructura de la base de datos que requiere ClimGen para realizar el cálculo de datos faltantes.

Esto indica que si en una estación se cuenta con información climática de 40 años, tendremos 40 archivos en formato de texto con la información de dicha estación.

Una vez que se realizó la reestructuración de las bases de datos se realizó el cálculo de datos faltantes, para ello se acceso al programa ClimGen (Figura 2) donde es necesario realizar la descripción de localización de la estación climatológica a procesar.

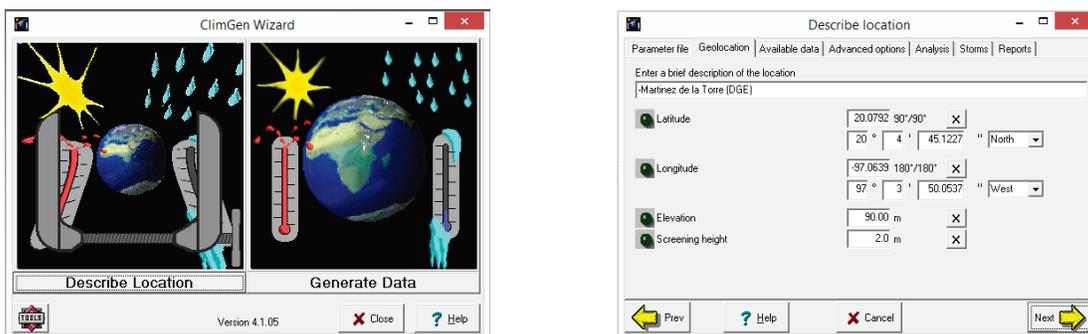
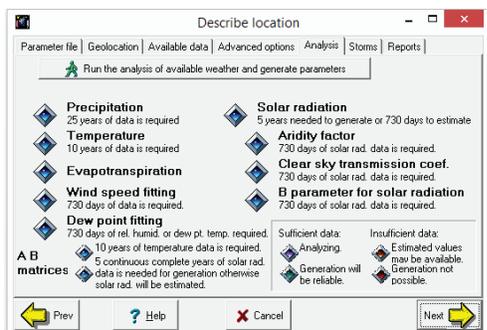


Figura 2. Pantalla de inicio y de captura de información general de la estación a procesar en ClimGen.

ClimGen realiza un análisis de la información actual de la estación, de la cual realizará el cálculo de parámetros a emplear en estimar la información de registros faltantes (Figura 3).



-Martinez de la Torre (DGE)

Statistical analysis includes only valid real data

Variable	January	February	March	April	
Wet day count	564	471	396	342	
Dry day count	1056	985	1220	1227	
Wet days following dry days count	275	236	223	204	
Wet days following wet days count	289	235	173	138	
Days of valid data count	1620	1456	1616	1569	
Precipitation	mean	4.5800	5.4539	4.5674	6.5038
	sum	2583.1003	2568.7981	1808.7001	2224.3003
	std.dev.	5.0160	5.7554	5.4633	10.4442
	min	0.3000	0.3000	0.3000	0.3000
	max	37.5000	31.9000	36.4000	99.3000
	count	564.0000	471.0000	396.0000	342.0000

Figura 3. Pantalla de análisis de información y cálculo de parámetros para estimar los datos faltantes.

El programa asigna el valor del dato faltante en cada base de datos respetando la información original tal y como se muestra la Figura 4.

Archivo	Edición	Formato	Ayuda
150	0.00	35.50	23.50
151	0.00	35.50	24.00
152	18.10	34.50	25.00
153	0.20	32.00	23.00
154	0.70	31.50	23.50
155	0.00	35.00	24.00
156	0.41	35.50	25.00
157	0.00	34.00	23.50
158	0.00	35.00	24.50
159	0.00	34.00	23.50
160	1.20	33.00	25.00
161	0.00	31.50	22.00
162	20.80	28.00	23.00
163	0.00	26.00	21.50
164	0.00	30.50	21.00
165	0.00	33.00	20.73
166	0.00	32.50	18.50
167	0.00	31.50	20.59
168	0.00	34.00	20.00
169	0.00	33.00	22.00
170	0.00	33.00	24.00
171	0.00	34.00	24.00
172	0.00	35.00	24.00
173	0.00	34.00	22.00
174	0.00	34.00	20.50
175	0.00	34.00	21.00
176	0.80	30.00	22.00
177	0.00	29.00	22.00
178	0.00	37.00	23.00
179	0.00	34.00	21.50
180	0.00	33.50	21.00
181	0.00	33.00	21.50
182	0.00	35.00	20.50

Figura 4. Base de datos con información completa generada por ClimGen.

Igualmente, ClimGen dará como resultado un archivo de texto por cada año de información procesada con la diferencia de que estos archivos ya no tendrán información faltante (-999). Dada esta situación, fue necesario desarrollar nuevamente rutinas de programación para realizar la integración de la información climática en un solo archivo para cada estación, ya que en el proceso de generación de escenarios climáticos es imprescindible que se encuentre de esa forma.

Generación de series climatológicas para los escenarios de cambio climático con LarsWG, Generador Estocástico de Tiempo Meteorológico

LarsWG es un generador climático estocástico que se utiliza para simular datos climáticos en un lugar concreto, para condiciones climáticas presentes y futuras (Suescun, 2012) mediante reducción de escala estadística (Camargo y García, 2012 y Hassan *et al.*, 2014). La información se puede emplear para generar series largas de tiempo y evaluar riesgos agrícolas e hidrológicos, proporcionar un medio para simular variables climáticas en lugares donde no es posible registrar información, o bien, para producir escenarios climáticos específicos para evaluar impactos de cambio climático (Semenov y Barrow, 2002).

Este programa ha sido evaluado en distintos ambientes y ha demostrado que las series de tiempo climáticas generadas son similares a los datos observados, tanto en su valor mensual y variabilidad en el estado de Bihar en India, donde las condiciones climáticas son calurosas en verano y templadas en invierno (Harris *et al.*, 2010). También ha sido probado en distintos lugares de los Estados Unidos de América y Europa donde se han probado las longitudes de series húmedas y secas, la distribución de la precipitación y las longitudes de rachas de helada (Semenov *et al.*, 1998). En México, fue probado con información climática de la zona de barlovento y sotavento de la cuenca del Golfo de México empleando técnicas de muestreo y pruebas de hipótesis estadísticas para verificar la fiabilidad de la información climática generada (Díaz *et al.*, 2011). Entre otras aplicaciones de este programa en México, se encuentra la identificación de riesgos climáticos futuros regionalizando escenarios de cambio climático a partir de proyecciones de Modelos de Circulación General de Atmósfera-Océano e identificar medidas de adaptación (Cruz, 2013) y (Bello, 2014).

LarsWG incluye escenarios climáticos basados en 15 modelos climáticos globales que han sido empleados en el Cuarto Informe de Evaluación del IPCC (IPCC, 2008). Dichos escenarios fueron desarrollados de forma coordinada por sobresalientes expertos en todo el mundo del modelaje climático.

Para la generación de información climática en los distintos escenarios de cambio climático, se procesó previamente la información de cada estación (Site Analysis), con el cual se crea un archivo de parámetros a partir de la información climática observada (Figura 5).

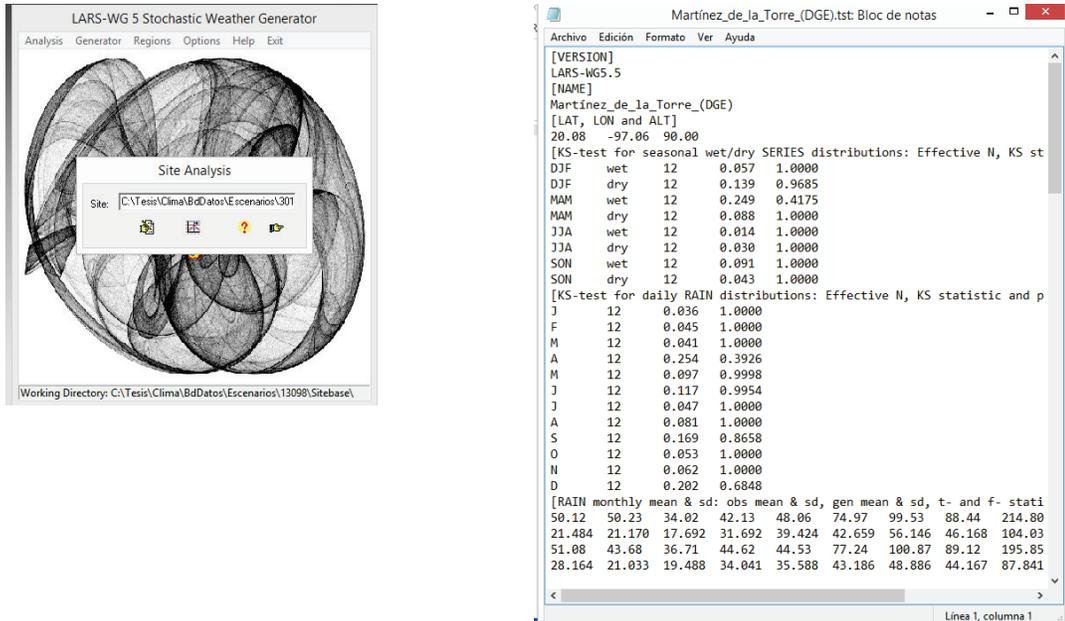


Figura 5. Análisis inicial y parametrización de la información climática observada (Site Analysis).

Posteriormente, se realiza una prueba de calidad en donde se comparan la información climática generada y la observada. Esto resulta de importancia para verificar si los datos generados por Lars-WG no difieren con los datos registrados por la estación climatológica (Figura 6).

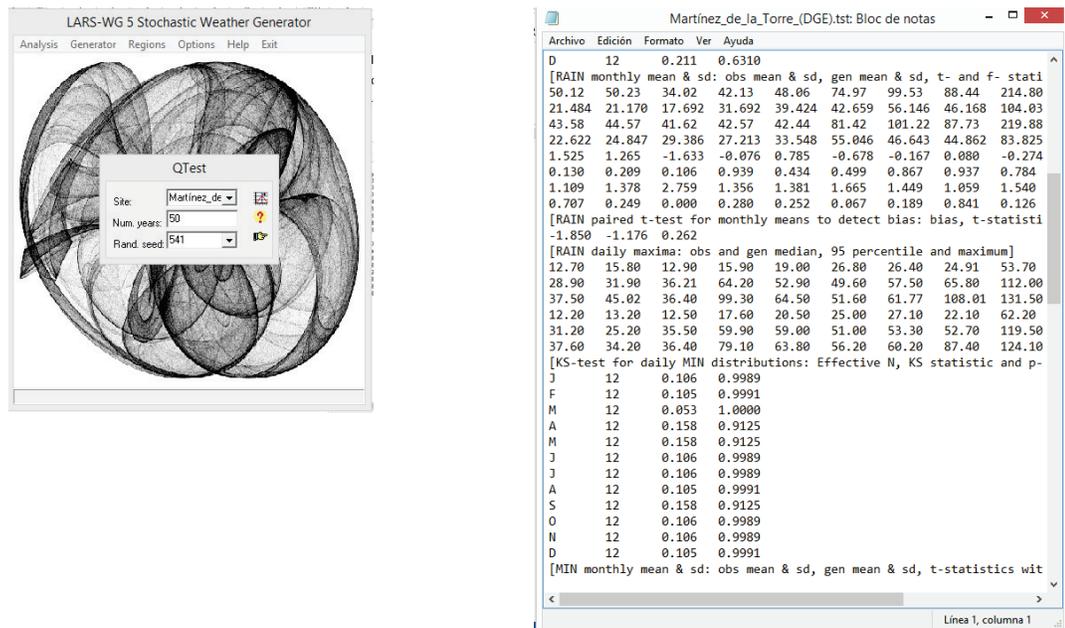


Figura 6. Comparación de la información climática generada y la observada en las estaciones climatológicas (QTest).

En el proceso de generación climática Lars-WG requiere una serie de parámetros de entrada los cuales considera el modelo, emisiones de CO₂, el periodo de interés que se requiere generar, número de años a generar para el periodo y un valor “semilla” que requiere el software debido a su origen estocástico (Figura 7), es decir, emplea modelos numéricos para producir series de tiempo diarias sintéticas de variables climáticas como precipitación, temperatura y la radiación solar, con ciertas propiedades estadísticas (Semenov *et al.*, 1998).

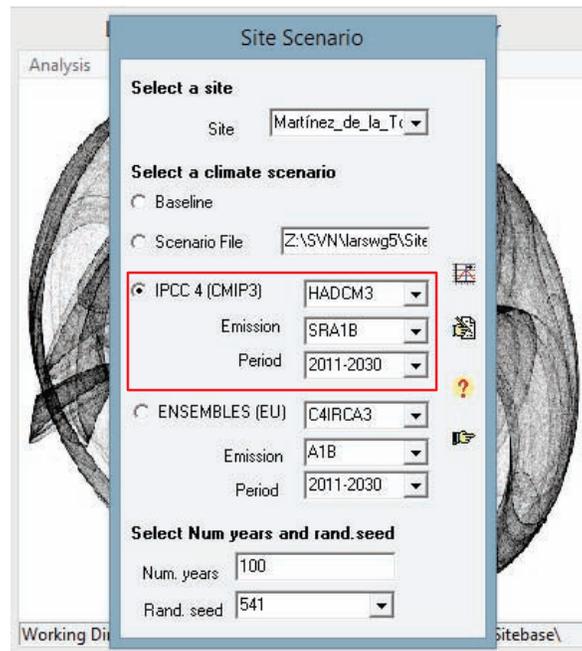


Figura 7. Panel donde se indica a Lars-WG el escenario para la generación de datos climáticos.

En el panel de la Figura 7, se muestra las opciones seleccionadas para generar las series de datos climáticos de las 184 estaciones consideradas en el estudio.

Para generar los datos climáticos bajo escenario de cambio climático, se empleó el Modelo Acoplado del Centro Hadley versión 3 (HadCM3, por sus siglas en inglés) se desarrolló en el año 1999 y se trató de la primera configuración climática de modelo unificado que no requirió de ajustes artificiales para evitar estados de clima poco realistas y es uno de los principales modelos empleados por el IPCC (Houghton *et al.*, 2001) en su en el Tercer Informe de Evaluación. El modelo HadCM3 es un modelo de clima global (GCM, por sus siglas en inglés) atmosférico ya que modela el comportamiento de la atmósfera y la temperatura de la superficie del mar, también se les llama modelos conjuntos atmosférico-oceánico (Paiva *et al.*, 2012 y Gordon *et al.*, 2000).

Los escenarios de emisión de CO₂ considerados en este proceso fueron los siguientes:

A1B: Este es un grupo de la familia de escenarios A1, el cual se describe un mundo con crecimiento económico y poblacional rápido en un mundo globalizado con fuerte interacción y convergencia entre países que apuestan por el uso de tecnologías eficientes y por un uso balanceado de los recursos (IPCC, 2000).

A2: Este escenario se caracteriza por ser un mundo dividido en el que sobresale el desarrollo económico nacional. Se identifica, también por un desarrollo económico rápido y regionalizado, con pocos cambios tecnológicos y un aumento continuo de la población (IPCC, 2000).

B1: La línea evolutiva y familia de escenarios B1 describe un mundo convergente con una misma población mundial que alcanza su valor máximo hacia mediados del siglo y desciende posteriormente, como en la línea evolutiva A1, pero con rápidos cambios en las estructuras económicas orientados a una economía de servicios y de información, acompañados de una utilización menos intensiva de los materiales y la introducción de tecnologías limpias con un aprovechamiento eficaz de los recursos. En ella se da preponderancia a las soluciones de orden mundial encaminadas a la sostenibilidad económica, social y ambiental, así como a una mayor igualdad, pero en ausencia de iniciativas adicionales en relación con el clima (IPCC, 2000).

Se consideró estimar 100 series climáticas para un futuro inmediato considerando el periodo 2011-2030 para cada estación y la “semilla” empleada en la simulación de datos climáticos fue el proporcionado por el sistema: 541.

Generación de información con el Sistema para cuantificar riesgo hidrológico en agricultura de temporal en el estado de Veracruz

Una vez generada las bases de datos climáticos para los distintos escenarios de cambio climático, estas fueron incorporadas al Sistema para cuantificar riesgo hidrológico en agricultura de temporal en el estado de Veracruz (Figura 8) (Sánchez *et al.*, 2015), mediante el cual se estimaron los rendimientos de maíz y frijol en condiciones climáticas actuales, y bajo los escenarios de cambio climático A1B, A2 y B1.

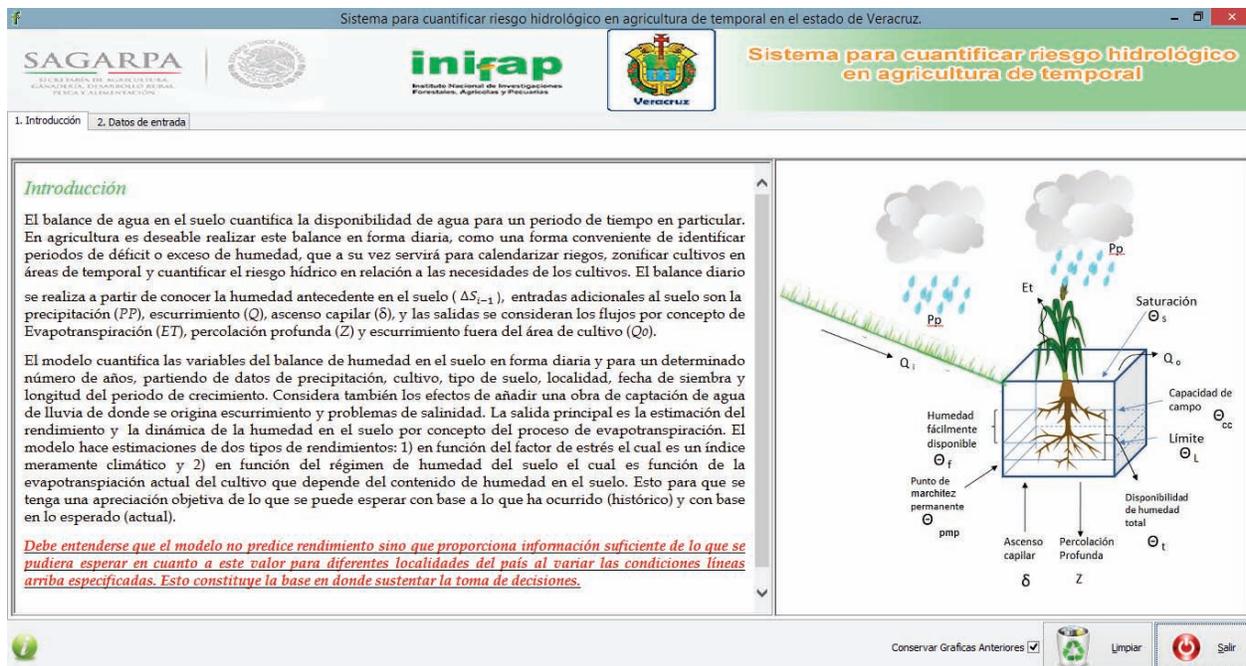


Figura 8. Panel de presentación del Sistema para cuantificar riesgo hidrológico en agricultura de temporal en el estado de Veracruz.

El sistema cuantifica las variables de balance de humedad en el suelo a partir de la información diaria disponible en los registros históricos de estaciones climatológicas, el cultivo de interés, las características del suelo de la zona agrícola de interés, la fecha de siembra y la longitud del periodo de crecimiento del cultivo (Sánchez *et al.*, 2013).

En la agricultura de temporal, el desarrollo de cultivos se ven principalmente afectados por la disponibilidad de humedad en el suelo, la cual es suministrada por la precipitación pluvial que tiene una alta variabilidad en tiempo y espacio. Este comportamiento hace que sea un indicador poco adecuado para evaluar la disponibilidad de humedad para los cultivos en un espacio geográfico (Flores y Ruiz, 1998). Por lo anterior, se considera la alternativa de cuantificar la dinámica de humedad en su zona radical mediante el balance hídrico.

El balance hídrico en el suelo cuantifica los movimientos del agua para un periodo de tiempo en particular. De acuerdo a Sánchez *et al.* (2013), en la agricultura es deseable realizar el balance hídrico a nivel diario ya que facilita la identificación de periodos de déficit y exceso de humedad, la calendarización de riegos, o bien para zonificar cultivos en áreas de temporal.

Para esquematizar el balance hídrico diario, se hace referencia a la Figura 9 en el que se muestra una sección de suelo y la dinámica de las variables que intervienen en él.

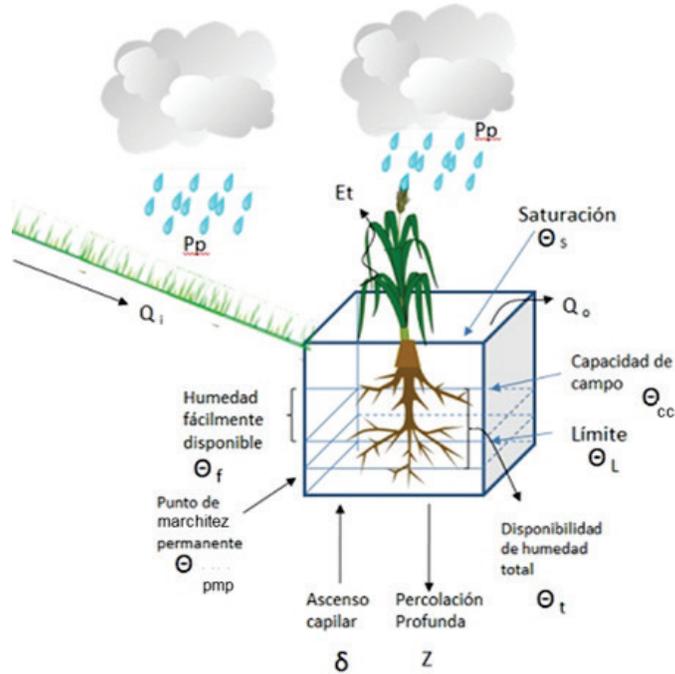


Figura 9. Dinámica de variables que intervienen en un balance hídrico diario.

El balance hídrico (ΔS_i) está dado por:

$$\Delta S_i = \Delta S_{i-1} + (Pp_i + Qs_i + \delta_i) - (Et_i + Qo_i + Z_i) \quad (2)$$

Para este caso, se considera primero la humedad inicial o del día anterior (ΔS_{i-1}); los aportes están representados por la precipitación pluvial registrada en el día i (Pp_i), el escurrimiento superficial que se queda en el área de cultivo en el día i (Qs_i) y el ascenso capilar (δ_i). Las pérdidas están representadas por la evapotranspiración registrada en el día i (Et_i), la percolación profunda en el día i (Z_i) y el escurrimiento fuera del cultivo en el día i (Qo_i). Todas estas variables están dadas en mm. A continuación se describe cada uno de los componentes que integran este modelo.

La humedad inicial o del día anterior (ΔS_{i-1}), hace referencia al contenido de humedad que se registra en el suelo el día anterior al que se quiere determinar el balance hídrico. Es importante tener en cuenta que el contenido de humedad en el primer día en que se establece el balance de agua de suelo es igual al contenido volumétrico de humedad inicial el cual se denota por θ_0 .

El método para calcular θ_0 es el gravimétrico, el cual es considerado como un método simple (Radulovich, 2009) y preciso. Este consiste en tomar una muestra y pesarla, a este le denominaremos peso de suelo húmedo (PSH), después la misma muestra se someterá a secado en un horno a 105°C por un lapso de 24 horas para obtener el peso de suelo seco (PSS). Este par de indicadores serán el insumo para realizar

el cálculo del contenido de humedad inicial base masa denotada por W , expresada en gramos y definida como:

$$W = \frac{PSH - PSS}{PSS} \times 100 \quad (3)$$

Esta expresión es el insumo para calcular el valor de θ_0 con la fórmula:

$$\theta_0 = \frac{da \times W}{\delta} \times 100 \quad (4)$$

donde: da es la densidad aparente del suelo, W el contenido de humedad inicial base masa y δ es la densidad de agua 1 gr/cm^3 .

La precipitación (Pp_i), representa el régimen pluvial en zonas de temporal del país y con ella es posible conocer el riesgo de deficiencia por las variaciones que pueda presentar. Dentro de la ecuación se considera a la precipitación como una variable con comportamiento aleatorio y representada por una función de densidad probabilística (FDP), por esto resulta de importancia emplear un generador de datos sintéticos de Pp partiendo de la ya mencionada función. Para generar los datos de Pp diarios es necesario realizar el cálculo de cadenas de Markov para definir la probabilidad de ocurrencia de días húmedos seguidos por días secos y de días húmedos seguidos por días secos (Drabal *et al.*, 2014; Wilks, 1995; Stöckle y Nelson, 2014). El cálculo de las matrices de transición y la cuantificación de la Pp empleado en este apartado es el mismo que se detalló en el apartado de Generación de datos climáticos con ClimGen.

El ascenso capilar (δ_i), es un fenómeno físico en donde las partículas del suelo atraen las moléculas del agua venciendo la fuerza de gravedad, ocasionando que exista un flujo desde la capa freática hasta el suelo que se ubica por encima, este evento se presenta de forma inversamente proporcional al tamaño de los poros del suelo (Thompson y Frederick, 1988).

Evapotranspiración, esta variable es la que mayor impacto tiene sobre el balance hídrico en el suelo, ya que este proceso extrae las cantidades necesarias de humedad que el cultivo requiere para su desarrollo. La Et es considerado un proceso dinámico que combina los procesos de evaporación del agua en el suelo y transpiración de las plantas por lo que se puede asociar con las pérdidas de vapor de agua en la superficie con cubierta vegetal (Elías y Castevelli, 2001).

Los factores involucrados en la Et tienen relación con factores climáticos como la radiación neta, la intensidad de viento, la temperatura de la superficie del suelo y la atmósfera, así como el déficit de presión de vapor de la atmósfera. Factores relacionadas con la vegetación, la apertura estomática también tienen cierta influencia con la Et por la morfología de las hojas de la vegetación, el albedo, la topología de las plantas y su altura. Finalmente, están los factores edáficos, como el régimen térmico, el albedo de la superficie y el contenido de la humedad en el suelo y su disponibilidad para las plantas, que a su vez, tienen que ver con las condiciones físicas y químicas del suelo tales como la textura, estructura, salinidad y pH (Brouwer y Heibloem, 1986).

Evapotranspiración registrada (E_t), para el cálculo de la E_t se empleó el método de (Blaney y Criddle, 1950) modificado por FAO. Este requiere de información de matrices de transición de probabilidades de lluvia mensuales, valores mensuales de temperatura, porcentaje medio diario de horas del día con luz con base en la latitud de ubicación de la estación climatológica y el uso consuntivo del cultivo. La ecuación asociada al cálculo de la E_t se describe como:

$$E_t = k * p(0.46 * T_{med} + 8.13) \quad (5)$$

donde: E_t es la evapotranspiración potencial en $mm/día$, p es el porcentaje de horas de sol en un mes o día con respecto al número de horas anual, T_{med} es la temperatura media diaria para cierto mes expresada en $^{\circ}C$ y k es el coeficiente de uso consuntivo que depende del tipo de vegetación, localización, época del año y las etapas fenológicas. Los detalles en el cálculo de este indicador, puede consultarse en la publicación de (Sánchez *et al.*, 2013).

Percolación profunda (Z_i), es el movimiento del agua desde el área radicular, en otras palabras, es el crecimiento del cultivo hacia la zona inferior del suelo o el subsuelo (Danfeng y Ming'an, 2014) La percolación está regida por la cantidad de agua que se infiltra en el suelo, sus propiedades químicas y físicas, el estado hídrico y los horizontes impermeable presentes. Este tipo de fenómeno se presenta en suelos someros y suelos de textura gruesa (Prieto, 2004).

Escurrimiento fuera del cultivo (Q_{o_i}), esta variable mide la cantidad de agua que escurre fuera de la zona de donde se encuentra el cultivo, depende del exceso de Pp , la capacidad de infiltración en el suelo, el volumen de almacenamiento en las depresiones, longitud del escurrimiento, duración de la Pp en exceso, rugosidad del suelo y su pendiente (Prieto, 2004).

Para su cálculo se considera al componente de escurrimiento fuera del área de siembra (Q_{o_i}) igual a 0, debido a que no representa un valor significativo o aún es nulo en áreas áridas y semiáridas de México. Sin embargo, si ocurriera un evento extremo de Pp , el suelo solo retendrá el agua que su porosidad le permite asumiendo que el exceso se infiltra aún más allá de la zona de raíces o escurre fuera del área de cultivo, el cual no es contabilizado (Sánchez *et al.*, 2013).

Una vez explicados los elementos considerados en el cálculo de rendimientos, por el al Sistema para cuantificar riesgo hidrológico en agricultura de temporal en el estado de Veracruz, se muestra a continuación la información que se suministra al sistema por medio de la interfaz que se muestra en la Figura 10.

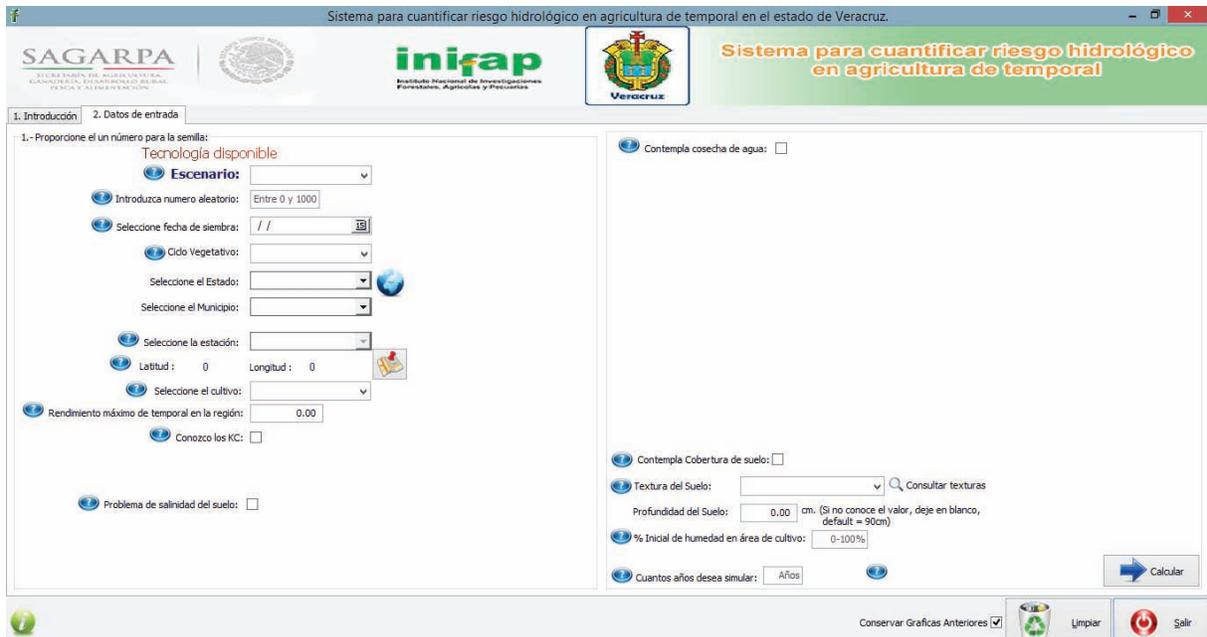


Figura 10. Panel de parametrización del Sistema para cuantificar riesgo hidrológico en agricultura de temporal en el estado de Veracruz.

Para proporcionar la información lo mayor detalladamente posible se realizó la consulta de la información sobre fechas de siembra reportadas, propiedades texturales del suelo, profundidad de suelo y porcentaje de humedad en el área de cultivo del estado de Veracruz.

Parametrización del sistema

La parametrización es la etapa básica en la implementación del sistema y ésta debe ser información confiable para que los resultados sean lo mayor apegados a la realidad.

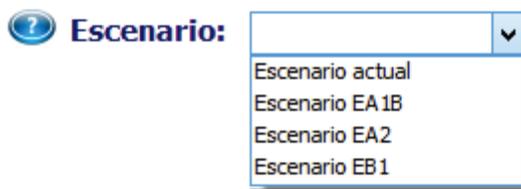


Figura 11. Combo de selección de escenario bajo el cual se realizará el cálculo de rendimientos.

En la Figura 11 se muestra el combo donde se selecciona el escenario bajo el cual se requiere realizar la simulación de rendimientos. El sistema tiene la capacidad de procesar información bajo el escenario climático actual y los escenarios de cambio climático A1B, A2 y B1.

Se refiere a un número entero comprendido entre 0 y 1000, este es empleado para simular los datos de la

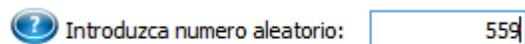


Figura 12. Combo donde se introduce un número aleatorio para iniciar el proceso de simulación.

P_p y determinar la ocurrencia de periodos secos (días sin lluvia) y periodos húmedos (días con lluvia).

Los números aleatorios fueron generados a través de la función de Excel $f(x) = ALEATORIO.ENTRE(0,1000)$.

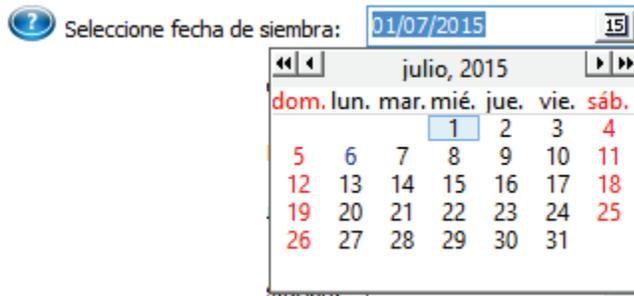


Figura 13. Combo para indicar la fecha de inicio de siembra del cultivo de interés.

Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Este portal pone a disposición las épocas de siembra y cosecha, los cuales están constituidas a partir de la superficie sembrada y cosechada mensualmente, esta superficie se encuentra representada en porcentaje para el ciclo completo. El SIAP ha llevado el registro del comportamiento de estas superficies desde el año 2003 y ha eliminado los datos fuera de rango con el fin de obtener una curva normal para calcular un promedio simple. La consulta se realizó a los cultivos de maíz y frijol bajo condiciones de temporal en el ciclo primavera-verano (PV). Es importante recordar que se consideraron estados vecinos con el fin de cubrir la totalidad del estado de Veracruz, debido a la forma y ubicación característica que tiene dicho estado en la Tabla 1.

Tabla 1. Meses en los que se inician las épocas de siembra de maíz y frijol en el ciclo primavera-verano en el estado de Veracruz y estados vecinos.

Estado	Cultivo	
	Maíz	Frijol
Chiapas	Junio	Junio
Hidalgo	Junio	Julio
Oaxaca	Junio	Julio
Puebla	Mayo	Junio
San Luis Potosí	Julio	Julio
Tabasco	Junio	N/D
Tamaulipas	Agosto	N/D
Veracruz	Julio	Agosto

En este combo se selecciona la duración del ciclo de cultivo desde la siembra hasta la madurez fisiológica. El sistema ofrece la opción de considerar variedades de ciclo vegetativo de 90 días (precoz), 120 días (intermedio) o de 150 días (tardío).

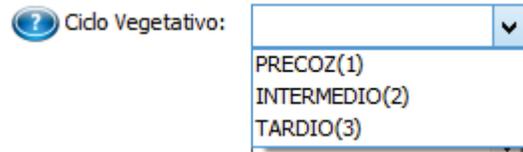


Figura 14. Combo de selección de ciclo vegetativo.

Para el caso de maíz y frijol se consideró el ciclo vegetativo intermedio, esto con base en la información de la Comisión Veracruzana de Comercialización Agropecuaria (COVECA, 2011).

Después, se selecciona el estado y municipio a trabajar en la simulación de rendimientos de maíz y frijol, estos podrán ser seleccionados de los combos dispuestos en la Figura 15.



Figura 15. Combos correspondientes a la selección del estado y municipio a trabajar en la simulación de rendimientos.

En el cálculo de rendimiento potencial del área de estudio es necesario contar con información de variables de P_p y E_t . Dicha información será tomada de los registros diarios de 184 estaciones climatológicas distribuidas en los estados de Veracruz y en estados colindantes como Chiapas, Hidalgo, Oaxaca, Puebla, San Luis Potosí, Tabasco y Tamaulipas (Figura 16).

Es importante mencionar que en un municipio puede haber más de una estación climatológica, y dado que es importante contar con la información de rendimientos asociados a cada estación, este proceso fue repetido tantas veces, como estaciones estaban disponibles, es decir, un total de 184 veces.

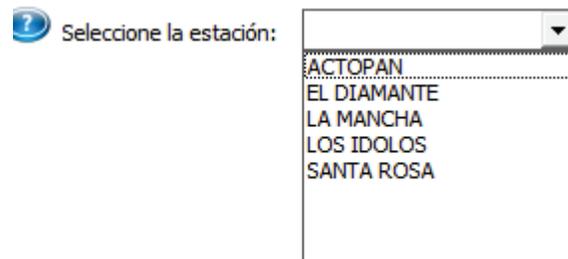
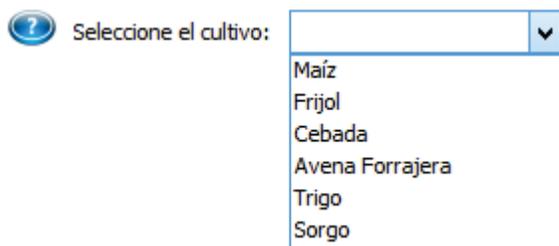


Figura 16. Combo para seleccionar la estación climatológica que proporciona la información para el cálculo de P_p y E_t .



Actualmente el sistema tiene la capacidad para realizar el cálculo de rendimientos de seis cultivos, en el caso del presente trabajo solo se consideran los cultivos de maíz y frijol.

Figura 17. Combo para seleccionar el cultivo al cual se hará referencia el cálculo de rendimientos.

Un parámetro importante en el cálculo de rendimientos es el antecedente de rendimiento máximo en la región de interés, o bien, de la zona donde se ubica la estación climatológica. Este valor se captura en el combo que se muestra en la Figura 18.

Dado que en ocasiones no es posible conocer la información de rendimiento máximo, se realizó la consulta de este



Figura 18. Combo de captura de rendimiento máximo de temporal para el cultivo de interés.

dato en los anuarios estadísticos disponibles en el portal del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2014). El valor se expresa en *Ton/ha*.

Es importante resaltar que el Sistema para cuantificar riesgo hidrológico en agricultura de temporal en el estado de Veracruz, estima rendimientos de dos formas:

1. En base al déficit evapotranspirativo del lugar de interés. Este consiste en referir el rendimiento máximo al máximo rendimiento que se puede esperar de acuerdo al historial en condiciones ideales de cultivo bajo condiciones de temporal. El déficit evapotranspirativo se obtiene mediante la diferencia entre la *Pp* y la evapotranspiración potencial.
2. En base a la función del balance de humedad actual en el suelo, es decir, que cuando cambian las condiciones del sitio, el rendimiento cambiará en consecuencia.

Para este trabajo se consideró el método que se basa en el déficit evapotranspirativo. El sistema tiene integrada las funciones de estrés de los cultivos de maíz y frijol para condiciones de temporal; estas funciones describen el comportamiento del rendimiento en términos del índice de estrés, el cual varía entre 0 y 1. Es de resaltar que la proyección de rendimiento con este método los rendimientos siempre serán los mismos para el mismo sitio aunque cambien las condiciones agronómicas del lugar de interés, ya que tiene su fundamento en variables atmosféricas y no en el suelo. Los índices de estrés para el cultivo de maíz y frijol se encuentran representados en las Figuras 19 y 20.

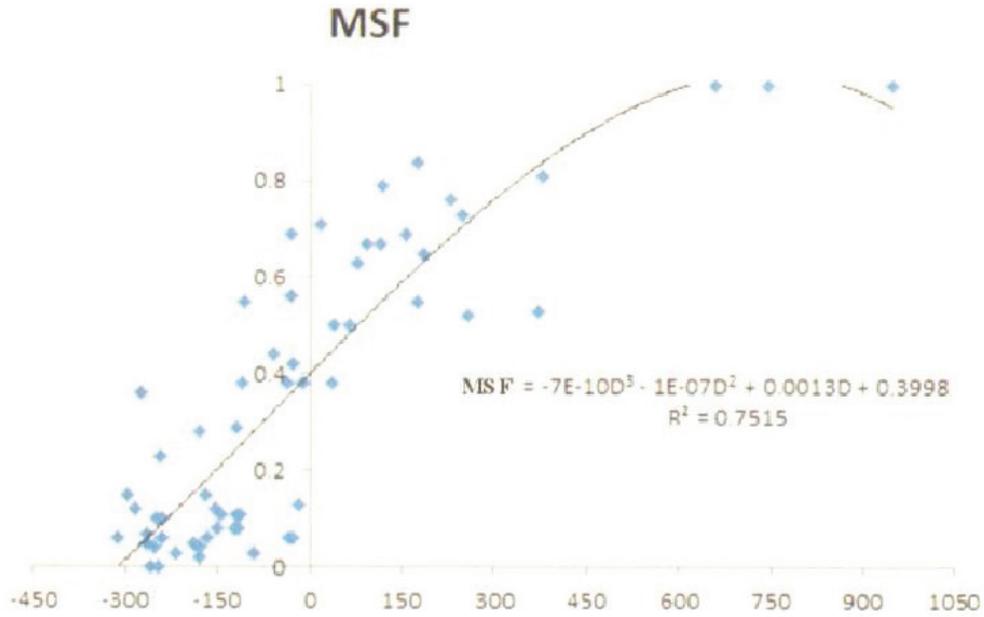


Figura 19. Índice de estrés para el cultivo de maíz (*Zea mays L.*) según Sánchez *et al.* (2013).

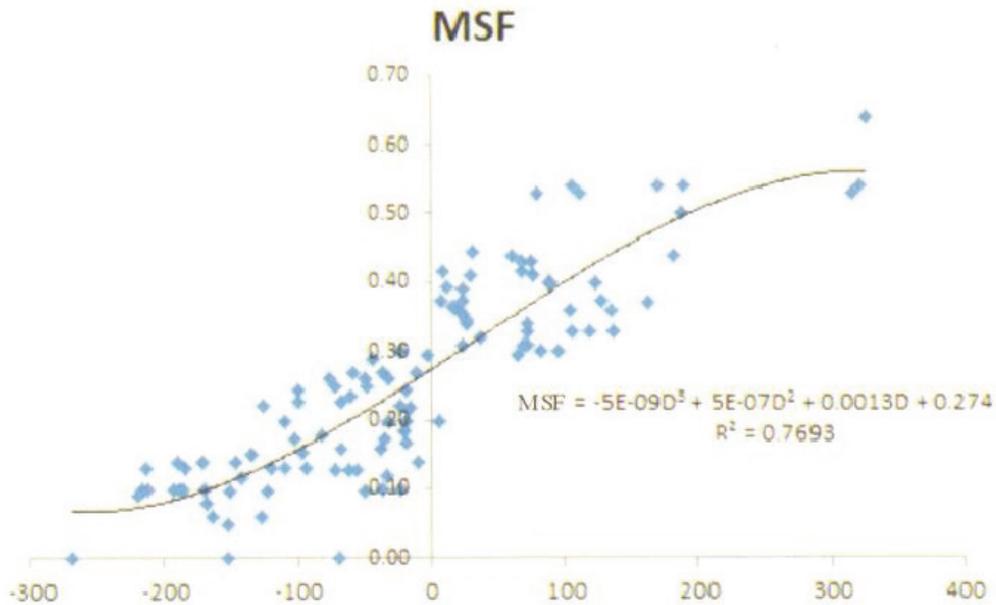


Figura 20. Índice de estrés para el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) según Sánchez *et al.* (2013).

Para ambas figuras se puede apreciar que la variable independiente (x) es el déficit evapotranspirativo y la variable (y) es el comportamiento de los rendimientos en términos del índice de estrés (MSF) el cual se obtiene del cociente *Rendimiento actual/Rendimiento máximo* y el rendimiento final se encuentra representado por la relación $MSF * Rendimiento esperado$.

Obsérvese que el rendimiento estimado, aun cuando el déficit evapotranspirativo (D) es igual a 0, no se alcanza el rendimiento potencial, es decir, el valor de $MSF \neq 1$ (constante de la ecuación). Esto puede ocurrir por tres causas:

1. Los periodos de lluvia se presentan en la cantidad que requiere el cultivo, pero no en el tiempo que este lo necesita.
2. Prácticas agrícolas inadecuadas, es decir, no se emplean paquetes tecnológicos adecuados, no se hace uso de variedades adecuadas, no se aplica correctamente el fertilizante, no se siguen protocolos de control de plagas y enfermedades, por mencionar algunas.
3. La confiabilidad del dato registrado por el SIAP, ya que es un dato empleado para la construcción de las funciones ya descritas.

El siguiente paso es indicar los coeficientes de cultivo (Kc) que hacen referencia a la fracción de Et que los cultivos requieren en las distintas etapas de crecimiento, es decir, durante el desarrollo de la plántula, desarrollo vegetativo, floración, fructificación y madurez fisiológica. Este valor puede variar por la variedad de semilla empleada, si se trata de un híbrido, el estado fenológico o las condiciones del clima y suelo que se encuentran presentes en la región de interés.

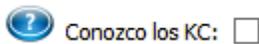


Figura 21. Sección para especificar los coeficientes del cultivo Kc , o bien indicar que tome los considerados por defecto.

Este parámetro contiene un valor por defecto, el cual ha sido obtenido en campo para distintas regiones de México y calculado mediante el método de la FAO (Allen *et al.*, 2006). En caso de que el usuario tenga conocimiento de estos valores, el usuario puede suministrarlos vía teclado (Figura 21).

Para el presente trabajo, se optó por tomar los valores por defecto de los coeficientes del cultivo.

También se considera el problema de salinidad del suelo y dado que no se tienen antecedentes o datos que indiquen este tipo de problemas se optó por no marcar este combo, el cual se presenta en la Figura 22.

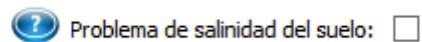


Figura 22. Opción para indicar problemas de salinidad en la zona de estudio.

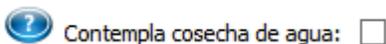


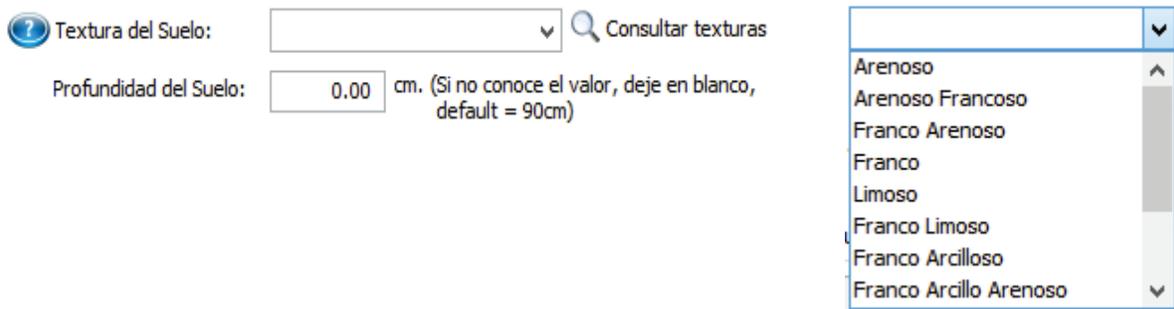
Figura 23. Apartado para elegir si se requiere considerar la cosecha de agua de lluvia.

Otra opción que considera el sistema en la de realizar actividades de cosecha de agua de lluvia para ser empleada posteriormente en el área de siembra (Figura 23). Dado que no se contempla desarrollar esta actividad durante el ciclo de producción del cultivo no se marcó esta opción.

Una práctica agrícola es la de cubrir la superficie del suelo con material orgánico, ya sea paja, restos vegetales y/o desechos de animales, algún tipo de plastificación o piedras. Esto tiene como objetivo evitar la pérdida de agua por efecto de evaporación del suelo, evitar el crecimiento de malezas, controlar la variación de la temperatura, incrementar o reducir la temperatura del suelo, etc.

El modelo pregunta si se hace uso de algún tipo de acolchado,  Contempla Cobertura de suelo: si ese es el caso, es necesario introducir qué porcentaje del área de siembra está proyectado cubrir con “mulch” (Figura 24). **Figura 24.** Opción para la elección de uso de algún tipo de cobertura para el suelo.

En la Figura 25, se ingresan datos sobre textura del suelo y la profundidad del suelo. Para definir la primera característica, se realizó un proceso cartográfico de asignación, el cual consistió en extraer la información del mapa edafológico (INIFAP-CONABIO, 2001) para determinar la textura presente en el punto geográfico donde se ubicó la estación. Otro parámetro que se ingresó en este apartado es el de la profundidad del suelo, el cual se dejó por defecto el de 90 cm.



The image shows a software interface with two input fields and a dropdown menu. The first field is labeled 'Textura del Suelo:' and has a search icon and the text 'Consultar texturas' next to it. The second field is labeled 'Profundidad del Suelo:' and contains the value '0.00' followed by the text 'cm. (Si no conoce el valor, deje en blanco, default = 90cm)'. To the right of these fields is a dropdown menu with a list of soil texture options: Arenoso, Arenoso Francoso, Franco Arenoso, Franco, Limoso, Franco Limoso, Franco Arcilloso, and Franco Arcillo Arenoso.

Figura 25. Opciones de selección de texturas de suelo y profundidad.

Dado que el mapa edafológico (INIFAP-CONABIO, 2001) solo especifica las texturas como finas, medias y gruesas, fue necesario realizar una reclasificación al diagrama triangular de las clases texturales básicas del suelo según el tamaño de las partículas de la USDA. Esto facilitó seleccionar las texturas como el sistema las requiere. Dicha clasificación se muestra en la Figura 26.

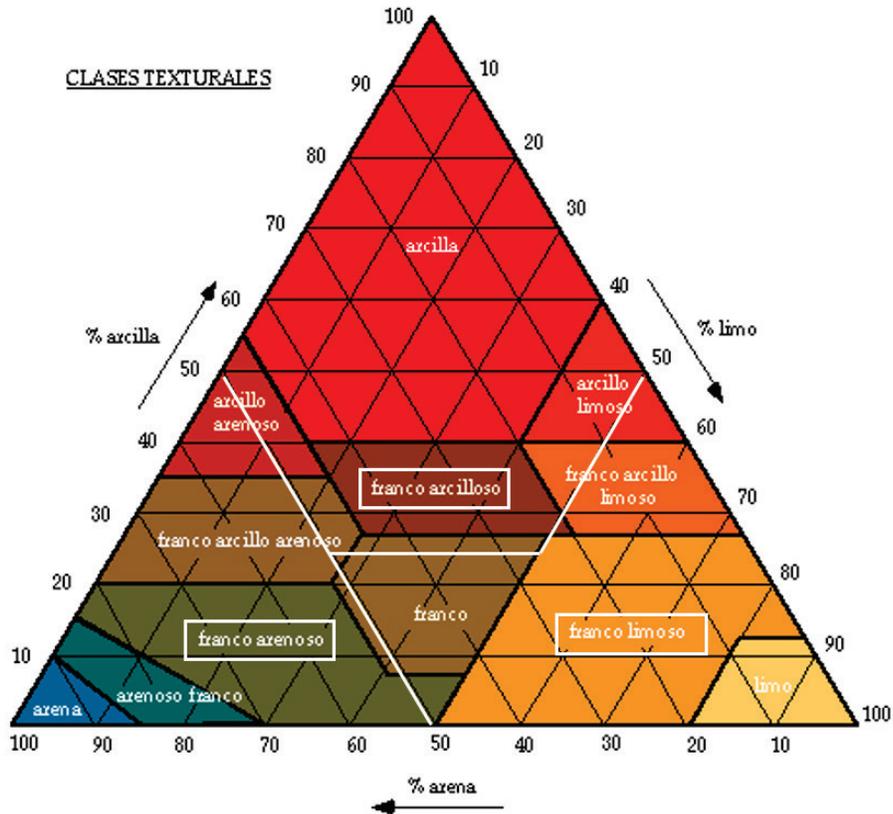


Figura 26. Gráfico para la denominación de los suelos con la delimitación de texturas fina, media y gruesa.

De acuerdo a la figura anterior, se reclasificaron a los suelos de textura fina como franco-arenosos, a los de textura media como franco-limosos y los de textura gruesa como franco-arcillosos.

Finalmente, se encuentran las opciones de porcentaje inicial de humedad en el área de cultivo y el número de simulaciones que se requiere realizar. Para el primer caso, se conoce de manera empírica los productores que aprovechan el temporal siembran cuando el contenido de humedad aprovechable es del 40%; en cuanto a las simulaciones, se optó por considerar 15 simulaciones, es decir, 15 ciclos agrícolas (Figura 27).

Figura 27. Opciones de selección de porcentaje inicial de humedad y número de años (ciclos agrícolas) a simular.

Conformación de base de datos de rendimientos de maíz y frijol

Es importante tener presente que la generación de rendimientos se realizó para los cultivos de maíz y frijol, con la información de cada una de las estaciones tomando en cuenta cada uno de los escenarios climáticos: actual, A1B, A2 y B1, la cual fue almacenada en formato de Excel para facilitar su posterior incorporación y procesamiento en SIG y realizar los procesos cartográficos posteriores.

Procesamiento cartográfico de la información

Con el programa ArcMap (Versión 10.2), se realizó la georreferenciación de las tablas de rendimientos para maíz y frijol, bajo el sistema de coordenadas geográficas y el datum WGS84. Una vez montados en el SIG, se realizó el proceso de interpolación espacial para cada uno de los rendimientos asociados a cada escenario de cambio climático.

El proceso de interpolación espacial es un proceso para generar una superficie continua en un espacio geográfico con base a una serie de puntos dispersos en el mismo espacio (Johnston *et al.*, 2001) a esta superficie se le denomina rejilla de valores (capas). El método que se aplicó fue el Inverso de la Distancia (IDW, por sus siglas en inglés); este método es considerado el más sencillo y consiste en asignar un peso mayor al punto más cercano y el peso menor al punto más lejano, una vez calculados los pesos, se realiza el cálculo de un promedio ponderado de los datos medidos (Díaz *et al.*, 2008). La fórmula general para realizar el proceso de interpolación es:

$$p_e = \sum_{i=1}^N w_i p_i \quad 12$$

Donde: p_e = Estimación del valor en el punto i , p_i = valor observado en la estación i ; w_i = es el peso asignado a la estación i y N = es el número total de estaciones cercanas al punto e .

El peso (w_i) se calcula como:

$$w_i = N \left(\frac{1}{d_{e,i}} \right)^\beta / \sum_{i=1}^N \left(\frac{1}{d_{e,i}} \right)^\beta \quad 13$$

Donde: β = coeficiente de potencia; $d_{e,i}$ = distancia entre el sitio a estimar e y la estación i .

Después del proceso de interpolación, se realizó el cálculo de la diferencia entre la capa de rendimientos actuales y las capas de los rendimientos bajo condiciones de cambio climático. Como resultado se obtuvieron tres capas que denotaban la tendencia de rendimientos en escenarios de cambio climático, los valores positivos indicaron disminución de rendimientos y los valores negativos, aumento de rendimientos. Estos valores fueron reclasificados para identificar en los mapas los patrones de cambio, es decir, a los valores negativos se les asignó la etiqueta "Aumenta", a los valores positivos se les asignó la etiqueta "Disminuye" y a los valores 0 se asignó la etiqueta "Sin cambio".

Identificación de posibles cambios en los rendimientos de maíz y frijol a través de los diferentes escenarios de cambio climático.

Los efectos del cambio climático pueden tener efectos positivos y negativos en diferentes zonas geográficas, es posible también que en algunas otras no haya afectaciones. En este apartado se describe como se realizó una prueba estadística para verifica la existencia de diferencias en los rendimientos para los escenarios climáticos abordados aplicando análisis de varianza.

El ANOVA, como también se le conoce, es una potente herramienta estadística, cuyo objetivo central es la comparación de dos o más tratamientos. Para lo que nos atañe en el presente trabajo, el fin de aplicar esta prueba fue determinar si existe diferencia significativa entre los rendimientos del escenario actual y los diferentes escenarios de cambio climático mediante la aplicación de un diseño completo al azar. En términos de planteamiento de hipótesis es:

H₀: El comportamiento de los rendimientos maíz o frijol en los diferentes escenarios de clima es igual
vs.

H_a: En al menos un escenario los rendimientos maíz o frijol es diferente

Comprobar esta hipótesis implicó calcular un cuadro de análisis de varianza, cuya estructura se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Estructura del análisis de varianza para comparar los rendimientos entre los diferentes escenarios climáticos.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F calculado
Escenarios	$t - 1$	$\sum_{i=1}^r \frac{Y_i^2}{r} - \frac{Y_{..}^2}{tr}$	SC_{trat} / gl_{trat}	CM_{trat} / CM_{error}
Error	$t(r - 1)$	$SC_{total} - SC_{trat}$	SC_{error} / gl_{error}	
Total	$tr - 1$	$\sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^r Y_{ij}^2 - \frac{Y_{..}^2}{tr}$		

En donde se plantea la regla de decisión para rechazar *H₀* si $F_c \geq F_{t(gl_{trat}; gl_{error}, \alpha)}$ y no rechazar *H₀* si $F_c < F_{t(gl_{trat}, gl_{error}, \alpha)}$. Donde el valor de $\alpha = 0.05$; es importante señalar que realizar las comparaciones de los valores F_c y F_t requiere hacer uso de las tablas de distribución *F* de Fisher, sin embargo esto puede sustituirse por la comparación del valor *p*, (*p - value*) con el valor α , con el criterio de que si $p - value > \alpha$ no se rechaza la *H₀* y si $p - value \leq \alpha$ se rechaza la *H₀*.

También se realizó un análisis de comparación múltiple de medias con la prueba de Tuckey para identificar cuales rendimientos son distintos, esto solo en caso de que se confirme la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos después de aplicar el análisis de varianza. Esta prueba hace uso de la amplitud studentizada y es aplicable a pares de medias; requiere de un solo valor para evaluar la significancia de todas las diferencias, y por lo tanto es rápido y fácil de usar. El procedimiento consistió en el cálculo de un valor crítico mediante la ecuación:

$$w = q_{\alpha}(p, f_e) s_{\bar{y}}$$

donde q_{α} se obtiene de una tabla de puntos porcentuales superiores de la amplitud studentizada (Steel y Torrie, 1985).

Identificación de patrones de cambio de rendimientos en zonas de potencial productivo de maíz y frijol en el estado de Veracruz.

Identificar las zonas que podrían llegar a ser afectadas por las condiciones de cambio climático en el futuro resulta de importancia ya que permite establecer acciones de prevención y líneas de acción para contrarrestar sus posibles efectos, en caso de que estos sean negativos. En el presente trabajo, se consideró emplear mapas de potencial productivo de maíz y frijol (Díaz *et al.*, 2012) para determinar el grado de afectación de dichas áreas bajo las condiciones de cambio climático.

Realizar los estudios de potencial productivo de un cultivo requiere dos pasos esenciales:

1. Definir de forma clara y precisa los requerimientos agroecológicos del cultivo de interés, es decir, identificar las condiciones de suelo, clima y topográficos que permiten al cultivo desarrollarse de forma óptima; e
2. Identificar donde se presentan estas condiciones en un espacio geográfico.

El desarrollo de este tipo de estudios se basa en la delimitación de celdas agroecológicas (FAO, 1997), que son de utilidad para la implementación de la agricultura productiva, con menor riesgo e impacto ambiental, ya que producir cultivos en condiciones favorables optimiza el uso de tecnología, incrementa los rendimientos y calidad de las cosechas (Ruíz *et al.*, 1999).

A partir de los requerimientos agroecológicos del maíz y frijol (Figura 28), se procesó información cartográfica vectorial entre pares de mapas con el fin de discriminar áreas geográficas no favorables para el cultivo y recortar las zonas potenciales con base en las zonas de uso agrícola.

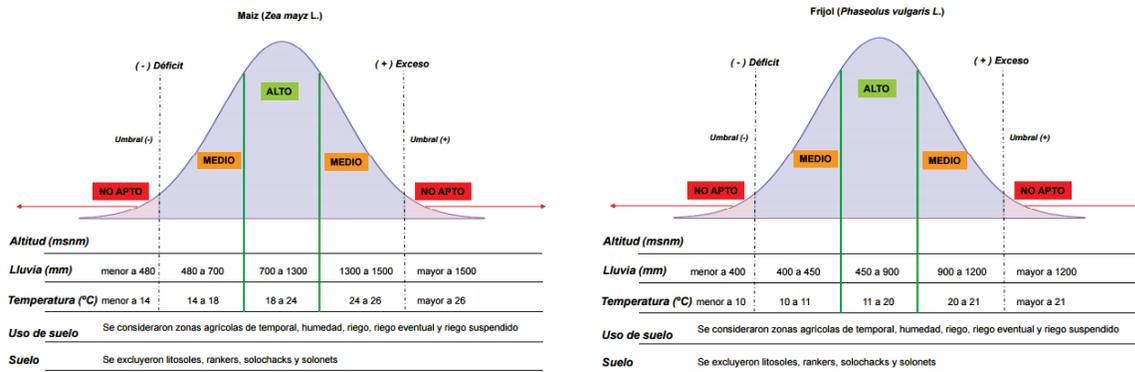


Figura 28. Requerimientos agroecológicos empleados para delimitar el potencial productivo de maíz (*Zea mays* L.) y frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en México (Díaz *et al.*, 2012).

Posteriormente, se obtuvieron zonas productivas potenciales clasificadas en tres niveles: Alto, Medio y No apto. El proceso metodológico se resume en la Figura 29.

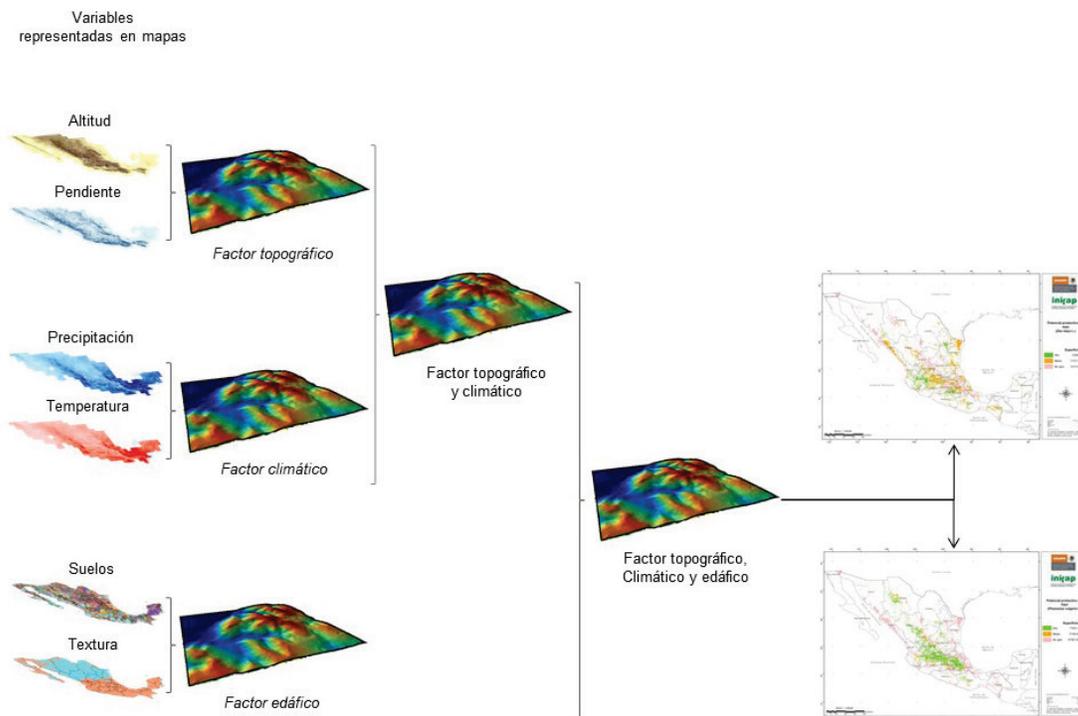


Figura 29. Esquema metodológico para elaborar el potencial productivo de maíz (*Zea mays* L.) y frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) (Díaz *et al.*, 2012).

Los productos cartográficos de potencial productivo para maíz y frijol en el estado de Veracruz se muestran en las Figuras 30 y 31.

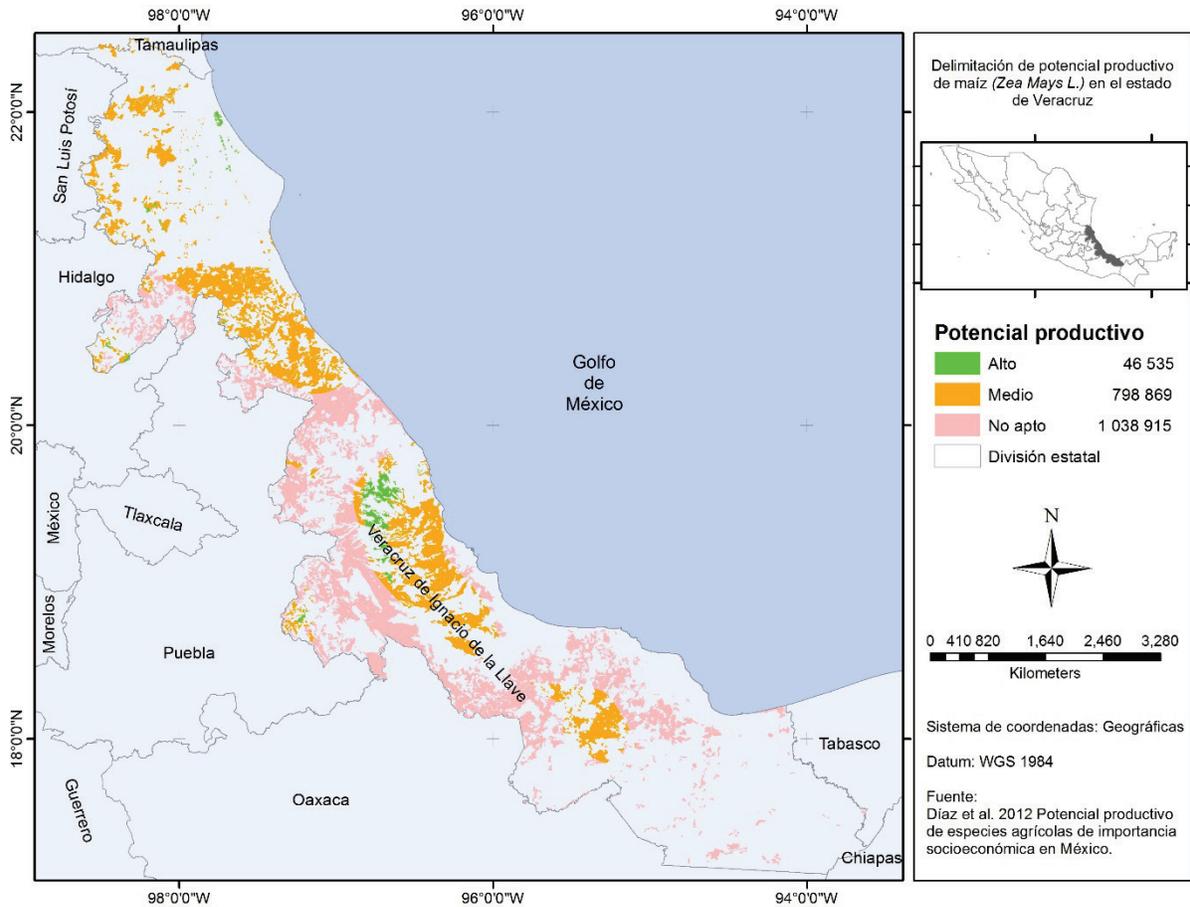


Figura 30. Delimitación de potencial productivo de maíz (*Zea mays L.*) en el estado de Veracruz.

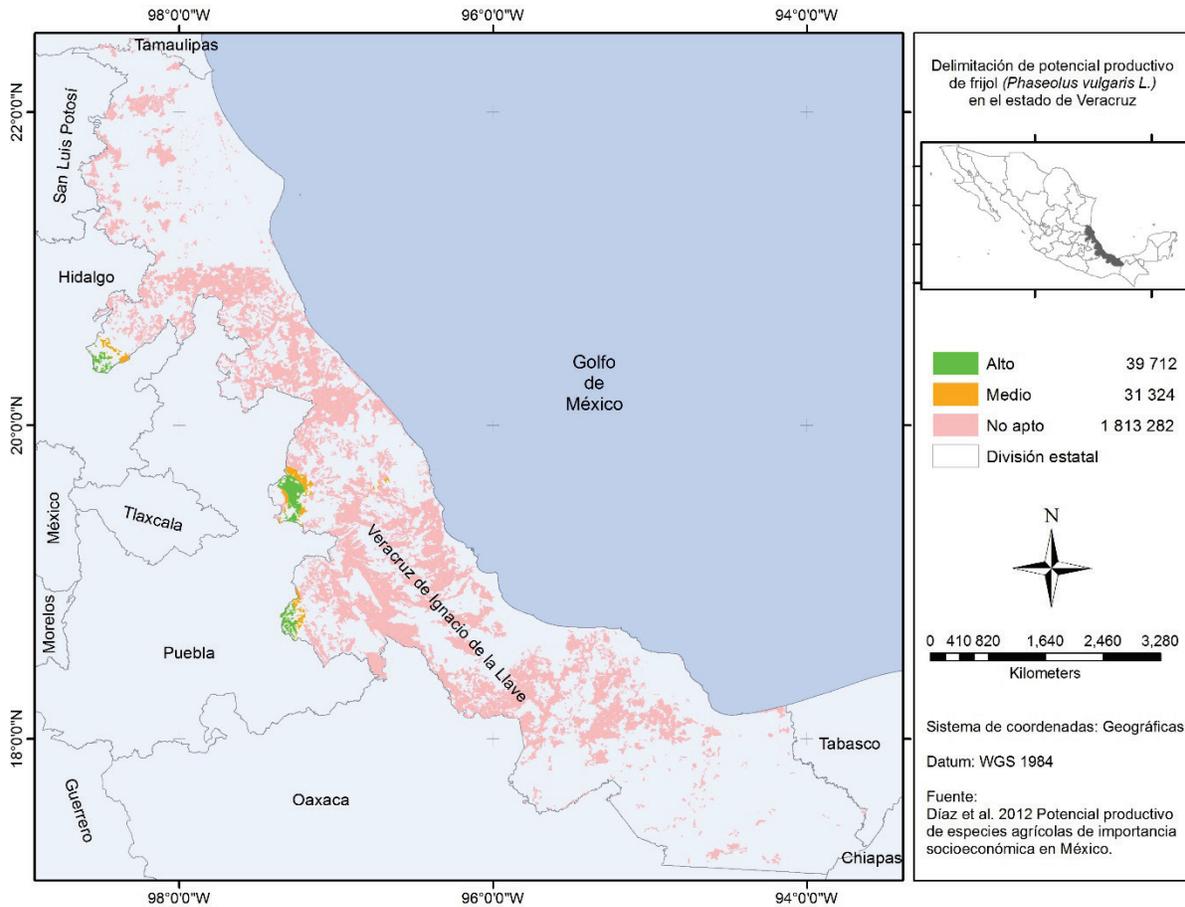


Figura 31. Delimitación de potencial productivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en el estado de Veracruz.

Posteriormente, a las capas resultantes de potencial productivo y de patrones de cambio se aplicó el proceso cartográfico de intersección para identificar los patrones de cambio de rendimientos; es así como fue posible determinar las tendencias de cambio de los rendimientos de maíz y frijol en sus respectivas zonas de potencial productivo.

RESULTADOS

Estaciones incluidas en el área en estudio

En la Figura 32, se observa la dispersión espacial de las estaciones climatológicas consideradas en el estudio, se ubicaron 260 estaciones climatológicas, de las cuales 162 se encuentran ubicadas en el estado de Veracruz y el resto se ubicaron en los estados circunvecinos, las cuales se consideraron apoyo en procesos geoestadísticos y de validación.

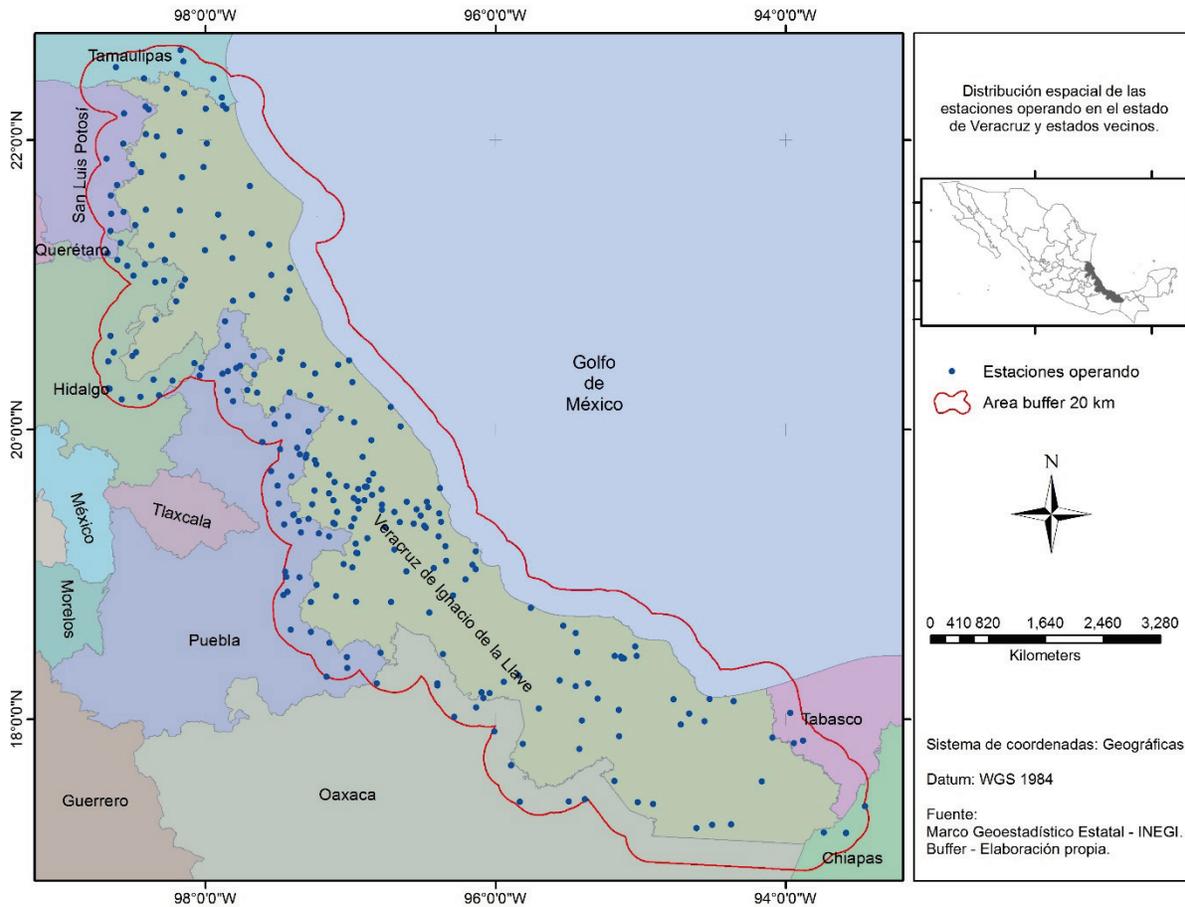


Figura 32. Distribución espacial de las estaciones operando en el estado de Veracruz y estados vecinos.

El 35% de las estaciones se encuentran en climas subhúmedos, 25% en clima húmedo y 18% en clima semicálido húmedo (Tabla 3). La ubicación de las estaciones en los distintos estratos climáticos fue de utilidad para realizar la validación espacial a los datos diarios.

Tabla 3. Desagregación de estaciones por estado y unidad climática de las estaciones consideradas en el estudio.

Clima	Chiapas	Hidalgo	Oaxaca	Puebla	San Luis Potosí	Tabasco	Tamaulipas	Veracruz	Total	%
Cálido húmedo	4		10	9		3		39	65	25.0
Cálido subhúmedo					6		9	77	92	35.4
Seco muy cálido				1					1	0.4
Seco semicálido		1							1	0.4
Semicálido húmedo		8	1	9	5			26	49	18.8
Semifrío subhúmedo								2	2	0.8
Semiseco templado		2		9				2	13	5.0
Templado húmedo		3		6				13	22	8.5
Templado subhúmedo		4		8				3	15	5.8
Total	4	18	11	42	11	3	9	162	260	100.0
%	1.5	6.9	4.2	16.2	4.2	1.2	3.5	62.3	100.0	

Estaciones con información mínima necesaria

En la Tabla 4, se observó que 226 reunieron las condiciones de información mínima necesaria, esto representa el 87% de las estaciones. Para el caso de Veracruz, 26 estaciones (16%), no reunieron la condición antes mencionada.

Tabla 4. Desagregación de estaciones por estado y unidad climática (INEGI, 2014) con información mínima necesaria.

Clima	Chiapas	Hidalgo	Oaxaca	Puebla	San Luis Potosí	Tabasco	Tamaulipas	Veracruz	Total	%
Cálido húmedo	3		8	8	2	1		31	53	23.5
Cálido subhúmedo					6		8	69	83	36.7
Seco muy cálido				1					1	0.4
Seco semicálido		1							1	0.4
Semicálido húmedo		8	1	7	5			20	41	18.1
Semifrío subhúmedo								2	2	0.9
Semiseco templado		2		9				2	13	5.8
Templado húmedo		3		6				10	19	8.4
Templado subhúmedo		3		8				2	13	5.8
Total	3	17	9	39	13	1	8	136	226	100.0
%	1.3	7.5	4.0	17.3	5.8	0.4	3.5	60.2	100.0	

Verificación de congruencia lógica y validación espacial de la información

Se observó que la información que no fue congruente y no válida en relación con sus estaciones de referencia, no sobrepasó el 3% para la variable T_{max} , para el caso de la T_{min} llegó al 1.5%, y para la variable P_p la incongruencia y los valores no válidos en relación con sus estaciones vecinas no superó el 4%. Es importante recordar que la información no congruente fue sustituida por el valor -99, este valor se identificó como valor faltante para los procesos subsecuentes.

Resultados de las pruebas de homogeneidad

En esta etapa, se aplicaron las pruebas de SNHT, Pettitt y Buishand a las variables T_{min} , T_{max} y P_p de las 226 estaciones, con base en los resultados, fueron clasificadas las estaciones en útiles las que tuvieran como máximo una prueba de hipótesis rechazada; dudosas la que tuvieron dos pruebas de hipótesis rechazadas y sospechosas las que registraron tres pruebas de hipótesis rechazadas. En la Tabla 5, se muestra un resumen de los resultados obtenidos de la aplicación de las pruebas de homogeneidad.

Tabla 5. Resumen de resultados de las pruebas de homogeneidad de varianza.

Variable	Clasificación					
	Útil	%	Dudosa	%	Sospechoso	%
T_{min}	71	31.4	33	14.6	122	54.0
T_{max}	68	30.1	27	11.9	131	58.0
P_p	162	71.7	22	9.7	42	18.6

Se identificó que el 72% de las estaciones mostraron condiciones de homogeneidad en la P_p , en tanto que para la T_{min} y T_{max} , fueron el 31 y 30%, respectivamente.

En la desagregación de los resultados por estado, se observó que el estado de Veracruz registró 99 estaciones con información útil, 13 como dudosas y 24 como sospechosas en la variable de P_p ; en lo que corresponde a la variable de T_{min} , se observó que 40 estaciones se clasificaron como útiles, 20 como dudosas y 76 como sospechosas; finalmente, en la T_{max} , se registraron 35 estaciones útiles, 17 dudosas y 84 sospechosas (Tabla 6).

Tabla 6. Resumen de resultados de las pruebas de homogeneidad desagregados por estado.

Clasificación	Variable	Estados								Totales
		Chiapas	Hidalgo	Oaxaca	Puebla	San Luis Potosí	Tabasco	Tamaulipas	Veracruz	
Útil	T_{min}		4	4	16	5	1	1	40	71
	T_{max}		4	3	18	6	1	1	35	68
	P_p	2	14	6	23	10	1	7	99	162
Dudosa	T_{min}		2	1	8	1		1	20	33
	T_{max}	1	3	1	2			3	17	27
	P_p	1		3	5				13	22
Sospechoso	T_{min}	3	11	4	15	5	2	6	76	122
	T_{max}	2	10	5	19	5	2	4	84	131
	P_p		3		11	1	2	1	24	42

Los resultados aquí mostrados pueden ser dudosos, sin embargo esto puede atribuirse a que no se consideraron periodos estacionales o algunos otros periodos de interés específico.

En Anexos se muestran las tablas con los valores p (p -value) de cada prueba para comprobar la homogeneidad de las variables T_{min} , T_{max} y Pp , así como los años en los que se presentó el cambio en los datos cuando la H_0 fue rechazada. A partir de estos resultados se consideró el criterio de seleccionar estaciones que se clasificaron como útiles y dudosas en la variable Pp por lo que para completar datos faltantes, generar datos de escenarios de cambio climático y generara la información de rendimientos, se emplearon 184 estaciones con su respectiva información de T_{min} y T_{max} . La distribución de estas estaciones por estado se muestra a continuación en la Figura 33.

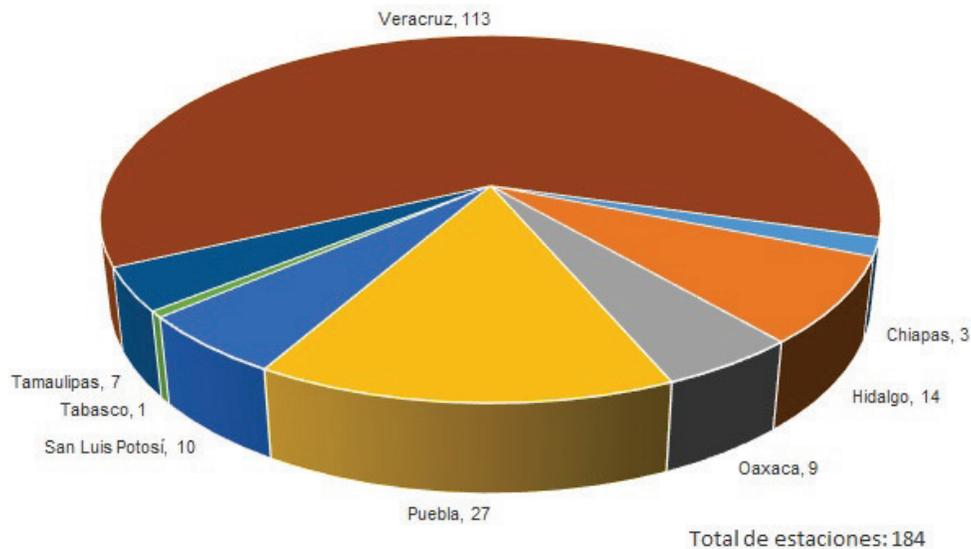


Figura 33. Distribución del número de estaciones por estado consideradas en procesos para completar datos faltantes, generar datos de escenarios de cambio climático y generara la información de rendimientos.

Información faltante y series climáticas bajo condiciones de escenario climático

A cada estación se le calcularon datos faltantes con ClimGen contando así con series climáticas de Pp , T_{min} y T_{max} completas; después se generaron series climáticas bajo escenarios de cambio climático A1B, A2 y B1 con el programa LarsWG, con lo que se conformó un total de 736 bases de datos, de las cuales, se extrajeron estadísticas descriptivas y se calcularon las matrices de transición para la variable climática Pp . La información quedó estructurada como se muestra en la Figura 34.

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda	modelo_ACTUAL.dat: Bloc de notas					
VER		Actopan			19.502778					
PND		PwM			MEDIA	TMAX	TMIN			
0.08	0.22				4.35758620689655	27.233353726362620689655172414	15.043109010011129310344827586			
0.07	0.17				3.74534482758621	28.518343596059113793103448276	15.616791871921186206896551724			
0.06	0.14				3.37758620689655	30.531896551724132758620689655	17.439388209121244827586206897			
0.07	0.23				3.92862068965517	32.834609195402294827586206897	19.54108620689655			
0.11	0.28				13.8287931034483	33.913192436040046551724137931	21.192057842046722413793103448			
0.24	0.56				127.84775862069	33.291442528735629310344827586	21.58287356321838791034482759			
0.32	0.58				156.108965517241	32.29310901001117241379310345	20.57803670452722413793103448			
0.3	0.49				103.165344827586	32.579221357063401724137931034	20.571106785317018965517241379			
0.32	0.52				97.058275862069	32.332482758620682758620689655	20.62483333333331034482758621			
0.19	0.37				34.5087931034483	31.454916573971079310344827586	19.399238042269189655172413793			
0.11	0.32				12.6762068965517	29.61949425287356551724137931	17.575660919540227586206896552			
0.08	0.22				4.85327586206897	27.867469410456055172413793103	15.914254727474974137931034483			
VER		Álamo			20.929444					
PND		PwM			MEDIA	TMAX	TMIN			
0.12	0.38				15.4893333333333	26.30144802867383333333333333	15.276989247311828888888888889			
0.12	0.37				15.612	27.218753968253966666666666667	15.949071428571424444444444444			
0.09	0.29				10.8022222222222	29.687462365591397777777777777	17.976666666666671111111111111			
0.09	0.25				12.3837777777778	32.586251851851853333333333333	20.105125925925924444444444444			
0.1	0.23				25.928	34.431168458781368888888888889	21.739426523297488888888888889			
0.16	0.54				88.9848888888889	34.332348148148151111111111111	22.35985185185184888888888889			
0.23	0.52				94.1815555555556	33.601835125448031111111111111	22.103483870967742222222222222			
0.21	0.49				109.784222222222	33.584508960573477777777777778	22.0116702508960577777777778			
0.26	0.58				160.222444444444	32.467037037037042222222222222	21.615718518518522222222222222			
0.18	0.44				77.3422222222222	31.148645161290322222222222222	19.92689605734768			
0.15	0.37				30.0557777777778	28.8822518518518555555555556	17.859437037037042222222222222			
0.11	0.35				13.8111111111111	26.33174193548386888888888889	16.038874551971311111111111111			
VER		Almolonga			19.588333					
PND		PwM			MEDIA	TMAX	TMIN			
0.13	0.36				12.2094871794872	25.461315136476428205128205128	12.118610421836225641025641026			
0.14	0.35				11.7371794871795	26.818141025641033333333333333	12.863049450549444513846153846			
0.12	0.29				9.71051282051282	29.516385442514466666666666667	14.873779983457405128205128205			
0.13	0.37				15.8987179487179	31.568606837606843589743589744	16.878641025641023076923076923			
0.17	0.39				32.2887179487179	32.858395368072787179487179487	18.588999172870130769230769231			

Figura 34. Ejemplo de la base de datos con matrices de transición y estadísticas descriptivas provenientes de las series climáticas bajo los escenarios actual, A1B, A2 y B1.

Conformación de la base de datos e incorporación al SIG

Estas matrices se incorporaron al Sistema para cuantificar riesgo hidrológico en agricultura de temporal en el estado de Veracruz, se calcularon los rendimientos y se almacenaron en hojas de Excel (xlsx) que contienen información sobre rendimientos estimados para cada año simulado, una muestra de cómo quedó conformada la base de datos para los rendimientos de maíz y frijol se encuentra en la Tabla 7 y 8.

Tabla 7. Conformación de la base de datos de rendimientos de maíz (*Zea mays L.*) asociadas a las estaciones climatológicas.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	
Cve_edo	Edo	Mpio	Cve_est	Nom_est	Latitud	Longitud	Altitud	Rentos_SIAP	Tex_dom	RenIEAc	RenZEA2	RenIEA1B	RenZEA1B	RenIEA2	RenZEA2	RenIEB1	
1	7	CHP	OSTUJACAN	7106	LAS PENITAS	17.4008	-93.4500	78	1.18	FINA	1.67	6.25	1.39	6.28	1.43	6.27	1.55
3	7	CHP	TECPATAN	7020	VERTEDOR 1-2-3	17.2208	-93.7339	204	1.14	FINA	1.31	6.21	1.03	6.22	1.06	6.25	1.19
4	7	CHP	TECPATAN	7112	MALPASO	17.2142	-93.5817	100	1.14	FINA	1.09	6.15	0.91	6.06	0.94	6.05	1.05
5	13	HGO	ACATLAN	13061	ALCOHLOYA	20.2272	-98.4486	2101	0.80	FINA	0.06	0.51	0.02	0.25	0.03	0.32	0.04
6	13	HGO	ATLAPEXCO	13135	ATLAPEXCO	21.0178	-98.3461	163	1.97	MEDIA	0.70	5.14	0.56	4.91	0.63	5.16	0.72
7	13	HGO	ATOTONILCO EL GRANDE	13096	ATOTONILCO	20.2817	-98.6600	2108	1.27	FINA	0.01	0.04	0.03	0.00	0.04	0.00	0.08
8	13	HGO	HUASCA DE OCAMPO	13098	HUASCA	20.2100	-98.5778	2097	1.26	FINA	0.36	2.80	0.28	2.51	0.30	2.64	0.33
9	13	HGO	HUAUTLA	13139	HUAUTLA (DGE)	21.0314	-98.2858	506	2.20	MEDIA	0.75	4.85	0.56	4.35	0.59	4.50	0.65
10	13	HGO	HUEHUETLA	13144	HUEHUETLA	20.4600	-98.0761	466	1.00	FINA	1.92	6.25	1.78	6.33	1.85	6.33	2.04
11	13	HGO	HUEHUETLA DE REYES	13011	HUEHUETLA	21.1400	-98.4192	168	1.69	FINA	0.68	5.34	0.46	5.00	0.50	5.15	0.58
12	13	HGO	HUEHUETLA DE REYES	13137	TEHUATLAN	21.0625	-98.4967	293	1.69	FINA	0.55	5.45	0.53	5.31	0.61	5.73	0.63
13	13	HGO	JALTOCAN	13140	JALTOCAN	21.1322	-98.5383	232	1.00	FINA	0.42	5.42	0.32	5.02	0.35	5.14	0.37
14	13	HGO	METEPEC	13099	METEPEC	20.2375	-98.3203	2151	1.15	FINA	0.21	1.67	0.15	1.38	0.15	1.34	0.18
15	13	HGO	SAN AGUSTIN METZQUITLAN	13015	SAN AGUSTIN METZQUITLAN	20.5333	-98.6333	1397	0.85	FINA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
16	13	HGO	SAN AGUSTIN METZQUITLAN	13093	VENADOS	20.4717	-98.6689	1332	0.85	FINA	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
17	13	HGO	SAN FELIPE ORIZATLAN	13141	LA LAGUNA	21.2892	-98.5839	119	1.10	FINA	0.31	4.43	0.27	4.09	0.28	4.24	0.32
18	13	HGO	SAN FELIPE ORIZATLAN	13145	SAN FELIPE ORIZATLAN (DGE)	21.1711	-98.6078	170	1.10	FINA	0.57	5.51	0.48	5.30	0.50	5.36	0.54
19	20	OAX	SAN JUAN BAUTISTA TUXTEPEC	20008	BETHANIA	17.9183	-96.0064	67	2.20	FINA	3.26	6.55	2.64	6.63	2.75	6.63	3.14
20	20	OAX	SAN JUAN BAUTISTA TUXTEPEC	20004	PAPALOPAN	18.1497	-96.0831	28	2.20	FINA	2.95	6.45	2.25	6.54	2.39	6.53	2.71
21	20	OAX	SAN JUAN BAUTISTA TUXTEPEC	20294	SAN JUAN BAUTISTA TUXTEPEC (DGE)	18.0831	-96.1331	37	2.20	FINA	6.73	6.53	4.06	6.59	4.18	6.59	4.58
22	20	OAX	SAN JUAN COTZCOCON	20017	ZIHUALTEPEC	17.4500	-95.3831	95	1.70	GRUESA	2.51	6.47	2.26	6.60	2.29	6.59	2.35
23	20	OAX	SAN JUAN LALANA	20189	ZAPOTE	17.6831	-95.8906	83	2.30	MEDIA	5.44	6.70	3.88	6.82	3.97	6.81	4.42
24	20	OAX	SAN LUCAS QUITLAN	20014	CANTON	18.0167	-96.2831	62	1.45	MEDIA	7.01	6.60	5.31	6.75	5.46	6.74	6.50
25	20	OAX	SAN MIGUEL SOYALTEPEC	20152	TEMASCAL	18.2500	-96.4000	48	1.20	FINA	3.05	6.66	2.31	6.76	2.41	6.75	2.75
26	20	OAX	SANTA MARIA CHILCHOTLA	20029	SANTA MARIA CHILCHOTLA	18.2500	-96.8307	1375	1.09	FINA	9.40	5.36	7.23	5.56	7.65	5.54	8.38
27	20	OAX	SANTIAGO CHOPAMAM	20113	SAN JUAN DEL RIO	17.4317	-95.8303	634	1.60	FINA	3.21	6.31	2.66	6.46	2.48	6.43	2.76
28	21	PUE	ACATENO	21143	SAN JOSE ACATENO	20.1400	-97.2011	116	1.25	MEDIA	0.05	2.01	0.03	1.72	0.03	1.79	0.05
29	21	PUE	AJALPAN	21009	ALCOMUNGA	18.4306	-97.0250	2137	0.43	MEDIA	0.67	3.50	0.59	3.69	0.61	3.76	0.68
30	21	PUE	CHALCHICOMULA DE SESMA	21073	SAN ISIDRO CANOAS ALTAS	18.9828	-97.3522	3100	3.00	GRUESA	1.14	2.61	0.94	2.24	0.96	2.28	1.07
31	21	PUE	CHAPULCO	21023	CHAPULCO	18.6200	-97.4106	1975	0.35	FINA	0.00	0.17	0.00	0.07	0.00	0.09	0.00
32	21	PUE	CHIGNAUTLA	21098	LOS HUMEROS (CFE)	18.6782	-97.4061	2881	0.49	MEDIA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01

Tabla 8. Conformación de la base de datos de rendimientos de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) asociadas a las estaciones climatológicas.

	A	B	C	D	E	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
1	Cve_edo	Edo	Mpio	Cve_est	Nom_est	Rntos_SIAP	Tex_dom	Ren1EAc	Ren2EAc	Ren1EA1B	Ren2EA1B	Ren1EA2	Ren2EA2	Ren1EB1	Ren2EB1
2	7	CHP	OSTUACAN	7106	LAS PENITAS	0.42	FINA	0.06	2.24	0.13	2.27	0.11	2.27	0.09	2.27
3	7	CHP	TECPATAN	7020	VERTEADOR 1-2-3	0.22	FINA	0.08	2.22	0.11	2.26	0.11	2.26	0.10	2.26
4	7	CHP	TECPATAN	7112	MALPASO	0.22	FINA	0.11	2.25	0.12	2.29	0.12	2.28	0.11	2.29
5	13	HGO	ACATLAN	13061	ALHOLOYA	0.35	FINA	0.02	1.43	0.02	1.32	0.02	1.33	0.02	1.39
6	13	HGO	ATLAPEXCO	13135	ATLAPEXCO	0.00	MEDIA	0.00	2.16	0.00	2.16	0.00	2.16	0.00	2.17
7	13	HGO	ATOTONILCO EL GRANDE	13096	ATOTONILCO	0.70	FINA	0.05	1.34	0.04	1.15	0.04	1.14	0.04	1.31
8	13	HGO	HUASCA DE OCAMPO	13098	HUASCA	0.66	FINA	0.10	1.65	0.07	1.67	0.07	1.66	0.08	1.68
9	13	HGO	HUAUTLA	13139	HUAUTLA (DGE)	0.00	MEDIA	0.00	2.07	0.00	2.10	0.00	2.09	0.00	2.09
10	13	HGO	HUEHUETLA	13144	HUEHUETLA	0.35	FINA	0.02	2.15	0.03	2.18	0.02	2.17	0.01	2.18
11	13	HGO	HUEHUETLA DE REYES	13011	HUEHUETLA	0.00	FINA	0.00	2.10	0.00	2.10	0.00	2.10	0.00	2.12
12	13	HGO	HUEHUETLA DE REYES	13137	TEHUATLAN	0.00	FINA	0.00	2.15	0.00	2.17	0.00	2.16	0.00	2.18
13	13	HGO	JALTOCAN	13140	JALTOCAN	0.00	FINA	0.00	2.13	0.00	2.13	0.00	2.14	0.00	2.14
14	13	HGO	METEPEC	13099	METEPEC	0.35	FINA	0.00	1.65	0.03	1.64	0.03	1.61	0.03	1.66
15	13	HGO	SAN AGUSTIN METZQUITITL	13015	SAN AGUSTIN METZQUITITLAN	0.00	FINA	0.00	1.16	0.00	1.05	0.00	1.04	0.00	1.13
16	13	HGO	SAN AGUSTIN METZQUITITL	13093	VENADOS	0.00	FINA	0.00	0.82	0.00	1.06	0.00	1.06	0.00	1.15
17	13	HGO	SAN FELIPE ORIZATLAN	13141	LA LAGUNA	0.00	FINA	0.00	2.06	0.00	1.96	0.00	2.07	0.00	2.08
18	13	HGO	SAN FELIPE ORIZATLAN	13145	SAN FELIPE ORIZATLAN (DGE)	0.00	FINA	0.00	2.14	0.00	2.15	0.00	2.14	0.00	2.15
19	20	OAX	SAN JUAN BAUTISTA TUXTEP	20008	BETHANIA	0.00	FINA	0.00	2.24	0.00	2.27	0.00	2.27	0.00	2.27
20	20	OAX	SAN JUAN BAUTISTA TUXTEP	20084	PAPALOAPAN	0.00	FINA	0.00	2.20	0.00	2.24	0.00	2.24	0.00	2.24
21	20	OAX	SAN JUAN BAUTISTA TUXTEP	20294	SAN JUAN BAUTISTA TUXTEPEC (DGE)	0.00	FINA	0.00	2.24	0.00	2.26	0.00	2.26	0.00	2.26
22	20	OAX	SAN JUAN COTZOCON	20017	ZIHUALTEPEC	0.00	GRUESA	0.00	2.19	0.00	2.23	0.00	2.22	0.00	2.23
23	20	OAX	SAN JUAN LALANA	20189	ZAPOTE	0.00	MEDIA	0.00	2.24	0.00	2.28	0.00	2.27	0.00	2.28
24	20	OAX	SAN LUCAS OJITLAN	20014	CANTON	0.00	MEDIA	0.00	2.21	0.00	2.25	0.00	2.25	0.00	2.25
25	20	OAX	SAN MIGUEL SOYALTEPEC	20152	TEMASCAL	0.00	FINA	0.00	2.24	0.00	2.27	0.00	2.26	0.00	2.27
26	20	OAX	SANTA MARIA CHILCHOTLA	20029	SANTA MARIA CHILCHOTLA	0.52	FINA	0.00	1.90	0.00	1.95	0.00	1.94	0.00	1.95

En la Figura 35, puede observarse la distribución de las estaciones climatológicas con las que se estimó el rendimiento de maíz y frijol en el espacio geográfico del estado de Veracruz y estados vecinos.

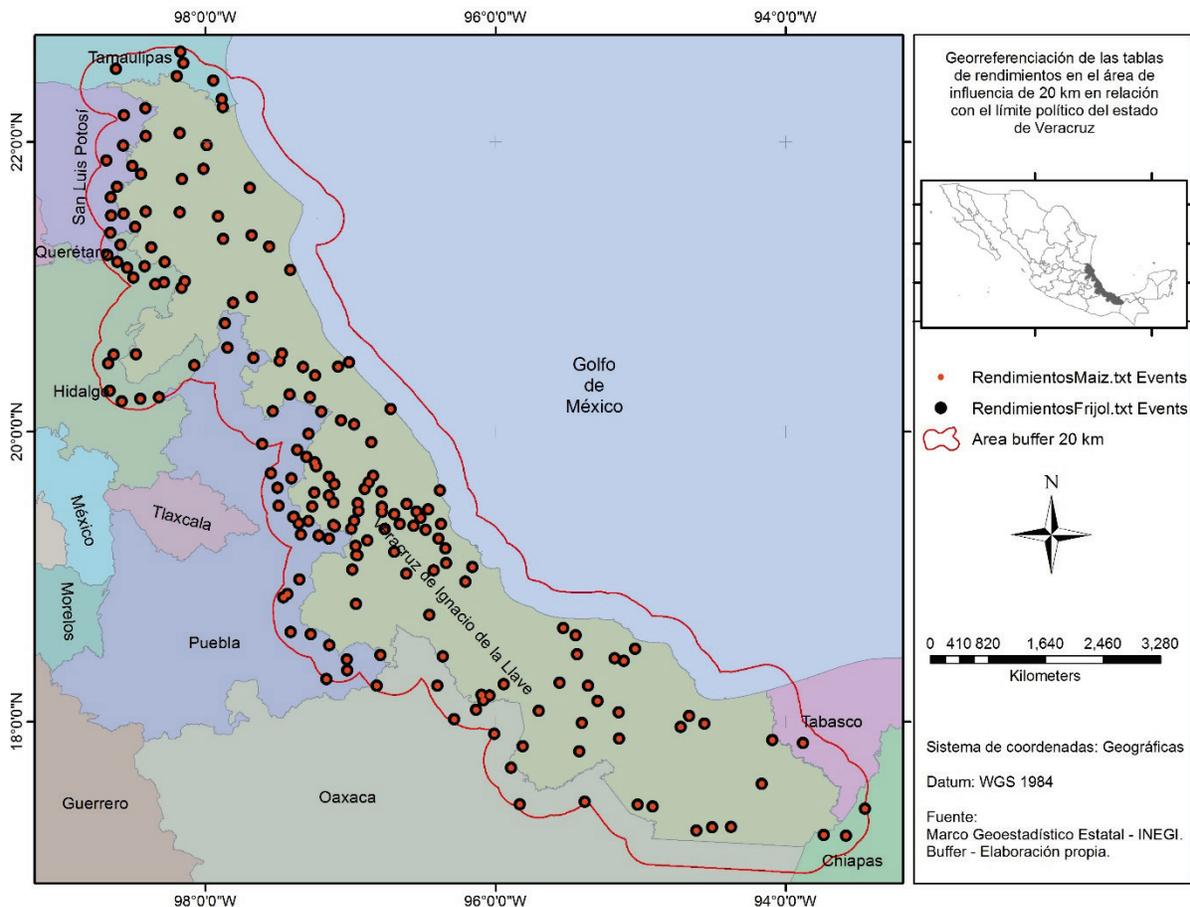


Figura 35. Georreferenciación de las tablas de rendimientos de maíz (*Zea mays* L.) y frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en el área de estudio.

Interpolación espacial de la información de rendimientos en los escenarios actual A1B, A2 y B1

El resultado del proceso de interpolación de los valores de rendimientos de maíz y frijol cubrieron toda el área del estado de Veracruz, por lo que se realizó un proceso cartográfico de recorte (Clip) para trabajar solo con las áreas de uso agrícola.

Caso maíz

En la Figura 36, se observa que en el escenario actual los rendimientos pueden alcanzar las 10 *ton/ha*; mientras que para el escenario A1B el rendimiento puede llegar hasta 7.15 *ton/ha* y; para los escenarios A2 y B1 pueden llegar a registrarse hasta 7.31 y 7.97 *ton/ha*, respectivamente. Es importante aclarar que estos rendimientos pueden llegar a darse si la lluvia se presenta en el tiempo y cantidad que requiere el cultivo y se siguen las prácticas culturales adecuadas.

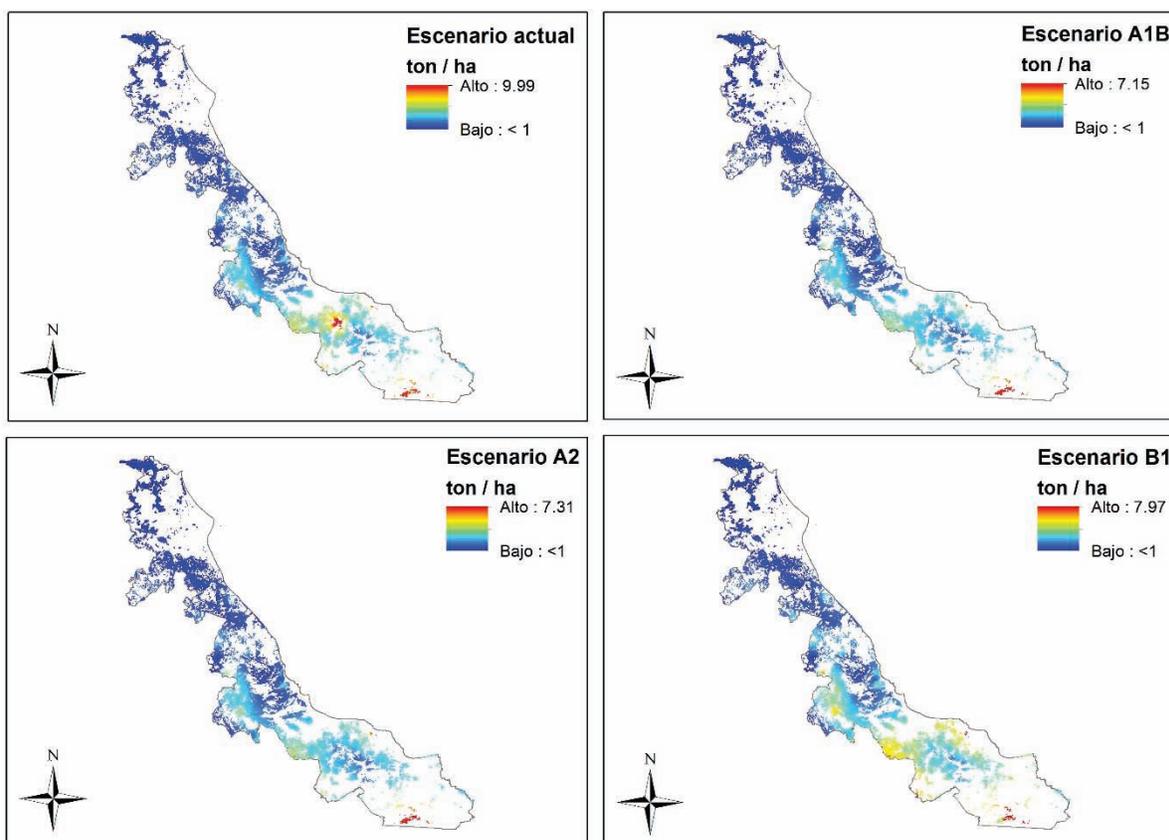


Figura 36. Rendimiento estimado de maíz (*Zea mays L.*) en diferentes escenarios climáticos en el estado de Veracruz.

Caso frijol

En los rendimientos del frijol, se observa que en el escenario actual los rendimientos pueden llegar a las 1.36 *ton/ha*; en el escenario A1B pueden registrarse 0.35 *ton/ha*; en tanto que para los escenarios A2 y B1 pueden registrarse 0.36 y 0.37 *ton/ha*, respectivamente. Al igual que en el caso de maíz, los rendimientos pueden registrarse si la lluvia es apropiada en temporalidad y cantidad siguiendo las prácticas culturales adecuadas (Figura 37).

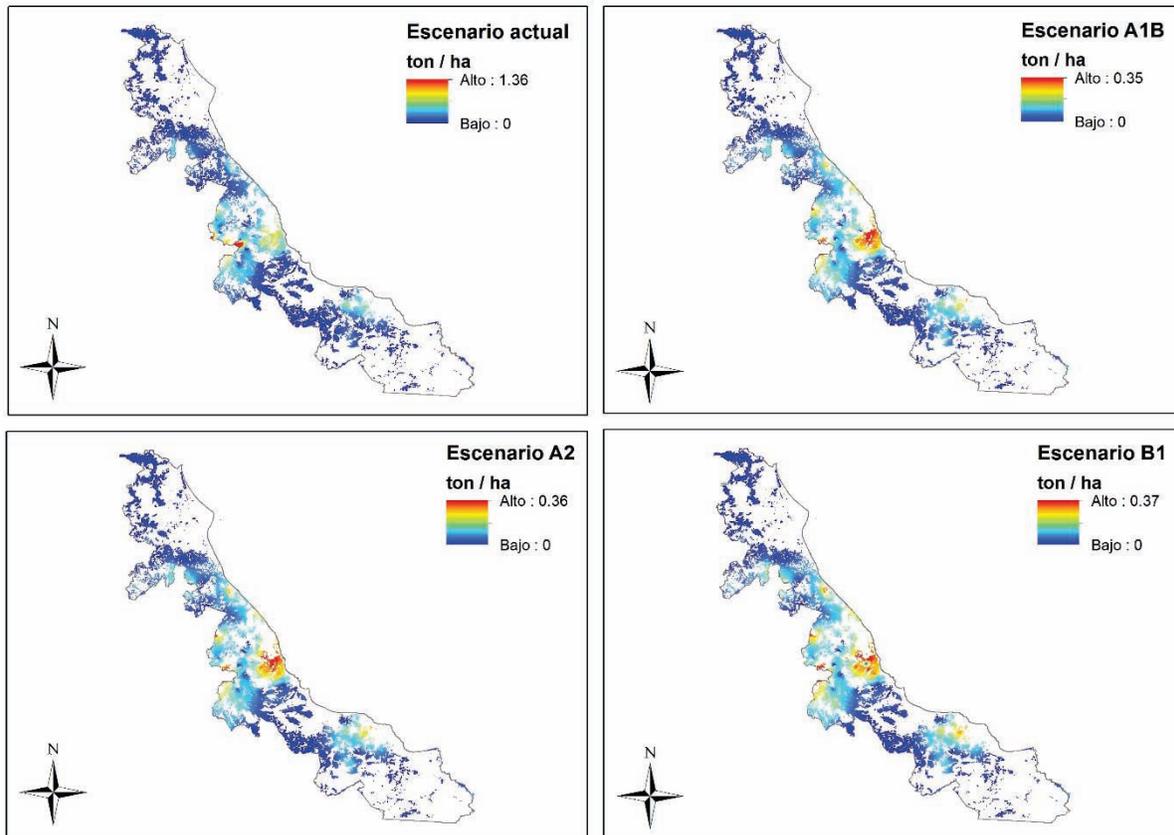


Figura 37. Rendimiento estimado de maíz (*Zea mays L.*) en diferentes escenarios climáticos en el estado de Veracruz.

Identificación de posibles cambios en los rendimientos de maíz y frijol a través de los diferentes escenarios de cambio climático.

Luego de realizar el proceso de interpolación espacial de la información de rendimientos en los escenarios actual, A1B, A2 y B1, se realizó el cálculo de promedios por municipio y posteriormente almacenada en bases de datos (Tabla 9) para ejecutar el ANOVA.

Tabla 9. Estructura de bases de datos empleadas para determinar si existe diferencia significativa entre los rendimientos en los diferentes escenarios climáticos.

↓	C1-T	C2	C3	C4	C5
	CVE_MUN	MEAN_Act	MEAN_A1B	MEAN_A2	MEAN_B1
1	001	1.2156453663	1.02350997192	1.02910946473	1.10983771165
2	002	1.41154951961	1.29698790739	1.36289664125	1.44388010620
3	003	1.70979829138	1.32387893286	1.36940205794	1.52831470988
4	004	0.69745848884	0.44526838023	0.52217853893	0.64762152796
5	005	3.40582535859	1.88691172400	1.98027552966	2.21444439612
6	006	0.44743554074	0.37333487551	0.38483791302	0.42875955337
7	007	0.72055386297	0.49171308952	0.55223633913	0.65126219722
8	008	1.99658638377	1.72664166795	1.77684154998	1.97137867263
9	009	0.73141749967	0.56714210463	0.61484487788	0.70840069639
10	010	1.01853291583	0.87866531922	0.89401432040	1.00271941859
11	011	1.23525740195	0.93383150771	1.01770144353	1.16455398119
12	012	4.18601552724	1.69818066636	1.78657015857	2.00636805842
13	013	0.32956834050	0.24702864272	0.25631966573	0.28972559641
14	014	2.34791691839	1.96570394843	2.02854632459	2.24730668759
15	015	2.89837340233	2.13925295875	2.28846635445	2.56543758946
16	016	1.38808993448	0.81242861451	0.96899498917	1.21878218098
17	017	0.34284482926	0.22410392472	0.24697437086	0.31020414479
18	018	0.45540494728	0.37446147893	0.38600658903	0.43170019584
19	019	0.41365296397	0.34505393573	0.35619931464	0.39249066682
20	020	0.99862944773	0.82303824765	0.85231924876	0.94212753605
21	021	1.65694669778	1.37690286139	1.43075967189	1.60290929768
22	022	2.03163244354	1.74581956212	1.79690307867	1.99202936481
23	023	1.03435644363	0.90002845580	0.90310927719	1.02761503774

Current Worksheet: Worksheet 1

↓	C1-T	C2	C3	C4	C5
	CVE_MUN	MEAN_Act	MEAN_A1B	MEAN_A2	MEAN_B1
1	001	0.11957853352	0.08454331223	0.08432472646	0.08516579515
2	002	0.01278336291	0.01231761103	0.01286278998	0.01383096234
3	003	0.03198169230	0.03167068139	0.03209157802	0.03226640813
4	004	0.22995034062	0.21538193350	0.26408761538	0.23145444059
5	005	0.03942021354	0.04045833710	0.04085447288	0.04323576946
6	006	0.07307661886	0.07275442388	0.07252719402	0.07837323513
7	007	0.03113085802	0.03629685050	0.03499700776	0.03038431499
8	008	0.23084878946	0.18232511353	0.18192224716	0.18367802512
9	009	0.14614187907	0.12854301910	0.16165880705	0.15050003428
10	010	0.14774880779	0.13207327380	0.12931564516	0.13691812875
11	011	0.02699138040	0.03188230568	0.03069831408	0.02878130583
12	012	0.04599039712	0.05571667193	0.05618947677	0.05898238317
13	013	0.00236196602	0.00201132363	0.00211278262	0.00218664480
14	014	0.11320874275	0.09547189177	0.09088929537	0.09602371043
15	015	0.07400485232	0.05541620352	0.05585026525	0.06053422316
16	016	0.17294807011	0.21677570177	0.21140379355	0.19364216575
17	017	0.20389878994	0.21198453843	0.21011123633	0.19539303737
18	018	0.09297834270	0.09129265518	0.09209861990	0.09741614792
19	019	0.1006650182	0.09510918603	0.09436234231	0.10191265066
20	020	0.07746119121	0.07484557014	0.07330779319	0.07973215048
21	021	0.09993368302	0.07296211510	0.07133600920	0.07288019972
22	022	0.16283161233	0.12458864800	0.12380982609	0.12915418110
23	023	0.11688512266	0.10823004867	0.10574097544	0.11242738151

Current Worksheet: Worksheet 2

Los tratamientos se encontraron representados por los rendimientos en los diferentes escenarios climáticos (columnas), mientras que las unidades experimentales se encuentran representadas por los municipios del estado de Veracruz (líneas). Los resultados del ANOVA se muestran a continuación.

Caso maíz

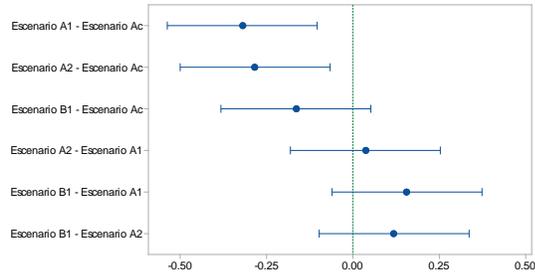
Se encontró que hay diferencias significativas entre los rendimientos de maíz en al menos uno de los escenarios climáticos (Tabla 10).

Tabla 10. Análisis de varianza de los rendimientos de maíz (*Zea mays L.*) en los diferentes escenarios climáticos.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F calculado	Valor p
Tratamientos	3	12.91	4.3038	5.81	0.001
Error	820	607.37	0.7407		
Total	823	620.29			

El rendimiento del escenario climático actual es diferente a los escenarios A1B y A2, sin embargo se observó que no habría variación con los rendimientos estimados en el escenario B1 (Tabla 11 y Figura 38).

Figura 38. Intervalos de confianza simultáneos de Tuckey al 95% para el cultivo de maíz (*Zea mays L.*).



Si un intervalo no contiene cero, el correspondiente valor de media es significativamente diferente.

Escenario	N	Media	Grupo
Actual	206	1.469	A
B1	206	1.3048	A B
A2	206	1.1859	B
A1B	206	1.1489	B

Tabla 11. Agrupación de rendimientos de maíz (*Zea mays L.*) en distintos escenarios climáticos con el método de Tuckey al 95% de confianza.

Caso frijol

Respecto al frijol, se encontró que no existe diferencia significativa entre los rendimientos en los diferentes escenarios climáticos (Tabla 12).

Tabla 12. Análisis de varianza del rendimiento de frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) en diferentes escenarios climáticos.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F calculado	Valor p
Tratamientos	3	0.01650	0.005499	1.42	0.236
Error	820	3.17961	0.003878		
Total	823	3.19610			

Comportamientos de rendimientos en diferentes escenarios

En este apartado se muestran las tendencias de rendimientos de maíz en diferentes escenarios en el futuro inmediato (2011-2030). Como se mencionó anteriormente, se realizó algebra de mapas restando el rendimiento de cada escenario de cambio climático al escenario actual, los valores resultantes fueron clasificados en clases para determinar zonas donde aumento, disminuyó o permaneció sin cambios los rendimientos en relación con el escenario climático actual.

Es importante señalar que los resultados que se describen en este apartado hacen referencia a las zonas agrícolas del estado de, es decir, la variación de rendimientos no se encuentran representados en las zonas donde actualmente se produce maíz; en el apartado siguiente es donde se hace una descripción de la

variación de los rendimientos considerando los niveles de potencial productivo determinados por el INIFAP (Díaz *et al.*, 2012).

Caso maíz

En la Figura 39, se observa que el maíz en el escenario A1B, no se presentarán cambios en sus rendimientos en la zona norte del estado, específicamente en municipios como Pánuco y Tihuatlán. Sin embargo, para el resto del estado los cambios serán negativos, lo que implica la reducción en la producción.

En la Figura 40 se muestra la variación del rendimiento de maíz en el escenario A2, donde se observó que advierte que éstos se incrementarán en las zonas donde no habría cambios en la región de Huayacocotla, Tihuatlán, Coatzintla y Coyutla.

Finalmente en lo que respecta a la variación de rendimientos del cultivo en cuestión, en el escenario B1, se observó que podrían presentarse condiciones de rendimientos iguales a los actuales en la mayor parte del estado en su zona norte y una pequeña parte del centro. La parte del sur es la que se vería afectada con la disminución de rendimientos y, a diferencia de los dos escenarios anteriores, se encuentran algunas pequeñas zonas donde los rendimientos podrían aumentar (Figura 41).

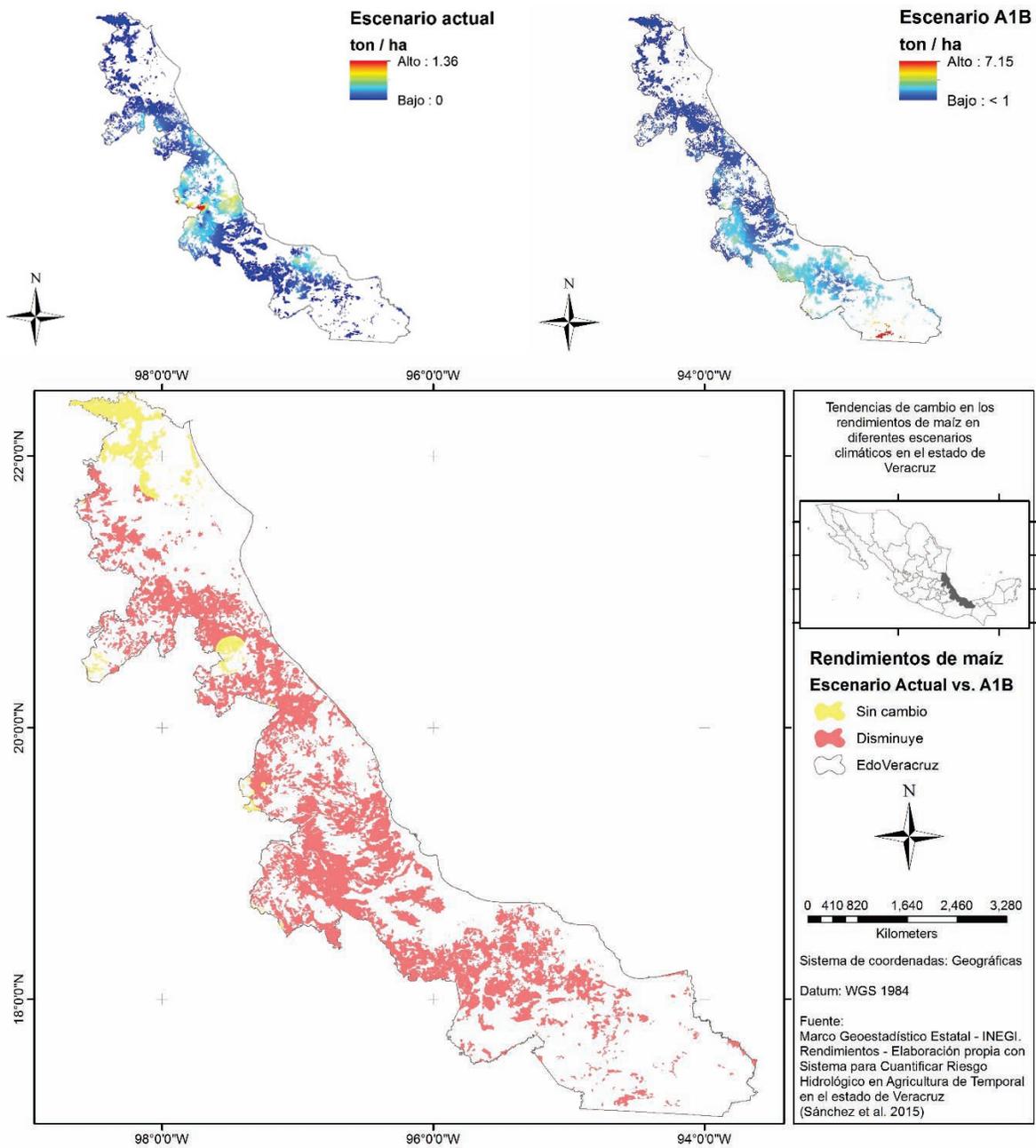


Figura 39. Tendencias de cambio de los rendimientos de maíz (*Zea mays L.*) en el escenario climático A1B en relación con el escenario actual en el estado de Veracruz.

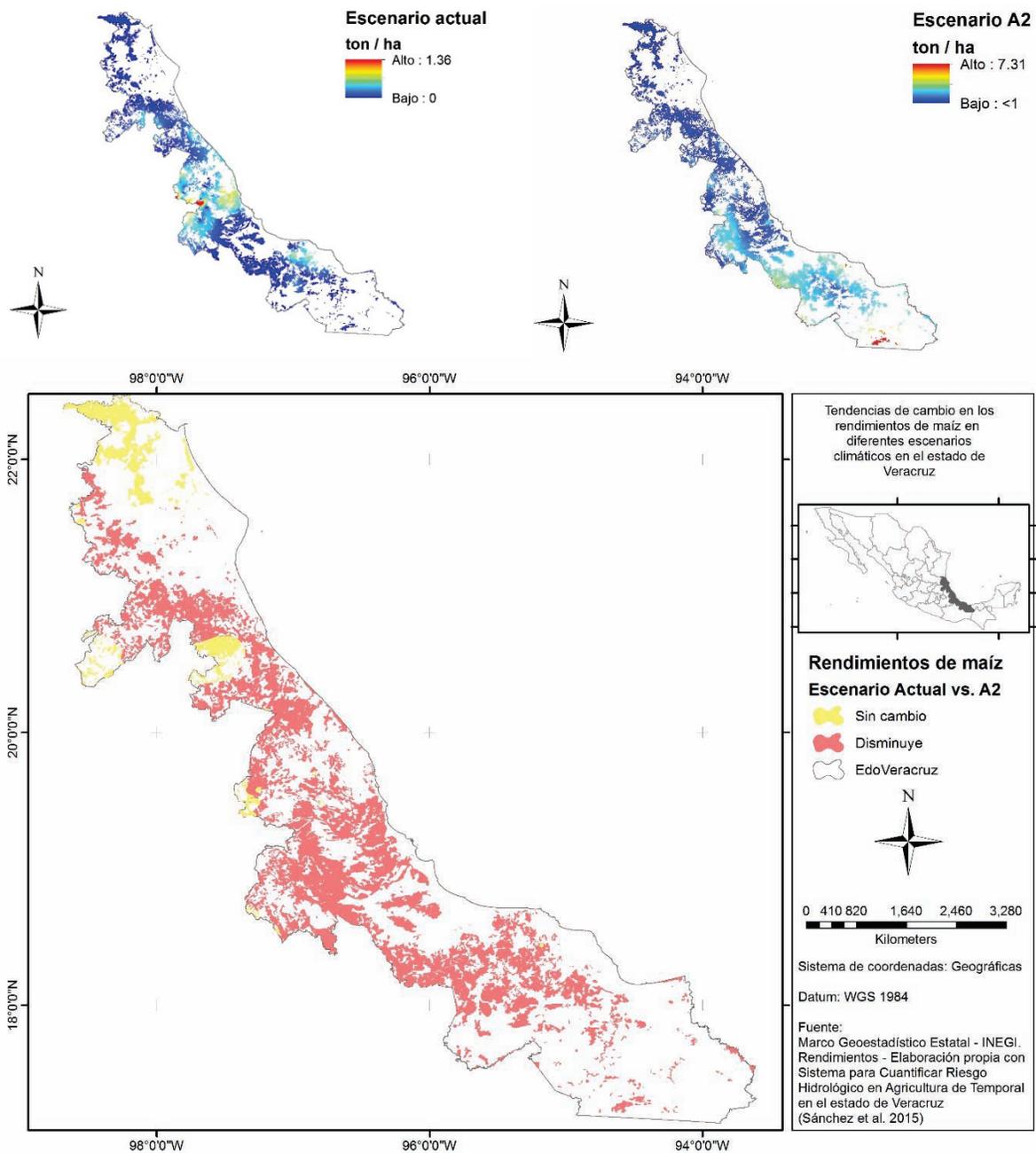


Figura 40. Tendencias de cambio de los rendimientos de maíz (*Zea mays L.*) en el escenario climático A2 en relación con el escenario actual en el estado de Veracruz.

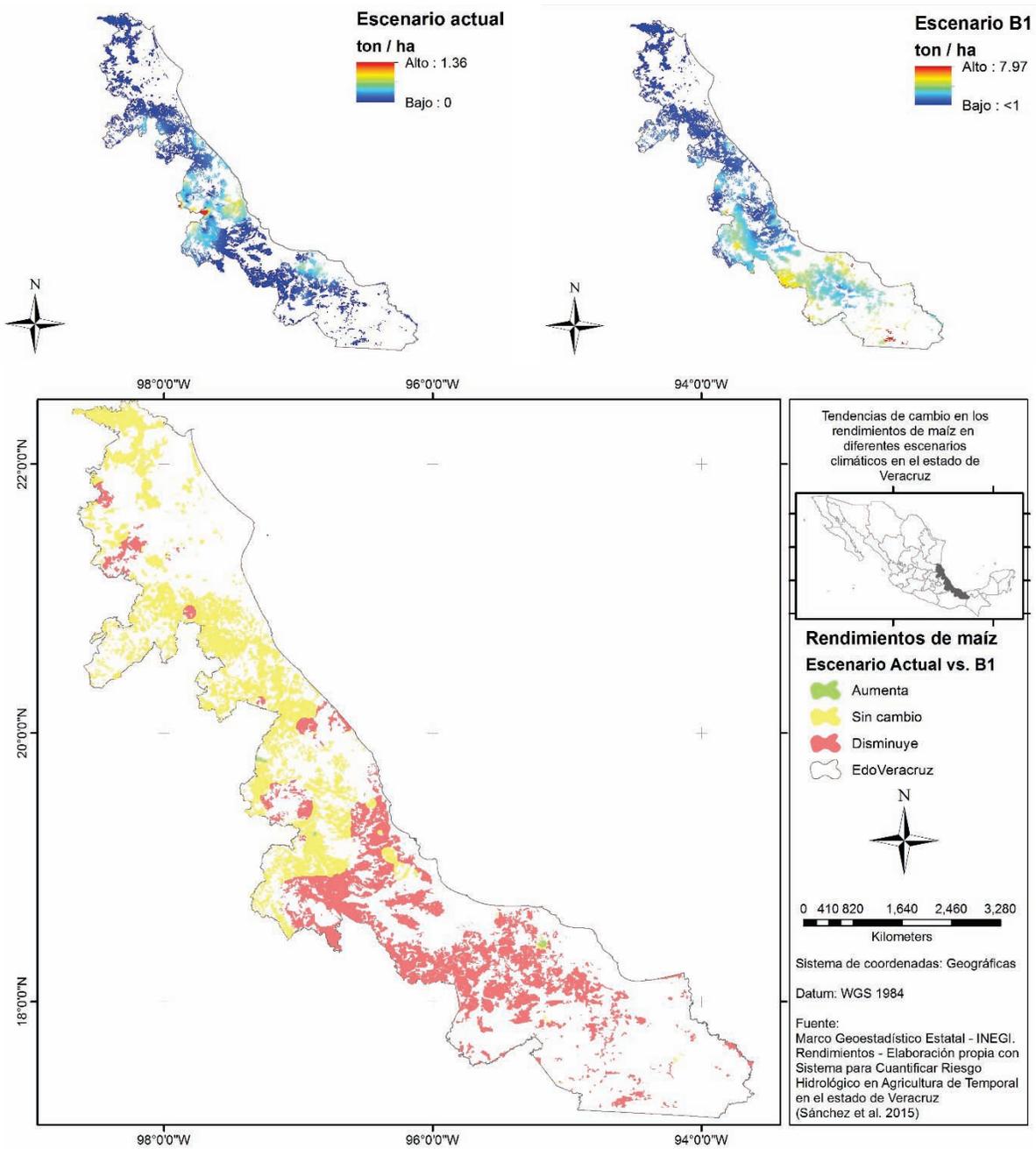


Figura 41. Tendencias de cambio de los rendimientos de maíz (*Zea mays L.*) en el escenario climático B1 en relación con el escenario actual en el estado de Veracruz.

Para el frijol en el que también se muestran las tendencias de rendimientos de este cultivo en diferentes escenarios en el futuro inmediato (2011-2030).

Los resultados aquí descritos hacen referencia a la zona agrícola del estado de Veracruz, es decir, la variación de rendimientos no se encuentran representados en las zonas donde actualmente se produce frijol; en el apartado siguiente es donde se hace una descripción de la variación de los rendimientos considerando los niveles de potencial productivo determinados por el INIFAP (Díaz *et al.*, 2012).

Caso frijol

En las Figuras 42 y 43, se muestra que el frijol en las condiciones de los escenarios A1B y A2, no se presentarían cambios casi en la totalidad del territorio estatal con excepción de los municipios de Perote, Santiago Tuxtla, Actopan, Coatepec y Teocelo entre otros, que muestran posibles decrecimientos en el rendimiento. Para este escenario sobresale el aumento de rendimiento en pequeñas áreas de municipios como Actopan, Puente Nacional, Paso de Ovejas y La Antigua ubicados en la zona centro del estado, en tanto que para la región sur se puede mencionar que en los municipios de José Azueta e Isla puede presentarse un incremento en el rendimiento, como una muestra de que el cambio climático podría ser en un escenario de futuro cercano podría ser benéfico.

Finalmente, para el escenario B1 se observa que las tendencias son las mismas que las expuestas en los dos escenarios descritos en el párrafo anterior, solo que en los municipios de Actopan, Puente Nacional, Paso de Ovejas y La Antigua se presentaría una disminución en el rendimiento (Figura 44).

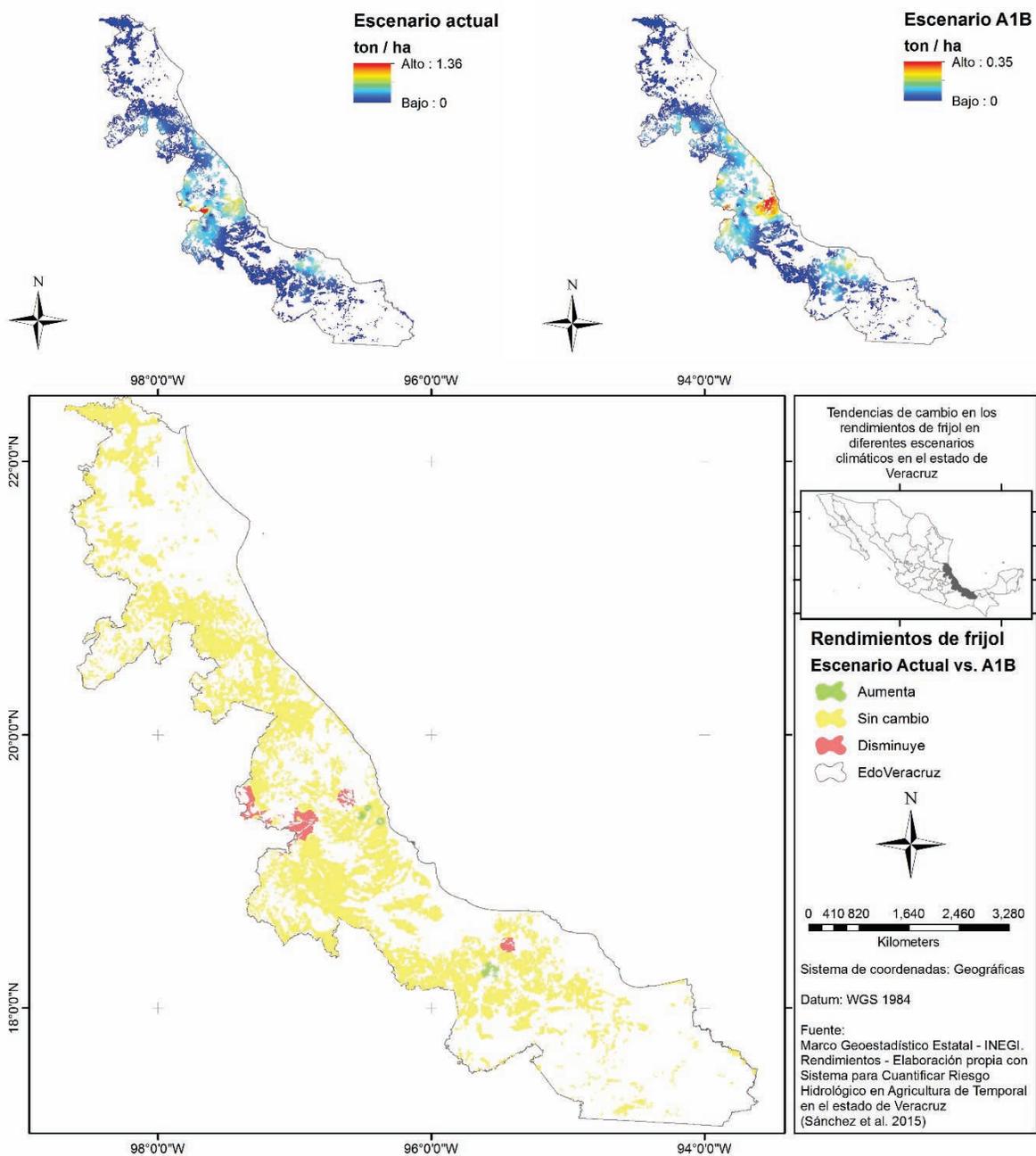


Figura 42. Tendencias de cambio de los rendimientos de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en el escenario climático A1B en relación con el escenario actual en el estado de Veracruz.

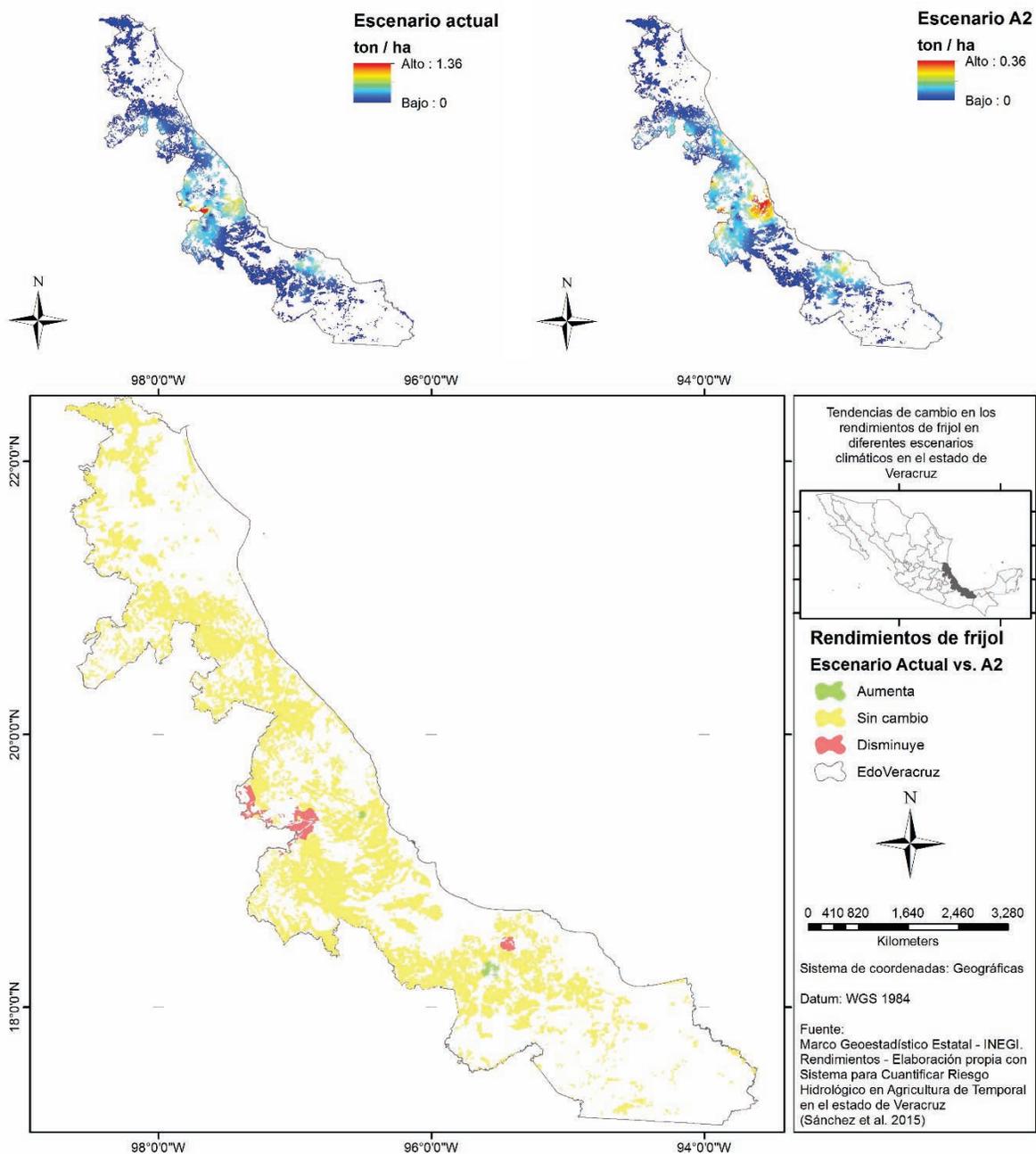


Figura 43. Tendencias de cambio de los rendimientos de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en el escenario climático A2 en relación con el escenario actual en el estado de Veracruz.

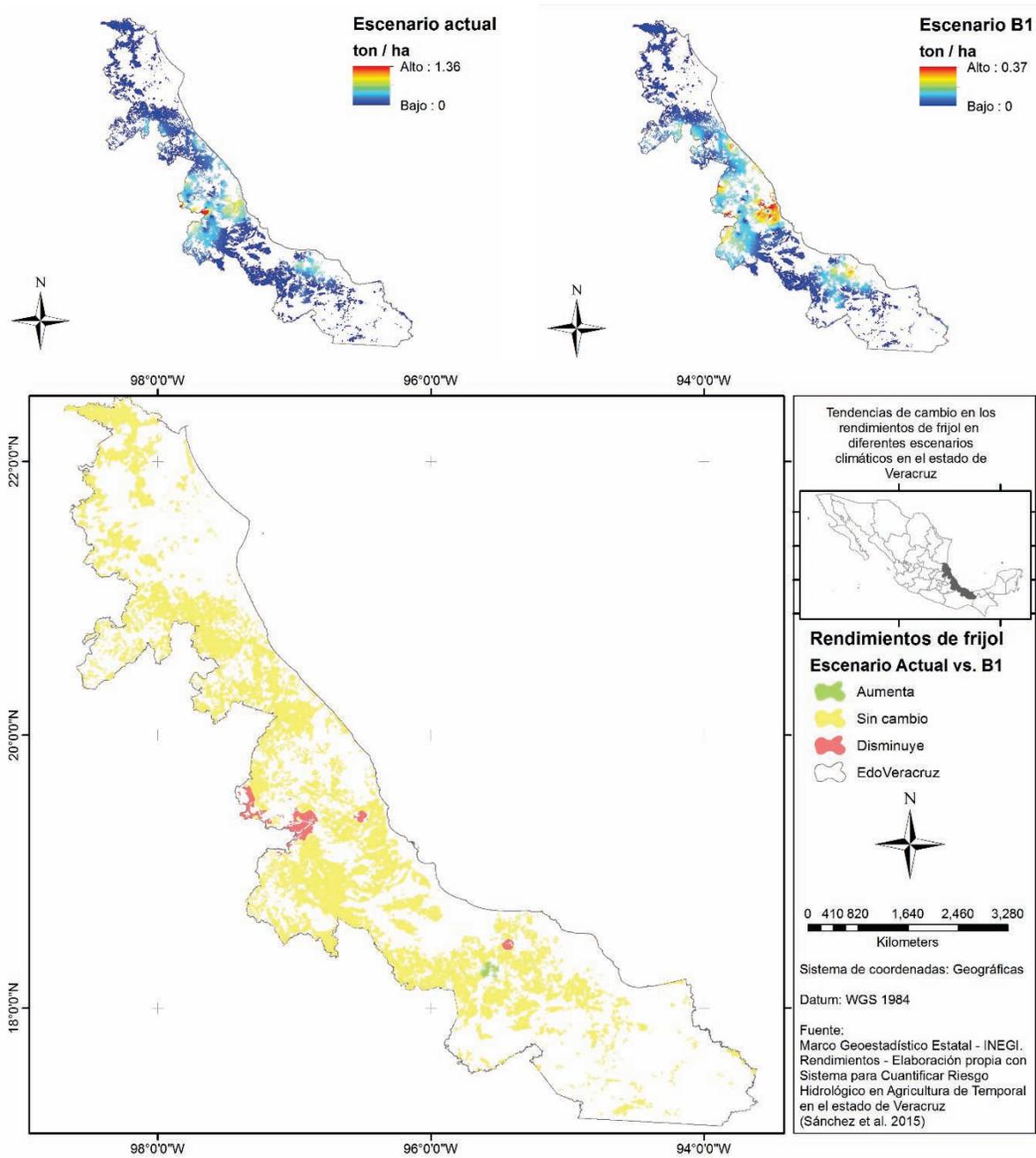


Figura 44. Tendencias de cambio de los rendimientos de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en el escenario climático B1 en relación con el escenario actual en el estado de Veracruz.

Tendencias de rendimientos en zonas de potencial productivo

Caso maíz, escenario A1B

En este escenario de futuro inmediato (2011-2030), se observa que los rendimientos en la mayoría del territorio estatal en los tres niveles de potencial productivo podrían disminuir. Los niveles de alto y medio potencial, bajo el escenario climático en cuestión es probable que los rendimientos disminuyan entre 87 y 88% de las superficies, respectivamente. En áreas de potencial productivo bajo, las condiciones climáticas no muestran tendencias favorables por lo que, en caso de que el cultivo se desarrolle en estas zonas, este podría verse afectado por condiciones climáticas adversas en el futuro.

La Tabla 13, muestra el desglose de las posibles variaciones de los rendimientos para cada uno de los Distritos de Desarrollo Rural (DDR) que se encuentran en el estado.

Tabla 13. Desagregación de las variaciones de rendimientos en el escenario A1B para el cultivo de maíz (*Zea mays L.*) a nivel de Distrito de Desarrollo Rural.

DDR	Nombre DDR	Potencial productivo	Superficie (ha)	Variación de rendimientos en el escenario A1B			
				Sin cambio		Disminuye	
				ha	%	ha	%
I	HUAYACOCOTLA	Alto	1,723	746	43	977	57
		Medio	102,515	6,520	6	95,995	94
		No apto	76,953	2,604	3	74,349	97
II	TUXPAN	Alto	553	45	8	509	92
		Medio	169,883	26,683	16	143,200	84
		No apto	31,158			31,158	100
III	MARTINEZ DE LA TORRE	Alto	20			20	100
		Medio	43,871			43,871	100
		No apto	155,642	407	< 1	155,234	100
IV	COATEPEC	Alto	31,265	143	< 1	31,122	100
		Medio	71,897			71,897	100
		No apto	89,829	6,115	7	83,714	93
V	FORTIN	Alto	6,013			6,013	100
		Medio	102,530	365	< 1	102,166	100
		No apto	270,013	1,478	1	268,535	99
VI	LA ANTIGUA	Medio	33,591			33,591	100
		No apto	4,193			4,193	100
VII	VERACRUZ	Medio	57,071			57,071	100
		No apto	61,062			61,062	100
VIII	CIUDAD ALEMAN	Medio	5,758			5,758	100
		No apto	164,062			164,062	100
IX	SAN ANDRES TUXTLA	Medio	78,094			78,094	100
		No apto	123,970			123,970	100
X	JALTIPAN	No apto	36,101			36,101	100
XI	CHOAPAS	No apto	21,000			21,000	100
XII	PANUCO	Alto	6,900	4,924	71	1,976	29
		Medio	134,309	61,723	46	72,586	54
		No apto	46			46	100

En donde se observa que los DDR de Huayacocotla (I) y Pánuco (XII), presentarán poca variación en sus rendimientos bajo el escenario A1B. En el DDR de Huayacocotla, el 43% de la superficie con potencial productivo alto de maíz el rendimiento no presentaría variaciones; mientras que en el DDR de Pánuco, el 71% de la superficie en el nivel de potencial productivo alto, y el 46% de la superficie con potencial productivo medio no habría cambios en el rendimiento. Para el resto de los DDR se espera, en casi la totalidad de superficies en los tres niveles de potencial productivo, que los rendimientos disminuyan en el futuro inmediato bajo condiciones del escenario de cambio climático A1B.

La variación de los rendimientos bajo condiciones del escenario A1B en el futuro inmediato a nivel municipal, puede consultar la Figura 45 la cual solo funge como una representación ejemplificada, el del tamaño original se encuentra en la pestaña anexa del presente documento.

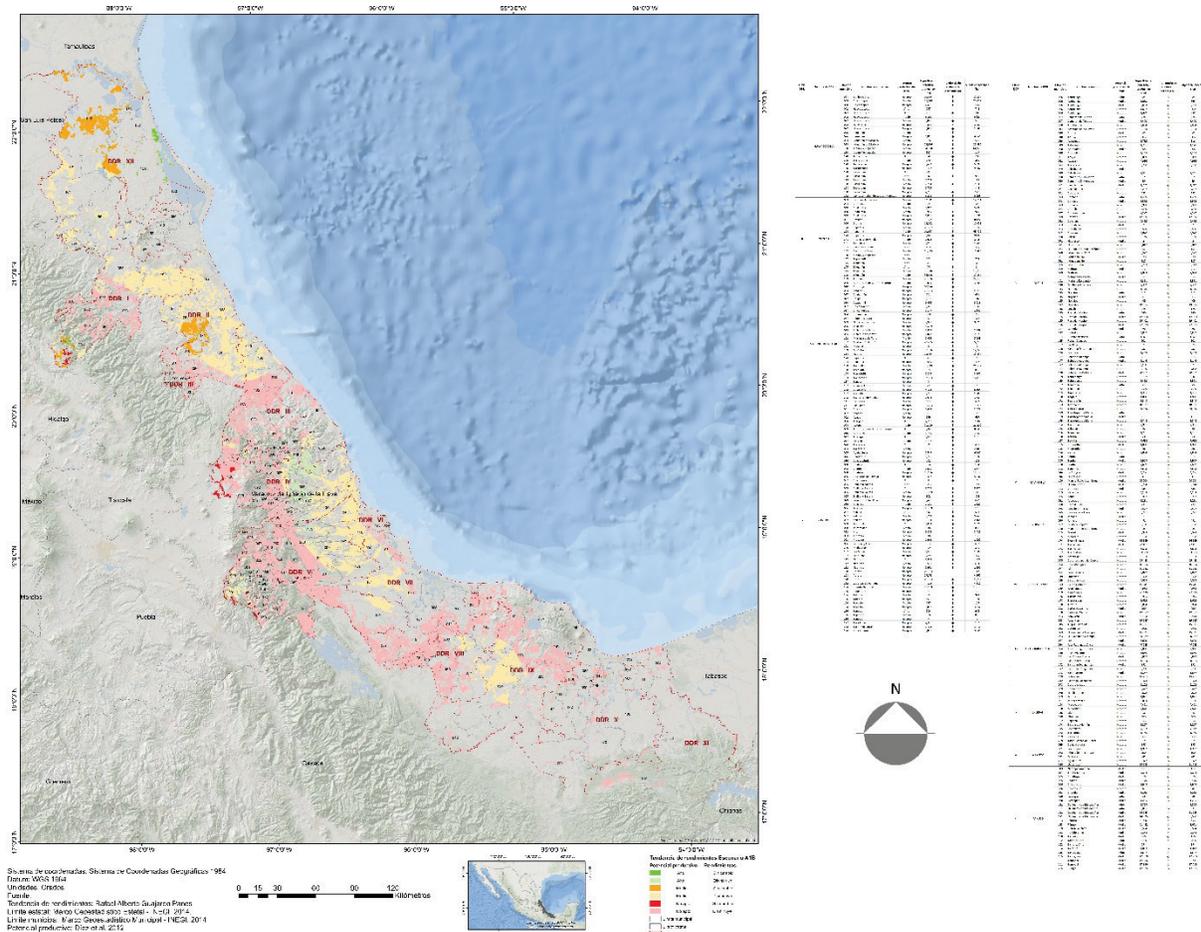


Figura 45. Tendencia de rendimientos de maíz (*Zea mays* L.) en áreas de potencial productivo para el escenario A1B periodo 2011-2030 en el estado de Veracruz.

Caso maíz, escenario A2

Bajo las condiciones del escenario A2, se aprecia que podría haber una mayor afectación en las áreas de potencial productivo en el futuro inmediato. Tal es el caso del DDR de Fortín (V), el cual registra la mayor cantidad de superficie sembrada de maíz en el estado, ya que en la totalidad de la superficie con potencial productivo alto, se espera que se vean disminuidos los rendimientos, lo cual implica afectaciones en la producción. Este mismo patrón se ve reflejado en las áreas de potencial productivo medio en el mismo DDR. Otra zona que presenta situaciones similares es el que compete al DDR de Coatepec (IV), solo que en esta zona podría ser una situación de mayor afectación, ya que son poco más de 31,000 ha de potencial productivo alto las que presentarían una reducción de rendimientos y casi 72,000 ha las que se verían afectadas en potencial productivo medio (Tabla 14).

Tabla 14. Desagregación de las variaciones de rendimientos en el escenario A2 para el cultivo de maíz (*Zea mays L.*) a nivel de Distrito de Desarrollo Rural.

DDR	Nombre DDR	Potencial productivo	Superficie (ha)	Variación de rendimientos en el escenario A2			
				Sin cambio		Disminuye	
				ha	%	ha	%
I	HUAYACOCOTLA	Alto	1,723	1,723	100		
		Medio	102,515	9,879	10	92,636	90
		No apto	76,953	11,003	14	65,950	86
II	TUXPAN	Alto	553	183	33	370	67
		Medio	169,883	37,655	22	132,228	78
		No apto	31,271	5,213	17	26,058	83
III	MARTINEZ DE LA TORRE	Alto	20			20	100
		Medio	43,871			43,871	100
		No apto	155,052	294	< 1	154,758	100
IV	COATEPEC	Alto	31,265	435	1	30,831	99
		Medio	71,897			71,897	100
		No apto	90,305	13,068	14	77,237	86
V	FORTIN	Alto	6,013			6,013	100
		Medio	102,530	1,304	1	101,226	99
		No apto	270,013	2,037	1	267,976	99
VI	LA ANTIGUA	Medio	33,591			33,591	100
		No apto	4,193			4,193	100
VII	VERACRUZ	Medio	57,071			57,071	100
		No apto	61,062			61,062	100
VIII	CIUDAD ALEMAN	Medio	5,758			5,758	100
		No apto	164,062			164,062	100
IX	SAN ANDRES TUXTLA	Medio	78,094			78,094	100
		No apto	123,970	737	1	123,232	99
X	JALTIPAN	No apto	36,101			36,101	100
XI	CHOAPAS	No apto	21,000			21,000	100
XII	PANUCO	Alto	6,900	5,044	73	1,856	27
		Medio	134,310	70,213	52	64,096	48
		No apto	46		0	46	100

Caso maíz, escenario B1

En este escenario, en contraste con los dos anteriores, se observa el aumento de rendimientos y se presentan en áreas de potencial productivo no apto, tal es el caso de los DDR de Huayacocotla (I), Martínez de la Torre (III), Coatepec (IV), Fortín (V) y San Andrés Tuxtla (IX). Estos patrones proporcionan un indicativo de que las condiciones podrían ser favorables en zonas donde el maíz no es una opción de cultivo (Tabla 15).

Tabla 15. Desagregación de las variaciones de rendimientos en el escenario B1 para el cultivo de maíz (*Zea mays L.*) a nivel de Distrito de Desarrollo Rural.

DDR	Nombre DDR	Potencial productivo	Superficie (ha)	Variación de rendimientos en el escenario B1					
				Aumenta		Sin cambio		Disminuye	
				ha	%	ha	%	ha	%
I	HUAYACOCOTLA	Alto	1,723			1,723	100		
		Medio	94,662			94,662	100		
		No apto	76,953	143	< 1	76,810	100		
II	TUXPAN	Alto	553			548	99	6	1
		Medio	176,820			168,967	96	7,853	4
		No apto	29,548			29,548	100		
III	MARTINEZ DE LA TORRE	Alto	20			20	100		
		Medio	43,914			42,998	98	915	2
		No apto	157,371	2,100	1	120,120	76	35,151	22
IV	COATEPEC	Alto	31,033			31,033	100		
		Medio	60,996			27,280	45	33,716	55
		No apto	89,710	87	< 1	51,291	57	38,331	43
V	FORTIN	Alto	6,013			6,013	100		
		Medio	105,181			27,760	26	77,421	74
		No apto	270,013	548	< 1	108,183	40	161,282	60
VI	LA ANTIGUA	Alto	232					232	100
		Medio	32,126			8,730	27	23,396	73
		No apto	4,193					4,193	100
VII	VERACRUZ	Medio	67,659			19,374	29	48,285	71
		No apto	60,631			561	1	60,070	99
VIII	CIUDAD ALEMAN	Medio	5,758					5,758	100
		No apto	164,062					164,062	100
IX	SAN ANDRES TUXTLA	Medio	78,094			102	< 1	77,992	100
		No apto	123,998	2,975	2	3,105	3	117,918	95
X	JALTIPAN	No apto	35,830			403	1	35,427	99
XI	CHOAPAS	No apto	21,769			923	4	20,846	96
XII	PANUCO	Alto	6,900			5,669	82	1,230	18
		Medio	134,309			107,131	80	27,178	20
		No apto	46			28	60	18	40

Puede consultar la información tabular y geográfica sobre los detalles de rendimientos bajo este escenario a nivel municipal en la Figura 47, la cual se encuentra anexa en tamaño original al final del documento.

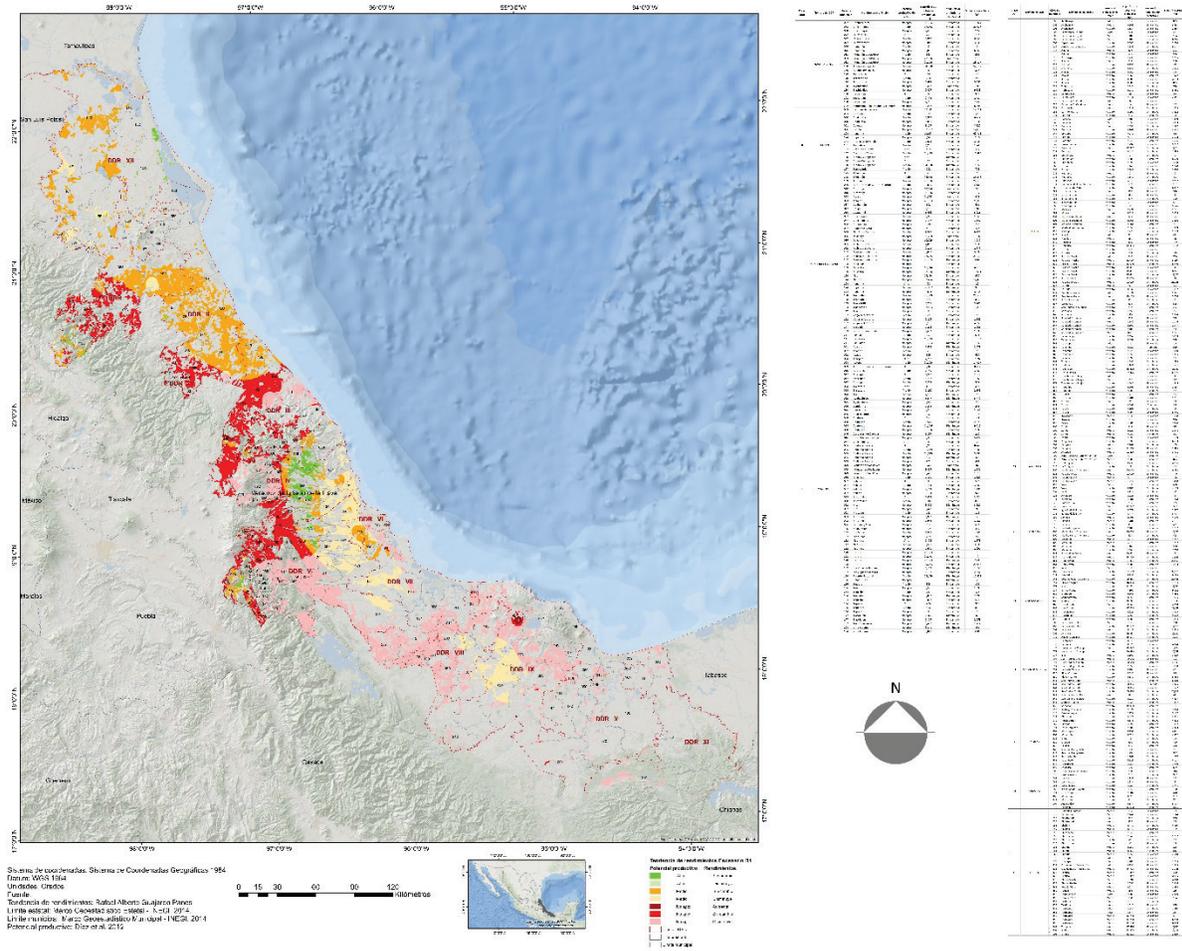


Figura 47. Tendencia de rendimientos de maíz (*Zea mays* L.) en áreas de potencial productivo para el escenario B1 periodo 2011-2030 en el estado de Veracruz.

Caso frijol, escenario A1B

En el caso de frijol en el escenario A1B, las condiciones de cambio climático no afectará los rendimientos en los DDR, a excepción del DDR de Coatepec en el que el 21% de la superficie con alto potencial productivo disminuiría sus rendimientos, al igual que para el 75 y 77% de las superficies con potencial medio y no apto, respectivamente (Tabla 16).

Tabla 16. Desagregación de las variaciones de rendimientos en el escenario A1B para el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) a nivel de Distrito de Desarrollo Rural.

DDR	Nombre DDR	Potencial productivo	Superficie (ha)	Variación de rendimientos en el escenario A1B					
				Aumenta		Sin cambio		Disminuye	
				ha	%	ha	%	ha	%
I	HUAYACOCOTLA	Alto	6,395			6,395	100		
		Medio	6,492			6,492	100		
		No apto	170,464			170,464	100		
II	TUXPAN	No apto	202,006			202,006	100		
III	MARTINEZ DE LA TORRE	No apto	199,816			199,816	100		
IV	COATEPEC	Alto	24,000			18,951	79	5,049	21
		Medio	17,632			13,195	75	4,437	25
		No apto	146,241	1,179	1	113,065	77	31,997	22
V	FORTIN	Alto	8,859			8,859	100		
		Medio	7,125			7,125	100		
		No apto	368,545			365,838	99	2,707	1
VI	LA ANTIGUA	No apto	50,972	5,805	11	36,419	71	8,748	17
VII	VERACRUZ	No apto	103,381			103,381	100		
VIII	CIUDAD ALEMAN	No apto	166,716			166,716	100		
IX	SAN ANDRES TUXTLA	No apto	205,168	7,904	4	189,687	92	7,577	4
X	JALTIPAN	No apto	36,101			36,101	100		
XI	CHOAPAS	No apto	21,000			21,000	100		
XII	PANUCO	No apto	139,112			139,112	100		

La distribución geográfica del comportamiento de los rendimientos en los diferentes niveles de potencial productivo, pueden observarse en la Figura 48. Observe como prevalecen las zonas donde no existen condiciones para el potencial productivo de frijol en el estado y como los rendimientos no presentan cambios. Así mismo en las zonas montañosas de los DDR de Orizaba (DDR V), Coatepec (DDR IV) y Huayacocotla (I), muestran zonas de potencial productivo alto y medio sin cambios en los rendimientos.

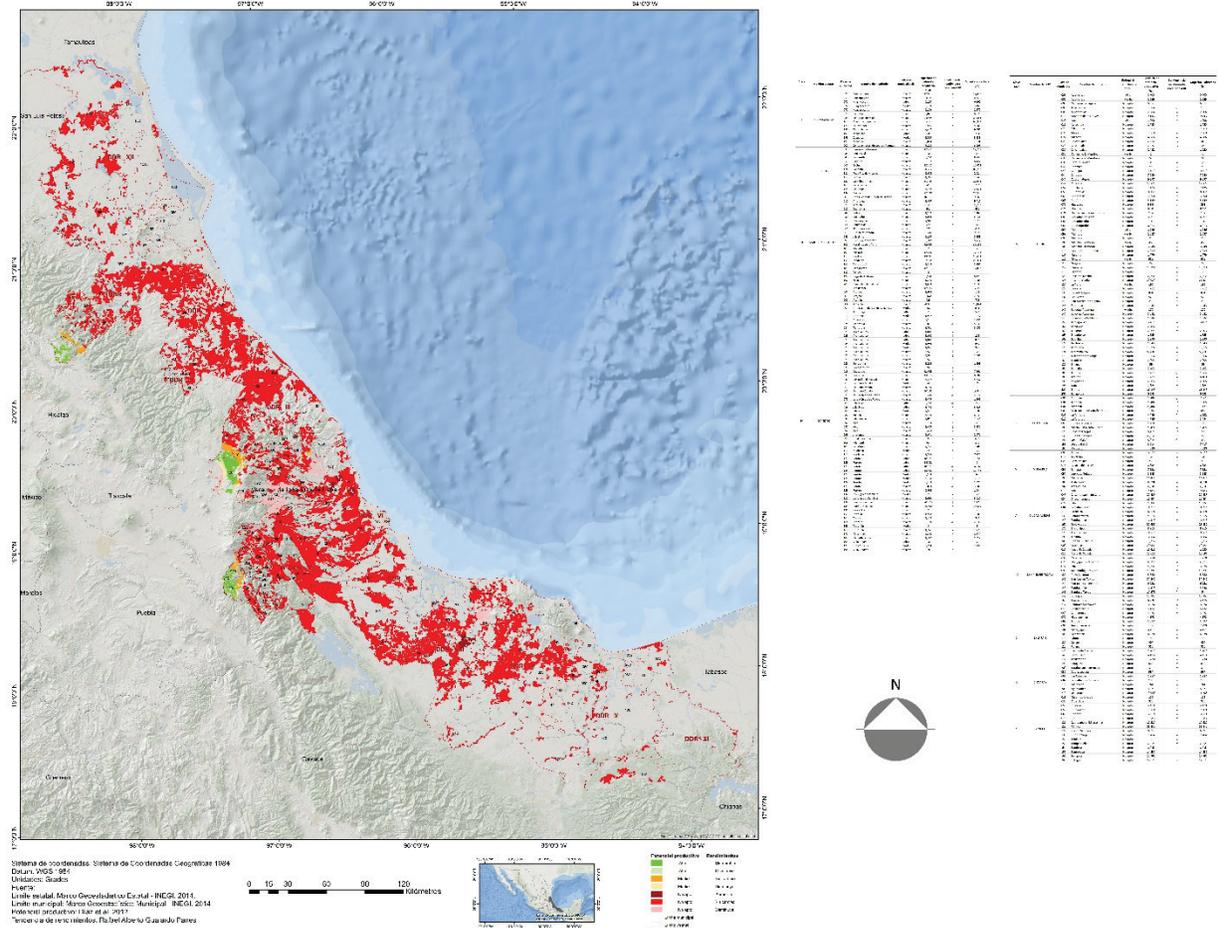


Figura 48. Tendencia de rendimientos de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en áreas de potencial productivo para el escenario A1B periodo 2011-2030 en el estado de Veracruz.

Caso frijol, escenario A2

En este caso no se presentan cambios en los rendimientos de frijol, a excepción del DDR de Coatepec (IV) con una disminución mínima de rendimiento en el 22, 25 y 21% de las superficies con potencial productivo alto medio y no apto, respectivamente. En el caso de La Antigua (VI) y San Andrés Tuxtla (IX), se registra un incremento mínimo de rendimientos en zonas de potencial no apto para el frijol (Tabla 17).

Tabla 17. Desagregación de las variaciones de rendimientos en el escenario A2 para el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) a nivel de Distrito de Desarrollo Rural.

DDR	Nombre DDR	Potencial productivo	Superficie (ha)	Variación de rendimientos en el escenario A2					
				Aumenta		Sin cambio		Disminuye	
				ha	%	ha	%	ha	%
I	HUAYACOCOTLA	Alto	6,395			6,395	100		
		Medio	6,492			6,492	100		
		No apto	170,464			170,464	100		
II	TUXPAN	No apto	202,006			202,006	100		
III	MARTINEZ DE LA TORRE	No apto	200,703			200,703	100		
IV	COATEPEC	Alto	24,000			18,826	78	5,174	22
		Medio	17,632			13,182	75	4,451	25
		No apto	155,484			122,295	79	33,189	21
V	FORTIN	Alto	8,859			8,859	100		
		Medio	7,125			7,125	100		
		No apto	369,250			366,222	99	3,028	1
VI	LA ANTIGUA	No apto	40,136	1,928	5	38,208	95		
VII	VERACRUZ	No apto	103,381			103,381	100		
VIII	CIUDAD ALEMAN	No apto	166,692			166,692	100		
IX	SAN ANDRES TUXTLA	No apto	205,191	7,957	4	189,714	92	7,520	4
X	JALTIPAN	No apto	36,101			36,101	100		
XI	CHOAPAS	No apto	21,000			21,000	100		
XII	PANUCO	No apto	139,112			139,112	100		

En la Figura 49, puede consultar el comportamiento espacial de los rendimientos en sus diferentes niveles de potencial productivo, le permitirá identificar que zonas no presentarán cambios en los rendimientos. Para contar con una mejor perspectiva de la información, consulte el mapa en su tamaño original en la pestaña anexa al final del documento.

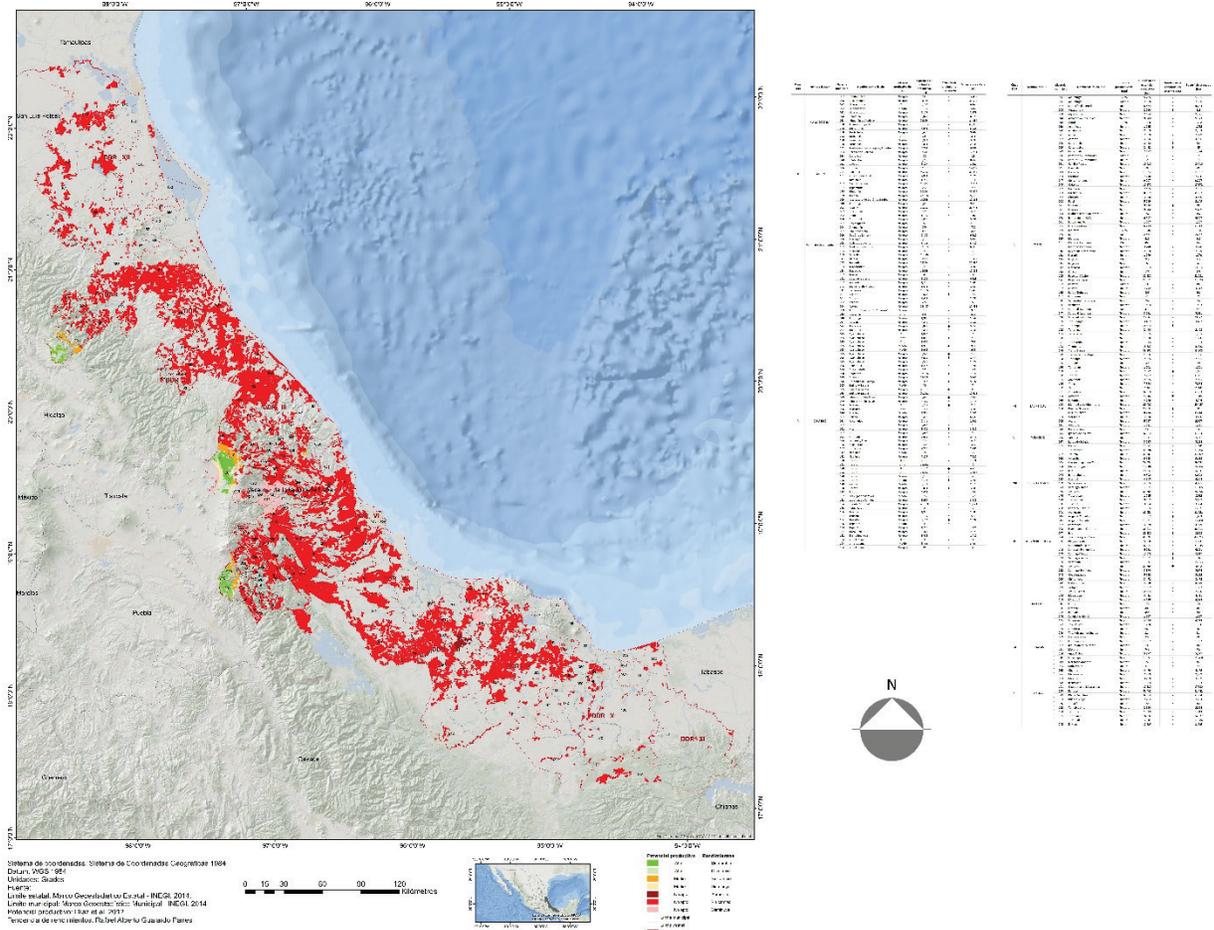


Figura 49. Tendencia de rendimientos de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en áreas de potencial productivo para el escenario A2 periodo 2011-2030 en el estado de Veracruz.

Caso frijol, escenario B1

El comportamiento de los rendimientos en este escenario no varían con el escenario A2, es decir, bajo las condiciones del escenario B1, los rendimientos de frijol no tendrían diferencias significativas por lo que el este cultivo no contaría con mayores afectaciones climáticas para su desarrollo (Tabla 18).

Tabla 18. Desagregación de las variaciones de rendimientos en el escenario B1 para el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) a nivel de Distrito de Desarrollo Rural.

DDR	Nombre DDR	Potencial productivo	Superficie (ha)	Variación de rendimientos en el escenario B1					
				Aumenta		Sin cambio		Disminuye	
				ha	%	ha	%	ha	%
I	HUAYACOCOTLA	Alto	6,395			6,395	100		
		Medio	6,492			6,492	100		
		No apto	170,464			170,464	100		
II	TUXPAN	No apto	202,006			202,006	100		
III	MARTINEZ DE LA TORRE	No apto	200,703			200,703	100		
IV	COATEPEC	Alto	24,000			18,669	78	5,331	22
		Medio	17,632			13,170	75	4,463	25
		No apto	157,413			122,352	78	35,060	22
V	FORTIN	Alto	8,859			8,859	100		
		Medio	7,125			7,125	100		
		No apto	369,250			366,524	99	2,726	1
VI	LA ANTIGUA	No apto	38,208			38,206	100	2	< 1
VII	VERACRUZ	No apto	103,381			103,381	100		
VIII	CIUDAD ALEMAN	No apto	168,359			168,359	100		
IX	SAN ANDRES TUXTLA	No apto	203,525	8,200	4	191,033	94	4,291	2
X	JALTIPAN	No apto	36,101			36,101	100		
XI	CHOAPAS	No apto	21,000			21,000	100		
XII	PANUCO	No apto	139,112			139,112	100		

En la Figura 50, se muestra la distribución geográfica del comportamiento de los rendimientos de frijol bajo diferentes niveles de potencial productivo. Al igual que en el maíz, en las zonas montañosas de los DDR de Orizaba (DDR V), Coatepec (DDR IV) y Huayacocotla (I), muestran zonas de potencial productivo alto y medio sin cambios en los rendimientos.

DISCUSIÓN

En el presente trabajo se desarrolló una propuesta metodológica que comprende el manejo y análisis de información climática, además de la estimación del posible comportamiento de los rendimientos de dos cultivos de importancia económica y de seguridad alimentaria para México: el maíz y el frijol.

Esta propuesta fue descrita de forma detallada con el fin de que pueda ser replicada en zonas de interés, para otros cultivos y empleando diferentes modelos climáticos o escenarios de emisión de CO₂ para periodos de corto, mediano y/o largo plazo.

El manejo de recursos informáticos como el ClimGen, LarsWG y el Sistema para cuantificar riesgo hidrológico en agricultura de temporal para el estado de Veracruz, tuvieron una función imprescindible para identificar la variación espacial y temporal de los cultivos en cuestión.

Se destaca el uso de información puntual cuyo componente espacial ofrece la ventaja de realizar procesos de interpolación espacial mediante el cual es posible tener una perspectiva geoespacial de cómo podrían variar las condiciones hidroagrícolas en diferentes zonas del estado, proporcionando elementos a tomadores de decisiones y a gestores de riesgo para el planteamiento de acciones y/o acciones que podría incluir la modificación de fechas de siembra de cultivos o la reconversión productiva.

Este trabajo representa un avance significativo para determinar las afectaciones que tendrán los cultivos debido a los efectos del cambio climático y pese a que se realizó de acuerdo a las proyecciones establecidas en el Cuarto Informe de Evaluación (CIE) del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), este es flexible, pues puede ser adaptado a los planteados en el reciente Quinto informe de Evaluación, el cual incorpora la radiación global de energía (W/m²).

Un elemento importante que puede ser agregado a este estudio es el de la vulnerabilidad, el cual permitirá determinar el grado de exposición a un fenómeno específico, es decir, combinar la probabilidad de ocurrencia de eventos adversos para la agricultura y el grado de susceptibilidad del sistema agroproductivo, para cuantificar el nivel de riesgo por efectos del cambio climático de un país, estado, municipio o zona de interés.

Este estudio abordó dos cultivos de importancia para la seguridad alimentaria, cuyas condiciones climáticas para su óptimo desarrollo fueron consideradas bajo un esquema generalizado, el cual puede ser modificado para una región en particular, especies y/o variedades de interés, empleando los requerimientos agroecológicos pertinentes a esta especie, variedad de estos u otros cultivos que sean de interés, inclusive especies forestales y/o especies de interés pecuaria

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los resultados expuestos en el presente trabajo, nos deja como experiencia que los datos de precipitación (Pp) pueden presentar comportamientos homogéneos sin considerar ciclos o condiciones estacionales, sin embargo estas condiciones deberán tomarse en cuenta para realizar estudios que impliquen mayor nivel de detalle, es decir, ciclos de cultivo (primavera-verano, otoño-invierno) o estaciones (primavera, verano, otoño e invierno) o periodos de interés específico, según sea el caso (etapa de crecimiento y desarrollo de un cultivo). En lo que corresponde a los datos de temperatura mínima ($Tmin$) y temperatura máxima ($Tmax$), el uso de ciclos o condiciones estacionales puede dar como resultado que las series de datos muestren comportamientos de mayor homogeneidad, ya que se estarían considerando periodos con semejantes comportamientos frío y/o calor.

Con el fin de contar con mayor información climatológica, deberá considerarse para estudios futuros la implementación de métodos que tengan como fin hacer que una serie climatológica contenga información homogénea, esto permitirá obtener información más detallada sobre el comportamiento de indicadores climatológicos y considerar estaciones en zonas donde no hay representación, tal es el caso de la zona centro y sur del estado de Veracruz.

La información sobre el monto de rendimientos bajo condiciones climáticas actuales y de cambio climático, resultan ser más altos que los reportados por el SIAP. No obstante, el método no se encuentra diseñado para la predicción de rendimientos, sino para realizar la simulación continua de ciclos de cultivo y tener una perspectiva del déficit o exceso de la humedad en un lugar de interés y como ésta puede ser afectada por la evapotranspiración del cultivo.

En cuanto a los escenarios de vulnerabilidad del cultivo de maíz, de presentarse condiciones de cambio climático en B1, en el estado de Veracruz no se esperan cambios significativos en las áreas de potencial productivo, prácticamente seguirían conservando sus características climatológicas para desarrollo del cultivo y se presentarían cambios mínimos en algunas zonas del norte y sur del estado. No obstante bajo los escenarios A1B y A2, las variaciones climáticas serían más drásticas para el potencial productivo, ya que en casi la totalidad de estado podrían presentarse condiciones adversas al rendimiento, especialmente en zonas de baja altitud.

Con el frijol, las zonas de potencial productivo no se verán afectadas drásticamente en el estado ya que en la mayoría de éstas, las condiciones climáticas para su producción prácticamente no cambiarían. Se debe tener presente que el frijol puede verse más afectado por la presencia de enfermedades y plagas ocasionadas por el exceso de humedad que incide en el ciclo PV. Para contrarrestar esta afectación, los productores lo siembran en el ciclo PV y esto se ve reflejado en cifras de producción publicadas por el SIAP. Dado lo importante que resulta observar los efectos de cambio climático para el frijol, resulta trascendental considerar el desarrollo de un estudio similar tomando en cuenta las condiciones climáticas del ciclo OI.

La información cartográfica generada, puede considerarse como un instrumento de apoyo en la planeación de esquemas de trabajo que conduzcan acciones de adaptación al cambio climático, no solo para el cultivo de maíz y frijol, sino para todos los cultivos involucrados con la seguridad alimentaria. En dichos esquemas debe tomarse en cuenta la participación de actores clave, especialistas en las áreas sociales, naturales, así como de productores agrícolas líderes para que en base al “trabajo de imitación” otros productores repliquen sus acciones ya que resulta de gran dificultad que productores tradicionales cambien sus esquemas de labor agrícola.

Otro aspecto a considerar, es que la simulación de procesos ofrece la posibilidad de realizar la modelación de ciclos de cultivo en distintas fechas de siembra y ciclos vegetativos, ofreciendo la posibilidad de redefinir fechas de siembra para aprovechar de forma óptima las mejores condiciones hídricas para el desarrollo de cultivos o en un crítico momento, la reconversión productiva.

LITERATURA CITADA

- Abdulharis, A.; Khan, M.A.; Chhabra, V.; Biswas, S. and Pratap, A. 2010. Evaluation of Lars-WG for generating long term data for assessment of climate change impact in Bihar. *Journal of Agrometeorology* 12(2): 198-201.
- Alexandersson, H. 1986. A homogeneity test applied to precipitation data. *Journal of Climate* 6: 661-675.
- Alexandersson, H. and Moeberg, A., 1997. Homogeneization of Swedish temperature data. Part I: Homogeneity test for linear trends. *International Journal of Climatology* 17: 25-34.
- Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D. and Smith, M. 2006. Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de requerimientos de agua de los cultivos. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Roma, Italia. 323 p. (Estudio FAO Riego y Drenaje).
- Alvarado V., M.A.; Foroughbakhch P., R.; Jurado Y., E. y Rocha, A. 2002. El cambio climático y la fenología en las plantas. *Ciencia UANL* 4: 439-500.
- Bello M., L. 2014. Escenarios de cambio climático regionalizados para la reserva de la biosfera, Sierra Gorda Guanajuato mediante el modelo Lars-WG. Tesis de Licenciatura Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). México, D.F. 110 p.
- Blaney, H.F. and Criddle, W.D. 1950. Determining water requirements in irrigated area from climatológicas data. US Department of Agriculture, Soil Conservartion Service, Tech. Pap. 96: 48 p.
- Bristow, K.L. and Campbell, G.S. 1984. On the relationship between incoming solar radiation and daily maximum an minimum temperature. *Agricultural and forest meteorology* 31(2): 159-166.
- Brouwer, C. and Heibloem, M. 1986. Irrigation water management: Irrigation water needs. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Rome, Italy. 102 p. (Training manual no. 3).
- Buishand, T. A., 1982. Some methods for testing the homogeneity of rainfall records. *Journal of Hydrology* 58(1-2): 11-27.
- Camargo B.A. y García C., R.O. 2012. Evaluación de dos modelos de reducción de escala en la generación de escenarios de cambio climático en el Valle de Mexicali en México. *Información Tecnológica* 23(3): 11-20. DOI: 10.4067/S0718-07642012000300003.
- Carbajal C., M.; Yarlequé, C.; Posadas, A.; Silvestre, E.; Mejía, A. y Quiróz, R. 2010. Reconstrucción de datos faltantes de precipitación pluvial diaria mediante la Transformada Wavelet. *Revista Peruana Geo-Atmosférica RPGA* 2: 76-88.
- Chen, J. and Brissette, F.P. 2014. Comparison of five stochastic weather generators in simulating daily precipitation and temperature for the Loess Plateau of China. *International Journal of Climatology* 34: 3089-3105. DOI: 10.1002/joc.3896.

- Coll H., A. y Godínez C. M. de L. 2003. La agricultura en México: Un atlas en blanco y negro. Universidad Nacional Autónoma de México-Instituto de Geografía (UNAM-IGG). México, D.F. México. 152 p. (Textos Monográficos. Economía).
- Conde, C.; Ferrer, R.M.; Araujo, R.; Gay, C.; Magaña, V.; Pérez, J.L.; Morales, T. y Orozco, S. 2004. El Niño y la agricultura. *In*: Magaña R., V. (ed.). Los impactos de El Niño en México. Centro de Ciencias de la Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México. Secretaría de Gobernación. México, D.F. México. 229 p.
- Conde, C.; Liverman, D.; Flores, M.; Ferrer, R.; Araújo, R.; Betancourt, E.; Villareal, G. y Gay, C. 1997. Vulnerability of rainfed maize crops in Mexico to climate change. *Climate Research* 9: 17-23.
- Comisión Veracruzana de Comercialización Agropecuaria (COVECA). 2011. Monografía del Maíz. Gobierno del Estado de Veracruz. Xalapa, Veracruz. México. 21 p.
- Comisión Veracruzana de Comercialización Agropecuaria (COVECA). 2011. Monografía del Frijol. Gobierno del Estado de Veracruz. Xalapa, Veracruz. México. 25 p.
- Costa, A.C.M. y Soares, A., 2006. Identification of inhomogeneities in precipitation time series using SUR models and the Ellipse test. 7th International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences. p. 419-428.
- Cruz T., D.A. 2013. Adaptación al cambio climático en el área protegida Sierra Gorda, Guanajuato. Tesis de Licenciatura Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). México, D.F. 141 p.
- Danfeng, L. and Ming'an, S. 2014. Temporal stability analysis for estimating spatial mean soil water storage and deep percolation in irrigated maize crops. *Agricultural Water Management* 144: 140-149.
- Delgadillo M., J.; Aguilar O., T. y Rodríguez V., D. 2004. Los aspectos económicos y sociales de El Niño. *In*: Magaña R., V. (ed.). Los impactos de El Niño en México. Centro de Ciencias de la Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México. Secretaría de Gobernación. México, D.F. México. 229 p.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). 2001. Ley de Desarrollo Rural Sustentable. México, D.F. México. Viernes 7 de diciembre de 2001.
- Díaz P., G.; Guajardo P., R.A.; Medina G., G.; Sánchez C., I.; Soria R., J.; Vázquez A. J.M.P.; Quijano C., J.A.; Legorreta P., F. y Ruíz C.; J.A. 2012. Potencial productivo de especies agrícolas de importancia socioeconómica en México. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (SAGARPA-INIFAP). Cotaxtla, Veracruz. México. 140 p.
- Díaz P., G.; Sánchez C., I.; Quiróz R.; Garatuzza P., J.; Watts T., C.; Cruz M. I.R. y Guajardo P., R.A. 2011. Variación espacio-temporal de la precipitación pluvial en México: una aproximación a la evaluación de impactos. *Tecnología y Ciencias del Agua* 2(4): 51-64.
- Díaz P., G.; Sánchez C., I. y Guajardo P., R. A., 2011. Análisis de series de tiempo de clima para tomar decisiones en México. *In*: Oswald S. U. Retos de la investigación del agua en México.

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias (CRIM). Cuernavaca, Morelos. México. 754 p.

- Díaz P., G. 2009. Variación espacio-temporal de la precipitación pluvial en México: Una aproximación a la evaluación de impactos. Tesis de Doctorado. Instituto Tecnológico de Sonora, Dirección de Recursos Naturales. Cd. Obregón, Son., México. 152 p.
- Díaz P., G.; Sánchez C., I.; Quiróz, R.; Garatuza P., J.; Watts T., C. y Cruz M. I.R. 2008. Interpolación espacial de la precipitación pluvial en la zona de barlovento y sotavento del Golfo de México. *Agricultura Técnica en México* 34(3): 279-287.
- Díaz P., G. y Sánchez C., I. 2007. Sistema de consulta y procesamiento de información climatológica de México. *In* Sánchez C., I. y Chebhouni, G. (comp.) *Procesos hidrológicos en zonas áridas y semiáridas. De la investigación a la acción.* Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). CENID-RASPA. Gómez Palacio, Dgo., México. p 21-39.
- Díaz P., G.; Ruíz C., J.A.; Cano G. M.A.; Serrano A., V. y Medina G., G. 2006. Estadísticas climatológicas básicas del estado de Veracruz (Periodo 1961-2003). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (SAGARPA-INIFAP). Cotaxtla, Veracruz. México. 292 p.
- Dirmeyer, P.A.; Schlosser, C.A. and Brubaker, K.L. 2009. Precipitation, recycling and land memory: An integrated analysis. *Journal of Hydrometeorology* 10: 278-288.
- Drabal, P. P.; Purkayastha, K. and Aram, M., 2014. Dry and wet spell probability by Markov chain model- a case study of North Lakhimpur (Assam), India. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering* 7(6): 8-13.
- Edward G., W.; Pedersen, E. y Marin, S., 2001. *Ecología y manejo de recursos naturales: análisis de sistemas y simulación.* Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica. 340 p.
- El Financiero. 2011. Pérdidas agrícolas por más de 45 mil mdp por heladas. *El Financiero*, 14 Febrero de 2011. p. 16.
- Elías C., F. y Castevelli S., F. 2001. *Agrometeorología.* 2ª. ed., Mundi-Prensa. Madrid, España. 513 p.
- Estévez, J. y Gavilán, P., 2008. Procedimientos de validación de datos de estaciones meteorológicas automáticas. Aplicación a la red de información agroclimática de Andalucía. Plataforma de asesoramiento y transferencia del conocimiento agrario y pesquero de Andalucía. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera. Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural. p. 1-12.
- Etterson, J. & Shaw, R., 2001. Constraint to adaptative evolution in response to global warming. *Science* (294) 5540: 151-154. DOI: 10.1126/science.1063656.

- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 1997. Zonificación agroecológica: Guía general. Roma, Italia. 96 p. (Boletín de suelos de la FAO 73).
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO)-Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2012. México: El sector agropecuario ante el escenario de cambio climático. México, D.F. 439 p.
- Farquhar, G. D. 1997. Carbon dioxide and vegetation. *Science* 278(5342): 1411. DOI: 10.1126/science.278.5342.1411.
- Flores L, H. E. y Ruiz C., J. A. 1998. Estimación de la humedad del suelo para maíz de temporal mediante balance hídrico. *Terra* 16(3): 219-229.
- García, A. de M., E. 2003. Distribución de la precipitación en la República Mexicana.
- Gordon, C.; Cooper, C.; Senior, C.A.; Banks, H.; Gregory, J.M.; Johns, T.C.; Mitchell, J.F.B. and Wood, R.A. 2000. The simulation of SST, sea ice extents and ocean heat transports in a version of the Hadley Centre coupled model without flux adjustments. *Climate Dynamics* 16: 147-168.
- Hainie A., N. and Mohd D., S. 2013. Homogeneity test on daily rainfall series for Malaysia. *Matematika* 29(1c): 141-150.
- Hassan, Z.; Shansudin, S. and Harun, S., 2014. Application of SDSM and LARS-WG for simulating and downscaling of rainfall and temperature. *Theoretical and applied climatology* 116(1-2): 243-257.
- Houghton, J.T.; Ding, Y.; Griggs, D.J.; Noguer M.; Linden, P.J. van der; Dai, X.; Maskell, K. and Johnson, C.A. 2001. *Climate change 2001: The Scientific Basis*. Cambridge University Press. Cambridge, UK. 94 p.
- Investigaciones Geográficas. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Boletín del Instituto de Geografía 50: 67-76.
- Johnston, K.; Hoef, J. M. ver; Krivoruchko, K. and Lucas, N. 2001. *Using ArcGis Geoestatistical Analyst*. ESRI. New York. 306 p.
- McKague, K.; Rudra, R. and Ogilvie, J. 2003. ClimGen-A convenient weather generation tool for canadian climate stations. *The Canadian society for engineering in agricultural, food, and biological systems*. Paper No.03-118. 26 p.
- McKague, K.; Rudra, R.; Ogilvie, J. Ahmed, I. and Gharabaghi, B. 2005. Evaluation of weather generator ClimGen for Southern Ontario. *Canadian Water Resources Journal* 30(4): 315-330.
- Menzel, A. 2000. Trends in phenological phases in Europe between 1951 & 1996. *International Journal of Biometeorology* 44(2): 76-81.
- O'Brien, K.L. and Leinchenko, R.M. 2000. Double exposure: assessing the impacts of climate change within the context of economic globalization. *Global Environmental Change* 10(3): 221-232.
- Ortiz S., C.A. 1984. *Elementos de agrometeorología cuantitativa: con aplicaciones en la República Mexicana*. Univiversidad Autónoma de Chapingo Departamento de suelos. Universidad Autónoma de Chapingo. Texcoco, Edo de México. 327 p.

- Paiva R., Y.; Avelino C., R.; Macedo P., J.E.; Ribeiro, A. e Quintao de A. A. 2012. Influencia del cambio climático en los escenarios del futuro sobre plantaciones de Eucalipto. *Revista Ciencia Agronómica* 43(3): 470-477.
- Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC). 2000. Informe Especial del IPCC: Escenarios de emisiones. Organización Meteorológica Mundial (OMM)-Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). Ginebra, Suiza. 27 p.
- Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC). 2008. Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los grupos I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Organización Meteorológica Mundial (OMM)-Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). Ginebra, Suiza. 114 p.
- Pántano, V. C.; Spescha, L. B.; Penalba, O. C. and Murphy, G. M., 2014. Influencia de la variabilidad de temperatura y precipitación en la situación hídrica del suelo, en la región oriental de secano de la Argentina. *Meteorológica* 39(2): 21-36.
- Peteet, D. 2000. Sensivity and rapidity of vegetational response to abrupt climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 97(4): 1359-1361. DOI: 10.1073/pnas.97.4.1359.
- Pettitt, A. N., 1979. A non-parametric approach to the change point detection. *Journal of the Royal Statistical Society. Series C (Applied Statistics)* 28(2): 126-135.
- Prager, E.J. and Earle, S.A. 2001. *Los océanos un llamado a la conciencia mundial*. McGraw Hill. México, D.F. 384 p.
- Prieto B., C.J. 2004. *El agua: sus formas, efectos, abastecimientos, usos, daños, control y conservación*. Ecoe Ediciones. Bogotá, Colombia. 280 p.
- Ramirez G., M.E. y López T., Q. 1993. *Métodos estadísticos no paramétricos*. Universidad Autónoma Chapingo. Dirección de difusión cultural. Texcoco, Edo de México. 223 p.
- Reuters, 2012. Pérdidas agrícolas por sequía en México superan los 16 mil mdp en 7 años: EE.UU. *La Jornada*, 4 Abril de 2012.
- Richardson C., W. 1981. Stochastic simulation of daily precipitation, temperature and solar radiation. *Water Resources Reserarch* 17(1): 182-190.
- Ruíz C., J.A.; Medina G., G.; González A., I.J.; Ortiz T., C.; Flores L., H.E.; Martínez P.,R.A. y Byerly M., K.F. 1999. *Requerimientos agroecológicos de cultivos*. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural (SAGAR)-Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Guadalajara, Jalisco. México. 324 p. (Libro Técnico Núm. 3).
- Ruiz M., L.E. 2012. Cambio climático y migraciones laborales en la frotera sur de México. *Luna Azul* 35: 301-320.

- Sánchez C., I.; Díaz P., G.; Velazquez V., M.; Slack, D. C.; Heilman, P. and Pedroza S., A. 2015. A decisión support system for rainfed agricultural áreas of Mexico. *Comput. Electron. Agric.* 114:178-188.
- Sánchez C., I.; Catalán V., E.; Velázquez V., M.A. y Díaz P., G. 2015. Sistema para cuantificar riesgo hidrológico en agricultura de temporal. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Gómez Palacio, Durango. México. (Software de computadora).
- Sánchez C., I. 2013. Modelo de balance hídrico como apoyo a toma de decisiones en zonas agrícolas bajo incertidumbre climática. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Gómez Palacio, Durango. México. 58 p. (Folleto Técnico Núm. 28).
- Sánchez C., I.; Díaz P., G.; Cavazos P. M.T.; Granados R.; G.R. y Gómez R. E. 2011. Elementos para entender el cambio climático y sus impactos. Miguel Ángel Porrúa. México, D.F. 176 p.
- Sánchez C., I.; Díaz P., G.; Ojeda B., W.; Chebhouni, G.; Orona C., I.; Villanueva D., J.; González B., J.L. y González C., G. 2008. Variabilidad climática en México: Algunos impactos hidrológicos, sociales y económicos. *Ingeniería Hidráulica en México* 23(4): 5-24.
- Sánchez C., I. 2005. Fundamentos para el aprovechamiento integral del agua. Una aproximación de simulación de procesos. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Gómez Palacio, Durango. México. 271 p. (Libro Científico Núm. 2).
- Schonwiese, C.D. and Rapp, J. 1997. Climate trend atlas of Europe based on observation 1891-1990. *International Journal Climatology* 18(5): 580-581.
- Schwartz, M.; Iverson, L. and Prasad, A., 2001. Predicting the potential future distribution of four tree species in Ohio using current habitat availability and climate forcing. *Ecosystems* 18(5): 568-581.
- Semenov, M.A. and Barrow, E.M. 2002. Lars-WG: A stochastic weather generator of use in climate impact studies. Rothamsted Research. Harpenden, Gertfordshire. United Kingdom. 28 p.
- Semenov, M.A.; Brooks, R.J.; Barrow, E.M. and Richardson, C.W. 1998. Comparison of the WGEN and LARS-WG stochastic weather generators for diverse climates. *Climate Research* 10: 95-107.
- Steel, R.G.D. and Torrie, J.H. 1985. *Bioestadística: principios y procedimientos*. McGraw-Hill Interamericana. México, D.F. 622 p.
- Suescun J., M., 2012. Aplicación de modelos de generación de variables meteorológicas para la gestión del riego en la provincia de Álava. Universidad Pública de Navarra: Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Navarra, España. 110 p.
- Thompson, L.M. and Frederick, R.T. 1988. *Los suelos y su fertilidad*. 4ª. ed. Reverte. Michigan State University Michigan, USA. 661 p.
- Tijerina C., L. y Ortíz S., C. A. 1990. Manual de la metodología para evaluar la aptitud de las tierras para evaluar la aptitud de las tierras para la producción de cultivos básicos en condiciones de temporal. Colegio de Postgraduados-Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Montecillos, Edo. de México. México. 113 p.

- Tingem, M.; Rivington, M.; Azam-Ali, S. and Colls, J. 2007. Assessment of the ClimGen stochastic weather generator at Cameroon sites. *African Journal of Environmental Science and Technology* 1(4): 86-92.
- UNE 500540, 2004. Redes de estaciones meteorológicas automáticas: Directrices para la validación de registros meteorológicos procedentes de redes de estaciones automáticas: Validación en tiempo real. Asociación española de normalización y certificación. AENOR. España. 7 p.
- Vázquez Y., C. 1999. La fisiología ecológica de las plantas. *In*: Orellana, R.; Escamilla, J y Larqué S., A. (eds). *Ecofisiología vegetal y conservación de recursos genéticos*. Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. (CICY). Mérida, Yucatán. p. 35-50.
- Villalpando, J. F.; Biswas, B. C.; Cáceres M., R.; Coulibaly, A.; Gat, Z.; Gommès, R.; Jacquart, C.; Lomoton, B. S.; Perry, K. B.; Ulanova, E. S. and Ussher, A. Practical use of agrometeorological data and information for planning and operational activities in all aspects of agricultura, including famieng systems. WMO. CAgM (USA). Report No. 60. Geneva, Swtzerland. 131 p.
- Villers R., L. and Trejo V., I. 1997. Assessment of the vulnerability of forest ecosystems to climate change in Mexico. *Climate Research* 9: 87-93.
- Wijngaard, J.B.; Klein T., A.M.G. and Konnen, G.P. 2003. Homogeneity of 20th century European daily temperature and precipitation series. *International Journal Climatology* 23(6): 679-692.
- Wilks, D. S. 1995. *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences An Introduction*. Academic Press. Ithaca, New York. 467 p.
- Wreford, A.; Moran, D. and Adger, N. 2010. *Climate change and agriculture: impacts adaptation and mitigation*. Organization for Economic Coperation and Development (OECD). Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). Ginebra, Suiza. 140 p.

SITIOS WEB CONSULTADOS

- Comisión Nacional del Agua – Servicio Meteorológico Nacional (CNA-SMN). 2010. Red de Estaciones Climatológicas. Disponible en: <http://smn.cna.gob.mx/>. México. Consultado el 15 de octubre de 2010.
- Comisión Nacional del Agua – Servicio Meteorológico Nacional (CNA-SMN). 2014. Red de Estaciones Climatológicas. Disponible en: <http://smn.cna.gob.mx/>. México. Consultado el 15 de septiembre de 2014.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2014. Información vectorial de unidades climáticas, escala 1:1 000 000. Disponible en <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclnat/clima/>. Aguascalientes, México. Consultado el 24 de septiembre de 2014.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2014. Marco Geoestadístico Nacional. Disponible en <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/geoestadistica/>. Aguascalientes, México. Consultado el 27 de septiembre de 2014.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2014. Uso de suelo y vegetación: Datos vectoriales escala 1:250 000 serie V (Capa Unión). Disponible en <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclnat/usuarios/Default.aspx>. Aguascalientes, México. Consultado el 1 de octubre de 2014.
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)-Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2001. Edafología. Disponible en <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>. México, D.F. Consultado el 30 de junio de 2014.
- Ndlovu, L. S., 1996. ClimGen - Generador de datos climáticos. Disponible en http://sites.bsye.wsu.edu/cs_suite/ClimGen/documentation/abstract/es.htm. Washington State University. Washington, USA. Consultado el 3 de octubre de 2014.
- Sanz, J.J. 2002. Fenología y cambio climático. Disponible en http://www.elcultural.es/version_papel/CIENCIA/5454/Fenologia_y_cambio_climatico. El Cultural. Consultado el 1 de junio de 2014.
- Secretaría de Educación Pública (SEP). 1996. La Agricultura en México. Disponible en http://www.pps.k12.or.us/district/depts/edmedia/videoteca/curso2/htmlb/SEC_160.HTM. Consultado el 12 de marzo de 2014.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2013. Cierre de la producción agrícola bajo condiciones de temporal ciclo PV de frijol y maíz del 2011. Disponible en <http://www.siap.gob.mx/>. Consultado el 11 de febrero de 2014.
- SIAP, 2014. Cierre de la producción agrícola por estado. Disponible en <http://www.siap.gob.mx/>. Consultado el 11 de febrero de 2014.
- SIAP, 2014. Registro de Siembras y Cosechas. Disponible en <http://www.siap.gob.mx/>. Consultado el 11 de febrero de 2014.

- Stöckle, C. O. and Nelson, R. 2014. CS Suite-ClimGen. [Software de computadora en http://modeling.bsyse.wsu.edu/CS_Suite/ClimGen/index.html]. Washinton State University, Washinton, USA. Consultado el 5 de febrero de 2014.
- XLSTAT, 2014. [Software de computadora en <http://www.xlstat.com/es/>]. New York. Addinsoft SARL.

ANEXOS

Anexo A. Resultados de las pruebas de homogeneidad aplicadas a la variable *Tmin* a las estaciones consideradas en el estudio.

Estación	Prueba de Pettitt		Prueba de homogeneidad normal estándar (Alexanderson)		Prueba de Buishand		Rechazos de H_0	Clasificación
	Valor p	Año de cambio	Valor p	Año de cambio	Valor p	Año de cambio		
7020	0.032	1989	0.008	1993	0.010	1990	3	Sospechoso
7106	<0.0001	1979	<0.0001	1979	<0.0001	1979	3	Sospechoso
7112	<0.0001	1985	0.000	1985	<0.0001	1985	3	Sospechoso
13015			0.017	1967	0.009	1967	2	Dudosa
13034	< 0.0001	1989	< 0.0001	1995	< 0.0001	1989	3	Sospechoso
13042	< 0.0001	1976	< 0.0001	1976	< 0.0001	1976	3	Sospechoso
13061	0.0037	2004	< 0.0001	2005	0.0021	2004	3	Sospechoso
13093	0.0004	1976	0.0023	1976	0.0007	1976	3	Sospechoso
13095	0.0001	1996	< 0.0001	1997	< 0.0001	1996	3	Sospechoso
13096	< 0.0001	1989	< 0.0001	1989	< 0.0001	1989	3	Sospechoso
13098	< 0.0001	1986	< 0.0001	1986	< 0.0001	1986	3	Sospechoso
13099							0	Útil
13135	0.0005	1998			0.0369	1998	2	Dudosa
13137							0	Útil
13139	< 0.0001	1999	< 0.0001	2008	0.0014	2001	3	Sospechoso
13140	0.0112	1992					1	Útil
13141	< 0.0001	1995	0.0008	1995	0.0006	1995	3	Sospechoso
13144							0	Útil
13145	< 0.0001	2000	< 0.0001	2001	< 0.0001	2001	3	Sospechoso
20008	0.0001	1979			0.0467	1985	2	Dudosa
20014	< 0.0001	1981	< 0.0001	1982	< 0.0001	1981	3	Sospechoso
20017			0.0073	2008			1	Útil
20029	0.0031	1969	0.0091	1969	0.009	1969	3	Sospechoso
20113	< 0.0001	1993	< 0.0001	1997	< 0.0001	1995	3	Sospechoso
20152							0	Útil
20189							0	Útil
20294							0	Útil
21009	< 0.0001	1971	0.0001	1971	0.0001	1971	3	Sospechoso
21018	< 0.0001	1974	< 0.0001	1974	< 0.0001	1974	3	Sospechoso
21023	0.0094	1996	0.0007	1997	0.0135	1995	3	Sospechoso
21026	< 0.0001	1970	< 0.0001	1968	< 0.0001	1968	3	Sospechoso
21031							0	Útil
21032	0.0114	1972					1	Útil
21040	0.0009	1985			0.0008	1985	2	Dudosa
21043	< 0.0001	1987	< 0.0001	1989	< 0.0001	1989	3	Sospechoso

Estación	Prueba de Pettitt		Prueba de homogeneidad normal estándar (Alexanderson)		Prueba de Buishand		Rechazos de H_0	Clasificación
	Valor p	Año de cambio	Valor p	Año de cambio	Valor p	Año de cambio		
21051	0.0016	1986			0.0009	1986	2	Dudosa
21052							0	Útil
21053	0.0265	2002	< 0.0001	2003	0.0018	2002	3	Sospechoso
21064							0	Útil
21084			0.0021	1955	0.0398	1978	2	Dudosa
21091	0.0133	1974	< 0.0001	1923			2	Dudosa
21094	< 0.0001	1973	< 0.0001	1984	< 0.0001	1973	3	Sospechoso
21114	0.0023	1972	0.0036	1972	0.0019	1972	3	Sospechoso
21117							0	Útil
21142							0	Útil
21143							0	Útil
21147	0.0004	1992			0.0006	1992	2	Dudosa
21154							0	Útil
21185	0.0277	1988			0.0391	1988	2	Dudosa
21201							0	Útil
21209							0	Útil
21211	0.0421	1989			0.0302	1989	2	Dudosa
21212	0.0011	1987	0.0196	1987	< 0.0001	1987	3	Sospechoso
21215	0.0025	2001	0.0022	1986	0.0085	1986	3	Sospechoso
21244	0.0067	1969	< 0.0001	1949	0.0002	1949	3	Sospechoso
24009	0.0047	1985					1	Útil
24015	0.0006	1980	< 0.0001	1968	< 0.0001	1968	3	Sospechoso
24020	0.0294	1989	0.0001	2005	0.0139	2005	3	Sospechoso
24036	< 0.0001	1980	< 0.0001	1970	< 0.0001	1980	3	Sospechoso
24053							0	Útil
24085	0.0121	2002	< 0.0001	2003	0.0012	2002	3	Sospechoso
24095	0.0182	1997					1	Útil
24108	0.0031	1999	0.0179	2000	0.0121	1999	3	Sospechoso
24113			0.0121	1973			1	Útil
24122	0.0309	1990			0.0346	1990	2	Dudosa
24200							0	Útil
27015	0.0075	1992	0.0013	2002	0.002	1992	3	Sospechoso
27037	0.0201	1961	0.0056	1961	0.0096	1975	3	Sospechoso
28006	< 0.0001	1997	< 0.0001	1999	< 0.0001	1997	3	Sospechoso
28016	0.0029	1979	< 0.0001	1977	< 0.0001	1978	3	Sospechoso
28055	0.0189	2001	0.0034	1963			2	Dudosa
28111	0.0001	1989	0.0066	2010	0.0367	1979	3	Sospechoso

Estación	Prueba de Pettitt		Prueba de homogeneidad normal estándar (Alexanderson)		Prueba de Buishand		Rechazos de H_0	Clasificación
	Valor p	Año de cambio	Valor p	Año de cambio	Valor p	Año de cambio		
28125	0.0004	1989	0.0301	2006	0.016	1989	3	Sospechoso
28138	0.0408	2001	0.0341	2001	0.0464	2001	3	Sospechoso
28147	< 0.0001	1995	< 0.0001	2005	< 0.0001	1995	3	Sospechoso
28175			0.0222	2008			1	Útil
30003							0	Útil
30007	0.001	1997	0.0008	1997	0.0019	1997	3	Sospechoso
30008	0.0002	1980	0.0002	1960	0.0007	1980	3	Sospechoso
30011	< 0.0001	1985	0.0001	1985	< 0.0001	1985	3	Sospechoso
30012	0.0004	1970	< 0.0001	1927	0.0094	1971	3	Sospechoso
30013	0.0003	1997	< 0.0001	1998	0.0003	1998	3	Sospechoso
30016	0.0119	1994	0.014	2002	0.0124	1992	3	Sospechoso
30019	0.0013	1990	0.0438	2006	0.0002	1990	3	Sospechoso
30021							0	Útil
30022	0.0011	1979			0.019	1979	2	Dudosa
30025	< 0.0001	1980	< 0.0001	1980	< 0.0001	1980	3	Sospechoso
30026							0	Útil
30032	< 0.0001	1980	< 0.0001	1985	< 0.0001	1983	3	Sospechoso
30033	< 0.0001	1986	< 0.0001	1999	< 0.0001	1992	3	Sospechoso
30034	0.0117	2000	0.0056	2000	0.0303	2000	3	Sospechoso
30035			0.0003	2005	0.0429	1975	2	Dudosa
30037	0.0068	1986	0.0011	1986	0.0016	1986	3	Sospechoso
30046	0.0022	1980					1	Útil
30048	< 0.0001	1995	< 0.0001	1997	< 0.0001	1997	3	Sospechoso
30049	0.0108	1976					1	Útil
30051	< 0.0001	1989	< 0.0001	1972	0.0003	1973	3	Sospechoso
30054							0	Útil
30055	0.0044	2000	< 0.0001	2001	0.0013	2000	3	Sospechoso
30056	0.0285	1989			0.0466	1989	2	Dudosa
30058	< 0.0001	1977	< 0.0001	1977	< 0.0001	1977	3	Sospechoso
30059	0.0003	2000	0.0001	2000	0.0008	2000	3	Sospechoso
30066	0.0005	1978			0.0128	1978	2	Dudosa
30067	0.0015	1970	0.0025	1970	0.0007	1970	3	Sospechoso
30068			< 0.0001	2005	0.0286	2005	2	Dudosa
30070	0.0377	1971					1	Útil
30071	0.029	1976	0.0053	1962	0.0391	1990	3	Sospechoso
30074	< 0.0001	1979	< 0.0001	1979	< 0.0001	1979	3	Sospechoso
30076	0.0186	1972	0.0105	1969	0.0372	1972	3	Sospechoso

Estación	Prueba de Pettitt		Prueba de homogeneidad normal estándar (Alexanderson)		Prueba de Buishand		Rechazos de H_0	Clasificación
	Valor p	Año de cambio	Valor p	Año de cambio	Valor p	Año de cambio		
30077	0.0034	1980			0.0004	1980	2	Dudosa
30079			0.0192	2004			1	Útil
30081	< 0.0001	1982	< 0.0001	1968	< 0.0001	1981	3	Sospechoso
30084	0.0168	2001					1	Útil
30089							0	Útil
30090	< 0.0001	1981	< 0.0001	1981	< 0.0001	1981	3	Sospechoso
30093	0.0475	1983					1	Útil
30094	0.0103	1975			0.0241	1982	2	Dudosa
30098	< 0.0001	1984	0.0001	1990	< 0.0001	1984	3	Sospechoso
30100			0.0028	1999	0.0021	1995	2	Dudosa
30101	< 0.0001	1974	0.0162	1974	0.0019	1974	3	Sospechoso
30102			0.0173	1954			1	Útil
30107							0	Útil
30108	0.0077	1985	0.0003	1985	0.0057	1985	3	Sospechoso
30112	< 0.0001	1981	< 0.0001	1981	< 0.0001	1981	3	Sospechoso
30114	< 0.0001	1980			0.001	1980	2	Dudosa
30115	0.0004	1979					1	Útil
30117	0.0226	1964	0.004	1964	0.0147	1964	3	Sospechoso
30121							0	Útil
30125							0	Útil
30128	< 0.0001	1981	< 0.0001	1981	< 0.0001	1981	3	Sospechoso
30130	0.0017	1993	< 0.0001	1967	< 0.0001	1967	3	Sospechoso
30131	0.0158	1983			0.0264	1983	2	Dudosa
30132	0.0273	1989	< 0.0001	2006	0.0159	1989	3	Sospechoso
30136	0.0035	1997	0.0004	2000	0.005	1997	3	Sospechoso
30140	0.0385	1995			0.0201	1995	2	Dudosa
30141	< 0.0001	1989	< 0.0001	1989	< 0.0001	1989	3	Sospechoso
30143	< 0.0001	1971	< 0.0001	1953	0.03	1972	3	Sospechoso
30147			0.0202	2004			1	Útil
30148	0.0012	1998	< 0.0001	1998	< 0.0001	1998	3	Sospechoso
30152	< 0.0001	1989	0.002	1994	0.0002	1989	3	Sospechoso
30158	< 0.0001	1979	< 0.0001	1977	< 0.0001	1978	3	Sospechoso
30160	0.0439	1970	0.0037	1968	0.0182	1970	3	Sospechoso
30163	< 0.0001	1950	< 0.0001	1949	< 0.0001	1949	3	Sospechoso
30165							0	Útil
30166	0.0015	1989	0.0487	1989	0.0004	1989	3	Sospechoso
30167	0.0001	1985	0.0021	1985	0.0001	1978	3	Sospechoso

Estación	Prueba de Pettitt		Prueba de homogeneidad normal estándar (Alexanderson)		Prueba de Buishand		Rechazos de H_0	Clasificación
	Valor p	Año de cambio	Valor p	Año de cambio	Valor p	Año de cambio		
30169	0.0052	1971	0.0404	1971	0.007	1971	3	Sospechoso
30171	0.023	1972					1	Útil
30173							0	Útil
30175	0.004	1998	0.0017	1998	0.0062	1998	3	Sospechoso
30176	< 0.0001	1989	< 0.0001	1989	< 0.0001	1989	3	Sospechoso
30179	0.0007	1978			0.0191	1990	2	Dudosa
30180	0.0204	1990					1	Útil
30185			0.0001	2005	0.041	2005	2	Dudosa
30187	< 0.0001	1984	< 0.0001	1990	< 0.0001	1984	3	Sospechoso
30189	0.0086	2000					1	Útil
30191	0.0001	1984	0.0001	1984	< 0.0001	1984	3	Sospechoso
30193	< 0.0001	1971	< 0.0001	1968	< 0.0001	1971	3	Sospechoso
30198	0.0185	1973	< 0.0001	1970	0.0038	1973	3	Sospechoso
30201	< 0.0001	1975	< 0.0001	1975	< 0.0001	1975	3	Sospechoso
30211	0.0002	1981	0.0002	1980	0.0004	1980	3	Sospechoso
30216	< 0.0001	1973	< 0.0001	1973	< 0.0001	1973	3	Sospechoso
30220	0.0042	1995			0.0133	1995	2	Dudosa
30224	0.0151	1998					1	Útil
30264	0.0031	1977	0.0082	1977	0.004	1977	3	Sospechoso
30265	0.0001	1985	0.0001	1985	< 0.0001	1985	3	Sospechoso
30266			0.0375	1974			1	Útil
30267	< 0.0001	1988	< 0.0001	1988	< 0.0001	1988	3	Sospechoso
30268							0	Útil
30281	< 0.0001	1989	< 0.0001	1985	< 0.0001	1988	3	Sospechoso
30285	0.0013	1983	0.0272	1976	0.0001	1983	3	Sospechoso
30292	0.035	1989			0.0349	1989	2	Dudosa
30294			0.0348	1975			1	Útil
30301	0.0005	1990			0.0001	1990	2	Dudosa
30302	0.0001	1999	< 0.0001	2000	< 0.0001	1999	3	Sospechoso
30304	0.0053	2003	0.0003	2004	0.0008	2003	3	Sospechoso
30311	0.0145	1998	0.0264	1998	0.0194	1998	3	Sospechoso
30317			0.0005	1979			1	Útil
30319	0.0002	1990	0.0071	1990	0.0008	1990	3	Sospechoso
30325			< 0.0001	2008	0.0132	2006	2	Dudosa
30336	0.0281	2000			0.0416	2000	2	Dudosa
30337	< 0.0001	1994	< 0.0001	1994	< 0.0001	1994	3	Sospechoso
30338	0.0201	2003	0.0039	2003	0.0187	2003	3	Sospechoso

Estación	Prueba de Pettitt		Prueba de homogeneidad normal estándar (Alexanderson)		Prueba de Buishand		Rechazos de H_0	Clasificación
	Valor p	Año de cambio	Valor p	Año de cambio	Valor p	Año de cambio		
30339	0.0007	1994			0.0125	1994	2	Dudosa
30340	0.000	2000	0.000	2001	< 0.0001	2000	3	Sospechoso
30342	0.002	1995			0.003	1995	2	Dudosa
30345							0	Útil
30350							0	Útil
30351	0.006	1988	0.012	1988	0.009	1988	3	Sospechoso
30353	0.002	1993	0.014	1990	0.003	1992	3	Sospechoso
30357							0	Útil
30359	0.002	1988	< 0.0001	1988	0.000	1988	3	Sospechoso
30361	< 0.0001	1997	0.001	1997	< 0.0001	1997	3	Sospechoso
30364	0.001	1994	0.006	1994	0.001	1994	3	Sospechoso
30371							0	Útil
30377							0	Útil
30382							0	Útil
30384							0	Útil
30452	0.005	2001	0.013	1987	0.006	1996	3	Sospechoso
13011	< 0.0001	1995	< 0.0001	1995	< 0.0001	1995	3	Sospechoso
20084	0.009	1980	< 0.0001	1980	0.002	1980	3	Sospechoso
21022							0	Útil
21038							0	Útil
21056	0.024	1995			0.033	1995	2	Dudosa
21059	< 0.0001	1995	< 0.0001	1995	< 0.0001	1995	3	Sospechoso
21067	< 0.0001	1990	0.001	1990	0.000	1990	3	Sospechoso
21072							0	Útil
21073	0.029	2004	0.035	2003	0.035	2003	3	Sospechoso
21074	< 0.0001	1990	< 0.0001	1990	< 0.0001	1990	3	Sospechoso
21077							0	Útil
21097							0	Útil
21129							0	Útil
27003							0	Útil
30006							0	Útil
30041	0.019	1993	0.003	1971	0.003	1972	3	Sospechoso
30043	0.001	1991	0.003	1991	0.002	1991	3	Sospechoso
30047	0.013	1992					1	Útil
30072							0	Útil
30097	0.0001	1989	< 0.0001	1986	0.0004	1989	3	Sospechoso
30134	0.011	1992	0.022	1999	< 0.0001	1999	3	Sospechoso

Estación	Prueba de Pettitt		Prueba de homogeneidad normal estándar (Alexanderson)		Prueba de Buishand		Rechazos de H_0	Clasificación
	Valor p	Año de cambio	Valor p	Año de cambio	Valor p	Año de cambio		
30137	< 0.0001	1989	0.001	1980	0.000	1988	3	Sospechoso
30177	< 0.0001	1987	< 0.0001	1987	< 0.0001	1987	3	Sospechoso
30178	< 0.0001	2007					1	Útil
30195	0.000	1992	0.001	1979	0.002	1989	3	Sospechoso
30209	0.039	1998					1	Útil
30327			0.011	2005			1	Útil

Anexo B. Resultados de las pruebas de homogeneidad aplicadas a la variable T_{max} a las estaciones consideradas en el estudio.

Estación	Prueba de Pettitt		Prueba de homogeneidad normal estándar (Alexanderson)		Prueba de Buishand		Rechazos de H_0	Clasificación
	Valor p	Año de cambio	Valor p	Año de cambio	Valor p	Año de cambio		
7020			0.011	1992	0.017	1988	2	Dudosa
7106	0	1980	0.003	1980	0.001	1980	3	Sospechoso
7112	<0.0001	1982	<0.0001	1985	<0.0001	1985	3	Sospechoso
13015	<0.0001	1967	0.058	1967	<0.0001	1967	3	Sospechoso
13034	0.0029	1983	0.0018	1983	0.001	1983	3	Sospechoso
13042	0.0007	1962	< 0.0001	1948	0.0009	1960	3	Sospechoso
13061	0.0231	2004	0.026	2005			2	Dudosa
13093	< 0.0001	1976	< 0.0001	1976	< 0.0001	1976	3	Sospechoso
13095	0.0017	1992	0.0032	1997	0.0011	1997	3	Sospechoso
13096							0	Útil
13098	0.0013	1987	0.002	1987	0.0005	1987	3	Sospechoso
13099	0.0001	1992	< 0.0001	2006	< 0.0001	2001	3	Sospechoso
13135	0.0277	1993			0.0431	1993	2	Dudosa
13137	0.0278	2005	< 0.0001	2005	0.0046	2005	3	Sospechoso
13139							0	Útil
13140							0	Útil
13141	0.0086	1989			0.0035	1989	2	Dudosa
13144							0	Útil
13145	< 0.0001	1995	< 0.0001	1995	< 0.0001	1995	3	Sospechoso
20008	0.0023	1985	0.0001	1997	0.0015	1985	3	Sospechoso
20014							0	Útil
20017	0.0001	1983	< 0.0001	1984	< 0.0001	1984	3	Sospechoso
20029					0.0277	1978	1	Útil
20113	0.0006	1983	0.0081	1984	0.0031	1984	3	Sospechoso
20152	< 0.0001	1988	< 0.0001	1996	< 0.0001	1988	3	Sospechoso
20189	0.0027	1981			0.001	1981	2	Dudosa
20294	0.0487	2003					1	Útil
21009	0.0003	1967	< 0.0001	1961	< 0.0001	1967	3	Sospechoso
21018	0.0226	1992					1	Útil
21023							0	Útil
21026	0.022	1992	< 0.0001	1992	0.0022	1992	3	Sospechoso
21031	< 0.0001	1984	< 0.0001	1984	< 0.0001	1984	3	Sospechoso
21032			0.013	2005			1	Útil
21040	< 0.0001	1984	< 0.0001	1984	< 0.0001	1984	3	Sospechoso

Estación	Prueba de Pettitt		Prueba de homogeneidad normal estándar (Alexanderson)		Prueba de Buishand		Rechazos de H_0	Clasificación
	Valor p	Año de cambio	Valor p	Año de cambio	Valor p	Año de cambio		
21043	0.0002	1983	0.0002	1993	0.0002	1983	3	Sospechoso
21051							0	Útil
21052	< 0.0001	1985	< 0.0001	1985	< 0.0001	1985	3	Sospechoso
21053	< 0.0001	1979	< 0.0001	1978	< 0.0001	1978	3	Sospechoso
21064	0.0028	1993	0.0002	2002	0.0002	1999	3	Sospechoso
21084			0.0067	1955			1	Útil
21091	0.0099	1962	0.008	1963	0.0007	1963	3	Sospechoso
21094							0	Útil
21114	0.0005	1977	0.0001	2006	0.0005	1998	3	Sospechoso
21117	0.0003	1993	0.0153	1993	0.0019	1992	3	Sospechoso
21142							0	Útil
21143	< 0.0001	1988	< 0.0001	1988	< 0.0001	1988	3	Sospechoso
21147	0.0072	1995	0.002	1995	0.005	1986	3	Sospechoso
21154							0	Útil
21185							0	Útil
21201					0.0338	1984	1	Útil
21209	0.0074	2000	0.001	2004	0.0055	2000	3	Sospechoso
21211							0	Útil
21212	0.0042	1987			0.0012	1987	2	Dudosa
21215	0.0125	1986	0.0022	1986	0.0022	1986	3	Sospechoso
21244	0.0001	1972	< 0.0001	1949	0.0001	1972	3	Sospechoso
24009					0.0042	1991	1	Útil
24015	0.0001	1994	< 0.0001	1994	0.0001	1994	3	Sospechoso
24020							0	Útil
24036							0	Útil
24053							0	Útil
24085	0.0165	2002	0.0015	2002	0.0148	2002	3	Sospechoso
24095	0.0004	1992	< 0.0001	1996	< 0.0001	1996	3	Sospechoso
24108	< 0.0001	1997	< 0.0001	1997	< 0.0001	1997	3	Sospechoso
24113	0.0081	1993					1	Útil
24122							0	Útil
24200	< 0.0001	1994	< 0.0001	1997	< 0.0001	1994	3	Sospechoso
27015	0.0048	1988	0.0128	1989	0.0032	1989	3	Sospechoso
27037	< 0.0001	1981	< 0.0001	1981	< 0.0001	1981	3	Sospechoso
28006	< 0.0001	1999	< 0.0001	1999	< 0.0001	1999	3	Sospechoso

Estación	Prueba de Pettitt		Prueba de homogeneidad normal estándar (Alexanderson)		Prueba de Buishand		Rechazos de H_0	Clasificación
	Valor p	Año de cambio	Valor p	Año de cambio	Valor p	Año de cambio		
28016	< 0.0001	1992	< 0.0001	1977	< 0.0001	1981	3	Sospechoso
28055	0.0389	1986	0.0227	1965			2	Dudosa
28111	< 0.0001	1989	0.0165	2010	0.028	1989	3	Sospechoso
28125	0.0008	1993	0.0226	1994	0.0104	1994	3	Sospechoso
28138							0	Útil
28147	0.0001	1992			0.0003	1992	2	Dudosa
28175	0.0064	1993	0.0298	1978			2	Dudosa
30003	< 0.0001	1992	< 0.0001	1996	< 0.0001	1992	3	Sospechoso
30007	0.0028	1988	0.0107	1997	0.003	1988	3	Sospechoso
30008							0	Útil
30011	< 0.0001	1988	0.0001	1958	< 0.0001	1981	3	Sospechoso
30012	0.0044	1968	0.0044	1986	0.0051	1966	3	Sospechoso
30013	< 0.0001	1970	< 0.0001	1970	< 0.0001	1970	3	Sospechoso
30016	0.0243	2001	0.0017	2008	0.0254	2001	3	Sospechoso
30019	< 0.0001	1988	< 0.0001	1992	< 0.0001	1992	3	Sospechoso
30021	< 0.0001	1981	< 0.0001	1980	< 0.0001	1980	3	Sospechoso
30022	0.0001	1974			0.0004	1976	2	Dudosa
30025	< 0.0001	1987	0.0002	1987	0.0001	1987	3	Sospechoso
30026	0.0183	1968	0.0175	2001	0.0479	2001	3	Sospechoso
30032	< 0.0001	1980	< 0.0001	1980	< 0.0001	1980	3	Sospechoso
30033	0.0002	1970	< 0.0001	1999	0.0003	1970	3	Sospechoso
30034							0	Útil
30035	< 0.0001	1976	< 0.0001	1965	< 0.0001	1976	3	Sospechoso
30037	0.001	1978			0.0051	1979	2	Dudosa
30046	0.0123	1997	0.0008	2008	0.002	1997	3	Sospechoso
30048	0.0147	2000	< 0.0001	2000	0.0004	2000	3	Sospechoso
30049	0.0177	1971	0.0434	1971	0.0225	1971	3	Sospechoso
30051	0.0016	1994	0.0044	2008	0.0014	1994	3	Sospechoso
30054	0.0199	1993	< 0.0001	2002	0.0019	2001	3	Sospechoso
30055	0.0001	1989	< 0.0001	2001	< 0.0001	1993	3	Sospechoso
30056	< 0.0001	1971	< 0.0001	1970	< 0.0001	1971	3	Sospechoso
30058	0.0006	1977	0.0026	1975	0.0014	1977	3	Sospechoso
30059	0.0302	1993	0.0315	1993	0.0053	1993	3	Sospechoso

Estación	Prueba de Pettitt		Prueba de homogeneidad normal estándar (Alexanderson)		Prueba de Buishand		Rechazos de H_0	Clasificación
	Valor p	Año de cambio	Valor p	Año de cambio	Valor p	Año de cambio		
30066	< 0.0001	1951	< 0.0001	1925	< 0.0001	1950	3	Sospechoso
30067							0	Útil
30068	< 0.0001	1981	0.0035	1981	0.0003	1981	3	Sospechoso
30070							0	Útil
30071			0.0172	2003	0.043	2001	2	Dudosa
30074	< 0.0001	1980	< 0.0001	1980	< 0.0001	1980	3	Sospechoso
30076	< 0.0001	1992	0.0027	1992	0.0001	1992	3	Sospechoso
30077	0.029	1997					1	Útil
30079							0	Útil
30081	0.0001	1992	0.0008	1992	0.0006	1992	3	Sospechoso
30084	0.0001	1993	< 0.0001	1994	< 0.0001	1994	3	Sospechoso
30089			0.0293	1951			1	Útil
30090	0.0041	1980	0.013	1981	0.0024	1981	3	Sospechoso
30093	0.0003	1985	0.006	1997	0.0018	1985	3	Sospechoso
30094	0.0225	1991			0.0396	1991	2	Dudosa
30098	< 0.0001	1983	< 0.0001	1981	< 0.0001	1981	3	Sospechoso
30100			0.005	1999			1	Útil
30101					0.0237	1975	1	Útil
30102	0.0007	1992	0.0054	1997	0.0025	1988	3	Sospechoso
30107	0.0248	1954	0.0221	1954	0.0093	1954	3	Sospechoso
30108	0.0038	1973	0.0436	1930	0.0105	1975	3	Sospechoso
30112	< 0.0001	1984	< 0.0001	1986	< 0.0001	1986	3	Sospechoso
30114	0.0028	1975	0.0115	1975	0.0016	1975	3	Sospechoso
30115							0	Útil
30117	< 0.0001	1992	< 0.0001	1997	< 0.0001	1992	3	Sospechoso
30121	0.0008	1952	< 0.0001	1943	< 0.0001	1947	3	Sospechoso
30125							0	Útil
30128	< 0.0001	1981	< 0.0001	1981	< 0.0001	1981	3	Sospechoso
30130	< 0.0001	1988	< 0.0001	1988	< 0.0001	1988	3	Sospechoso
30131	0.011	1990	0.0235	1990	0.011	1990	3	Sospechoso
30132	< 0.0001	1981	< 0.0001	1979	< 0.0001	1979	3	Sospechoso
30136	< 0.0001	1987	< 0.0001	1994	< 0.0001	1994	3	Sospechoso
30140	0.0255	1978			0.0359	1978	2	Dudosa

Estación	Prueba de Pettitt		Prueba de homogeneidad normal estándar (Alexanderson)		Prueba de Buishand		Rechazos de H_0	Clasificación
	Valor p	Año de cambio	Valor p	Año de cambio	Valor p	Año de cambio		
30141	0.0039	1999	< 0.0001	2001	0.0018	1999	3	Sospechoso
30143	0.0009	1976	0.0014	1953			2	Dudosa
30147	0.0287	1998					1	Útil
30148	0.0003	1981	0.0015	1987	0.0003	1987	3	Sospechoso
30152	< 0.0001	1993	< 0.0001	1994	< 0.0001	1994	3	Sospechoso
30158	0.0004	1982	0.0277	1982	0.0063	1982	3	Sospechoso
30160	0.0039	1994	0.0017	1994	0.0046	1994	3	Sospechoso
30163	0.0112	1988					1	Útil
30165							0	Útil
30166			0.0044	2008			1	Útil
30167	< 0.0001	1964	< 0.0001	1961	0.0001	1964	3	Sospechoso
30169			0.0105	1976	0.0486	1976	2	Dudosa
30171	0.0181	1985			0.0073	1985	2	Dudosa
30173	0.0029	1984	0.0037	1984	0.0009	1984	3	Sospechoso
30175	< 0.0001	1990	< 0.0001	1990	< 0.0001	1990	3	Sospechoso
30176	< 0.0001	1994	< 0.0001	1994	< 0.0001	1992	3	Sospechoso
30179	0.0004	1992	< 0.0001	2000	< 0.0001	1993	3	Sospechoso
30180							0	Útil
30185							0	Útil
30187							0	Útil
30189	0.0238	2000	0.0001	2000	0.009	2000	3	Sospechoso
30191	0.0137	1997	0.0117	1997	0.0261	1987	3	Sospechoso
30193	0.0133	1985	0.0329	1949	0.0059	1949	3	Sospechoso
30198	0.0018	1981	0.0013	1981	0.0002	1981	3	Sospechoso
30201	0.0242	1968					1	Útil
30211	< 0.0001	1978	< 0.0001	1978	< 0.0001	1977	3	Sospechoso
30216							0	Útil
30220	< 0.0001	1988	< 0.0001	1999	< 0.0001	1999	3	Sospechoso
30224	0.0417	1954	0.0002	1950	0.0004	1950	3	Sospechoso
30264	0.0035	1977	0.0011	1976	0.001	1977	3	Sospechoso
30265	0.0003	1987	0.0049	1987	0.0006	1988	3	Sospechoso
30266	0.004	1988	0.006	1988	0.0022	1988	3	Sospechoso
30267							0	Útil
30268	< 0.0001	1997	< 0.0001	1997	0.0001	1997	3	Sospechoso

Estación	Prueba de Pettitt		Prueba de homogeneidad normal estándar (Alexanderson)		Prueba de Buishand		Rechazos de H_0	Clasificación
	Valor p	Año de cambio	Valor p	Año de cambio	Valor p	Año de cambio		
30281	< 0.0001	1987	0.0015	1987	0.0005	1987	3	Sospechoso
30285	0.0395	1996	< 0.0001	1976			2	Dudosa
30292	0.002	1988			0.0367	1988	2	Dudosa
30294	0.0001	1989	0.0316	1975	< 0.0001	1989	3	Sospechoso
30301	0.0001	1993	< 0.0001	2006	0.0001	1993	3	Sospechoso
30302	< 0.0001	1992	< 0.0001	1999	< 0.0001	1997	3	Sospechoso
30304			0.0089	1976			1	Útil
30311			0.0333	1981			1	Útil
30317	0.0147	1987	0.0223	1987	0.0137	1992	3	Sospechoso
30319	< 0.0001	1993	< 0.0001	1993	< 0.0001	1993	3	Sospechoso
30325			0.0148	2003	0.0261	2003	2	Dudosa
30336	< 0.0001	1997	0.0003	1997	0.0002	1997	3	Sospechoso
30337	< 0.0001	1997	< 0.0001	1997	< 0.0001	1997	3	Sospechoso
30338	< 0.0001	1992	< 0.0001	1992	< 0.0001	1992	3	Sospechoso
30339	0.0099	1988	0.0004	1980	0.0038	1988	3	Sospechoso
30340	0.004	1992	0.001	1986	0.003	1992	3	Sospechoso
30342			0.034	1980			1	Útil
30345					0.044	1996	1	Útil
30350	0.039	1992					1	Útil
30351	0.025	1984	0.042	1984	0.032	1984	3	Sospechoso
30353	0.003	1993			0.002	1993	2	Dudosa
30357	0.013	2000			0.004	2000	2	Dudosa
30359	< 0.0001	1991	< 0.0001	1991	< 0.0001	1991	3	Sospechoso
30361							0	Útil
30364	0.000	1994	0.001	1994	0.000	1994	3	Sospechoso
30371							0	Útil
30377							0	Útil
30382							0	Útil
30384	0.002	1997					1	Útil
30452	< 0.0001	1995	< 0.0001	1995	< 0.0001	1995	3	Sospechoso
13011	0.024	2005	0.000	2005	0.005	2005	3	Sospechoso
20084	0.001	1965	0.001	1967	0.000	1967	3	Sospechoso
21022							0	Útil
21038							0	Útil

Estación	Prueba de Pettitt		Prueba de homogeneidad normal estándar (Alexanderson)		Prueba de Buishand		Rechazos de H_0	Clasificación
	Valor p	Año de cambio	Valor p	Año de cambio	Valor p	Año de cambio		
21056							0	Útil
21059	0.002	1993					1	Útil
21067	0.011	1993	0.002	1993	0.002	1993	3	Sospechoso
21072							0	Útil
21073			< 0.0001	2002	0.033	2003	2	Dudosa
21074	0.002	1996	0.000	2004	0.006	1997	3	Sospechoso
21077	0.013	2001	0.018	2001	0.011	2001	3	Sospechoso
21097							0	Útil
21129							0	Útil
27003							0	Útil
30006	0.028	1999			0.037	1999	2	Dudosa
30041	0.003	1993	0.003	2000	0.010	1997	3	Sospechoso
30043							0	Útil
30047							0	Útil
30072	< 0.0001	1993	< 0.0001	1993	< 0.0001	1993	3	Sospechoso
30097	< 0.0001	1990	0.0333	1964			2	Dudosa
30134	0.044	1992					1	Útil
30137	< 0.0001	1997	< 0.0001	2002	< 0.0001	1998	3	Sospechoso
30177	< 0.0001	1987	< 0.0001	1987	< 0.0001	1987	3	Sospechoso
30178	< 0.0001	2008			< 0.0001	2008	2	Dudosa
30195	0.000	1988	0.000	1979	0.000	1984	3	Sospechoso
30209	0.005	1997	0.042	1968			2	Dudosa
30327							0	Útil

Anexo C. Resultados de las pruebas de homogeneidad aplicadas a la variable Pp a las estaciones consideradas en el estudio.

Estación	Prueba de Pettitt		Prueba de homogeneidad normal estándar (Alexanderson)		Prueba de Buishand		Rechazos de H_0	Clasificación
	Valor p	Año de cambio	Valor p	Año de cambio	Valor p	Año de cambio		
7020			0.007	1992	0.019	1988	2	Dudosa
7106							0	Útil
7112							0	Útil
13015			0.033	1976			1	Útil
13034	0.0107	1985	0.0326	1941	0.0393	1978	3	Sospechoso
13042	0.0012	1976	0.0198	1976	0.0047	1976	3	Sospechoso
13061							0	Útil
13093							0	Útil
13095	< 0.0001	1996	< 0.0001	1997	< 0.0001	1996	3	Sospechoso
13096							0	Útil
13098			0.038	2010			1	Útil
13099							0	Útil
13135							0	Útil
13137							0	Útil
13139			0.0494	2010			1	Útil
13140							0	Útil
13141							0	Útil
13144							0	Útil
13145							0	Útil
20008							0	Útil
20014			0.0012	1950			1	Útil
20017	0.0376	1983			0.0187	1983	2	Dudosa
20029							0	Útil
20113	0.03	1976			0.0391	1976	2	Dudosa
20152	0.0425	1981			0.0145	1981	2	Dudosa
20189					0.0171	1984	1	Útil
20294							0	Útil
21009							0	Útil
21018							0	Útil
21023							0	Útil
21026	0.0072	1986	0.0095	1989	0.0219	1986	3	Sospechoso
21031	0.0261	1981			0.0178	1981	2	Dudosa
21032	0.005	1967	0.0168	1967	0.005	1967	3	Sospechoso
21040			0.0033	2002	0.0494	2002	2	Dudosa

Estación	Prueba de Pettitt		Prueba de homogeneidad normal estándar (Alexanderson)		Prueba de Buishand		Rechazos de H_0	Clasificación
	Valor p	Año de cambio	Valor p	Año de cambio	Valor p	Año de cambio		
21043							0	Útil
21051	0.0051	1984	0.0161	1986	0.0008	1986	3	Sospechoso
21052							0	Útil
21053					0.0446	1981	1	Útil
21064	< 0.0001	1993	0.0059	1997	0.0001	1993	3	Sospechoso
21084	0.0178	1991			0.0177	1991	2	Dudosa
21091	0.0014	1944	0.0192	1944	0.0024	1961	3	Sospechoso
21094							0	Útil
21114							0	Útil
21117	0.0218	1981			0.0421	1981	2	Dudosa
21142							0	Útil
21143							0	Útil
21147	0.0073	1986	0.0227	1986	0.0071	1986	3	Sospechoso
21154							0	Útil
21185	0.0126	1983	0.0049	1983	0.0054	1983	3	Sospechoso
21201							0	Útil
21209	0.0445	1997			0.0192	1997	2	Dudosa
21211							0	Útil
21212							0	Útil
21215	0.0114	1986	0.0027	1986	0.0089	1986	3	Sospechoso
21244			0.0448	1949			1	Útil
24009							0	Útil
24015	0.008	1993	0.0205	1993	0.0112	1993	3	Sospechoso
24020							0	Útil
24036							0	Útil
24053							0	Útil
24085							0	Útil
24095							0	Útil
24108							0	Útil
24113							0	Útil
24122							0	Útil
24200							0	Útil
27015	0.0099	1984	0.0339	1984	0.0069	1984	3	Sospechoso
27037			0.0045	1948			1	Útil
28006			0.0049	2008			1	Útil
28016							0	Útil
28055			0.0051	2008			1	Útil

Estación	Prueba de Pettitt		Prueba de homogeneidad normal estándar (Alexanderson)		Prueba de Buishand		Rechazos de H_0	Clasificación
	Valor p	Año de cambio	Valor p	Año de cambio	Valor p	Año de cambio		
28111			< 0.0001	2008			1	Útil
28125			0.0469	2006			1	Útil
28138							0	Útil
28147	0.0115	1994	0.0231	1994	0.0086	1994	3	Sospechoso
28175							0	Útil
30003							0	Útil
30007							0	Útil
30008			0.0103	1926			1	Útil
30011			0.047	1957			1	Útil
30012							0	Útil
30013			0.0019	1948			1	Útil
30016	< 0.0001	1993	< 0.0001	1993	< 0.0001	1993	3	Sospechoso
30019			0.0137	1961			1	Útil
30021							0	Útil
30022	0.022	1983					1	Útil
30025							0	Útil
30026							0	Útil
30032	0.0035	1995	0.0198	2007	0.011	1995	3	Sospechoso
30033	0.0078	1983	0.0132	1983	0.0052	1983	3	Sospechoso
30034	0.0477	1993	0.0009	2007	0.0313	1993	3	Sospechoso
30035			0.0352	1956			1	Útil
30037	< 0.0001	1982	0.0001	1985	< 0.0001	1984	3	Sospechoso
30046							0	Útil
30048							0	Útil
30049							0	Útil
30051							0	Útil
30054							0	Útil
30055							0	Útil
30056							0	Útil
30058							0	Útil
30059			0.0236	1985	0.0117	1985	2	Dudosa
30066	0.0488	1954					1	Útil
30067							0	Útil
30068	0.0071	1986			0.0066	1986	2	Dudosa
30070			0.0034	1999	0.0097	1985	2	Dudosa
30071	< 0.0001	1991	< 0.0001	1991	< 0.0001	1991	3	Sospechoso
30074	0.0207	1965	0.0057	1958	0.0054	1963	3	Sospechoso

Estación	Prueba de Pettitt		Prueba de homogeneidad normal estándar (Alexanderson)		Prueba de Buishand		Rechazos de H_0	Clasificación
	Valor p	Año de cambio	Valor p	Año de cambio	Valor p	Año de cambio		
30076							0	Útil
30077							0	Útil
30079			0.0005	2003	0.0066	1995	2	Dudosa
30081	0.0002	1975	0.0003	1975	0.0001	1975	3	Sospechoso
30084	0.0001	1988	0.0003	1988	0.0002	1988	3	Sospechoso
30089							0	Útil
30090	0.0026	1983			0.0172	1983	2	Dudosa
30093							0	Útil
30094	< 0.0001	1987	< 0.0001	1987	< 0.0001	1987	3	Sospechoso
30098							0	Útil
30100	0.0125	1993	0.0001	1994	0.0006	1993	3	Sospechoso
30101							0	Útil
30102			0.0209	1954	0.0342	1973	2	Dudosa
30107							0	Útil
30108			0.0038	1932			1	Útil
30112	0.0418	1991	0.0047	1992	0.003	1991	3	Sospechoso
30114							0	Útil
30115	0.0262	1993			0.0085	1993	2	Dudosa
30117					0.0358	1984	1	Útil
30121	0.0239	1979			0.0354	1979	2	Dudosa
30125							0	Útil
30128	0.05	1994	0.0362	1965	0.0299	1994	3	Sospechoso
30130							0	Útil
30131							0	Útil
30132							0	Útil
30136			0.0019	2000	0.0529	1999	2	Dudosa
30140							0	Útil
30141							0	Útil
30143							0	Útil
30147			0.0347	1970			1	Útil
30148							0	Útil
30152							0	Útil
30158							0	Útil
30160	0.0016	1993	0.0025	1993	0.0021	1993	3	Sospechoso
30163			0.0136	2003			1	Útil
30165	< 0.0001	1987	< 0.0001	1989	< 0.0001	1989	3	Sospechoso
30166	0.002	1993	0.0003	2005	0.0013	1993	3	Sospechoso

Estación	Prueba de Pettitt		Prueba de homogeneidad normal estándar (Alexanderson)		Prueba de Buishand		Rechazos de H_0	Clasificación
	Valor p	Año de cambio	Valor p	Año de cambio	Valor p	Año de cambio		
30167							0	Útil
30169	0.0463	1972	0.0301	1972	0.0457	1972	3	Sospechoso
30171							0	Útil
30173							0	Útil
30175			0.0032	1965			1	Útil
30176							0	Útil
30179					0.0129	1988	1	Útil
30180							0	Útil
30185			0.0234	1948			1	Útil
30187					0.0144	1968	1	Útil
30189							0	Útil
30191	0.0343	1968	0.021	1967	0.0278	1968	3	Sospechoso
30193			< 0.0001	1950	0.0026	1953	2	Dudosa
30198			0.022	2008			1	Útil
30201	0.0026	1981	0.0094	1981	0.001	1981	3	Sospechoso
30211							0	Útil
30216							0	Útil
30220							0	Útil
30224							0	Útil
30264							0	Útil
30265							0	Útil
30266			0.0004	1974			1	Útil
30267			0.0149	1978			1	Útil
30268	0.0191	1985	0.04	1985	0.0183	1985	3	Sospechoso
30281							0	Útil
30285							0	Útil
30292							0	Útil
30294			0.0075	1975	0.4119	1977	2	Dudosa
30301	0.0119	1984	0.0359	1984	0.0175	1984	3	Sospechoso
30302							0	Útil
30304							0	Útil
30311							0	Útil
30317							0	Útil
30319							0	Útil
30325							0	Útil
30336							0	Útil
30337			0.0003	2006	0.021	2005	2	Dudosa

Estación	Prueba de Pettitt		Prueba de homogeneidad normal estándar (Alexanderson)		Prueba de Buishand		Rechazos de H_0	Clasificación
	Valor p	Año de cambio	Valor p	Año de cambio	Valor p	Año de cambio		
30338							0	Útil
30339							0	Útil
30340							0	Útil
30342							0	Útil
30345							0	Útil
30350							0	Útil
30351							0	Útil
30353							0	Útil
30357							0	Útil
30359	0.021	1999	0.020	1986	0.016	1999	3	Sospechoso
30361							0	Útil
30364							0	Útil
30371							0	Útil
30377							0	Útil
30382	0.018	1987	0.015	1987	0.013	1987	3	Sospechoso
30384			0.049	1992			1	Útil
30452							0	Útil
13011							0	Útil
20084			0.003	1951			1	Útil
21022	0.0025	1982	0.0125	1982	0.006	1982	3	Sospechoso
21038							0	Útil
21056							0	Útil
21059			0.011	1954			1	Útil
21067							0	Útil
21072			0.014	2007			1	Útil
21073							0	Útil
21074							0	Útil
21077	0.028	1981	0.050	1981	0.016	1981	3	Sospechoso
21097	0.002	1982	0.003	1982	0.002	1982	3	Sospechoso
21129							0	Útil
27003	0.000	1980	< 0.0001	1979	0.000	1980	3	Sospechoso
30006							0	Útil
30041							0	Útil
30043	0.041	1989					1	Útil
30047							0	Útil
30072			0.020	1946			1	Útil
30097							0	Útil

Estación	Prueba de Pettitt		Prueba de homogeneidad normal estándar (Alexanderson)		Prueba de Buishand		Rechazos de H_0	Clasificación
	Valor p	Año de cambio	Valor p	Año de cambio	Valor p	Año de cambio		
30134	0.004	1976	0.010	1993	0.008	1985	3	Sospechoso
30137	< 0.0001	1993			0.000	1993	2	Dudosa
30177							0	Útil
30178							0	Útil
30195							0	Útil
30209	0.009	1987					1	Útil
30327							0	Útil